

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **037843**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.05.26

(51) Int. Cl. *E21B 47/095* (2006.01)
G01V 1/50 (2006.01)

(21) Номер заявки
201900284

(22) Дата подачи заявки
2019.04.19

(54) СПОСОБ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЗОН ВЫНОСА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В СКВАЖИНЕ

(43) **2020.10.30**

**Давыдов Дмитрий Александрович,
Спирина Лилия Александровна (RU)**

(96) **2019000037 (RU) 2019.04.19**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"СОНОГРАМ" (RU)**

(74) Представитель:
Котлов Д.В., Яремчук А.А. (RU)

(72) Изобретатель:
**Арбузов Андрей Александрович,
Масленникова Юлия Сергеевна,**

(56) EA-A1-200601138
RU-C1-2662738
RU-C1-2499283
US-A1-4240287

(57) Изобретение относится к нефтедобывающей промышленности. В частности, настоящее изобретение относится к способу, позволяющему детектировать зоны выноса твердых частиц (песка, пропанта) в скважине, выносимых потоком жидкости и газа. Для реализации способа устанавливают по меньшей мере один рабочий режим скважины, характеризующийся наличием потока флюида с твердыми частицами как по стволу скважины, так и в одном или более пластах. Спускают или поднимают по скважине на постоянной скорости или со стоянками по меньшей мере одно устройство для объективного измерения амплитуды акустического сигнала. Измеряют амплитуду акустического сигнала в скважине во время стоянки или во время спуска или подъема по скважине по меньшей мере одним устройством для объективного измерения амплитуды акустического сигнала. Обработывают данные измерений амплитуды акустического сигнала в скважине. Детектируют всплески амплитуды в регистрируемом акустическом сигнале. На каждой глубине сравнивают полученную в процессе измерений форму всплесков с эталонной и распознают только те всплески, которые соответствуют ударам твердых частиц. Подсчитывают количество твердых частиц и обнаруживают зону с выносом твердых частиц в ствол скважины. При измерении в скважине во время спуска или подъема количество твердых частиц подсчитывают с периодичностью в одну секунду. При измерении в скважине на стоянках подсчитывают количество твердых частиц для каждой стоянки. Продолжительность стоянки во время измерения составляет от 10 с и больше. Расстояние между стоянками равно длине устройства для объективного измерения амплитуды акустического сигнала. Измеряют амплитуду акустического сигнала одновременно тремя устройствами измерения амплитуды акустического сигнала, при этом шаг между стоянками соответствует увеличенной в три раза длине устройства для объективного измерения амплитуды акустического сигнала. Спуск или подъем по скважине устройства для объективного измерения амплитуды акустического сигнала на постоянной скорости осуществляют при скорости не выше 6 м/мин для устройства длиной 1 м, при этом дополнительно используют резиновые центраторы. Дополнительно устанавливают поверхностный датчик для контроля выноса твердых частиц и оптимального выбора рабочего режима скважины. Использование изобретения позволяет повысить достоверность определения наличия твердых частиц в скважине.

B1**037843****037843****B1**

Область техники

Изобретение относится к нефтедобывающей промышленности. В частности, настоящее изобретение относится к способу, позволяющему детектировать зоны выноса твердых частиц (песка, пропанга) в скважине, выносимых потоком жидкости и газа

Уровень техники

Наличие песка в потоке транспортируемого газа или жидкости приводит к повышенному износу фасонных деталей. Своевременное обнаружение факта выноса песка из скважины позволяет оперативно изменить режим работы скважины и тем самым предотвратить негативные последствия, заключающиеся в разрушении призабойной зоны скважины, необходимости дополнительных затрат на текущий и капитальный ремонт скважины.

В патенте США № 20070047867 A1 "Скважинный оптоволоконный акустический детектор песка" от 1 марта 2007 г. описан способ детектирования песка с помощью оптоволоконной системы. Данная система представляет собой одну или несколько секций акустического датчика, которые сформированы в оптическом волокне и образуют интерферометр с помощью волоконной брэгговской решетки. Акустический сигнал вызывает изменение длины оптического пути волокна в интерферометре, что приводит к изменению оптической интенсивности света, которая далее обнаруживается с помощью подходящего электронного оборудования. Когда песок проникает в ствол скважины, звуковой профиль, присутствующий в стволе, изменяется. Данное изменение анализируется и идентифицируется с помощью подходящей электроники.

Недостатками являются низкая чувствительность оптоволоконной системы за счет дополнительной защиты от среды скважины, отсутствия эталонного звукового профиля скважины без песка и информации о количестве выносимых частиц.

В патенте Канады № 3020223 "Детектирование зон выноса скважинного песка" от 12 октября 2017 г. описан метод, основанный на обнаружении широкополосного сигнала и сравнении его с эталонным сигналом, замеренных с помощью оптоволоконных систем. Обнаружение широкополосного сигнала включает в себя частотную фильтрацию, нахождение спектрального центроида и спектрального разброса. Определение наличия притока песка в ствол скважины основано на определении того, что центроид и разброс больше пороговых значений. Количество притока песка в ствол скважины на определенной глубине определяется на основе спектральной энергии.

Недостатками являются низкая чувствительность оптоволоконной системы, трудность в выборе оптимального порога и неточность в подсчете количества выносимого песка.

