

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **032178**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.04.30

(21) Номер заявки
201591563

(22) Дата подачи заявки
2014.02.25

(51) Int. Cl. *E21B 47/12* (2012.01)
E21B 44/00 (2006.01)
E21B 47/00 (2012.01)
E21B 47/10 (2012.01)
E21B 7/00 (2006.01)
H04B 3/00 (2006.01)

(54) ВСТРОЕННАЯ ЗАБОЙНАЯ СИСТЕМА С НЕСКОЛЬКИМИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИМИ ПОДСИСТЕМАМИ

(31) 61/768,936; 61/769,033

(32) 2013.02.25

(33) US

(43) 2015.12.30

(86) PCT/CA2014/050133

(87) WO 2014/127489 2014.08.28

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЭВОЛЮШН ИНЖИНИРИНГ ИНК.
(CA)

(56) US-A1-20100201540
CA-A1-2624039
CA-A1-2617328
US-A1-20100194586
US-A1-20090045973
US-B1-6405136
US-A1-20070247328
US-A1-20080136665

(72) Изобретатель:
Логан Аарон В., Свицер Дэвид А.,
Лю Цили, Логан Джастин С., Сюй
Миндун (CA)

(74) Представитель:
Носырева Е.Л. (RU)

(57) Забойная система имеет несколько телеметрических систем и управляющую систему, сконфигурированную получать информацию от одного или нескольких датчиков и передавать эту информацию по одной или более из нескольких телеметрических систем. Конфигурация контроллера может быть изменена для изменения того, какую информацию передавать по данной телеметрической системе и как необходимо передавать эту информацию по данной телеметрической системе.

B1

032178

032178
B1

Перекрестные ссылки на родственные заявки

Настоящая заявка претендует на приоритет, зарезервированный заявкой США № 61/768936, поданной 25 февраля 2013 г., под названием "DOWNFIOLE TELEMETRY", и заявкой США № 61/769033, поданной 25 февраля 2013 г., под названием "DOWNFIOLE ELECTROMAGNETIC AND MUD PULSE TELEMETRY APPARATUS", содержания которых настоящим включены в данное описание посредством ссылки для всех целей, словно полностью изложенные в настоящем документе.

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к подземному бурению, в частности к сбору данных по исследованиям в скважинах и телеметрии между компоновками низа бурильных колонн и поверхностным оборудованием. Варианты осуществления применимы к бурению скважин для добычи углеводородов.

Предпосылки изобретения

Добыча углеводородов из подземных зон обычно предполагает бурение стволов скважин.

Скважины создают с использованием находящегося на поверхности бурового оборудования, вращающего бурильную колонну, которая в конечном итоге проходит от поверхностного оборудования до нужной формации или подземной зоны. Бурильная колонна может проходить тысячи футов или метров ниже поверхности. Нижний конец бурильной колонны содержит буровое долото, предназначенное для бурения (или удлинения) ствола скважины. По бурильной колонне обычно прокачивается промывочная жидкость, обычно в виде бурового глинистого раствора. Буровой раствор охлаждает и смазывает буровое долото, а также переносит буровой шлам назад на поверхность. Также, буровой раствор может использоваться в помощь регулированию забойного давления, чтобы подавить приток углеводородов из формации в скважину и их потенциальный выброс на поверхность.

Компоновка низа бурильной колонны (КНБК) - это название, данное оборудованию на нижнем конце бурильной колонны. В дополнение к буровому долоту КНБК может содержать такие элементы, как устройство для управления направлением бурения (например, управляемый гидравлический забойный двигатель или роторная управляемая система); датчики для измерения свойств окружающих геологических формаций (например, датчики для использования при геофизических исследованиях в скважинах (каротаже); датчики для измерения забойных условий по мере продвижения бурения; одна или более систем для телеметрии данных на поверхность; стабилизаторы; утяжеленные бурильные трубы, генераторы импульсов давления и т.п. КНБК обычно подводят в ствол скважины колонной металлических труб (бурильной трубой).

Современные буровые системы могут включать любые из большого ряда механических/электронных систем в КНБК или других местах скважин. Эти электронные системы могут быть установлены как часть глубинного зонда. Глубинный зонд может содержать любую активную механическую, электронную и/или электромеханическую систему, действующую в скважине. Зонд может обеспечивать любые из широкого ряда функций, включая без ограничения: сбор данных, измерения свойств окружающих геологических формаций (например, геофизические исследования в скважинах (каротаже)), измерения забойных условий по мере продвижения бурения, управление скважинным оборудованием, контроль состояния скважинного оборудования, применения направленного бурения, применения измерений во время бурения (ИВБ), применения непрерывного каротажа во время бурения (КВБ), измерения свойств скважинных флюидов и т.п. Зонд может содержать одну или несколько систем для: телеметрии данных на поверхность; сбора данных посредством датчиков (например, датчиков для использования при каротаже), которые могут содержать один или несколько датчиков вибрации, магнитометров, инклинометров, акселерометров, детекторов радиоактивных частиц, электромагнитных детекторов, акустических детекторов и др.; получения изображений; измерения потока флюидов; определения направлений; испускания сигналов, частиц или полей для обнаружения другими устройствами, взаимодействия с другим скважинным оборудованием; взятия проб скважинных флюидов и т.п. Глубинный зонд обычно подвешивается в отверстии бурильной колонны возле бурового долота.

Глубинный зонд может посредством телеметрии передавать на поверхность широкий диапазон информации. Телеметрическая информация может быть бесценной для эффективных буровых операций. Например, телеметрическая информация может использоваться буровой бригадой для принятия решений относительно управления и направления бурового долота для оптимизации скорости и траектории бурения, исходя из целого ряда факторов, включая правовые границы, местонахождения существующих скважин, свойства формации, запасы и расположение углеводородов и т.д.

В операциях направленного бурения буровое долото направляется таким образом, что ствол скважины следовал криволинейной траектории. В некоторых случаях буровое долото приводится во вращение гидравлическим забойным двигателем, расположенным в КНБК. Часть бурильной колонны выше бурового долота может иметь изгиб, который может быть предназначен для проталкивания или отклонения бурового долота в нужном направлении.

Для управления бурением так, чтобы ствол скважины следовал требуемой траектории, важно, если не сказать крайне важно, иметь информацию о текущей ориентации бурового долота. Бригада может осуществлять намеренные отклонения от проектного пути, если это необходимо, исходя из информации, собранной со скважинных датчиков и переданной на поверхность телеметрией в процессе бурения. Эта

информация может быть передана и задействована в реальном или близко к реальному времени. Способность получать и передавать надежные данные из местоположений в скважине обеспечивает относительно более экономичные и более эффективные буровые операции.

Есть несколько известных телеметрических методов. Они включают передачу информации путем генерирования вибраций в жидкости в стволе скважины (например, акустическая телеметрия или гидроимпульсная (ГИ) телеметрия) и передачу информации посредством электромагнитных сигналов, которые проходят, по меньшей мере, частично через землю (электромагнитная (ЭМ) телеметрия). В других примерных телеметрических методах для переноса данных на поверхность используют фиксированную буровую трубу, оптоволоконный кабель или акустическую телеметрию в утяжеленной буровой трубе.

