

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **034026**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.12.19

(21) Номер заявки
201590964

(22) Дата подачи заявки
2013.12.06

(51) Int. Cl. *E21B 47/024* (2006.01)
E21B 44/00 (2006.01)
E21B 47/022 (2012.01)
E21B 7/04 (2006.01)

(54) СБОРКА СКВАЖИННОГО ЗОНДА И ЕГО ЭЛЕМЕНТЫ

(31) 61/734,784; 61/817,527

(32) 2012.12.07; 2013.04.30

(33) US

(43) 2015.09.30

(86) PCT/CA2013/050942

(87) WO 2014/085935 2014.06.12

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ИВОЛЮШН ЕНДЖИНИРИНГ ИНК.
(CA)**

(72) Изобретатель:
**Свитцер Дэвид А., Логан Аарон В.,
Лиу Джили, Каземи Мохтаба (CA)**

(74) Представитель:
Клюкин В.А. (RU)

(56) GB-A-2156516
WO-A2-2012010898
US-A1-20100172210
US-A1-20090277629

(57) Варианты воплощения, описанные в данном документе, как правило, относятся к способу и устройству для обеспечения резервной системы датчиков направления и наклона (D&I), информация от которых должна быть собрана и передана в дополнение к информации от первичных датчиков D&I, применяемых в настоящее время в промышленности. Раскрывается узел скважинного зонда, содержащий первичные датчики, резервные датчики и контроллер. Основные датчики включают первичные акселерометры и первичные магнитометры, предназначенные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Резервные датчики включают резервные акселерометры, предназначенные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z, причем резервные акселерометры являются твердотельными акселерометрами. Контроллер имеет электрическую связь с первичными датчиками и резервными датчиками. Контроллер выполнен с возможностью приема и обработки информации от первичных датчиков и резервных датчиков, так что можно использовать информацию от резервных акселерометров, когда один или несколько первичных акселерометров выходят из строя, что позволяет продолжить бурение несмотря на такой отказ.

B1**034026****034026****B1**

Область изобретения

Настоящее изобретение в целом относится к резервным датчикам направления и наклона (D&I) и к их использованию в зонде для скважинного бурения, например, в инструментах для измерения во время бурения (MWD), и к способам эксплуатации таких резервных датчиков D&I.

Предпосылки создания изобретения

Добыча углеводородов из подземных зон зависит от эффективности процесса бурения скважин. В процессе используется буровое оборудование, расположенное на поверхности, и бурильная колонна, проходящая от поверхностного оборудования до представляющей интерес формации или подземной зоны. Бурильная колонна может проходить на тысячи футов или метров от поверхности земли. Бурильная колонна заканчивается буровым долотом, используемым для бурения (или расширения) ствола скважины. В дополнение к этому обычному буровому оборудованию система также включает использование определенного типа бурового раствора, в большинстве случаев так называемой буровой "грязи", которая прокачивается через внутреннюю часть бурильной колонны, охлаждает и смазывает буровое долото, а затем выходит из бурового долота, и буровой шлам выносится обратно на поверхность. Грязь также помогает контролировать забойное давление и предотвращать приток углеводородов из пласта в ствол скважины, что потенциально может вызвать удар по оборудованию на поверхности.

Направленное бурение является процессом смещения скважины в сторону от вертикали до пересечения конечной целевой точки или следования заданному пути. На конце бурильной колонны находится компоновка низа буровой колонны (БНА), которая включает (1) буровое долото; (2) управляемый забойный двигатель поворотной управляемой системы; (3) датчики геодезического оборудования (каротаж в процессе бурения (LWD) и/или измерения в процессе бурения (MWD)), чтобы оценить скважинные условия по мере проходки скважины; (4) оборудование для телеметрии данных на поверхности; (5) прочие механизмы управления, такие как стабилизаторы или утяжеленная бурильная труба. Компоновка низа буровой колонны (БНА) передается в ствол скважины с помощью металлической трубы.

В качестве примера потенциального бурения оборудование MWD используется для обеспечения скважинного датчика и передачи информации о состоянии бурения на поверхность в режиме, близком к реальному времени. Эта информация используется буровой бригадой для принятия решения о контроле и управлении скважиной, чтобы оптимизировать скорость бурения и траектории на основе многочисленных факторов, включая границы аренды, расположения существующих скважин, свойства пласта и объем углеводородов в этом месторождении. Это также может включать выполнение преднамеренных отклонений от первоначально-запланированной траектории ствола скважины по мере необходимости на основе информации, полученной от скважинных датчиков в процессе бурения. Возможность получения данных в режиме реального времени во время процесса MWD позволяет обеспечить сравнительно более экономичные и более эффективные буровые работы.

В обеих направленных и прямых (или вертикальных) скважинах положение скважины должно быть известно с достаточной степенью точности, чтобы гарантировать правильную траекторию скважины. При расширении ствола скважины оценки физических свойств, таких как давление, температура и траектория ствола скважины в трехмерном пространстве, являются очень важными. Измерения включают отклонение от вертикали и азимут (показания компаса). Как правило, измерения делаются в дискретных точках с общей траекторией ствола скважины, вычисленной по этим точкам. В процессе скважинных измерений (MWD) показания инструмента MWD следуют за ходом бурения скважины, и информация об ориентации бурового долота передается обратно бурильщику на поверхности. Измерительные приборы, как правило, включают ряд акселерометров, которые измеряют наклон инструмента (например, вертикальный наклон 0° и горизонтальный наклон 90°) и магнитометры, измеряющие магнитное поле Земли для определения азимута. Типичный блок датчиков направления и наклона (D&I) состоит из трех однокомпонентных акселерометров в каждой из трех ортогональных осей вместе с двумя двухстепенными магнитометрами с получением трех ортогональных осей и одной резервной оси, которая, как правило, не используется. Блок также включает ассоциированную схему сбора и обработки данных. Акселерометры и магнитометры расположены в трех взаимно перпендикулярных направлениях, и измеряют три взаимно ортогональных компоненты магнитного поля Земли и земной гравитации. Акселерометр состоит из кристалла кварца, взвешенного в электромагнитном поле; измерения наклона зависят от электромагнитной силы, необходимой для поддержания кристалла в равновесии. Акселерометры обеспечивают измерение отклонения от вертикали или наклон ствола скважины, а также обеспечивают измерение торца долота или ориентацию вращения инструмента. Магнитометры обеспечивают измерение направления или магнитного курса, а также его ориентацию, когда нижняя часть бурильной колонны (БНА) находится вблизи вертикали. Эти наборы измерений, взятые вместе, помогают бурильщику в управлении, а также при вычислении местоположения. В большинстве случаев, когда к бурильной колонне добавляется очередная трубная секция, выполняется каротаж, и информация передается на поверхность, декодируется оператором MWD и преобразуется в информацию, которая требуется бурильщику для расчетов. Положение компоновки БНА затем вычисляется в предположении определенной траектории между геодезическими точками. В большинстве скважинных операций часто бывает необходимо вставить или ввести измерители, датчики или приборы тестирования в скважину с целью получения информации о параметрах и усло-

виях скважины. Такие параметры могут включать, но не ограничиваются этим, температуры, давления, направления параметров и гамму излучения. Электрические комплектующие из различных датчиков и приборов, используемых для получения информации, устанавливаются на схемных платах, которые находятся внутри устройства. Схемные платы могут быть встроены или закреплены на одной стороне несущего устройства. Датчики обычно защищены от внешнего механического воздействия, поскольку они встроены в стенку и, следовательно, размещены полностью внутри устройства.

Известные инструменты MWD содержат, по существу, тот же блок датчиков D&I для исследования скважины, но данные могут быть отправлены обратно на поверхность с помощью различных способов телеметрии. Такие способы телеметрии включают, без ограничения, использование проводной буровой трубы, акустической телеметрии, волоконно-оптического кабеля, гидроимпульсной скважинной телеметрии (MP) и электромагнитной телеметрии (EM). В некоторых скважинных операциях бурения может использоваться больше одной системы телеметрии для обеспечения резервной системы, в случае если одна из систем телеметрии в стволе скважины дает сбой или не может функционировать по иным причинам. Датчики, используемые в инструментах MWD, как правило, находятся в электронном зонде или сборке инструментов, содержащихся в цилиндрической крышке или корпусе, расположенным недалеко от буровой коронки. Извлекаемый на поверхность корпус зонда подвергается суровым скважинным условиям, связанным с повышенной температурой и давлением, сильными ударами и вибрацией, а также жидкостным гармоникам, которые создаются при проходе зондом буровой жидкости. Следовательно, электроника и датчики инструмента MWD могут быть легко повреждены.

В большинстве современных технологий направленного бурения стандартные блоки датчиков D&I содержат индукционные магнитометры для измерения направления и гибкие кварцевые акселерометры для измерения наклона; при этом магнитометры и акселерометры выполняют измерения в каждой из трех ортогональных осей (X, Y и Z). В случаях выхода из строя какого-либо из датчиков инструмент должен быть извлечен для замены или ремонта вышедшего из строя датчика, поскольку все датчики должны быть в рабочем состоянии для продолжения бурения. Удаление инструмента включает подъем из скважины, замену датчиков или всего инструмента MWD и обратную вставку, что добавляет значительное время и увеличивает затраты труда оператора скважины. Датчики D&I и, в частности, стандартные промышленные акселерометры характеризуются высокой стоимостью компонентов инструмента MWD и могут выйти из строя в экстремальных условиях, которым они подвергаются.