Патент США № 6672131 "Метод работы измерительного инструмента" от 6 января 2004 г. раскрывает способ регистрации песка с помощью устьевого прибора, который содержит активный датчик для передачи акустических сигналов и пассивный датчик для приема сигналов. Затем сравнивается переданный импульс с принятым и определяются настройки усиления для получения желаемого соотношения между переданным и принятым сигналом. Сигнал от датчика подключается к одному или нескольким частотным фильтрам. Шум от потока флюида по трубе определяется с помощью выборочных испытаний, измерительной системы, ручную или автоматически. Детектирование выноса песка основано на резком увеличении шума потока в стволе.

Недостатками является отсутствие информации о зоне выноса и количестве выносимого песка.

Патент США № 5257530 "Акустический детектор песка для потока флюида" от 2 ноября 1993 г. раскрывает способ регистрации песка с помощью металлического зонда, который помещается в поток флюида и генерирует акустические импульсы при взаимодействии с песчинками. Снаружи трубопровода устанавливается детектор, который принимает акустические сигналы, сгенерированные зондом, и имеет максимальную чувствительность в диапазоне 300-800 кГц. Для детектирования песчинок рассчитывается акустическая энергия принятого сигнала, которая затем сравнивается с пороговым значением. Масса песчинок рассчитывается от энергии их акустического удара.

Недостатками является трудность в выборе оптимального порога и отсутствие информации о зоне выноса.

Наиболее близким к предлагаемому способу является способ обнаружения песка при попадании песчинок на пьезоэлектрический элемент (патент США № 4240287 "Детектирование песка" от 23 декабря 1980 г.). После соответствующего усиления сигнал фильтруется частотным фильтром для прохождения только тех компонент усиленного сигнала, которые имеют частоту от 50-500 кГц. Пиковое значение результирующего электрического выходного сигнала обнаруживается в дискриминаторе высоты импульса. Когда пиковое значение превышает предварительно установленный уровень дискриминации, генерируется стандартный выходной импульс с длиной, превышающей типичную длительность удара песчинки. За определенный промежуток времени подсчитывается количество импульсов. При заданной скорости потока может быть проведена дифференциация по размеру песчинок за счет различных диапазонов высот импульсов в дискриминаторе.

Недостатками являются неточность определения размеров частиц, а также неточность в определении зоны выноса песка вследствие отсутствия метода для разделения песчинок, движущихся по стволу скважины, и песчинок, выносимых из пласта.

Сущность изобретения

Задачей заявленного изобретения, достигаемой при использовании изобретения, является разработка нового способа детектирования зон выноса твердых частиц в скважине.

Техническим результатом заявленного изобретения является повышение достоверности определения наличия твердых частиц в скважине.

Технический результат заявленного изобретения достигается за счет того, что способ детектирования зон выноса твердых частиц в скважине, включающий этапы, на которых устанавливают по меньшей мере один рабочий режим скважины, характеризующийся наличием потока флюида с твердыми частицами как по стволу скважины, так и в одном или более пластах; спускают или поднимают по скважине на постоянной скорости или со стоянками по меньшей мере одно устройство для объективного измерения амплитуды акустического сигнала; измеряют амплитуду акустического сигнала в скважине во время стоянки или во время спуска или подъема по скважине по меньшей мере одним устройством для объективного измерения амплитуды акустического сигнала; получают и обрабатывают акустические данные измерений амплитуды акустического сигнала в скважине, при этом детектируют всплески амплитуды в регистрируемом акустическом сигнале; на каждой глубине сравнивают полученную в процессе измерений форму всплесков с эталонной и распознают только те всплески, которые соответствуют ударам твердых частиц; подсчитывают количество твердых частиц; обнаруживают зону с выносом твердых частиц в ствол скважины.

В частном случае реализации заявленного технического решения при измерении в скважине во время спуска или подъема количество твердых частиц подсчитывают с периодичностью в одну секунду.

В частном случае реализации заявленного технического решения при измерении в скважине на стоянках подсчитывают количество твердых частиц для каждой стоянки.

В частном случае реализации заявленного технического решения продолжительность стоянки во время измерения составляет от 10 с и выше.

В частном случае реализации заявленного технического решения расстояние между стоянками равно длине устройства для объективного измерения амплитуды акустического сигнала.

В частном случае реализации заявленного технического решения измеряют амплитуду акустического сигнала одновременно тремя устройствами измерения амплитуды акустического сигнала, при этом шаг между стоянками соответствует увеличенной в три раза длине устройства для объективного измерения амплитуды акустического сигнала.

В частном случае реализации заявленного технического решения спуск или подъем по скважине устройства для объективного измерения амплитуды акустического сигнала на постоянной скорости осуществляют при скорости не выше 6 м/мин для устройства длиной 1 м, при этом дополнительно используют резиновые центраторы.

В частном случае реализации заявленного технического решения дополнительно устанавливают поверхностный датчик для контроля выноса твердых частиц.

Отличительной особенностью изобретения является распознавание ударов твердых частиц о корпус измерительного оборудования от других ударов (пузыри газа или воздуха, механические удары) во временной области, за счет чего удается отсеять ложные всплески, тем самым повышая достоверность определения наличия твердых частиц в скважине.

Второй особенностью изобретения является способность отличить удары твердых частиц, выносимых с флюидом из пласта, от ударов частиц, движущихся по стволу скважины, тем самым повышая достоверность определения зоны выноса твердых частиц в скважине, обеспечивая достижение поставленного технического результата.