ГИ-телеметрия предполагает создание волн давления в циркулирующем буровом растворе в буровой колонне. В ГИ-телеметрии информация может передаваться путем создания ряда волн давления в столбе бурового раствора. Этого можно достичь путем изменения проходного сечения и/или пути потока бурового раствора при его прохождении глубинного зонда в синхронизированной, кодированной последовательности, создавая тем самым перепады давления бурового раствора. Эти перепады давления или импульсы могут быть либо отрицательными импульсами и/или положительными импульсами или непрерывной волной. Эти импульсы проходят на поверхность, где их можно обнаружить датчиками в поверхностных трубопроводах. Затем обнаруженные импульсы могут декодироваться для восстановления данных, отправленных из глубинного зонда. Для отделения от передаваемых вверх (ИВБ) сигналов нежелательных шумов от гидравлического забойного двигателя, шумов от буровой установки или распространяющихся вниз шумов могут использоваться один или несколько методов обработки сигналов. Наилучшая скорость передачи данных, достижимая сегодняшней ГИ-телеметрией, равна примерно 40 бит/с. Однако с увеличением глубины достижимая скорость передачи данных снижается. Нередки случаи, когда скорости передачи данных ГИ-телеметрией из более глубоких мест составляют порядка 1-2 бит/с. В типичной компоновке для ЭМ-телеметрии части буровой колонны используются как антенна. Буровая колонна может быть разделена на две проводящие секции посредством вставки в буровую колонну изолирующей вставки или соединения ("электрический разделитель") Электрический разделитель обычно располагается в верхней части компоновки низа буровой колонны так, что металлическая буровая труба в буровой колонне выше КНБК служит как один антенный элемент, а металлические секции в КНБК служат как другой антенный элемент. Затем сигналы электромагнитной телеметрии могут передаваться путем распределения электрического сигнала между антенными элементами. Сигналы обычно представляют собой очень низкочастотные сигналы переменного тока, распространяемые способом, который кодирует информацию для передачи на поверхность (сигналы более высокой частоты обычно затухают сильнее, чем низкочастотные сигналы). Электромагнитные сигналы могут быть обнаружены на поверхности, например путем измерения разности электрических потенциалов между буровой колонной или металлической обсадной трубой и одним или несколькими заземленными электродами.

Преимущества ЭМ-телеметрии над ГИ-телеметрией включают обычно более высокие скорости передачи данных, более высокую надежность из-за отсутствия подвижных скважинных деталей, высокую стойкость к использованию материала для борьбы с поглощением бурового раствора (LCM) и пригодность для бурения с очисткой забоя воздухом/бурения с отрицательным дифференциальным давлением в системе скважина-пласт. ЭМ-система может передавать данные без сплошного столба флюида в скважине; следовательно, она может использоваться при отсутствии протекающего бурового раствора. Это является преимущественным, когда буровая бригада добавляет новую секцию буровой трубы, электромагнитный сигнал может передавать информацию (например, информацию о направлении), когда буровая бригада добавляет новую трубу. Недостатки ЭМ-телеметрии включают способность действовать на небольших глубинах, несовместимость с некоторыми формациями (например, с формациями с высоким содержанием солей и формациями со скачками высокого удельного сопротивления). Кроме того, поскольку на больших расстояниях через толщи пород электромагнитная передача сильно затухает, она может потребовать относительно большого количества энергии, чтобы сигналы можно было обнаружить на поверхности. Электрическая энергия, доступная для генерирования электромагнитных сигналов, может быть обеспечена аккумуляторами или другим источником энергии, имеющим ограниченную емкость.

Операторы буровых установок иногда предусматривают в буровой колонне несколько независимо используемых телеметрических систем, каждая из которых связана с системой датчиков, при этом каждая телеметрическая система передает на поверхностный приемник показания, собранные системами датчиков, с которыми она связана. Это требует существенного дублирования частей и дополнительных аккумуляторов в КНБК, что приводит к большей длине КНБК, большей стоимости и (поскольку в более длинной КНБК датчики непременно располагаются дальше от бурового долота) меньшей надежности показаний датчиков. Более того, несколько таких известных телеметрических систем не оптимизированы касаясь рабочих характеристик, надежности и экономичного использования энергии.

Одной из задач, стоящих перед разработчиками забойных телеметрических систем, является достижение приемлемо высоких скоростей передачи данных. Особенно при попытке использовать телеметрию

из мест, находящихся глубоко в стволе скважины, скорости передачи данных могут быть настолько низкими, что передача даже относительно малых объемов данных может занять много времени, например несколько минут. Это препятствует достижению цели поддержания управления в реальном времени во время операции бурения и создает узкое место, которое может замедлить ход бурения. Отрасль получила бы огромную выгоду, если бы удалось обеспечить пути достижения более высоких скоростей передачи телеметрических данных.

Еще одной задачей, стоящей перед отраслью, является повышение надежности телеметрического оборудования. Эта проблема осложняется тем, что условия в скважине обычно являются жесткими - характеризующиеся высокими давлениями, высокими расходами потенциально эрозионного бурового раствора, высокими температурами и/или сильной вибрацией. Эти условия подвергают большой нагрузке оборудование, особенно электронное оборудование. Отрасль получила бы огромную выгоду, если бы удалось обеспечить не чувствительные к отказам отдельных элементов/отказоустойчивые телеметрические системы.

Еще одной задачей, стоящей перед отраслью, является увеличение продолжительности работы скважинного оборудования. Многие забойные электронные системы питаются от аккумулятора. Аккумуляторы обычно надежнее забойных генераторов мощности. Однако аккумуляторы имеют ограниченную энергоемкость. Подъем оборудования из ствола скважины для замены аккумуляторов является отнимающей много времени и дорогостоящей операцией. Способы и устройство, которые могут позволить питаемым от аккумуляторов забойным электронным системам функционировать дольше между заменой аккумуляторов были бы очень ценными.

Остается необходимость в забойных телеметрических системах и способах, устранивающих, по меньшей мере, некоторые из недостатков существующих телеметрических систем.

Краткое изложение существа изобретения

Изобретение имеет несколько аспектов. Один основной аспект относится к структурной схеме для забойных систем для сбора данных по исследованиям в скважинах и телеметрии, обеспечивающей использование нескольких телеметрических систем. Эта архитектура может быть реализована путем, обеспечивающим высокую гибкость при конфигурировании систем для передачи поверхностному оборудованию данных разных видов. В некоторых вариантах осуществления с каждой из нескольких телеметрических подсистем связаны логически отдельные контроллеры. Каждый контроллер может быть выполнен для независимого получения информации датчиков (или других телеметрических данных) и передачи информации датчиков с помощью связанной телеметрической подсистемы. Другой основной аспект относится к разным путям, какими забойная система может конфигурироваться для передачи данных, и разным способам, которые могут осуществляться забойными системами для конфигурирования забойных систем и/или передачи данных поверхностному оборудованию. Между этими основными аспектами есть синергия в том, что описанная структурная схема особенно преимущественная для выполнения описанными путями и для практического использования описанных способов. Следует, однако, отметить, что эти основные аспекты изобретения могут находить и отдельное применение. Еще один аспект изобретения относится к способам и устройству для приема и декодирования скважинных телеметрических данных. В некоторых вариантах осуществления способы и устройство встраивают несколько телеметрических приемников.

В некоторых вариантах осуществления забойная система является гибко реконфигурируемой среди несколько конфигураций без изменения физической структуры забойной системы. Реконфигурация может осуществляться путем исполнения программных указаний и/или путем замены электронно-считываемых профилей конфигурации, например.

В соответствии с одним аспектом предлагаются телеметрические системы, включающие несколько телеметрических контроллеров, каждый из которых связан с соответствующей телеметрической подсистемой. Телеметрические контроллеры могут конфигурироваться для независимого получения и передачи значений параметров, таких как показаний датчиков с использованием связанной телеметрической подсистемы.