Датчики MWD подвергаются ряду внутренних и внешних воздействий, которые могут вызвать ошибки, связанные с их использованием. Некоторые внутренние воздействия включают ошибки калибровки, потерю чувствительности поперек оси, температурный дрейф и выходной шум. Внешние воздействия включают отклонение нижней части буровой колонны (ВНА), геомагнитное влияние магнитной руды в породе, окружающей буровую колонну, генерирование помех, а также осевое смещение. Чтобы компенсировать некоторые из полученных эффектов, в систему датчиков вводятся различные калибровки смещения. Предполагается, что ошибки будут нормально распределены среди всех трех датчиков ортогональной триады, но это не всегда имеет место. Кроме того, при более высокой температуре показания датчиков могут отличаться от откалиброванных значений из-за температурного дрейфа, особенно если датчики также подвергаются ударам и вибрации. Датчики могут пройти циклы изменения температуры при удалении зонда из ствола скважины. Поэтому может иметь место потеря калибровки с течением времени их использования, что может привести к ошибочным измерениям.

Патент WO 2012/057055 описывает требования к постоянной калибровке магнитометров и акселерометров в скважинном блоке измерительных приборов для учета постоянной температуры дрейфа и устройств для такой калибровки датчиков. Патент WO 2012/142566 относится к способам калибровки измерений при каротаже с помощью каротажного прибора, в котором один из нескольких атрибутов изменяются в течение каротажа. Переменная функция калибровки может быть дискретной или непрерывной, линейной или нелинейной. В WO 2009/006077 описан способ калибровки, который способен выполнять на месте калибровку, анализ данных калибровки и регулировку по меньшей мере одного параметра на основе обнаруженных данных. Каждая из этих ссылок включена в данное описание.

Краткое описание изобретения

Согласно одной цели изобретения предлагается сборка скважинного зонда, содержащего первичные или основные датчики, резервные датчики и контроллер, имеющий электрическую связь с первичными датчиками и резервными датчиками. Основные датчики включают первичные акселерометры и первичные магнитометры, предназначенные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Резервные датчики включают резервные акселерометры, предназначенные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z, при этом резервные акселерометры являются твердотельными акселерометрами. Контроллер выполнен с возможностью приема и обработки информации от первичных датчиков и резервных датчиков, так что можно использовать информацию из резервных акселерометров, когда один или несколько из первичных акселерометров выходят из строя.

Резервные датчики могут дополнительно содержать резервные магнитометры, предназначенные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Контроллер может быть в электронной связи с резервными магнитометрами и настроен для получения и обработки информации от

резервных магнитометров, так что информация из резервных магнитометров может быть использована, когда один или несколько из первичных магнитометров выходят из строя. Контроллер может быть сконфигурирован для передачи сигнала на поверхность, чтобы предупредить оператора о том, что один или несколько из первичных датчиков вышли из строя, и что операция бурения продолжается на основе информации из резервных датчиков. Сборка скважинного зонда может содержать модуль скважинного зонда, имеющий продольный кожух, закрывающий корпус. Резервные датчики могут быть прикреплены к корпусу. Резервные датчики могут быть прикреплены к корпусу в каждой из ортогональных осей X, Y и Z. В качестве альтернативы один или несколько резервных датчиков могут быть прикреплены к корпусу в положении смещения относительно ортогональных осей X, Y и Z.

Модуль скважинного зонда может дополнительно содержать торцевую заглушку, расположенную на одном конце кожуха. Корпус может быть частью торцевой заглушки и может входить в часть кожуха. Торцевая заглушка может быть охватываемой торцевой заглушкой или охватывающей торцевой заглушкой, настроенной на соответствующее сопряжение со стыкуемой заглушкой смежного продольного модуля скважинного зонда. Сочленение охватываемой и охватывающей заглушек может физически и электрически соединять модуль скважинного зонда со смежным продольным модулем. Резервные датчики могут быть прикреплены к печатным платам, а схемные платы могут быть прикреплены к корпусу.

Резервные датчики могут быть встроены в резервный модуль датчика, и модуль резервного датчика может быть сконфигурирован для соединения со смежным продольным модулем скважинного зонда. Модуль резервного датчика может включать продольный кожух, закрывающий корпус. Резервные датчики могут быть прикреплены к корпусу. Резервные датчики могут быть прикреплены к корпусу в каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Альтернативно один или несколько резервных датчиков могут быть прикреплены к корпусу в положении смещения относительно ортогональных осей X, Y и Z. Модуль резервного датчика может дополнительно содержать торцевую заглушку, расположенную на одном конце продольного кожуха. Торцевая заглушка может быть охватываемой торцевой заглушкой или охватывающей торцевой заглушкой, настроенной на соответствующее сопряжение со стыкуемой заглушкой смежного продольного модуля скважинного зонда. Сочленение охватываемой и охватывающей заглушек может физически и электрически соединять модуль резервного датчика со смежным продольным модулем. Корпус может быть частью торцевой заглушки и может входить в часть корпуса. Резервные датчики могут быть прикреплены к печатным платам, и схемные платы могут быть прикреплены к корпусу.

Первичные датчики и резервные датчики могут быть встроены в модуль датчиков. В одном варианте воплощения модуль датчиков может иметь корпус, первичные датчики могут быть прикреплены к корпусу, и по меньшей мере один из резервных датчиков может быть прикреплен по меньшей мере к одному из первичных датчиков. Резервные датчики могут быть прикреплены к первичным датчикам в каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Альтернативно по меньшей мере один из резервных датчиков может быть прикреплен по меньшей мере к одному из первичных датчиков в положении смещения относительно ортогональных осей датчиков назад до X, Y и Z. Резервные датчики могут быть прикреплены к схемным платам, и схемные платы могут быть прикреплены к первичным датчикам. В другом варианте воплощения модуль датчиков может включать корпус, и первичные датчики и резервные датчики могут быть прикреплены к корпусу. Резервные датчики могут быть прикреплены к корпусу в каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Альтернативно один или несколько резервных датчиков могут быть прикреплены к корпусу в положении смещения относительно ортогональных осей X, Y и Z. Резервные датчики могут быть прикреплены к схемным платам, а схемные платы могут быть прикреплены к корпусу. По меньшей мере один из резервных датчиков может быть прикреплен к корпусу на задней стороне по меньшей мере одного из первичных датчиков таким образом, что по меньшей мере один из резервных датчиков и по меньшей мере один первичный датчик находятся в той же ортогональной оси.

В соответствии с другим вариантом воплощения настоящего изобретения предложена торцевая заглушка для использования в сборке скважинного зонда, который включает первичные акселерометры и первичные магнитометры, предназначенные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Торцевая заглушка содержит корпус, выполненный с возможностью установки внутри части продольного кожуха модуля скважинного зонда, и резервные датчики, выбранные из группы, состоящей из резервных акселерометров, резервных магнитометров и их комбинации. Резервные датчики прикреплены к корпусу и служат для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z.

Резервные датчики могут быть прикреплены к корпусу в каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Альтернативно один или несколько резервных датчиков могут быть прикреплены к корпусу в положении смещения относительно ортогональных осей X, Y и Z. Резервные акселерометры могут быть твердотельными акселерометрами. Торцевая заглушка может быть охватываемой торцевой заглушкой или охватывающей торцевой заглушкой, настроенной на соответствующее сопряжение со стыкуемой заглушкой смежного продольного модуля скважинного зонда. Сочленение охватываемой и охватывающей заглушек может физически и электрически соединять смежные продольные модули. Резервные датчики могут быть прикреплены к схемным платам, а схемные платы могут быть прикреплены к корпусу.

В соответствии с другим вариантом воплощения настоящего изобретения предложен модуль ре-

зервных датчиков для использования в сборке скважинного зонда, который включает первичные акселерометры и первичные магнитометры, предназначенные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Модуль резервных датчиков включает продольный кожух, закрывающий корпус, и резервные датчики, выбранные из группы, состоящей из резервных акселерометров, резервных магнитометров и их комбинации. Резервные датчики прикреплены к корпусу и служат для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z.

Резервные датчики могут быть прикреплены к корпусу в каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Альтернативно один или несколько резервных датчиков могут быть прикреплены к корпусу в положении смещения относительно ортогональных осей X, Y и Z. Резервные акселерометры могут быть твердотельными акселерометрами.

Модуль резервных датчиков может дополнительно содержать торцевую заглушку, расположенную на одном конце продольного кожуха. Торцевая заглушка может быть охватываемой торцевой заглушкой или охватывающей торцевой заглушкой, настроенной на соответствующее сопряжение со стыкуемой заглушкой смежного продольного модуля скважинного зонда. Сочленение охватываемой и охватывающей заглушек может физически и электрически соединять модуль резервных датчиков со смежным продольным модулем. Корпус может быть частью торцевой заглушки и входить в часть кожуха. Резервные датчики могут быть прикреплены к схемным платам, а схемные платы могут быть прикреплены к корпусу.

В соответствии с еще одним вариантом воплощения настоящего изобретения предложен модуль датчиков для скважинного зонда. Модуль датчиков содержит первичные датчики и резервные датчики. Первичные датчики включают первичные акселерометры и первичные магнитометры, предназначенные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Резервные датчики выбраны из группы, состоящей из резервных акселерометров, резервных магнитометров и их комбинации. Резервные датчики настроены на сбор информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Резервные акселерометры могут быть твердотельными акселерометрами.