Краткое описание чертежей

Детали, признаки, а также преимущества настоящего изобретения следуют из нижеследующего описания вариантов реализации заявленного технического решения с использованием чертежей, на которых показано:

- фиг. 1 - схематичное представление разворачивания измерительного устройства в скважине;
- фиг. 2 - блок-схема способа детектирования твердых частиц по изобретению;
- фиг. 3 - пропант фракции 30/60;
- фиг. 4 - осциллограмма сигнала от удара одной частицы пропанта фракции 30/60 о корпус измерительного устройства;
- фиг. 5 - пропант фракции 20/40;
- фиг. 6 - осциллограмма сигнала от удара одной частицы пропанта фракции 20/40 о корпус измерительного устройства;
- фиг. 7 - осциллограмма сигнала схлопнувшегося пузырька воздуха о корпус измерительного устройства;
- фиг. 8 - схема лабораторной установки;
- фиг. 9 - результат работы предлагаемого способа детектирования зон выноса твердых частиц на лабораторной установке;
- фиг. 10 - результат работы предлагаемого способа детектирования зон выноса твердых частиц на

лабораторной установке;

фиг. 11 - результат работы предлагаемого способа детектирования зон выноса твердых частиц в добывающей скважине на одном рабочем режиме;

фиг. 12 - результат работы предлагаемого способа детектирования зон выноса твердых частиц в добывающей скважине на двух рабочих режимах;

фиг. 13 - результат работы предлагаемого способа детектирования зон выноса твердых частиц в добывающей скважине на протяжке.

На фигурах обозначены следующие позиции: 1 - измерительное устройство; 2 - скважина; 3 - кабель; 4 - шкив; 5 - откидной механизм; 6 - измерительное устройство; 7 - труба; 8 - емкость с частицами; 9 - мотор; 10 - трубка подачи потока чистого флюида (жидкости или газа); 11 - диспенсер; 12 - отверстие в трубе; 13 - шумометрия; 14 - панель энергии; 15 - низкоэнергетические частицы; 16 - колонка количества твердых частиц; 17 - колонка температуры; 18 - широкополосный сигнал; 19 - широкополосный сигнал; 20 - широкополосный сигнал; 21 - широкополосный сигнал; 22 - широкополосный сигнал; 23 - широкополосный сигнал; 24 - широкополосный сигнал; 25 - широкополосный сигнал.

Раскрытие изобретения

Способ детектирования зон выноса твердых частиц в скважине осуществляется на основе распознавания ударов частиц о корпус измерительного оборудования от других ударов (пузыри газа или воздуха, механические удары) во временной области.

Предлагаемый новый способ детектирования зон выноса твердых частиц в скважине включает установку по меньшей мере одного рабочего режима скважины, характеризующегося наличием потока флюида с твердыми частицами (песок, пропант) как по стволу скважины, так и в одном или более пластах;

измерение амплитуды акустических сигналов от потока флюида по пласту;

детектирование всплесков амплитуды в регистрируемом акустическом сигнале;

сравнение на каждой глубине полученной в процессе измерений формы всплесков с эталонной распознавание только тех всплесков, которые соответствуют ударам твердых частиц; и

подсчет количества твердых частиц и обнаружение зоны с выносом твердых частиц в ствол скважины.

Увеличение количества режимов до более чем одного только повышает точность результатов.

Для дополнительного контроля выноса твердых частиц и оптимального выбора рабочего режима скважины дополнительно устанавливаются поверхностный датчик контроля выноса твердых частиц.

Отличительной особенностью изобретения является распознавание ударов твердых частиц о корпус измерительного оборудования от других ударов (пузыри газа или воздуха, механические удары) во временной области, за счет чего удается отсеять ложные всплески, тем самым повышая достоверность определения наличия твердых частиц в скважине. Распознавание ударов твердых частиц во временной области происходит за счет сравнения эталонных всплесков от ударов твердых частиц (песок, пропант) и всплесков, которые были обнаружены на данных, с использованием методов машинного обучения.

Сбор эталонных всплесков от ударов твердых частиц (песок, пропант) осуществляют заранее в лабораторных условиях.

Второй особенностью изобретения является способность отличить удары твердых частиц, выносимых с флюидом из пласта, от ударов частиц, движущихся по стволу скважины, тем самым повышая достоверность определения зоны выноса твердых частиц в скважине, обеспечивая достижение поставленного технического результата. Это достигается за счет оценки энергии распознанных ударов твердых частиц о корпус измерительного оборудования и сравнения ее с эталонными значениями. Энергия частиц, выносимых с флюидом из пласта, будет выше, чем энергия частиц, движущихся по стволу скважины.

Более детально способ детектирования зон выноса твердых частиц в скважине включает установление по меньшей мере одного рабочего режима, характеризующегося наличием потока флюида с твердыми частицами (песок, пропант) как по стволу скважины, так и в одном или более продуктивных пластах.

Измерения с помощью устройства для объективного измерения амплитуды акустических сигналов производятся во время спуска, остановки или подъема по скважине устройства.

На фиг. 1 изображено схематическое представление разворачивания измерительного устройства (1) в скважине (2). Положение устройства (1) внутри скважины (2) регулируется кабелем (3), который расположен над шкивом (4) и прикреплен к откидному механизму (5).