В соответствии с еще одним аспектом предлагаются телеметрические способы. Некоторые из этих способов включают автоматическое переключение между разными телеметрическими конфигурациями на основании одного или нескольких факторов, описанных в настоящем документе. Некоторые из этих способов могут включать одно или несколько из следующего:

- передачу при определенных условиях определенных данных (например, определенных значений параметров);

- обнаружение состояния буровых операций в забойном инструменте и переключение между телеметрическими конфигурациями на основании обнаруженного состояния;

- передачу, по меньшей мере, некоторых из одних и тех же данных посредством двух или более разных телеметрических подсистем;

- запрет автоматически работы одной или нескольких телеметрических систем на основании настройки конфигурации.

В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагаются забойные системы, содержащие

несколько телеметрических подсистем, и управляющая система, содержащая несколько телеметрических контроллеров. При этом управляющая система сконфигурирована для обеспечения режима разделения, при этом управляющая система действует для получения единицы данных, содержащей последовательность цифровых битов для передачи, разделения единицы данных на первую часть, содержащую первый набор последовательности цифровых битов, и вторую часть, содержащую второй набор последовательности цифровых битов, передачи первой части единицы данных, используя первую из телеметрических подсистем, и передачи второй части единицы данных, используя вторую из телеметрических подсистем, причем передачу первой и второй частей единицы данных выполняют одновременно, таким образом, что передача всей единицы данных завершается за промежуток времени короче промежутка времени, который потребовался бы для передачи всей единицы данных, используя первую телеметрическую подсистему или вторую телеметрическую подсистему отдельно. Каждый из нескольких телеметрических контроллеров связан и сообщается по меньшей мере с одной телеметрической подсистемой из нескольких телеметрических подсистем. Система содержит шину данных. Каждый из нескольких телеметрических контроллеров связан с каждым другим телеметрическим контроллером из нескольких телеметрических контроллеров по шине. Система содержит один или несколько датчиков в сообщении с несколькими телеметрическими контроллерами. Первый телеметрический контроллер из нескольких телеметрических контроллеров связан с первой телеметрической подсистемой из нескольких телеметрических подсистем и предназначен для получения первой информации датчиков из первого комплекта из одного или нескольких датчиков и для передачи первой информации датчиков по первой телеметрической подсистеме. Второй телеметрический контроллер из нескольких телеметрических контроллеров связан со второй телеметрической подсистемой из нескольких телеметрических подсистем и действует независимо от первого телеметрического контроллера для получения второй информации датчиков из второго комплекта из одного или нескольких датчиков и для передачи второй информации датчиков по второй телеметрической подсистеме.

В некоторых вариантах осуществления первая телеметрическая подсистема представляет собой ЭМ-телеметрическую подсистему, а вторая телеметрическая подсистема представляет собой ГИ-телеметрическую подсистему. В некоторых вариантах осуществления все датчики доступны всем из нескольких телеметрических контроллеров по шине данных, так что любые из контроллеров данных могут получать показания от любого из датчиков. В некоторых вариантах осуществления датчики содержат несколько датчиков одного типа, при этом в случае отказа одного датчика доступны один или несколько резервных датчиков.

В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагаются способы, включающие передачу из забойного инструмента значений для одного или нескольких параметров с использованием телеметрического протокола. Эти способы включают хранение переданных значений параметров в забойном инструменте и получение новых значений для одного или нескольких параметров. В соответствии с этими способами сравнивают новые значения параметров с сохраненными ранее переданными значениями параметров и, по меньшей мере, в некоторых случаях блокируют передачу новых значений параметров, если разность между новыми значениями параметров и сохраненными ранее переданными значениями параметров меньше некоторой пороговой величины.

В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагаются способы передачи данных из места в скважине, причем эти способы включают получение единицы данных, подлежащей передаче на поверхностное оборудование; передачу первой части единицы данных с использованием первой телеметрической подсистемы и передачу второй части единицы данных с использованием второй телеметрической подсистемы. Преимущество некоторых из этих способов заключается в меньшей задержке доставки данных.

В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагаются способы забойной телеметрии, причем способы включают получение в забойной системе значения датчика, выраженного как несколько цифровых битов, путем считывания датчика и деления нескольких битов на первый и второй наборы битов, при этом первый и второй наборы битов отличаются друг от друга. В соответствии с этими способами первый набор битов передают с использованием первой телеметрической системы, а второй набор битов передают с использованием второй телеметрической системы. В некоторых вариантах осуществления первая и вторая телеметрические системы относятся к разным типам (например, ГИ-телеметрическая система или акустическая телеметрическая система и ЭМ-телеметрическая система).

В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагаются способы передачи данных скважинных измерений на поверхностное оборудование. Способы включают: (а) считывание данных скважинных измерений; (б) выбор доступного режима телеметрической передачи из группы, состоящей из режима только гидроимпульсной (ГИ) телеметрии, режима только электромагнитной (ЭМ) телеметрии, параллельного совместного режима ГИ- и ЭМ-телеметрии и параллельного подтверждающего режима ГИ и ЭМ-телеметрии; (в) при выборе только ГИ-телеметрии - кодирование данных измерений в первый ГИ-телеметрический сигнал и передачу первого ГИ-телеметрического сигнала на поверхность, (г) при выборе только ЭМ-телеметрии - кодирование данных измерений в первый ЭМ-телеметрический сигнал и передачу первого ЭМ-телеметрического сигнала на поверхность; (д) при выборе параллельного совмест-

ного режима - кодирование первого выбора данных измерений во второй ГИ-телеметрический сигнал и второго выбора данных измерений во второй ЭМ-телеметрический сигнал, и передачу вторых ГИ- и ЭМ-телеметрических сигналов на поверхность; и (е) при выборе параллельного подтверждающего режима - кодирование одних и тех же данных измерений в третий ГИ-телеметрический сигнал и третий ЭМ-телеметрический сигнал и передачу третьих ГИ- и ЭМ-телеметрических сигналов на поверхность.

В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагаются способы забойной телеметрии. Способы включают: (а) в определенном месте в скважине считывание данных измерений и кодирование некоторых из данных измерений в электромагнитный (ЭМ) телеметрический сигнал, а остальных данных измерений в гидроимпульсный (ГИ) телеметрический сигнал, затем (б) передачу ЭМ- и ГИ-телеметрических сигналов на поверхность, причем по меньшей мере часть ЭМ- и ГИ-телеметрических сигналов передают одновременно. В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагаются способы забойной телеметрии. Способы включают (а) в определенном месте в скважине считывание данных измерений и кодирование некоторых из данных измерений в электромагнитный (ЭМ) телеметрический сигнал и в гидроимпульсный (ГИ) телеметрический сигнал, затем (б) передачу ЭМ- и ГИ-телеметрических сигналов на поверхность, причем по меньшей мере часть ЭМ- и ГИ-телеметрических сигналов передают одновременно; и (б) на поверхности прием ЭМ- и ГИ-телеметрических сигналов, сравнение принятых сигналов и определение, отвечают ли сигналы порогу совпадения.

В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагаются способы бурения, включающие продвижение бурильной колонны при одновременном закачивании бурового раствора по отверстию бурильной колонны в периоды активного бурения, разделенные периодами отсутствия потока, в течение которых поток бурового раствора по бурильной колонне прерывается. Способы включают передачу телеметрических данных из забойной системы, включающей ЭМ-телеметрическую подсистему и ГИ-телеметрическую подсистему на поверхностное оборудование. Способы включают установление измененного протокола передачи ГИ-данных для передачи данных с использованием ГИ-телеметрической подсистемы, причем измененный протокол передачи ГИ-данных должен быть эффективным с начала периода активного бурения после периода отсутствия потока, и в период отсутствия потока, передачу информации заголовка для измененного протокола передачи ГИ-данных из забойной системы на поверхностное оборудование с помощью ЭМ-телеметрической подсистемы.