Модуль датчиков может дополнительно включать корпус. В одном варианте воплощения первичные датчики могут быть прикреплены к корпусу, и по меньшей мере один из резервных датчиков может быть прикреплен по меньшей мере к одному из первичных датчиков. Резервные датчики могут быть прикреплены к первичным датчикам в каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Альтернативно по меньшей мере один из резервных датчиков может быть прикреплен по меньшей мере к одному из первичных датчиков в положении смещения относительно ортогональных осей резервных датчиков X, Y и Z. Резервные датчики могут быть прикреплены к схемным платам, и схемные платы могут быть присоединены к первичным датчикам. В другом варианте воплощения первичные датчики и резервные датчики могут быть прикреплены к корпусу. Резервные датчики могут быть прикреплены к корпусу в каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Альтернативно один или несколько резервных датчиков могут быть прикреплены к корпусу в положении смещения относительно ортогональных осей X, Y и Z. Резервные датчики могут быть прикреплены к схемным платам, а схемные платы могут быть прикреплены к корпусу. По меньшей мере один из резервных датчиков может быть прикреплен к корпусу на задней стороне по меньшей мере одного из первичных датчиков таким образом, что по меньшей мере один из резервных датчиков и по меньшей мере один первичный датчик находятся в той же ортогональной оси.

В соответствии с другим вариантом воплощения настоящего изобретения предложен корпус для модуля скважинного зонда для использования в сборке скважинного зонда, который включает первичные акселерометры и первичные магнитометры, предназначенные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Корпус включает резервные датчики, прикрепленные к корпусу и предназначенные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z. Резервные датчики выбраны из группы, состоящей из резервных акселерометров, резервных магнитометров и их комбинации.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 - схематическое изображение буровой колонны в нефтяной и газовой скважинах, включающей скважинный зонд, в соответствии с вариантами воплощения настоящего изобретения.

Фиг. 2 - схематический вид в продольном разрезе инструмента MWD в соответствии с вариантами воплощения настоящего изобретения.

Фиг. 3 - блок-схема компонентов электронного блока и взаимодействия электронного блока с другими компонентами инструмента MWD.

Фиг. 4 - перспективный вид электронного блока.

Фиг. 5 - перспективный вид электронного блока с представлением его внутренних частей.

Фиг. 6 - перспективный вид охватываемой торцевой заглушки, включающей резервные датчики D&I, в соответствии с одним вариантом воплощения настоящего изобретения.

Фиг. 7 - перспективный вид сзади модуля датчиков D&I в соответствии с другим вариантом воплощения настоящего изобретения.

Фиг. 8 - перспективный вид сзади модуля датчиков D&I, показанного на фиг. 7 и связанного с модулем датчиков D&I.

Фиг. 9 - блок-схема взаимодействия резервных датчиков D&I и первичных датчиков D&I с центральным процессором (контроллером) электронного блока.

Фиг. 10 - блок-схема последовательности операций способа работы резервных датчиков D&I и первичных датчиков D&I.

Фиг. 11 - перспективный вид модифицированного модуля датчиков D&I, включающих резервные датчики D&I, в соответствии с другим вариантом воплощения настоящего изобретения.

Фиг. 12А - частичный перспективный вид первичных акселерометров модуля датчиков D&I.

Фиг. 12В - частичный перспективный вид резервных акселерометров, прикрепленных к модулю первичных акселерометров датчиков D&I, показанных на фиг. 12А.

Фиг. 13А - частичный перспективный вид первичных магнитометров модуля датчиков D&I.

Фиг. 13В - частичный перспективный вид резервных магнитометров, прикрепленных к первичным магнитометрам модуля датчиков D&I фиг. 13А.

Фиг. 14А и 14В - перспективный вид полностью собранного и перспективный вид частично разобранного резервного акселерометра, соответственно, прикрепленного к основному акселерометру модифицированного модуля датчиков D&I фиг. 11.

Фиг. 15А и 15В - перспективный вид полностью собранного и перспективный вид частично разобранного резервного магнитометра, соответственно, прикрепленного к основному магнитометру модифицированного модуля датчиков D&I фиг. 11.

Фиг. 16 - частичный перспективный вид модифицированного модуля датчиков D&I, включающего резервные датчики D&I, в соответствии с другим вариантом воплощения настоящего изобретения.

Подробное описание изобретения

Описанные здесь варианты воплощения изобретения, как правило, относятся к способу и устройству для обеспечения системы резервных датчиков направления и наклона (D&I), информация от которых должна быть собрана и передана в дополнение к информации от первичных датчиков D&I, применяемых в промышленных масштабах в настоящее время. Хотя раскрытые варианты воплощения направлены на их применение в измерительных инструментах, используемых в процессе бурения (MWD), резервная система также может быть использована в любом скважинном зонде или инструменте, который содержит приборы, датчики и другие электрические схемы, подверженные риску выхода из строя.

Обзор аппаратуры.

На чертежах, в частности на фиг. 1, представлено схематическое изображение скважинного зонда 7, используемого в скважинном буровом оборудовании в соответствии с вариантами воплощения настоящего изобретения. Скважинное буровое оборудование включает буровую вышку 1 с буровой площадкой 2 и буровой лебедкой 3, которая облегчает вращение бурильной трубы 6 в земле 5. Бурильная труба 6 заключена в кожух 9, который закреплен на месте с помощью цемента 10. Буровой раствор 11, закачиваемый вниз в бурильную трубу 6 с помощью насоса 13, проходит через скважинный зонд 7 до бурового долота 8 в конце бурильной колонны. Затрубный буровой раствор 12 выкачивают обратно на поверхность, и он проходит через противовыбросовый превентор (BOP) 4, расположенный над поверхностью земли. Сборка 7 скважинного зонда может быть инструментом MWD, как показано на фиг. 2, однако в альтернативных вариантах сборка 7 скважинного зонда может быть любым скважинным зондом, в котором используются датчики.

На фиг. 2 представлено схематическое изображение инструмента MWD 20 в соответствии с вариантами воплощения изобретения. В показанном варианте воплощения инструмент MWD 20 используется для гидроимпульсной телеметрии, при которой генерируется импульс давления жидкости, однако альтернативные инструменты MWD могут включать, например, резервные системы датчиков по настоящему изобретению, не ограничиваясь только инструментом MWD электромагнитной телеметрии.

Инструмент MWD 20 расположен внутри утяжеленной бурильной трубы 21 бурильной колонны и, как правило, имеет кожух 24, окружающий модуль датчиков D&I 100 или модуль модифицированных датчиков D&I 100a или 100b, смещенных в продольном направлении и в электронной связи с блоком батареи 110 и блоком 26 импульсных датчиков. Блок 26 импульсных датчиков приводит в действие генератор гидравлических импульсов 30, содержащий клапан 23 гидравлических импульсов для создания гидравлических импульсов давления жидкости, которые передаются на поверхность и декодируются. Блок 26 импульсных датчиков содержит блок электроники 28 в электронной связи с узлом двигателя 25.

Блок электроники.

Обратимся теперь к фиг. 4 и 5, на которых блок электроники 28 заключен в кожух 103, окружающий основную схемную плату 104, закрепленную на несущем устройстве (не показано). Охватывающая торцевая заглушка 121 установлена на одном конце кожуха 103, и охватываемая торцевая заглушка 120 установлена на другом конце кожуха 103. Охватывающая торцевая заглушка 121 электронного блока 28 состыковывается с охватываемой торцевой заглушкой 120, примыкающей к модулю инструментов MWD 20 (например, к узлу двигателя 25), тогда как охватываемая торцевая заглушка 120 электронного блока 28 состыковывается с охватывающей торцевой заглушкой 121 смежного модуля инструментов MWD 20 (например, блоком батареи 110). Заглушки 120, 121 обеспечивают физическое и электронное соединение блока электроники 28 со смежными модулями инструментов MWD 20. Часть заглушек 120, 121 разме-

щена в кожухе 103 и закрепляет несущее устройство внутри кожуха 103. Следовательно, заглушки 120, 121 могут полезно добавить опорный элемент, чтобы свести к минимуму радиальное и осевое перемещение устройства, несущего размещенные на нем основную схемную плату 104 и другие электрические компоненты.

Осевые и радиальные перемещения несущего устройства могут привести к повреждению основной схемной платы 104 и других компонентов, поэтому торцевые заглушки 120, 121 могут успешно ограничить число повреждений, вызванных вибрацией и другими скважинными условиями. В варианте, показанном на фиг. 5, охватываемая торцевая заглушка 120 включает резервные акселерометры 125 и, возможно, резервные магнитометры (не показаны), как будет описано ниже более подробно. В альтернативном варианте воплощения (не показан) охватывающая торцевая заглушка 121 может включать резервные датчики, и в еще одном альтернативном варианте воплощения заглушки 120, 121 могут быть только опорными конструкциями и не содержать никаких резервных датчиков D&I.