Измерения также могут производиться во время движения устройства на спуске или во время движения устройства на подъеме, при этом во время спуска или подъема возможно осуществить измерения во время стоянок устройства. Более предпочтительным являются измерения со стоянками, так как тем самым шумы от движения будут исключены естественным образом.

При измерении со стоянками стоянки могут иметь длительность от 10 с и больше. От длительности стоянки зависит минимальное детектируемое количество песка. Временной интервал в 10 с - минимальное время стоянки, обеспечиваемое существующим на текущий момент подъемным оборудованием. При этом количество твердых частиц, уверенно детектируемое данным устройством, составит от 1 частицы в 10 с (0.1 част./с).

Рекомендуемым расстоянием между стоянками является длина измерительного оборудования для возможности исследования всего интервала глубин, однако это расстояние может быть сделано и меньше, и больше в зависимости от общего времени исследования. Таким образом, измерительное оборудование регистрирует удары твердых частиц всем своим корпусом. Стоит отметить, что одновременно в исследовании могут принимать участие несколько устройств амплитуды акустического сигнала, тогда шаг между стоянками может быть увеличен пропорционально числу устройств (например, при использовании одновременно трех устройств шаг между стоянками должен быть увеличен до трех размеров измерительного оборудования).

При исследованиях на постоянной скорости (на протяжке) требуется соблюдать ограничение по скорости, например, не выше 6 м/мин. Скорость протяжки также влияет на минимальное регистрируемое количество твердых частиц. Допустимая скорость протяжки определяется длиной измерительного оборудования. Например, для устройства длиной 1 м скорость протяжки 6 м/мин эквивалентна 10-секундной стоянке для того, чтобы уверенно детектировать количество твердых частиц в потоке скважинного флюида от 0,1 част./с. При этом допускается использование резиновых центраторов для уменьшения акустического шума, возникающего при трении корпуса устройства о стенки скважины.

Исходные данные, зарегистрированные устройством для объективного измерения амплитуды акустического сигнала, должны быть обработаны во временной области для детектирования зоны выноса твердых частиц в скважине.

Блок-схема предлагаемого способа представлена на фиг. 2. Изначально исходные данные поступают на блок предобработки. Блок предобработки может включать в себя детектирование всплесков, или извлечение признаков, или все сразу: детектирование всплесков и извлечение признаков.

При соударении твердых частиц (песчинки, пропанта) о корпус измерительного устройства генерируется всплеск. На фиг. 4 и 6 представлены всплески от удара о корпус устройства одной частицы пропанта разной фракции 30/60 (фиг. 3) и 20/40 (фиг. 5) соответственно. Детектирование всплесков находит начальную и конечную точки всплеска в большом объеме акустических данных. Оно позволяет сегментировать и изолировать интересующие всплески. Детектирование может быть выполнено разными способами: на основе фрактального анализа, вейвлет-преобразования или спектрального анализа (акустическая энергия, выделенная полоса частот). Этот этап может быть пропущен, тогда на блок распознавания будут поданы все замеренные акустические данные.

Акустические характеристики всплесков могут быть извлечены и представлены в компактном виде посредством выделения признаков. В качестве признаков могут выступать характеристики, такие как мел-кепстральные коэффициенты, пары линейного спектра, кепстральные коэффициенты линейного предсказания, спектральный центроид и разброс, коэффициенты авторегрессионной модели, кратковременная энергия, формантные частоты, частота основного тона или частота пересечения нуля. При пропуске этого пункта на блок распознавания будут поданы исходные акустические данные. В блоке распознавания происходит процесс выполнения распознавания звука от удара песчинки, который проводится, например, с помощью машинного обучения. Этот блок является важной частью детектирования, так как он отделяет всплески удара твердых частиц (песчинок, пропанта) (фиг. 4 и 6) о корпус измерительного прибора от других всплесков (пузыри газа или воздуха, механические удары) (фиг. 7). Распознавание может происходить с помощью метода опорных векторов, метода ближайших соседей, искусственных нейронных сетей или скрытых марковских моделей.

После распознавания производится подсчет зарегистрированных твердых частиц, которые визуализируются в виде кривой, где по вертикали отложена глубина, по горизонтали - количество частиц в секунду. Если измерения в скважине производились на протяжке, то количество частиц считается для каждой секунды. Если измерения проводились на стоянках, то количество частиц считается для каждой стоянки.

Если замеры проходили на стоянках, то для точного детектирования зоны выноса частиц может быть построена панель энергий, которая визуализируется в виде цветной панели, где по вертикали отложена глубина, по горизонтали - время, а цветом отображена энергия частиц (от светлого - низкая энергия, до темного - высокая энергия). Для каждого задетектированного всплеска от удара твердой частицы рассчитывается энергия. Далее рассчитанные энергии усредняются в пределах 1 с.

Такую процедуру следует провести для каждого из режимов работы скважины.

Пример 1.

Детектирование зон выноса твердых частиц на лабораторной установке, имитирующей поток флюида с твердыми частицами.

Схема лабораторной установки представлена на фиг. 8. Она представляет собой трубу (7) диаметром 88,9 мм и длиной 6 м, в которую помещается измерительное устройство (6). Из емкости с частицами (8) с помощью мотора (9) в диспенсер (11) с определенной скоростью попадает необходимое количество частиц. Там частицы смешиваются с потоком жидкости или газа, поступающего из трубки подачи потока чистого флюида (10). Далее частицы с флюидом через 14 мм отверстие в трубе (12), имитирующее скважинную перфорацию, поступают внутрь трубы.