В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагаются способы бурения, включающие продвижение бурильной колонны при одновременном закачивании бурового раствора по отверстию бурильной колонны в периоды активного бурения, разделенные периодами отсутствия потока, в течение которых поток бурового раствора по бурильной колонне прерывается, и передачу телеметрических данных из забойной системы на поверхностное оборудование. Способы включают установление протокола передачи данных, имеющего слоты для нескольких конкретных элементов данных и, в забойной системе, определение, передавать или не передавать некий конкретный один из нескольких элементов данных, исходя из сравнения текущего значения этого конкретного одного из нескольких элементов данных с одними или несколькими ранее переданными значениями для этого конкретного одного из нескольких элементов данных.

В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагаются способы бурения, включающие продвижение бурильной колонны при одновременном закачивании бурового раствора по отверстию бурильной колонны в периоды активного бурения, разделенные периодами отсутствия потока, в течение которых поток бурового раствора по бурильной колонне прерывается, и передачу телеметрических данных из забойной системы поверхностному оборудованию с использованием ЭМ-телеметрии и/или ГИ-телеметрии. Способы включают, в забойной системе, обнаружение начала одного из периодов отсутствия потока, ассемблирование заголовка, указывающего путь, по которому данные будут передаваться ЭМ- и/или ГИ-телеметрией, и передачу заголовка поверхностному оборудованию с использованием ЭМ-телеметрии в предопределенный момент времени после начала периода отсутствия потока.

В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагаются способы бурения, включающие продвижение бурильной колонны при одновременном закачивании бурового раствора по отверстию бурильной колонны в периоды активного бурения, разделенные периодами отсутствия потока, в течение которых поток бурового раствора по бурильной колонне прерывается, и передачу телеметрических данных из забойной системы поверхностному оборудованию с использованием ЭМ-телеметрии и/или ГИ-телеметрии. Способы включают передачу в забойной системе телеметрических данных ЭМ-телеметрией, контроль электрического выходного тока ЭМ-телеметрического передатчика, и, если электрический выходной ток отвечает предопределенному порогу или превышает его, автоматическое переключение на передачу телеметрических данных ГИ-телеметрией.

В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагаются забойные телеметрические инструменты, содержащие датчики для сбора данных скважинных измерений, блок электромагнитной (ЭМ) телеметрии, блок гидроимпульсной (ГИ) телеметрии, по меньшей мере один управляющий модуль, общающийся с датчиками и блоками ЭМ- и ГИ-телеметрии и содержащий процессор и память, имеющую закодированный в ней программный код, исполняемый процессором для выполнения способа, описанного в настоящем документе.

В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагается поверхностное оборудование, предназначенное для обработки скважинных телеметрических сигналов. Поверхностное оборудование содержит детектор ГИ-телеметрических сигналов, детектор ЭМ-телеметрических сигналов, устройство отображения и управляющую систему, предназначенную для приема первого набора битов с помощью детектора ГИ-телеметрических сигналов, прием второго набора битов с помощью детектора ЭМ-телеметрических сигналов, объединения первого и второго набора битов для получения единицы данных, содержащей последовательность цифровых битов, и, факультативно, отображения единицы данных на устройстве отображения.

В соответствии с еще одним примерным аспектом предлагается забойный инструмент, содержащее охранный кожух, и два или более телеметрических драйверов для разных режимов телеметрии (например, ЭМ и ГИ), содержащихся в охранным кожухе.

В соответствии с еще одним аспектом предлагается приемник для телеметрической информации, выполненный для отслеживания и отображения информации, идентифицирующей показания, изменившиеся со времени самого последнего обновления значений данных.

В соответствии с еще одним аспектом предлагается телеметрическая система, содержащая несколько телеметрических подсистем и управляющую систему, содержащую несколько телеметрических контроллеров. Каждый телеметрический контроллер связан и находится в сообщении по меньшей мере с одной телеметрической подсистемой из нескольких телеметрических подсистем. Каждый телеметрический контроллер из нескольких телеметрических контроллеров сообщается с каждым другим телеметрическим контроллером из нескольких телеметрических контроллеров по шине. Один или несколько датчиков сообщается с несколькими телеметрическими контроллерами. Первый телеметрический контроллер из нескольких телеметрических контроллеров предназначен для получения первой информации датчиков из первого комплекта из одного или нескольких датчиков и для передачи первой информации датчиков по первой телеметрической подсистеме из нескольких телеметрических подсистем. Второй телеметрический контроллер из нескольких телеметрических контроллеров выполнен для получения второй информации датчиков из второго комплекта из одного или нескольких датчиков и для передачи второй информации датчиков по второй телеметрической подсистеме из нескольких телеметрических подсистем. Телеметрические контроллеры могут быть выполнены для независимого управления того, работать или не работать связанной телеметрической подсистеме для передачи данных и/или для независимого управления того, какие данные передавать связанной телеметрической подсистемой.

В примерных вариантах осуществления телеметрические подсистемы содержат ЭМ-телеметрическую подсистему и ГИ-телеметрическую подсистему.

В соответствии с еще одним аспектом предлагается способ конфигурирования телеметрической системы. Способ включает прием первой информации и в ответ на прием первой информации, конфигурирование первого телеметрического контроллера для передачи первой информации датчиков по первой телеметрической подсистеме. Способ дополнительно включает прием второй информации и в ответ на прием второй информации, конфигурирование первого телеметрического контроллера для передачи второй информации датчиков по первой телеметрической подсистеме. Режим работы может управляться информацией по нисходящему каналу связи.

В соответствии с еще одним аспектом предлагается способ эксплуатации телеметрической системы. Способ включает прием в первом контроллере первой информации датчиков из первого комплекта датчиков, передачу первой телеметрической подсистемой первой информации датчиков, прием во втором контроллере второй информации датчиков из второго комплекта датчиков и передачу второй телеметрической подсистемой второй информации датчиков.

В соответствии с еще одним аспектом предлагается телеметрическая система, содержащая один или несколько датчиков, первую телеметрическую подсистему в сообщении с одним или несколькими датчиками, вторую телеметрическую подсистему в сообщении с одним или несколькими датчиками и управляющую систему, выполненную для получения первой информации датчиков из первого комплекта из одного или нескольких датчиков и передачи первой информации датчиков по первой телеметрической подсистеме и получения второй информации датчиков из второго комплекта из одного или нескольких датчиков и передачи второй информации датчиков по второй телеметрической подсистеме.

В соответствии с еще одним аспектом предлагается устройство, содержащее любые новые полезные и патентоспособные признак, комбинацию признаков или подкомбинацию признаков, описанные или четко подразумеваемые в настоящем документе.

В соответствии с еще одним аспектом предлагается способ, включающий любые новые полезные и патентоспособные этап, действие, комбинацию этапов и/или действий, или подкомбинацию этапов и/или действий, описанные или четко подразумеваемые в настоящем документе.

Дополнительные аспекты изобретения и признаки примерных вариантов осуществления проиллюстрированы на прилагаемом графическом материале и/или описаны в последующем описании.

Краткое описание графических материалов

Прилагаемые графические материалы иллюстрируют примерные варианты осуществления изобретения, не ограничивающие его объем.