Основная схемная плата 104 включает печатную плату с электронными компонентами, впаянными на поверхности печатной платы. Как показано на фиг. 3, основная схемная плата 104 содержит кодер данных 105, центральный процессор (контроллер) 106 и память 108, в которой хранится код программы, выполняемой контроллером 106, используя питание от батареи в блоке 110. Основная схемная плата 104 принимает информацию о направлении и наклоне буровой колонны от первичных датчиков D&I 105 и от резервных датчиков D&I 130, а также измерения условий бурения от модуля датчиков 102. Более конкретно основные датчики D&I 105, резервные датчики D&I 130 и датчики 102 условий бурения каждый электрически связан с основной схемной платой 104 и передает данные измерений на контроллер 106. Кодер 105 кодирует полученную телеметрическую информацию с помощью контроллера 106. Контроллер 106 затем посылает управляющие сигналы в узел двигателя 25 для генерации импульсов, соответствующих данным телеметрии давления, с помощью генератора импульсов 30. В альтернативных вариантах воплощения контроллер 106 может посылать управляющие сигналы для передачи альтернативных телеметрических данных, таких как телеметрические данные EM.

Модуль датчиков D&I.

Обратимся теперь к фиг. 9, на которой модуль датчиков D&I 100 включает основной датчик D&I 105, содержащий первичные акселерометры 140 для измерения наклона и первичные магнитометры 145 для измерения азимута, а также связанную с ними схему сбора и обработки данных. Для обоих первичных акселерометров 140 и первичных магнитометров 145 считываются показания, которые относятся к каждой из трех ортогональных осей X, Y и Z. Первичные акселерометры 140 и первичные магнитометры 145 обычно расположены в модуле датчика 100 как можно ближе к действительным ортогональным осям X, Y и Z, однако один или несколько первичных акселерометров и магнитометров 140 145 могут быть расположены со смещением от действительных ортогональных осей либо намеренно, либо в результате машинного допуска. Позиционное смещение обычно является небольшим, например смещение на 1 или 2° от действительной ортогональной оси, однако смещение может быть больше этой величины. Показания, полученные от первичных акселерометров и магнитометров 140 145, передаются на контроллер 106, который использует калибровочные таблицы, чтобы учесть, например, смещение положения или температурный дрейф и т.д. и обеспечить показания относительно X, Y и Z. Показания относительно X, Y и Z указывают направление и наклон зонда, и эта информация отправляется на поверхность в данных телеметрии. Основные акселерометры и магнитометры 140, 145 являются датчиками, изготовленными по промышленным стандартам, обладают высокой точностью и, как правило, являются дорогими приборами.

Модуль датчиков условий бурения.

Модуль датчиков 102 условий бурения включает датчики, установленные на схемной плате или связанные со схемной платой для приема измерений различных скважинных параметров и условий, таких как температура, давление, параметры направления и гамма-излучения. Такие скважинные модули датчиков 102 известны в данной области техники и поэтому подробно здесь не описываются. Один или несколько модулей датчиков 102 условий бурения могут быть рассредоточены по всей забойной компоновке зонда 7 по мере необходимости в зависимости от типа датчиков и выбора изготовителя.

Торцевые заглушки, включающие резервные датчики D&I.

Обратимся теперь к фиг. 6, где показана охватываемая торцевая заглушка 120, включающая резервные датчики D&I 130 в соответствии с одним вариантом воплощения изобретения. Охватываемая торцевая заглушка 120 содержит цилиндрический корпус, имеющий первую секцию 122 и вторую секцию 123. Первая секция 122 находится внутри части кожуха скважинного модуля, такого как кожух 103 блока электроники 28, как описано выше со ссылкой на фиг. 4 и 5, или кожух 109 модуля 180 резервных датчиков, как описано ниже со ссылкой на фиг. 7 и 8. Вторая секция 123 входит в охватывающую торцевую заглушку 121, таким образом, физически и электрически соединяя два смежных модуля, в которых установлены заглушки 120, 121. Кольцевой выступ 124 обеспечивает поверхность, в которую упирается одна сторона кожуха 109 или 103 и в которую упирается охватывающая торцевая заглушка 121 своей другой стороной.

В альтернативных вариантах резервные датчики D&I 130 могут быть присоединены с охватываю-

щей торцевой заглушкой 121 вместо охватываемой торцевой заглушки 120. Охватываемая или охватывающая торцевые заглушки 120, 121, включающие резервные датчики D&I 130 могут быть установлены на конце любого модуля скважинного зонда 7, например в блоке электроники 28, как показано на фиг. 5, или в модуле датчиков D&I 100. Охватываемая или охватывающая торцевые заглушки 120, 121, включающие резервные датчики D&I 130, также могут образовывать часть автономных резервных датчиков D&I модуля 180, как описано ниже со ссылкой на фиг. 7 и 8.

Резервные датчики D&I 130 в варианте, показанном на фиг. 6, включают три резервных акселерометра 125a,b,c и три резервных магнитометра 135a,b,c, прикрепленных к корпусу первой секции 122 торцевой заглушки 120, с каждым из трех резервных акселерометров 125a,b,c и трех резервных магнитометров 135a,b,c для снятия показаний, которые относятся к одной из трех ортогональных осей (X, Y и Z), соответствующих первичным акселерометрам 140 и первичным магнитометрам 145 модуля датчиков D&I 100. Один из резервных акселерометров 125c и один из резервных магнитометров 135c закреплены рядом друг с другом на круглой монтажной плате 126, расположенной на одном конце цилиндрического корпуса первой секции 122. Два других резервных акселерометра 125a,b и резервных магнитометра 135a,b крепятся к прямоугольной монтажной плате 127, которая вложена в углубление прямоугольной формы в корпусе первой секции 122. Монтажные платы 126, 127 прикреплены к корпусу первой секции 122 винтами 128. Монтажные платы 126, 127 могут перемещать резервные акселерометры и магнитометры 125, 135, а также использоваться в качестве схемных плат для резервных акселерометров и магнитометров 125, 135. В альтернативных вариантах резервные акселерометры и магнитометры 125, 135 могут быть прикреплены к корпусу первой секции 122 любым другим способом. В других альтернативных вариантах резервные магнитометры 135 могут быть расположены на удалении от резервных акселерометров 125, например внутри корпуса первой секции 122. Резервные магнитометры 135 могут быть расположены таким образом, чтобы ограничить электромагнитные помехи, с которыми они сталкиваются. В еще одном альтернативном варианте резервные акселерометры 125 могут быть предоставлены без резервных магнитометров 135 или наоборот. В других альтернативных вариантах резервные датчики 130 могут быть прикреплены к корпусу, который расположен в любом месте внутри модуля скважинного зонда 7, и корпус не должен быть соединен с торцевой заглушкой 120, 121. Инновационные аспекты изобретения в равной степени применимы ко всем упомянутым здесь вариантам. Торцевая заглушка 120 может быть также оснащена микроконтроллером, схемой формирования сигнала, несколькими каналами для одновременного отбора проб, аналого-цифровым преобразователем, последовательным интерфейсом связи и другими функциями (не показаны) для стандартных схем и способов обработки сигналов. Аналого-цифровой преобразователь может иметь регулируемую частоту дискретизации данных, программируемый коэффициент усиления усилителя и цифровой фильтр.

Торцевые заглушки 120, 121 обеспечивают структурную опору, а также кожух для датчиков D&I 130. Торцевая заглушка 120 также может сохранять пространство для физически и электрически взаимосвязанных модулей в инструменте MWD 20 и, следовательно, может благоприятно уменьшить длину инструмента MWD 20 по сравнению с обычными инструментами для измерения во время бурения (MWD).

Модуль резервных датчиков D&I.

Обратимся теперь к фиг. 7 и 8, на которых показан модуль резервных датчиков D&I 180 в соответствии с другим вариантом воплощения изобретения. Модуль резервных датчиков D&I 180 датчика включает кожух 109 с охватываемой торцевой заглушкой 120, установленной на одном конце, и охватывающей торцевой заглушкой 121, установленной на другом конце кожуха. Резервные датчики D&I 130 могут быть встроены в охватываемую торцевую заглушку 120, как показано на фиг. 6, или в охватывающую торцевую заглушку 121 (не показано). Модуль резервных датчиков D&I 180 может быть соединен с продольными смежными модулями в инструменте MWD 20, например, в варианте, показанном на фиг. 8, модуль 180 резервных датчиков D&I соединен с модулем датчиков D&I 100. Более точно, охватываемая торцевая заглушка 120 модуля резервных датчиков D&I 180 состыкована с охватывающей торцевой заглушкой 121 модуля датчиков D&I 100 для физического и электрического соединения этих двух модулей 180, 100. Поскольку модуль резервных датчиков D&I 180 расположен рядом с модулем датчиков D&I 100, данные, полученные от резервных датчиков D&I 130 и от первичных датчиков D&I 105, переходят в положение инструмента MWD 20.

В альтернативных вариантах модуль резервных датчиков D&I 180 может иметь различную конфигурацию и необязательно должен иметь структуру торцевой заглушки 120, 121. Резервный датчик 130 может быть прикреплен к корпусу, который расположен в модуле резервных датчиков. Инновационные аспекты изобретения в равной степени применимы к этим вариантам воплощения.

Модифицированный модуль датчиков D&I, включающий резервные датчики D&I.

Обратимся теперь к фиг. 11-16, на которых показан модифицированный модуль датчиков D&I 100a, 100b, включающий резервные датчики D&I 130 в соответствии с другими вариантами воплощения изобретения. В показанных вариантах резервные датчики D&I 130 содержат резервные акселерометры 125 и резервные магнитометры 135, однако в альтернативных вариантах могут быть предоставлены только резервные акселерометры 125 без резервных магнитометров 135 или наоборот.