По стволу трубы двигался поток воды с расходом 25 л/мин, и из отверстия подавалась смесь воды и

твердых частиц (пропанта) фракции 20/40 с расходом 1 л/мин. Скорость выноса в среднем составляла 16 песчинок в секунду.

В качестве устройства для объективного измерения амплитуды акустического сигнала был использован скважинный шумомер. Согласно технологии на первом этапе были проведены измерения скважинным шумомером на стоянках. Далее, на втором этапе, были обработаны исходные акустические данные (фиг. 9).

На спектральной панели с замером шумометрии (13) видны низкочастотный шум от потока воды, двигающегося вдоль трубы, и пик шума напротив отверстия, откуда поступает вода с твердыми частицами. В результате панель энергии (14) показала, что самые частые и высокоэнергетические всплески от удара твердых частиц о корпус скважинного шумомера находились напротив отверстия с выносом. Частицы на панели вне отверстия (15) указывают на низкоэнергетические соударения частиц со скважинным шумомером, но в потоке внутри трубы. Колонка количества твердых частиц (16) указала на зону выноса частиц напротив отверстия с выносом.

Пример 2.

Детектирование зон выноса твердых частиц на лабораторной установке, имитирующей поток флюида без частиц (фиг. 10).

По стволу трубы двигался поток воды со скоростью 25 л/мин. А из отверстия подавалась струя чистой воды со скоростью 1 л/мин.

Согласно изложенному в примере 1 плану были проведены измерения скважинным шумомером на стоянках и обработаны исходные акустические данные. На спектральной панели с замером шумометрии (13) также видны низкочастотный шум от потока воды, двигающегося вдоль трубы, и пик шума напротив отверстия, откуда поступает чистая вода без частиц. Предложенный метод в данном эксперименте частиц не обнаружил. Колонка количества твердых частиц (16) на всех стоянках равна нулю, а панель энергии (14) - пустая.

Пример 3.

Детектирование зон выноса твердых частиц в добывающей скважине на одном рабочем режиме.

Данный пример относится к месторождению в Малайзии. Исследовалась добывающая многофазная скважина на одном рабочем режиме (объем добычи на поверхностные условия: газ - 131 390 м³/сут., нефть - 41 м³/сут., вода - 392 м³/сут). По поверхностным данным объем выноса песка составляла 44 песчинки в секунду.

Согласно технологии на первом этапе были проведены измерения одним скважинным шумомером на стоянках. Поэтому расстояние между стоянками было равным длине шумомера - 1 м. Далее, на втором этапе, были обработаны исходные акустические данные (фиг. 11). По замерам температуры (17) и по широкополосным сигналам (18, 19, 20) на спектральной панели с замером шумометрии (13) наблюдаются три основные зоны притока флюида в ствол скважины.

На основе предложенного способа была обнаружена зона с выносом твердых частиц в ствол скважины (средний широкополосный сигнал 19). На панели энергии твердых частиц (14) напротив этого интервала были зарегистрированы частые удары твердых частиц с высокой энергией. Их количество составило 27 част./с (колонка количества 16). Ниже зоны выноса на панели энергии (14) присутствуют низкоэнергетические удары частиц, которые связаны с осыпанием некоторой части выносимого песка на дно скважины и их соударением с корпусом оборудования.

Пример 4.

Детектирование зон выноса твердых частиц в добывающей скважине на двух рабочих режимах (фиг. 12).

Данный пример относится к месторождению в Индонезии. Исследовалась добывающая скважина на двух рабочих режимах. Объем добычи на забойные условия в первом режиме: газ - 0,727 млн фут³ в сут., вода - 170 баррель/сут., нефть - 7,2 баррель/сут. Объем добычи на забойные условия во втором режиме: газ - 0,857 млн фут³/сут., вода - 176,6 баррель/сут., нефть - 8,9 баррель/сут. По поверхностным данным скорость выноса песка на первом рабочем режиме составляла 20 песчинок в секунду, а на втором режиме - 80 песчинок в секунду.

На первом этапе были проведены измерения с помощью двух скважинных шумомеров на стоянках на каждом рабочем режиме скважины. Расстояние между стоянками составило 2 м, что ускорило проведение измерения скважины в 2 раза. На втором этапе для каждого режима акустические данные с двух шумомеров были объединены и обработаны. По замерам температуры (17) и по широкополосным сигналам (21, 22, 23) на спектральных панелях с замером шумометрии на обоих режимах (13) наблюдаются три основные зоны притока флюида в ствол скважины.

На основе предложенного способа была обнаружена зона с выносом твердых частиц в ствол скважины (нижний сигнал 23). На первом рабочем режиме скважины было зарегистрировано небольшое количество песка - 5 част./с (колонка количества 16). На втором же режиме на панели энергии твердых частиц (14) напротив зоны выноса были зарегистрированы почти ежесекундные удары твердых частиц с высокой энергией. Их количество составило 32 част./с (колонка количества 16). Выше зоны выноса были зарегистрированы частицы в потоке внутри ствола, но с низкой энергией и меньшим количеством.

Пример 5.