На фиг. 1 представлен схематический вид примерной операции бурения;
 фиг. 2 представляет собой логическую блок-схему примерной телеметрической системы;
 фиг. 2А - логическую блок-схему еще одной примерной телеметрической системы;
 фиг. 3 - схематический вид примерного варианта осуществления телеметрической системы, показанной на фиг. 2;
 фиг. 3А - блок-схему, иллюстрирующую примерный вариант осуществления телеметрической системы, содержащей подсистему управления мощностью;
 фиг. 4 - схематический вид примерного генератора ЭМ-сигналов;
 фиг. 5 - разрез примерного генератора ГИ-сигналов;
 фиг. 6 - схематический вид примерной системы конфигурации телеметрии;
 фиг. 6А - схематический вид альтернативной системы конфигурации телеметрии;
 фиг. 7 - блок-схему примерного способа обновления системы конфигурации телеметрии, показанной на фиг. 6;
 фиг. 8 - блок-схему нескольких контроллеров забойного телеметрического устройства и операций, которые они могут выполнять в ответ на команду по нисходящему каналу связи;
 фиг. 9-12 соответственно представляют собой блок-схемы, иллюстрирующие способы, которые могут выполняться телеметрическим устройством, работающим в режиме только ГИ-телеметрии, режиме только ЭМ-телеметрии, параллельном подтверждающем режиме телеметрии и параллельном совместном режиме телеметрии;
 фиг. 11А и 12А представляют собой графики потока бурового раствора, скорости вращения бурильной колонны, ЭМ-телеметрической передачи и ГИ-телеметрической передачи как функции времени при работе телеметрического инструмента в параллельном подтверждающем режиме телеметрии и параллельном совместном режиме телеметрии соответственно;
 фиг. 13 - схематическую блок-схему, на которой показаны поверхностные компоненты примерной телеметрической системы;
 фиг. 14 - логическую схему, применяемой примерной телеметрической системой для определения уровней достоверности полученных сигналов ЭМ-и ГИ-телеметрии, которые были переданы телеметрическим устройством, работавшим в параллельном подтверждающем режиме.

Описание

По всему тексту последующего описания изложены конкретные детали, чтобы дать специалистам в области, к которой относится изобретение, более полное представление. Вместе с тем во избежание затруднения понимания изобретения хорошо известные элементы могут не показываться или не описываться подробно. Последующее описание примеров технологии не предназначено быть исчерпывающим или ограничивающим систему точными формами любого приблизительного варианта осуществления. Соответственно, описание и чертежи следует рассматривать в иллюстративном смысле, а не в ограничительном.

Примерная ситуация бурения.

На фиг. 1 схематически показана примерная операция бурения. Буровая установка 10 приводит в действие бурильную колонну 12, которая содержит секции бурильной трубы, проходящие до бурового долота 14. Проиллюстрированная буровая установка 10 содержит деррик 10А, пол 10В буровой установки и буровую лебедку 10С для поддержки бурильной колонны. Буровое долото 14 имеет больший диаметр, чем бурильная колонна над буровым долотом. Кольцевое пространство 15, окружающее бурильную колонну, обычно заполнено буровым раствором. Буровой раствор закачивается гидравлическим забойным двигателем 15А через электрически изолирующий узел 13 электрического разделителя, отверстие в бурильной колонне до бурового долота и возвращается на поверхность через кольцевое пространство 15, вынося буровой шлам после операции бурения. По мере бурения скважины в стволе скважины может собираться обсадная колонна 16. Обсадная колонна может быть окружена бетоном. На верхнем конце обсадной колонны установлен противовыбросовый превентор 17. Буровая установка, проиллюстрированная на фиг. 1, - это лишь пример. Способы и устройство, описанные в настоящем документе, не являются характерными для любого конкретного типа буровой установки.

Узел 13 электрического разделителя содержит электрически изолированную (непроводящую) часть, создающую электрически изолирующий разрыв, известный как зазор, между верхней и нижней частями узла 13 электрического разделителя. Узел 13 электрического разделителя может образовывать часть КНБК и располагаться в верхней части КНБК. Проводящие части выше и ниже узла 13 электрического разделителя могут образовывать антенны дипольной антенны. Дипольная антенна может использоваться для ЭМ-телеметрии.

Кроме того, система, подобная показанной на фиг. 1, может содержать систему для передачи информации между поверхностью и местом в скважине. Таким образом, можно обеспечить двустороннюю связь между поверхностью и забойным инструментом. Принципы, описанные в настоящем документе, могут быть применимыми к односторонней передаче данных или двусторонней передаче данных или даже многосторонней передаче данных между несколькими забойными приборами и поверхностью.

В проиллюстрированном варианте осуществления забойная система 20 сообщается для передачи

данных с поверхностным оборудованием, которое содержит поверхностный приемопередатчик 26. Забойная система 20 может использовать два или более методов телеметрии для передачи данных в поверхностный приемопередатчик 26. В некоторых вариантах осуществления эти телеметрические методы представляют собой отличающиеся телеметрические методы (телеметрические методы, в которых для передачи данных применяются разные физические принципы). Например, телеметрические методы могут выбираться из следующего: электромагнитная телеметрия, гидроимпульсная телеметрия, акустическая телеметрия по бурильной колонне, акустическая телеметрия по буровому раствору и т.д.

Забойная система 20 может содержать два или более компонентов аппаратных средств, которые могут устанавливаться в двух или более отдельных местах (например, гидроимпульсный генератор, установленный на бурильной колонне в первом месте, и генератор ЭМ-сигналов, установленный на бурильной колонне во втором месте).

В одном примерном варианте осуществления, который также обладает определенными преимуществами, два телеметрических метода включают электромагнитную телеметрию и гидроимпульсную телеметрию. В случае гидроимпульсной телеметрии данные передаются с использованием гидроимпульсов 22, которые генерируются в некотором месте в скважине, принимаются датчиком 24 импульсов и передаются в поверхностный приемопередатчик 26. Датчик 24 импульсов может, например, представлять собой датчик давления, обнаруживающий изменения давления бурового раствора в бурильной колонне 12.

Электромагнитная телеметрия включает генерирование электромагнитных волн в некотором месте в скважине. Электромагнитные волны 28 распространяются на поверхность. На фиг. 1 показаны эквипотенциальные линии 28А и линии 28В протекания электрического тока, представляющие электромагнитную волну 28. Эти линии по характеру являются схематическими, поскольку земля обычно неоднородна. Электромагнитные волны 28 могут обнаруживаться поверхностным приемопередатчиком 26. В проиллюстрированном варианте осуществления поверхностный приемопередатчик 26 подключен для измерения разности потенциалов между одним или несколькими заземленными электродами 30 и бурильной колонной 12.

Поверхностный приемопередатчик 26 может быть соединен с датчиком 24 импульсов, электродами 30 и бурильной колонной 12 (соединение с бурильной колонной 12 может быть, например, посредством противовыбросового превентора 17) кабелями 27 связи.

Поверхностный приемопередатчик 26 может содержать компьютер 32 и общаться с ним. Компьютер 32 может содержать склад данных для сохранения зарегистрированных данных. Кроме того, компьютер 32 может содержать устройство отображения, посредством которого принятая информация может отображаться одному или нескольким пользователям.

Поверхностный приемопередатчик 26 может факультативно быть выполнен для передачи информации в забойную систему 20 с использованием одного или нескольких телеметрических методов, для которых поверхностный приемопередатчик 26 приспособлен для передачи. Это устройство может позволять пользователям буровой установки 10 посылать, например, управляющую информацию в забойную систему 20 и, следовательно, в компоновку низа бурильной колонны. В некоторых вариантах осуществления поверхностный приемопередатчик 26 может передавать данные в забойную систему 20 с использованием одного или нескольких телеметрических методов, для которых забойная система 20 приспособлена для приема (и не обязательно передачи) данных. Например, в буровой установке 10, в которой бурильная колонна приводится в действие с поверхности, данные могут передаваться в забойную систему 20 путем изменения параметров бурения (таких как скорость и/или направление вращения бурильной колонны). Поверхностный приемопередатчик 26 может дополнительно или альтернативно передавать данные в забойную систему 20 с использованием одного или нескольких телеметрических методов, для которых забойная система 20 приспособлена для приема и передачи данных. Например, забойная система 20 с поддержкой электромагнитной телеметрии может предназначаться как для приема, так и для передачи данных с использованием электромагнитной телеметрии.