В варианте воплощения, показанном на фиг. 11-15, резервные акселерометры 125 и резервные магнитометры 135, соответственно, закреплены непосредственно на первичных акселерометрах 140 и первичных магнитометрах 145 модуля датчиков D&I 100 для создания модифицированного модуля датчиков D&I 100a. Более конкретно, два резервных акселерометра 125a и 125b, соответственно, прикреплены к двум основным акселерометрам 140a и 140b, которые расположены внутри модифицированного модуля датчиков D&I 100a. Третий резервный акселерометр (не показан) прикреплен к третьему первичному акселерометру (не показан), расположенному внутри модифицированного модуля датчиков D&I 100a. Как показано на фиг. 14A и 14B, резервный акселерометр 125 прикреплен к схемной плате 141, и плата 141 расположена на корпусе первичного акселерометра 140. Схемная плата 141 может обеспечить обработку сигнала с первичного акселерометра 140 и переместить резервный акселерометр 125, и также служит в качестве монтажной платы для резервного акселерометра 125. Два резервных магнитометра 135a и 135b, соответственно, прикреплены к двум основным магнитометрам 145a и 145b. Первичные магнитометры 145a,b являются стандартными магнитометрами с двумя измерительными осями с получением указанных трех ортогональных осей, одна из которых является резервной осью, которая, как правило, не используется. Третий резервный магнитометр (не показан) может быть закреплен в модифицированном модуле датчиков D&I 100a. Кроме того, резервные магнитометры 135a,b могут иметь одинаковые двойные оси, действующие в качестве осей основных магнитометров 145a,b. Как показано на фиг. 15A и 15B, резервный магнитометр 135 прикреплен к схемной плате 142 и плата 142 установлена на четырех опорных стойках 143 первичного магнитометра 145. Схемная плата 142 может обеспечить обработку сигнала с первичного магнитометра 145 и привод резервного магнитометра 135, и также функционировать в качестве монтажной платы для резервного магнитометра 135. В альтернативных вариантах, резервные акселерометры и магнитометры 125, 135 могут быть прикреплены к первичным акселерометрам и магнитометрам 140, 145 некоторыми другими средствами, а не с помощью схемных плат 141, 142, что очевидно для специалиста в данной области техники.

В модифицированном модуле датчиков D&I 100b, показанном на фиг. 16, резервные датчики D&I 130 встроены в модуль датчиков D&I 100b, однако резервные акселерометры 125 и резервные магнитометры 135 не крепятся непосредственно к первичным акселерометрам 140 и первичным магнитометрам 145, но вместо этого, размещены внутри корпуса модуля. В варианте, показанном на фиг. 16, резервный акселерометр 125 и резервный магнитометр 135 закреплены рядом на схемной плате 144, и схемная плата 144 вставлена в вырез в корпусе модуля на задней стороне, на которой расположен один из основных акселерометров 140. Дополнительные резервные акселерометры и магнитометры 125, 135, прикрепленные к дополнительным схемным платам 144, могут быть расположены на задней стороне других первичных акселерометров 140, либо на задней стороне первичных магнитометров 145. Схемная плата 144 может управлять резервными акселерометрами и магнитометрами 125, 135, и также функционировать в качестве монтажной платы для резервных акселерометров и магнитометров 125, 135.

В альтернативном варианте воплощения резервный акселерометр 125 и резервный магнитометр 135 не обязательно должны быть установлены на одной той же схемной плате 144, но могут быть закреплены на отдельных схемных платах с резервными акселерометрами 125, расположенными на задней стороне первичных акселерометров 140 и с резервными магнитометрами 135, расположенными на задней стороне первичных магнитометров 145. В дополнительном альтернативном варианте воплощения резервные акселерометры 125 и/или резервные магнитометры 135 могут быть расположены в любом месте внутри модуля датчиков D&I и не должны быть на задней стороне основных акселерометров и/или магнитометров 140, 145. Резервные магнитометры 135 могут быть расположены с расчетом подавления электромагнитных помех, с которыми они сталкиваются.

Работа резервных датчиков D&I.

Резервные акселерометры 125, как правило, являются более дешевыми датчиками, чем первичные акселерометры 140; резервные акселерометры 125, как правило, являются менее точными приборами, но более надежными и менее подвержены сбоям, чем первичные акселерометры 140, используемые в модуле датчиков D&I 100. Такие резервные акселерометры 125 могут быть твердотельными датчиками, например, акселерометрами Colibrus MS8000™ или MS9000™ MEMS. Резервные магнитометры 135 могут быть магнитометрами того же типа, что и основные магнитометры 145, или они могут быть более дешевыми магнитометрами, как правило, менее точными, но более надежными и менее подверженными сбоям, чем первичные магнитометры 145, используемые в модуле датчиков D&I 100. Примерные магнитометры, которые могут быть использованы в качестве резервные магнитометры 135, включают, без ограничения, миниатюрные трехосные индукционные датчики FLC 3-70 фирмы Stefan Mayer Instruments в Германии, твердотельными магнитометрами, протонными магнитометрами, калиевыми магнитометрами или другими магнитометры, известные в данной области техники. Резервные датчики D&I 130 могут быть расположены как можно ближе к действительным ортогональным осям X, Y и Z, однако один или несколько резервных акселерометров 125 или резервных магнитометров 135 могут быть расположены со смещением от действительных ортогональных осей, как подробно описано ниже.

Перед вводом зонда 7 в скважину, могут быть проведены калибровочные испытания, чтобы определить влияние различных физических факторов окружающей среды, например, смещения положения ре-

зервных датчиков D&I 130 и температурного дрейфа, на показания датчиков. Контроллером 106 могут быть использованы одна или несколько таблиц калибровки, составленных по результатам калибровочных испытаний для обработки показаний, взятые из резервных датчиков D&I 130, когда сборка зонда 7 расположена в скважине для определения действительной направленности зонда в скважине во время скважинных операций.

Например, один или несколько резервных датчиков D&I 130 могут быть расположены со смещением от действительных ортогональных осей X, Y и Z в модифицированном модуле датчиков D&I 100a, 100b, в резервном модуле датчиков D&I 180, в структуре торцевой заглушки 120, 121 или другой структуре, которая включает резервные датчики D&I 130. Во время калибровочных испытаний модуль датчиков D&I 100a, 100b, 180 или структура торцевой заглушки 120, 121 расположена в действительных ортогональных осях X, Y и Z на калибровочном стенде, что известно в данной области техники. Показания напряжения от каждого из резервных датчиков D&I 130 берутся для каждой ортогональной оси. Эти показания напряжения можно сравнить с установкой выходного напряжения, предоставленной производителем датчика, чтобы определить, есть ли разница между показаниями полученного напряжения и выходного напряжения, установленного производителем для этого датчика. Эта разница (если она есть) напряжения смещения (электрическое смещение), соответствует физическому смещению данного, резервного датчика D&I 130 от ортогональной оси. Когда сборка скважинного зонда 7 находится в скважине, контроллер 106 может быть запрограммирован на коэффициент напряжения смещения для чтения выходного напряжения, получаемого от резервных датчиков D&I 130 для вычисления кажущихся показаний напряжения, относящиеся к ортогональным осям X, Y и Z. Кажущиеся показания напряжения могут быть анализированы с помощью контроллера 106 и откалиброваны для факторов окружающей среды, таких как температурный дрейф и действительная направленность каждого резервного датчика D&I 130, определенных в режиме реального времени, и какая информация может быть передана на поверхность в качестве телеметрических данных. Связь или корреляция электрического смещения датчика с физическим смещением этого датчика позволяет получить точный анализ и интерпретацию данных с резервных датчиков D&I 130, когда один или несколько датчиков не находятся в действительном ортогональном выравнивании. Это обеспечивает гибкость в позиционировании резервных датчиков D&I 130, так что датчики могут быть добавлены в ограниченные пространственные области без необходимости в действительном ортогональном выравнивании. Смещение положения резервных датчиков D&I 130 может быть преднамеренно вызвано механической обработкой или изготовлением модифицированного модуля датчиков D&I 100a, 100b, в модуле резервных датчиков 180 в торцевой заглушке 120, 121 или в любой другой структуре, которая включает резервные датчики D&I 130, чтобы помочь в расположении инструмента MWD. Модуль датчиков D&I 100a, 100b, 180с, структуру торцевой заглушки 120, 121 или другую структуру, содержащую резервные датчики D&I 130 могут быть созданы и коррелированы отдельно, и затем легко встроены в скважинный зонд на месте. Полную взаимную калибровку резервных датчиков D&I 130 и первичных датчиков D&I 105 также можно выполнить перед спуском скважинного зонда 7 в скважину. Калибровка может быть проведена при изменении температуры, чтобы определить влияние температурного дрейфа. Такие способы калибровки известны в данной области, например, описано в публикации R. Estes et al. Society of Petroleum Engineers (SPE) 19546; and United States patent publication 2009/0157341, которая включена здесь в качестве ссылки.