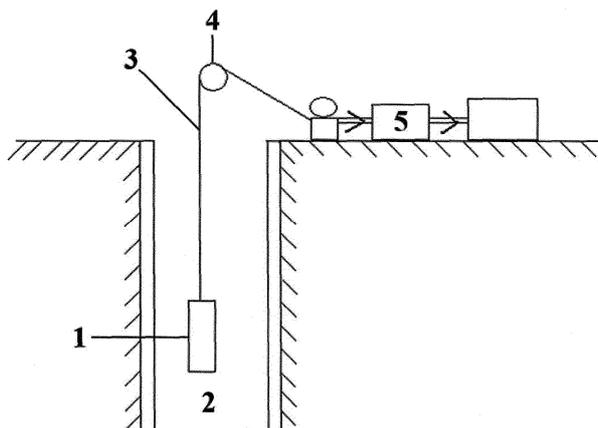
Детектирование зон выноса твердых частиц в добывающей скважине на протяжке.

Данный пример относится к месторождению в Индонезии. Исследовалась добывающая скважина на протяжке вниз и вверх со скоростью 2 м/мин с использованием резиновых центраторов и на стоянках одним скважинным шумомером. Объем добычи на поверхностные условия на данном рабочем режиме: газ - 2,881 млн фут³/сут., нефть - 52,4 баррель/сут., вода - 1566 баррель/сут. По поверхностным данным скорость выноса песка на данном рабочем режиме составляла 20 песчинок в секунду.

Сначала были проведены измерения на протяжке вниз и вверх, затем на стоянках с расстоянием по глубине 1 м. Далее, были обработаны исходные акустические данные (фиг. 13). По спектральным панелям с замером шумометрии (13) на всех проведенных измерениях было обнаружено семь рабочих интервалов, но только на двух из них происходил вынос песка, которые были обнаружены с помощью предложенного метода. Из верхнего интервала (24) в среднем выносило 12 част./с (колонка количества 16), из нижнего (широкополосный сигнал 25) - 7 част./с (16). Выше и ниже зон выноса были зарегистрированы частицы в потоке внутри ствола, но с низкой энергией (панель энергии 14) и меньшим количеством.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

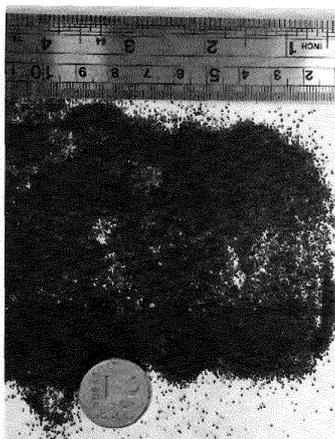
1. Способ детектирования зон выноса твердых частиц в скважине, включающий этапы, на которых:
 - устанавливают по меньшей мере один рабочий режим скважины, характеризующийся наличием потока флюида с твердыми частицами как по стволу скважины, так и в одном или более пластах;
 - спускают или поднимают по скважине на постоянной скорости или со стоянками по меньшей мере одно устройство для объективного измерения амплитуды акустического сигнала;
 - измеряют амплитуду акустического сигнала в скважине во время стоянки или во время спуска или подъема по скважине по меньшей мере одним устройством для объективного измерения амплитуды акустического сигнала;
 - обрабатывают данные измерений амплитуды акустического сигнала в скважине,
 - при этом детектируют всплески амплитуды в регистрируемом акустическом сигнале;
 - на каждой глубине сравнивают полученную в процессе измерений форму всплесков с эталонной и распознают только те всплески, которые соответствуют ударам твердых частиц,
 - причем при измерении амплитуды акустического сигнала на стоянках дополнительно оценивают энергию распознанных ударов твердых частиц о корпус измерительного оборудования и сравнивают ее с эталонными значениями;
 - подсчитывают количество твердых частиц; и
 - обнаруживают зону с выносом твердых частиц в ствол скважины.
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что при измерении в скважине во время спуска или подъема количество твердых частиц подсчитывают с периодичностью в одну секунду.
3. Способ по п.1, отличающийся тем, что при измерении в скважине на стоянках подсчитывают количество твердых частиц для каждой стоянки.
4. Способ по п.1, отличающийся тем, что продолжительность стоянки во время измерения составляет от 10 с и выше.
5. Способ по п.1, отличающийся тем, что расстояние между стоянками равно длине устройства для объективного измерения амплитуды акустического сигнала.
6. Способ по п.1, отличающийся тем, что измеряют амплитуду акустического сигнала одновременно тремя устройствами измерения амплитуды акустического сигнала, при этом шаг между стоянками соответствует увеличенной в три раза длине устройства для объективного измерения амплитуды акустического сигнала.
7. Способ по п.1, отличающийся тем, что спуск или подъем по скважине устройства для объективного измерения амплитуды акустического сигнала на постоянной скорости осуществляют при скорости не выше 6 м/мин для устройства длиной 1 м, при этом дополнительно используют резиновые центраторы.
8. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно устанавливают поверхностный датчик контроля выноса твердых частиц.