Структурные схемы забойных систем.

Забойные системы в соответствии с некоторыми вариантами осуществления изобретения предусматривают две или более отдельных телеметрических систем, которые могут применяться, как описано в настоящем документе, для передачи данных поверхностному оборудованию из скважины. На фиг. 2 и 2А показаны два примера этих забойных систем.

На фиг. 2 показана логически структурирована примерная забойная система 40. Управляющая система 42 общается с одной или несколькими системами 44 датчиков и одной или несколькими телеметрическими системами 46. Система 44 датчиков может содержать несколько датчиков. Датчики могут представлять собой любые датчики, известные в данной области техники, или которые будут разработаны позже, и могут включать, например, один или несколько из следующих датчиков: ударные датчики, датчики частоты вращения, датчики потока, датчики направления и угла наклона, акселерометры, магнитометры, датчики гамма-каротажа, датчики давления, датчики удельного сопротивления, датчики температуры, датчики свойств флюидов, нейтронные датчики и т.п.

В показанном примере телеметрические системы 46 представляют собой одну или несколько ЭМ-

телеметрических систем 46А и одну или несколько ГИ-телеметрических систем 46В. Управляющая система 42 принимает данные датчиков из системы (систем) 44 датчиков и предоставляет все или часть принятых данных одной или нескольким телеметрическим системам 46 для передачи.

Управляющая система и контроллеры.

Управляющая система 42 может содержать одно физическое устройство или несколько устройств, предназначенных для работы независимо или совместно для приема и/или передачи данных с помощью телеметрических систем 46. В некоторых вариантах осуществления, таких как примерный вариант осуществления, показанный на фиг. 2А и 3, каждая телеметрическая система 46 связана с соответствующим контроллером. Может предусматриваться дополнительное число контроллеров, каждый из которых связан с одним или несколькими датчиками системы 44 датчиков. Все эти контроллеры могут совместно образовывать управляющую систему 42.

Контроллер (например, управляющая система 42, или отдельные контроллеры 42А и 42В, или любой иной контроллер, управляющая система или управляющий модуль, описанные в настоящем документе) может представлять собой любое подходящее устройство или комбинацию устройств. В некоторых вариантах осуществления каждый контроллер содержит одно или несколько программируемых устройств, таких как одно или несколько устройств, выбранных из следующего: ЦП, процессоры для обработки данных, встраиваемые процессоры, процессоры цифровых сигналов, микропроцессоры, компьютеры на основе однокристалльных систем и т.п. Процессор (процессоры) может (могут) представлять собой, например, встраиваемые процессоры, такие как МП (многоядерные процессоры) серии dsPIC33, выпускаемые компанией Microchip Technology Inc., г. Чандлер, штат Аризона, США. Эти программируемые устройства сконфигурированы посредством программного обеспечения и/или программно-аппаратных средств для выполнения требуемых функций контроллера и сопрягаются с другими частями забойной системы посредством подходящих интерфейсов. В некоторых вариантах осуществления два или более контроллеров могут быть реализованы в программном обеспечении, выполняемом в одном процессоре или группе процессоров. В дополнение или как альтернатива использованию программируемых устройств контроллер может содержать логические схемы, которые могут быть жестко-смонтированными, выполненными в микросхемах заказных интегральных схем и т.п. и/или быть конфигурируемыми логическими схемами, такими как программируемые пользователем матрицы логических элементов.

Каждый контроллер может содержать один или несколько соответствующих складов данных. Склад данных может быть отдельным или совместно использоваться двумя или более контроллерами. Склады данных могут представлять собой любые подходящие устройства для хранения данных и/или программных указаний. Например, склады данных могут представлять собой микросхемы памяти, карты памяти, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), энергонезависимую память, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), твердотельную память, оптическую память, магнитную память и т.п. Склад (склады) данных может (могут) содержать программу, исполняемую программируемым устройством (устройствами), для кодирования результатов измерений датчиков в телеметрические данные и для отправки управляющих сигналов в блоки телеметрии (например, блок ЭМ- или ГИ-телеметрии) для передачи телеметрических сигналов на поверхность.

Кожухи.

Компоненты забойных систем, описанные в настоящем документе, могут, по крайней мере, частично содержаться в кожухе (см., например, элемент 51 на фиг. 3). Например, в кожухе 51 могут содержаться элементы контроллера забойной системы. Кожух может выполняться как охранный кожух, уплотненный для предотвращения попадания в кожух флюидов под давлениями в забойной среде.

Факультативно, некоторые или все элементы датчиков забойной системы могут находиться снаружи кожуха 51. Элементы, содержащиеся внутри кожуха 51, могут быть реализованы на одной или нескольких схемных платах, соединенных подходящей электрической или логической проводкой и/или соединенных любым иным подходящим образом, известным в данной области техники. Схемная плата (платы) может (могут) представлять собой печатные платы с одним или несколькими контроллерами, припаянными к поверхности платы (плат). Схемная плата (платы) может (могут) крепиться на устройстве-носителе (не показан), прикрепленном внутри кожуха 51, например деталями торцевой крышки (не показаны).

В одном варианте осуществления кожух 51 представляет собой один охранный кожух. Преимущественно, предлагается компактное телеметрическое устройство, содержащее драйверы для двух или более телеметрических способов в одном охранным кожухе. Некоторые варианты осуществления содержат кожух 51 зонда, который короче и шире, чем нынешние стандарты в отрасли. В одном предпочтительном на данный момент варианте осуществления кожух зонда значительно короче телеметрических зондов по нынешним стандартам в отрасли, имея длину менее 6 футов (примерно 2 метра) и, предпочтительно, не более 4 футов (примерно 1,3 м).

В некоторых вариантах осуществления кожух 51 содержит цилиндрическую трубу, изготовленную из двух металлических частей с электрически изолирующим разрывом между ними. ЭМ-сигналы из генератора внутри кожуха 51 могут подаваться на металлические части кожуха, которые в свою очередь

могут находиться в электрическом контакте с двумя сторонами электрического разделителя. В некоторых вариантах осуществления кожух 51 расположен так, что кожух 51 перекрывает зазор электрического разделителя частями кожуха 51, проходящими к обоим сторонам электрического разделителя 78.

Может быть эффективной такая конфигурация устройства 50, при которой электрически изолирующий разрыв в кожухе 51 расположен далеко от чувствительной электроники устройства 50. Например, электрически изолирующий разрыв может находиться возле одного конца кожуха 51. В других вариантах осуществления электрически изолирующий разрыв может находиться в любом месте вдоль кожуха 51. Все что требуется, - это конструкция, позволяющая двум выходам генератора сигналов подключаться к противоположным сторонам электрического разделителя.

Забойные системы, описанные в настоящем документе, не ограничиваются забойными системами, заключенными в зондах в отверстиях бурильной колонны. Например, забойная система полностью или частично может находиться в кармане у стенки компонента бурильной колонны.

На фиг. 2А показана еще одна примерная телеметрическая забойная система 40А, в которой управляющая система 42 содержит специализированный контроллер для каждой телеметрической системы 46. На фиг. 2А показаны контроллер 42А для ГИ-телеметрической системы 46А и контроллер 42В для ЭМ-телеметрической системы 46В. Если предусмотрены дополнительные телеметрические системы, могут быть предусмотрены и дополнительные контроллеры. Компонент на фиг. 2А обладает особыми преимуществами, рассмотренными в настоящем документе.