Как показано на фиг. 9, в ходе обработки информации от первичных датчиков D&I 105, содержащих первичные акселерометры 140, относящиеся к X, Y и Z осям, и первичные магнитометры 145, относящиеся к X, Y и Z осям, информация фильтруется, усиливается и преобразуется в цифровые данные с помощью аналого-цифрового преобразователя 150. Каждый из первичных датчиков D&I 105 собирает информацию независимо от других первичных датчиков D&I 105. Общая, но независимая информации из резервных датчиков D&I 130, содержащих резервные акселерометры 125, относящиеся к осям X, Y и Z, и резервные магнитометры 135, относящиеся к осям X, Y и Z, фильтруется, усиливается и преобразуется в цифровые данные с помощью аналого-цифрового преобразователя 150. Каждый из резервных датчиков D&I 130 собирает информацию независимо от другого резервного датчика D&I 130. Аналого-цифровой преобразователь 150 может использоваться для преобразования информации как от первичных датчиков D&I 105, так и от резервных датчиков D&I 130, или могут быть использованы различные другие аналого-цифровые преобразователи. Цифровая информация от резервных и первичных датчиков D&I передается в электронном виде в контроллер 106 основной платы 104 узла электроники 28, как описано выше со ссылкой на фиг. 3. Информация может приниматься непрерывно или периодически из первичных датчиков D&I 105, от резервных датчиков D&I 130 или от обоих первичных и резервных датчиков D&I 105, 130. Периодический сбор информации может сохранить энергию батарей. В существующей практике, первичные датчики D&I 105, как правило, настроены на периодический прием информации, например при каждом соединении новой части буровой трубы. Резервные датчики D&I 130 также могут быть настроены на периодический опрос, но не обязательно должны быть включены для измерений торца долота.

Обратимся теперь к фиг. 10, где показана принципиальная блок-схема способа работы скважинного зонда, содержащего первичные датчики D&I 105 и резервные датчики D&I 130 в соответствии с одним

вариантом воплощения изобретения. Во время работы оценка 200 функциональности датчиков осуществляется непрерывно или периодически. Оценка 200 функциональности датчиков содержит проверку 210 поля квалификации, где информация от каждого из первичных датчиков D&I 105 в скважине сравнивается с ожидаемыми показаниями или другими значениями, чтобы определить, находится ли информация в пределах заданного значения или диапазона.

Если информация от первичного датчика D&I находится в пределах заданного диапазона, то информация от первичного датчика D&I сравнивается с информацией от каждого из резервных датчиков D&I 130 для проверки 220 поля квалификации резервных датчиков. Если информация от первичного датчика D&I находится вне заданного диапазона (сбой), то осуществляется проверка 250 отдельного датчика для каждого из первичных датчиков D&I 105 путем оценки отклонения от предыдущего показания для этого отдельного первичного датчика D&I 105 и его сравнение с показаниями отдельного датчика из соответствующих резервных датчиков D&I 130. Если один из первичных датчиков D&I 105 не проходит индивидуальную проверку 250 датчика, то информация от неисправного датчика заменяется информацией из соответствующих резервных датчиков D&I 130 и далее проверка 210а осуществляется проверка квалификационного поля для определения, находится ли информация от резервных датчиков в пределах заданного диапазона.

Если "резервная информация" не проходит поля квалификационной проверки 210а, на поверхность оператору отправляется оповещение 270 с указанием недостаточных сведений о направлении бурения, которое требует подъем инструмента из скважины для ремонта или замены первичных датчиков D&I 105. Если резервная информация проходит поле квалификационной проверки 210а, на поверхность оператору отправляется оповещения 260, указывающее, что информация из резервных датчиков D&I 130 в настоящее время используется вместо информации от первичных датчиков D&I 105. Оператор также может быть предупрежден, какой из первичных датчиков D&I 105 вышел из строя. Даже если имеет место сбой только одного первичного датчика D&I 105, информация от всех резервных датчиков D&I 130 может использоваться вместо информации от первичных датчиков D&I 105, чтобы гарантировать соответствующую информацию от выровненных датчиков. Оператор на поверхности будет знать, что требуется повысить допуск к точности при использовании информации из резервных датчиков D&I 130, а не информации от первичных датчиков D&I 105. Оператор может контролировать уровень неопределенности информации от резервных датчиков D&I, и если уровень неопределенности по допуску становится слишком высоким, может быть принято решение об извлечении инструмента из скважины и замене или ремонте вышедшего из строя первичного датчика D&I 105. В противном случае, операция бурения может быть продолжена, используя информацию из резервных датчиков D&I 130 до планируемого подъема инструментов.

Следовательно, резервные датчики D&I 130, могут обеспечить резервную систему в случае отказа одного или нескольких первичных датчиков D&I 105 для резервной системы, что является экономически эффективным при измерении направления и угла наклона ствола, хотя и с меньшей точностью. Резервные датчики D&I 130 могут быть менее восприимчивыми к повреждениям и, следовательно, более надежными, чем первичные датчики D&I 105. Если происходит сбой в работе одного из первичных датчиков D&I 105, по-прежнему будет необходим подъем из скважины и замена или ремонт основных датчиков D&I 105, однако эта операция может быть отложена до удобного времени, поскольку резервные датчики D&I 130 обеспечивают альтернативную информацию по направлению и углу наклона ствола скважины, необходимую для продолжения бурения. Поэтому система предоставляет оператору знания о сбое первичных датчиков D&I, а также сведения о том, что резервные датчики D&I 130 выполняют работу вышедшего из строя первичного датчика D&I, чтобы вселить уверенность в отношении точности информации от резервных датчиков D&I 130, когда возникает необходимость полагаться исключительно на резервные датчики D&I 130. После каждого подъема измерительного оборудования требуется повторное исследование, однако повторное исследование может быть проверено по информации от резервных датчиков D&I, чтобы получить данные о положении. В результате, отложив подъем и замену неисправных первичных датчиков D&I 105, время на месте может быть уменьшено. Бурение может быть продолжено до запланированного подъема инструмента из скважины, что позволяет избежать ненужных операций и снизить эксплуатационные затраты.

В альтернативных вариантах воплощения (не показаны), резервные датчики также могут работать вместе с другими датчиками, используемыми в сборке скважинного зонда, например, как резервные датчики в модуле датчиков условий бурения. Хотя настоящее изобретение описано здесь на примере нескольких вариантов воплощения с подробным описанием некоторых из них, в задачу заявителей не входит ограничить каким-либо образом объем изобретения, изложенный в прилагаемой формуле изобретения, такими вариантами. Дополнительные преимущества и модификации внутри объема прилагаемой формулы изобретения будут очевидны специалистам в данной области техники. Изобретение в его более широких аспектах, не ограничивается конкретными подробностями заявленного устройства и способами и иллюстративными примерами, показанными и описанными здесь. Соответственно могут иметь место отклонения от изготовления таких деталей без выхода из духа или объема изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Сборка скважинного зонда, содержащая:

(а) первичные датчики, содержащие первичные акселерометры и первичные магнитометры, сконфигурированные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z;

(b) резервные датчики, содержащие резервные твердотельные акселерометры, сконфигурированные для сбора информации, относящейся в каждой из ортогональных осей X, Y и Z;

(с) контроллер, электрически связанный с первичными датчиками и резервными датчиками, причем контроллер сконфигурирован для приема и обработки информации от первичных датчиков и резервных датчиков, так что информация от резервных акселерометров может быть использована, когда один или несколько первичных акселерометров выходят из строя;

(d) продольный кожух, включающий расположенные в нем первичные датчики; и

(е) по меньшей мере одну торцевую заглушку, расположенную на конце указанного кожуха, причем указанная по меньшей мере одна торцевая заглушка включает корпус, к которому прикреплены резервные датчики, причем по меньшей мере одна торцевая заглушка имеет охватываемую или охватывающую конструкцию, сконфигурированную для соединения с соответствующей охватываемой или охватывающей конструкцией торцевой заглушки смежного в продольном направлении кожуха сборки скважинного зонда, и причем указанная по меньшей мере одна торцевая заглушка включает средства для физического и электрического взаимного соединения со смежной в продольном направлении сборкой скважинного зонда, причем первичные акселерометры являются акселерометрами, отличающимися по типу от резервных твердотельных акселерометров.

2. Сборка скважинного зонда по п.1, в которой резервные датчики дополнительно содержат резервные магнитометры, сконфигурированные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z, причем контроллер находится в электронной связи с резервными магнитометрами и сконфигурирован для приема и обработки информации от резервных магнитометров, так что информация от резервных магнитометров может быть использована, когда один или несколько первичных магнитометров выходят из строя.

3. Сборка скважинного зонда по п.1 или 2, в которой контроллер сконфигурирован для направления сигнала на поверхность, чтобы предупредить оператора о том, что один или несколько основных датчиков вышли из строя и что информация обеспечивается резервными датчиками.

4. Сборка скважинного зонда по любому из пп.1-3, в которой резервные датчики прикреплены к корпусу в каждой из ортогональных осей X, Y и Z.

5. Сборка скважинного зонда по любому из пп.1-3, в которой один или несколько резервных датчиков прикреплены к корпусу в положении смещения к ортогональным осям X, Y и Z.

6. Сборка скважинного зонда по любому из пп.1-5, в которой резервные датчики прикреплены к схемным платам, а схемные платы прикреплены к корпусу.