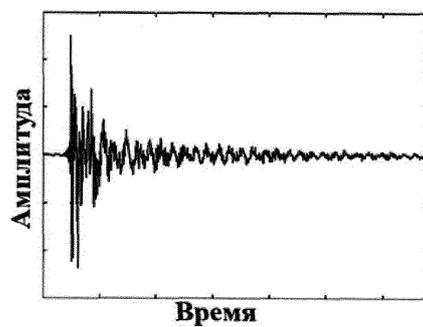
Фиг. 1



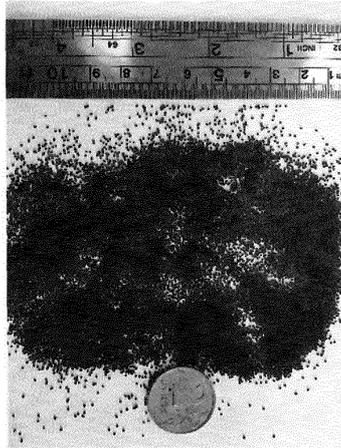
Фиг. 2



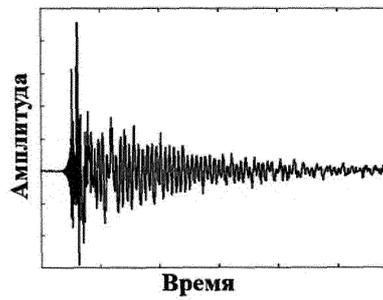
Фиг. 3



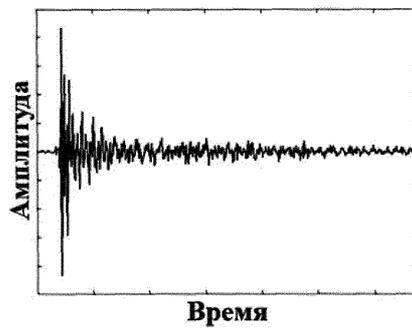
Фиг. 4



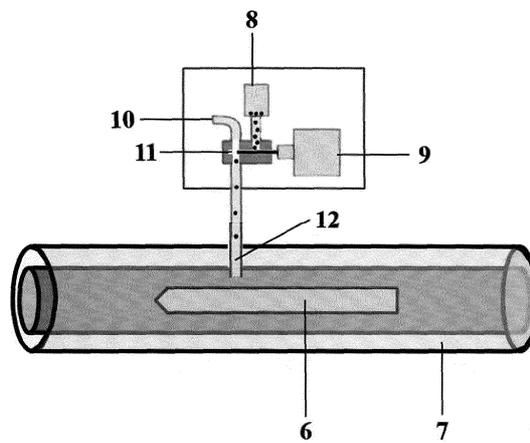
Фиг. 5



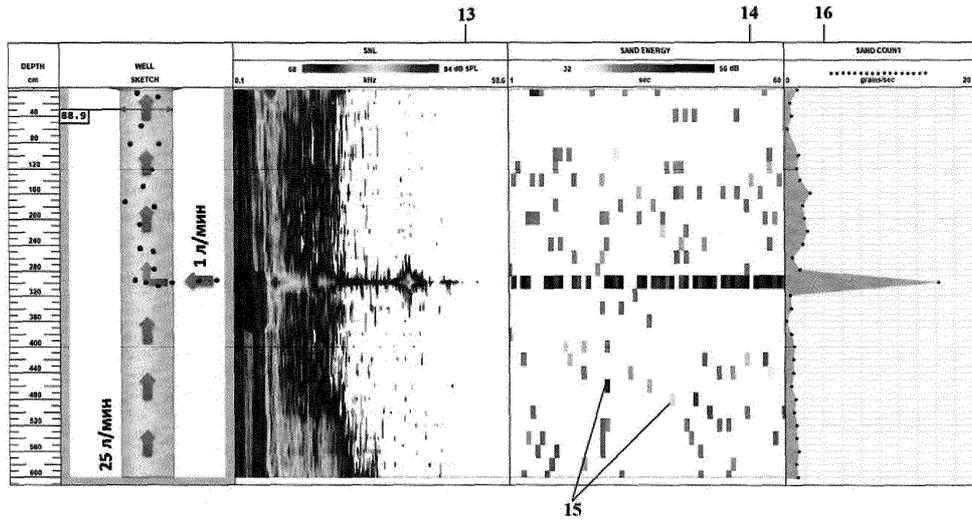