На фиг. 3 схематически показана забойная система 50 в соответствии с одним примерным вариантом осуществления. Забойная система 50 - это один более конкретный пример общей структурной схемы, примером которой является забойная система 40А.

Примерное телеметрическое устройство 50 содержит несколько контроллеров, которые вместе образуют управляющую систему 42. Проиллюстрированный вариант осуществления содержит контроллер 52 датчиков состояния, контроллер 60 датчиков интерфейсов, ЭМ-контроллер 70, ГИ-контроллер 80 и контроллер 90 мощности. Компоненты устройства 50 заключены в кожухе 51.

Контроллер 52 датчиков состояния подключен к датчикам, отслеживающим параметры, относящиеся к текущему состоянию бурильной колонны. В некоторых вариантах осуществления выходные сигналы одного или нескольких таких датчиков используются для управления включением или выключением одной или нескольких систем устройства 50 для переключения устройства 50 между несколькими режимами работы или иным образом управления работой этих систем. В показанном варианте осуществления эти датчики включают датчик 54 гидровыключателя, который обнаруживает состояние гидровыключателя бурового раствора в КНБК, гиродатчик 56, который обнаруживает частоту вращения КНБК и гироскопическую информацию, и ударный датчик 58, который может обнаруживать ударные усилия, с которыми сталкивается КНБК в трех измерениях.

Контроллер 52 датчиков состояния может, например, использовать показания связанных датчиков для различения между разными режимами бурения. Например, контроллер 52 датчиков состояния может быть выполнен для различения между скважиной без аномально-высокого давления (когда отсутствует поток бурового раствора и отсутствует вращение бурильной колонны), "слайдингом" (когда буровой раствор протекает, но бурильная колонна не вращается в значительной степени с поверхности), и полным бурением (когда буровой раствор протекает, и бурильная колонна вращается с поверхности). В некоторых вариантах осуществления работа устройства 50 автоматически выполняется по-разному в зависимости от текущего режима бурения (обнаруживаемого, например, контроллером 52 датчиков состояния).

Контроллер 60 датчиков интерфейсов обычно сообщается с датчиками, отслеживающими параметры, показывающие характеристики окружающей формации и/или положение КНБК относительно формации. Эти датчики могут включать, например, датчик 62 направления и угла наклона, датчик 64 гамма-каротажа, измеряющий состав окружающей формации путем измерения гамма-излучения, и резервный датчик 66 направления и угла наклона. Могут предусматриваться и дополнительные датчики любых подходящих типов.

В проиллюстрированном варианте осуществления устройство 50 имеет несколько резервных датчиков 67. Контроллер 60 датчиков интерфейсов может соединяться с резервными датчиками 67, и/или резервный контроллер 60А датчиков интерфейсов может соединяться с резервными датчиками 67. Резервные датчики 67 могут дублировать некоторые или все датчики в устройстве 50 для обеспечения резервирования в случае отказа основного датчика. Показания из резервных датчиков могут использоваться различными путями, как описано ниже.

Примерные аппаратные средства ЭМ-телеметрии.

ЭМ-контроллер 70 сообщается с ЭМ-телеметрической подсистемой. В некоторых вариантах осуществления генератор ЭМ-сигналов содержит источник питания, имеющий первый и второй выходы и мостовую схему, подключенную к указанным выходам, причем выходы источника питания могут подключаться к противоположным сторонам электрического разделителя 78 (например, посредством электрически разделенных проводящих частей кожуха 51) в любой полярности. Источник питания может, например, представлять собой источник питания постоянного тока с ограничением тока, подающий мощность от аккумулятора на мостовую схему.

Например, в первой конфигурации мостовой схемы один выход источника питания электрически соединен с верхней по стволу скважины стороной электрического разделителя 78, и другой выход источника питания электрически соединен с нижней по стволу скважины стороной электрического разделителя 78. Во второй конфигурации мостовой схемы выходы источника питания подключены наоборот: первый выход источника питания электрически соединен с нижней по стволу скважины стороной электрического разделителя 78, а второй выход источника питания электрически соединен с верхней по стволу скважины стороной электрического разделителя 78. Первый и второй выходы источника питания имеют разные потенциалы (например, земля и заданное напряжение относительно земли или заданное напряжение, положительное относительно локального базового заземления, и другое заданное напряжение, отрицательное относительно локального базового заземления).

Сигнал переменного тока требуемой частоты может распространяться через электрический разделитель 78 путем переключения мостовой схемы между первой и второй конфигурациями, описанными выше, с частотой, вдвое большей требуемой. Мостовой драйвер 76, содержащий мостовую схему, может располагаться на электрически изолирующем разрыве в кожухе 51 или возле него. Это обеспечивает относительно прямое подсоединение мостового драйвера 76 к сторонам электрического разделителя 78.

Фиг. 4 представляет собой более подробный вид возможной компоновки для ЭМ-телеметрического передатчика. Блок 75 ЭМ-телеметрии содержит ЭМ-контроллер 70, генератор 72 сигналов, ЭМ-усилитель 74, аккумулятор 98 и мостовую схему 76. Мостовая схема позволяет прикладывать напряжение к нагрузке в любом направлении и содержит четыре выключателя, из которых одна пара выключателей может быть замкнутой, а другая пара выключателей оставлена разомкнутой, чтобы позволить прикладывать напряжение между двумя выходами в одном направлении ("путь положительной полярности"), и другая пара выключателей может быть замкнутой, а первая пара выключателей оставлена разомкнутой, чтобы позволить прикладывать напряжение между двумя выходами в обратном направлении ("путь обратной полярности"). В мостовой схеме 76 выключатели S1, S2, S3 и S4 расположены так, что выключатели S1 и S4 электрически соединены с одной стороной электрического разделителя 78, а выключатели S2 и S3 электрически соединены с другой стороной электрического разделителя 78. Выключатели S1 и S3 могут замыкаться для установления пути положительной полярности с таким расчетом, чтобы напряжение, приложенное к электрическому разделителю 78, генерировало положительную ЭМ-волну, а выключатели S2 и S4 могут замыкаться для установления пути обратной полярности с таким расчетом, чтобы напряжение, приложенное к электрическому разделителю 78, генерировало отрицательную ЭМ-волну.

Генератор 72 ЭМ-сигналов предназначен для приема телеметрического сигнала из ЭМ-контроллера 70 и преобразования телеметрического сигнала в управляющий сигнал переменного тока, который затем отправляется в ЭМ-усилитель 74. Усилитель 74 предназначен для усиления управляющего сигнала, принятого от генератора 72 ЭМ-сигналов, с использованием энергии от аккумулятора 96, а затем отправки усиленного управляющего сигнала в мостовую схему 76, которая прикладывает усиленный управляющий сигнал к зазору электрического разделителя с полярностью, определенной настройками выключателей в мостовой схеме 76, для генерирования ЭМ-телеметрических сигналов.

В одном примерном варианте осуществления генератор 72 ЭМ-сигналов содержит цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), управляемый для выдачи формы волны, кодирующей данные, подлежащие передаче. Форма волны может представлять собой, например, синусоидальную волну, и данные могут кодироваться по фазе и/или частоте формы волны. Форма волны усиливается усилителем 74. Коэффициент усиления усилителя 74 может устанавливаться, например, конфигурационным файлом для регулировки амплитуды передаваемых ЭМ-телеметрических сигналов до уровня, который может приниматься поверхностным приемопередатчиком 26. Мостовой драйвер 76 прикладывает напряжение переменного тока к электрическому разделителю 78 на наружной стороне кожуха 51. Полярность мостовой схемы 76 может управляться в соответствии с фазой формы волны, выдаваемой усилителем 74. Устройство на фиг. 4 представляет собой лишь один из возможных путей генерирования ЭМ-телеметрических сигналов. С изобретением, описанным в настоящем документе, могут использоваться и другие пути генерирования ЭМ-телеметрических сигналов.