7. Сборка скважинного зонда, содержащая:

(а) первичные датчики, содержащие первичные акселерометры и первичные магнитометры, сконфигурированные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z;

(b) резервные датчики, содержащие резервные твердотельные акселерометры, сконфигурированные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z;

(с) контроллер, электрически связанный с первичными датчиками и резервными датчиками, причем контроллер сконфигурирован для приема и обработки информации от первичных датчиков и резервных датчиков, так что информация от резервных акселерометров может быть использована, когда один или несколько первичных акселерометров выходят из строя;

(d) продольный кожух;

(е) по меньшей мере одну торцевую заглушку, расположенную на конце указанного продольного кожуха, причем указанная по меньшей мере одна торцевая заглушка включает корпус, к которому прикреплены резервные датчики, причем указанная по меньшей мере одна торцевая заглушка имеет охватываемую или охватывающую конструкцию, сконфигурированную для соединения с соответствующей охватываемой или охватывающей конструкцией торцевой заглушки смежного в продольном направлении кожуха сборки скважинного зонда, и причем указанная по меньшей мере одна торцевая заглушка включает средства для физического и электрического взаимного соединения со смежной в продольном направлении сборкой скважинного зонда, и причем первичные акселерометры являются акселерометрами, отличающимися по типу от резервных твердотельных акселерометров.

8. Сборка скважинного зонда по п.7, в которой резервные датчики прикреплены к корпусу в каждой из ортогональных осей X, Y и Z.

9. Сборка скважинного зонда по п.7, в которой по меньшей мере один из резервных датчиков прикреплен к корпусу в смещенном положении смещения по отношению к ортогональным осям X, Y и Z.

10. Сборка скважинного зонда по пп.7-9, в которой резервные датчики прикреплены к схемным платам, а схемные платы прикреплены к корпусу.

11. Сборка скважинного зонда по любому из пп.7-10, в которой резервные датчики дополнительно

содержат резервные магнитометры, сконфигурированные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z, причем контроллер находится в электронной связи с резервными магнитометрами и сконфигурирован для приема и обработки информации от резервных магнитометров, так что информация из резервных магнитометров может быть использована, когда один или несколько из первичных магнитометров выходят из строя.

12. Сборка скважинного зонда по любому из пп.7-11, в которой контроллер сконфигурирован с возможностью посылать сигналы на поверхность, чтобы предупредить оператора о том, что один или несколько первичных датчиков вышли из строя, и эта информация предоставляется резервными датчиками.

13. Модуль датчиков для сборки скважинного зонда, содержащий:

(а) первичные датчики, содержащие первичные акселерометры и первичные магнитометры, сконфигурированные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z;

(б) резервные датчики, содержащие резервные твердотельные акселерометры, сконфигурированные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z;

(с) продольный кожух, включающий расположенные в нем первичные датчики; и

(d) по меньшей мере одну торцевую заглушку, расположенную на конце указанного продольного кожуха, причем указанный кожух включает корпус, в котором прикреплены первичные датчики, и по меньшей мере один из резервных датчиков прикреплен по меньшей мере к одному из первичных датчиков, причем указанная по меньшей мере одна торцевая заглушка имеет охватываемую или охватывающую конструкцию, сконфигурированную для соединения с соответствующей охватываемой или охватывающей конструкцией торцевой заглушки смежного в продольном направлении кожуха сборки скважинного зонда, и причем указанная по меньшей мере одна торцевая заглушка включает средства для физического и электрического взаимного соединения со смежной в продольном направлении сборкой скважинного зонда, причем первичные акселерометры являются акселерометрами, отличающимися по типу от резервных твердотельных акселерометров.

14. Модуль датчиков по п.13, в котором резервные датчики прикреплены к первичным датчикам в каждой из ортогональных осей X, Y и Z.

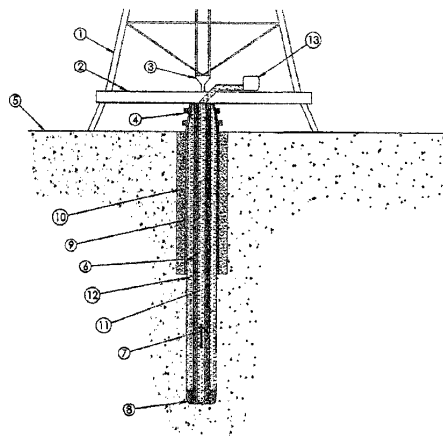
15. Модуль датчиков по п.13, в котором по меньшей мере один из резервных датчиков прикреплен по меньшей мере к одному из первичных датчиков в смещенном положении по отношению к ортогональным осям X, Y и Z.

16. Модуль датчиков по любому из пп.13-15, в котором резервные датчики прикреплены к печатным платам, а печатные платы прикреплены к первичным датчикам.

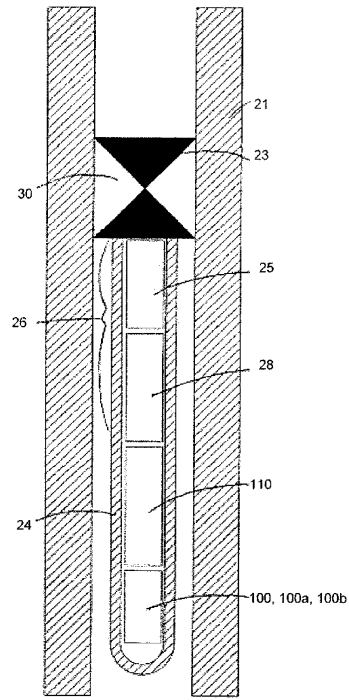
17. Модуль датчиков по любому из пп.13-16, в котором по меньшей мере один из резервных датчиков прикреплен к корпусу на задней стороне по меньшей мере одного из первичных датчиков, так что указанные по меньшей мере один резервный датчик и по меньшей мере один первичный датчик находятся на одной и той же ортогональной оси.

18. Модуль датчиков по любому из пп.13-17, в котором резервные датчики дополнительно содержат резервные магнитометры, сконфигурированные для сбора информации, относящейся к каждой из ортогональных осей X, Y и Z, причем контроллер находится в электронной связи с резервными магнитометрами и сконфигурирован для приема и обработки информации от резервных магнитометров, так что информация из резервных магнитометров может быть использована, когда один или несколько первичных магнитометров выходят из строя.

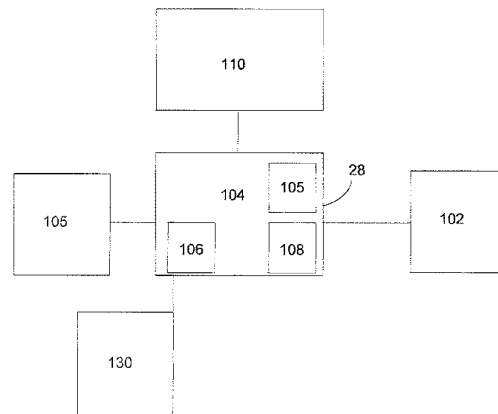
19. Модуль датчиков по любому из пп.13-18, в котором контроллер сконфигурирован для направления сигнала на поверхность, чтобы предупредить оператора о том, что один или несколько первичных датчиков вышли из строя, причем эта информация предоставляется резервными датчиками.