Фиг. 6



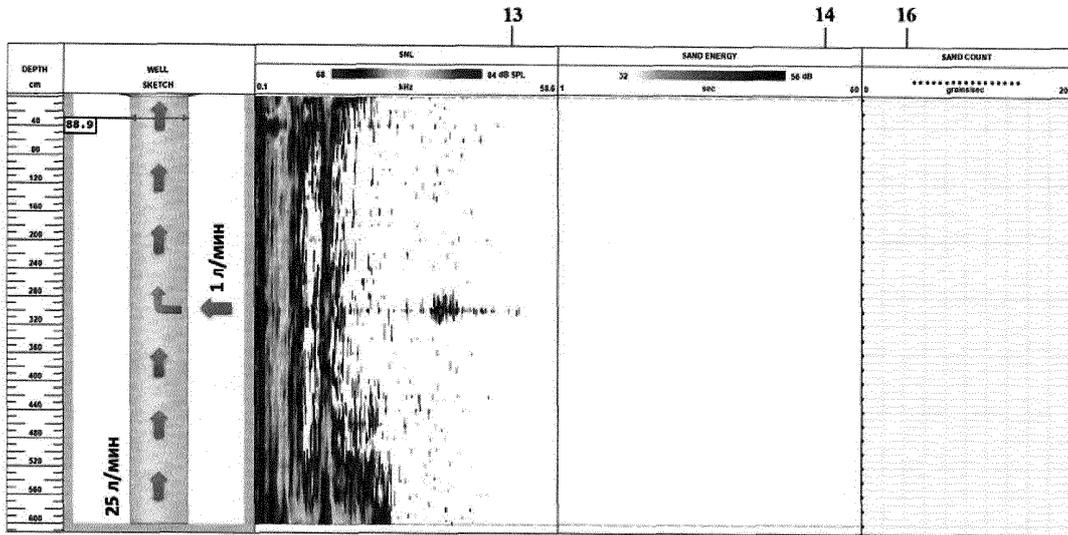
Фиг. 7



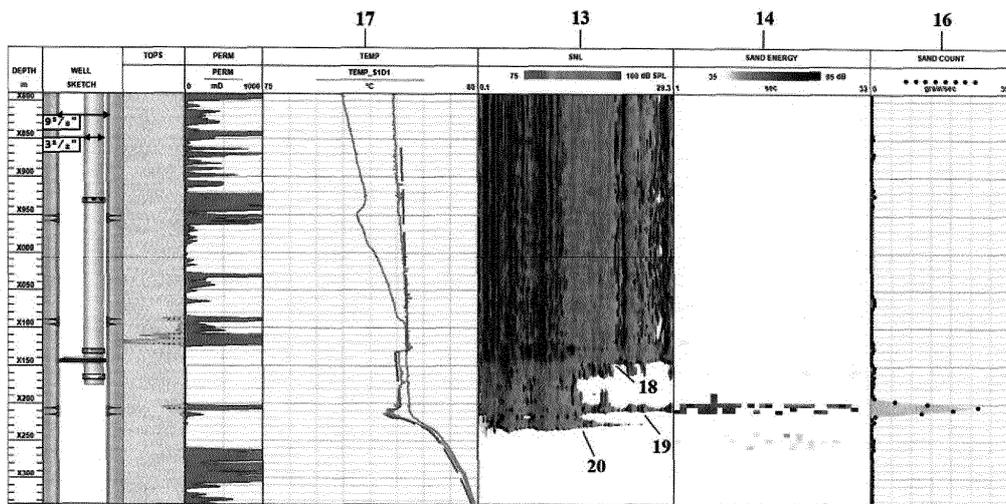
Фиг. 8



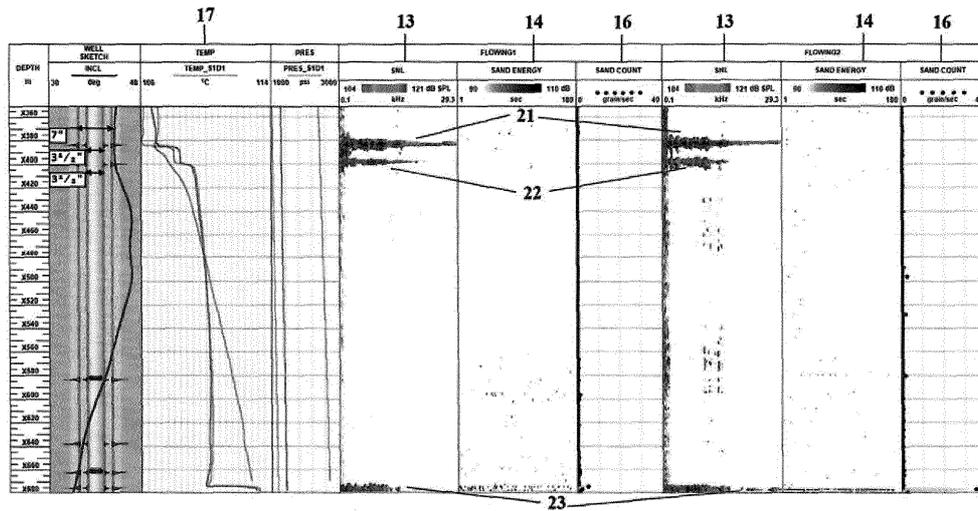
Фиг. 9



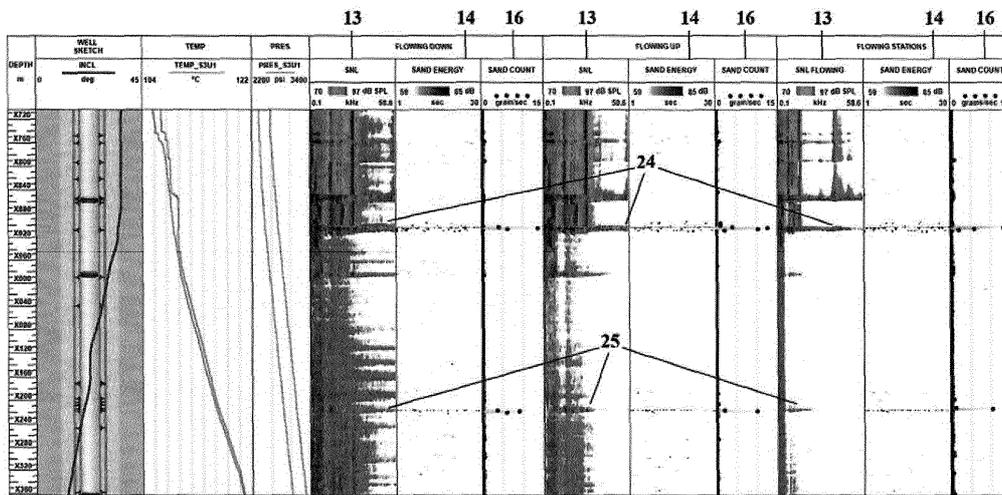
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13