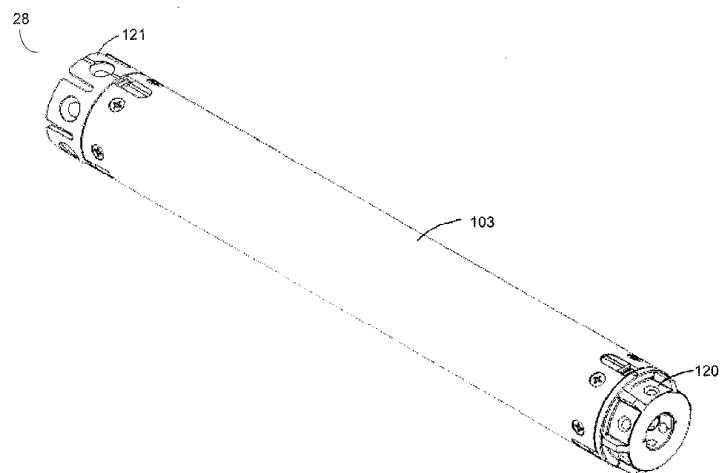
Фиг. 1



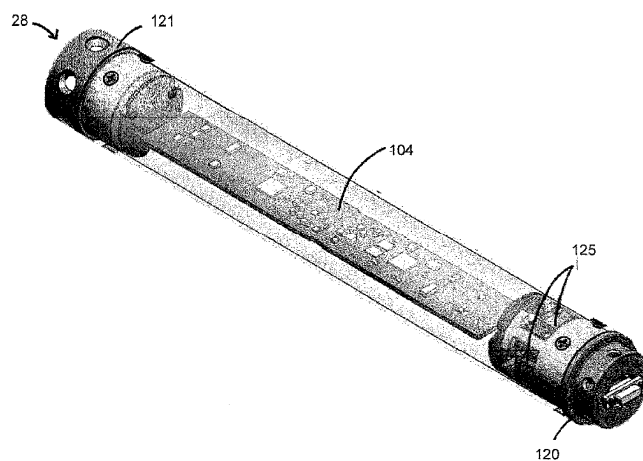
Фиг. 2



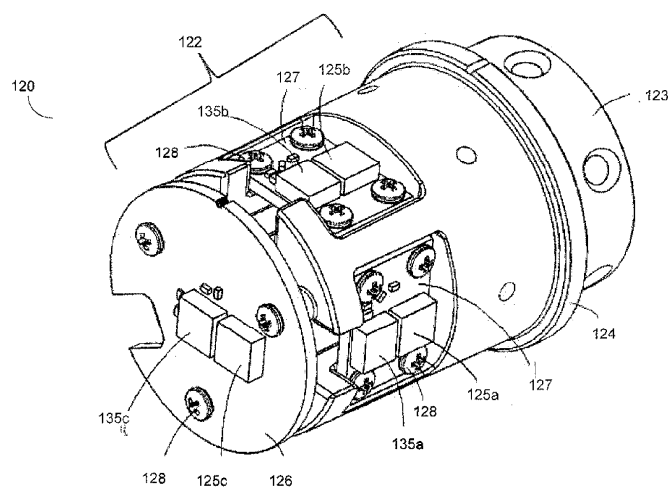
Фиг. 3



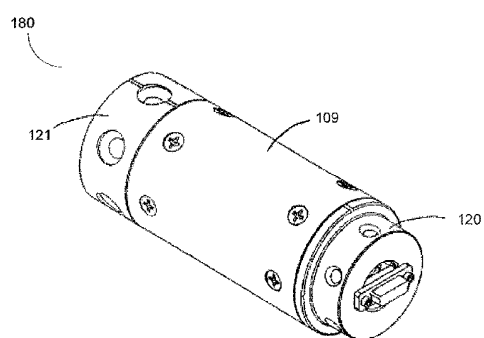
Фиг. 4



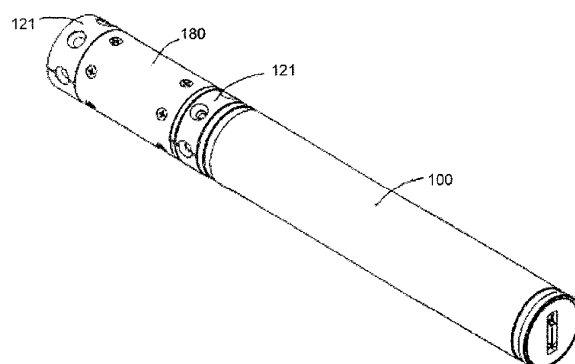
Фиг. 5



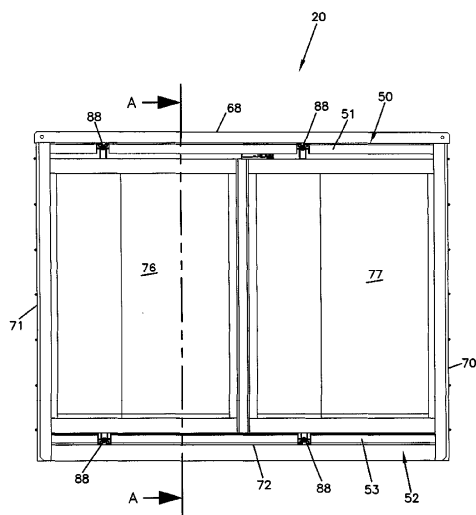
Фиг. 6



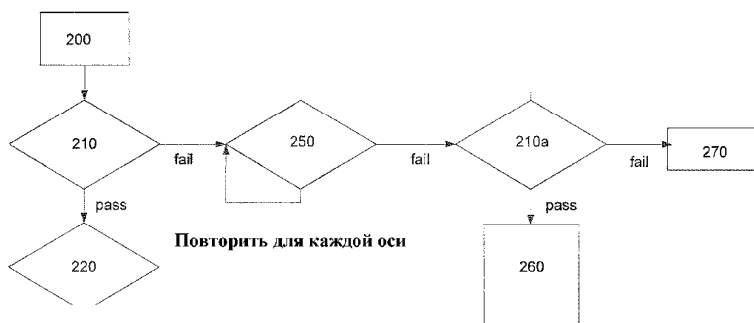
Фиг. 7



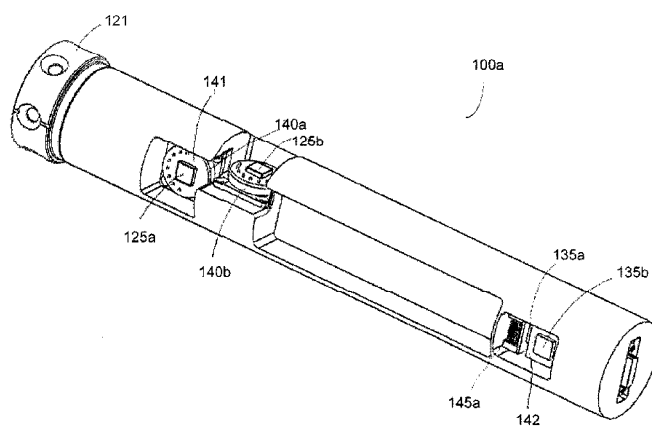
Фиг. 8



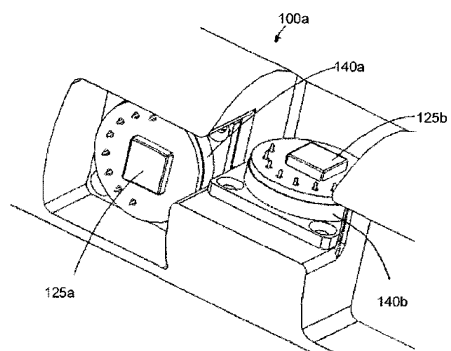
Фиг. 9



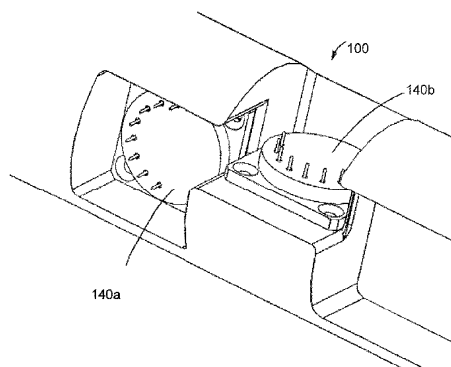
Фиг. 10



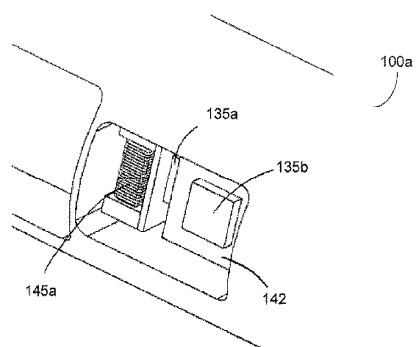
Фиг. 11



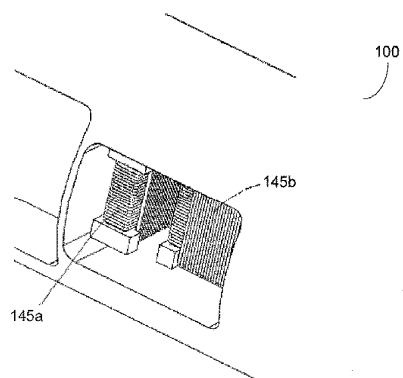
Фиг. 12b



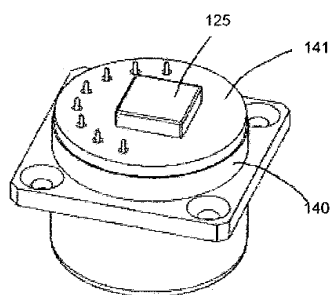
Фиг. 12а



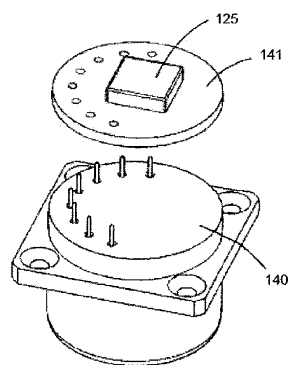
Фиг. 13b



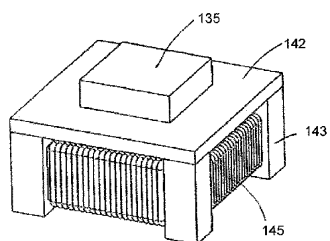
Фиг. 13а



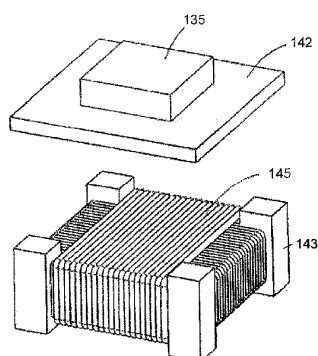
Фиг. 14а



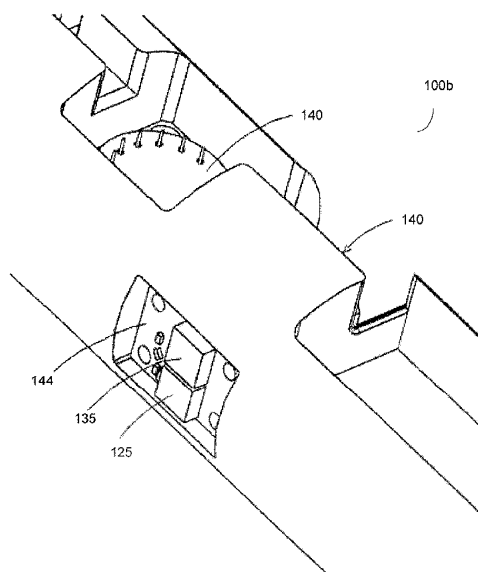
Фиг. 14b



Фиг. 15a



Фиг. 15b



Фиг. 16