ЭМ-контроллер 70 может передавать любую информацию, доступную ему, пользователям буровой установки 10, путем передачи цифровых сигналов, кодирующих эту информацию, в генератор 72 ЭМ-сигналов. Например, ЭМ-контроллер 70 может передавать информацию, измеренную одним или несколькими датчиками, и предоставленную ЭМ-контроллеру 70 связанным с ним контроллером датчиков, таким как контроллер 52 датчиков состояния или контроллер 60 датчиков интерфейсов.

ЭМ-контроллер 70 может использовать один или несколько методов модуляций для кодирования телеметрических данных в телеметрический сигнал, содержащий ЭМ-несущие. Например, ЭМ-контроллер 70 может использовать амплитудную манипуляцию (ASK), частотную манипуляцию (FSK), фазовую манипуляцию (PSK), квадратурную фазовую манипуляцию (QPSK) или их комбинации, например амплитудно-фазовую манипуляцию (APSK).

Примерные аппаратные средства ГИ-телеметрии.

ГИ-контроллер 80 управляет гидроимпульсной телеметрической подсистемой, подавая сигналы в

драйвер 82 двигателя, который затем управляет двигателем 84. Двигатель 84 может затем открывать и/или закрывать клапан 86 для повышения или снижения давления в бурильной колонне 12 или иным образом создания акустических импульсов или колебаний в буровом растворе которые, кодируют данные. ГИ-контроллер 80 может получать информацию с поверхности путем обнаружения потока бурового раствора в бурильной колонне 12. Например, оператор на буровой установке может управлять потоком бурового раствора так, чтобы передавать информацию в устройство 50. В некоторых вариантах осуществления это может осуществляться путем передачи показаний датчика из датчика 54 гидровыключателя через контроллер 52 датчиков состояния в ГИ-контроллер 80. Альтернативно или дополнительно ГИ-контроллер 80 может быть выполнен с возможностью прямого или непрямого доступа к датчику 54 гидровыключателя, датчику 94 давления или другому датчику (датчикам), предназначенным для обнаружения сообщений, полученных от поверхностного приемопередатчика 26 или действий оператора на буровой установке без использования промежуточного контроллера 52 датчиков состояния.

ГИ-контроллер 80 может использовать один или несколько методов модуляции для кодирования телеметрических данных в телеметрический сигнал, содержащий гидроимпульсы. Например, ГИ-контроллер 80 может использовать амплитудную манипуляцию (ASK), временную манипуляцию (TSK) или их комбинации, такие как амплитудно-временную манипуляцию (ATSK). Манипуляция может факультативно представлять собой двоичную манипуляцию, как, например, двоичную фазовую манипуляцию (BPSK) или двоичную амплитудную манипуляцию (BASK) или двоичную частотную манипуляцию (BFSK). Манипуляция может факультативно передавать символы, каждый из которых представляет несколько битов, например, при использовании манипуляции 4PSK или 8PSK.

ASK включает назначение каждого символа из определенного набора символов уникальному характеру амплитуд импульсов. TSK включает назначение каждого символа из определенного набора символов уникальной временной позиции или комбинации временных позиций в периоде времени.

На фиг. 5 показана примерная компоновка ГИ-телеметрического передатчика. Блок 85 ГИ-телеметрии может использоваться вместо простой комбинации двигателя 84 и клапана 86, как показано на фиг. 3. Блок 85 ГИ-телеметрии содержит узел 150 ротора и статора и узел 152 генератора импульсов, оба из которых расположены аксиально внутри утяжеленной бурильной трубы 155 с кольцевым зазором между ними и трубой, чтобы позволить буровому раствору протекать через этот зазор. Узел 150 ротора и статора содержит статор 153 и ротор 154. Статор 153 неподвижен относительно утяжеленной бурильной трубы 155, а ротор 154 прикреплен к приводному валу 256 узла 152 генератора импульсов. Узел 152 генератора импульсов также неподвижен относительно утяжеленной бурильной трубы 155, хотя на фиг. 5 это не показано. Кроме того, узел 152 генератора импульсов содержит двигатель 157, который питается от аккумулятора 96 (не показан на фиг. 5) и который соединен с приводным валом 156, а также с соответствующей схемой 158, которая в свою очередь сообщается с ГИ-контроллером 80 (не показан на фиг. 5). Схема 158 двигателя принимает закодированный телеметрический сигнал от ГИ-контроллера 80 и генерирует управляющий сигнал двигателя, по которому двигатель 157 вращает ротор 154 относительно статора 153 (посредством приводного вала 156) с возможностью управления для генерирования импульсов давления в буровом растворе, протекающем через ротор 154.

Устройство, проиллюстрированное на фиг. 5, представляет собой лишь один из возможных путей генерирования ГИ-телеметрических сигналов. В системах, описанных в настоящем документе, могут использоваться и другие пути генерирования ГИ-телеметрических сигналов.

Управление питанием.

Контроллер 90 питания электрически соединен с одним или несколькими источниками питания, такими как один или несколько аккумуляторов 96 и в целом управляет подачей электрической энергии всем или некоторым телеметрическим устройствам 50. В некоторых вариантах осуществления контроллер 90 питания может избирательно подавать питание любому одному или нескольким из контроллеров и/или связанным с ними подсистемам, и/или уменьшать подачу или отключать питание некоторым контроллерам и/или подсистемам, если возможно экономить энергию. В некоторых вариантах осуществления контроллер 90 питания может заставлять некоторые контроллеры переключаться в режим малого потребления мощности, например контроллер питания может заставить один или несколько других контроллеров работать с более низкими частотами синхронизации для экономии электрической энергии. Контроллер 90 питания может предусматриваться с батареей 92 конденсаторов для коротко- или долгосрочного хранения энергии.

В некоторых вариантах осуществления контроллер 90 действует с возможностью включения или выключения всей забойной системы (за исключением, возможно, контроллера 90 питания, который может продолжать обеспечиваться электроэнергией для возможности снова включить забойную систему в выбранных обстоятельствах). Кроме того, контроллер 90 может действовать с возможностью избирательного активирования или отключения отдельных блоков телеметрии (например, блока ЭМ-телеметрии и блока ГИ-телеметрии), систем датчиков и т.д. Конфигурационный файл для контроллера 90 питания может определять, какие блоки телеметрии, системы датчиков др. снабжаются электроэнергией в любой указанный момент времени.

В некоторых вариантах осуществления контроллер 90 питания содержит или подключен для полу-

чения выходного сигнала от датчика 94 давления. Датчик 94 давления измеряет давление в бурильной колонне. Это давление обычно варьирует в зависимости от глубины в столбе скважины. Контроллер 90 питания может конфигурироваться для управления подачи питания некоторым подсистемам или контроллерам, исходя из выходного сигнала датчика 94 давления. Например, контроллер 90 питания может конфигурироваться для запрета работы ЭМ-телеметрической подсистемы (например, путем отключения питания всей или части ЭМ-телеметрической подсистемы), когда кожух 51 находится на поверхности или возле нее (например, путем обнаружения выходного сигнала датчика 94 давления, показывающего низкое давление). Этот признак может повысить безопасность путем избегания прикладывания к наружной стороне кожуха 51 значительных напряжений, когда кожух 51 находится на поверхности или возле нее.

Факультативно, контроллер 90 питания может предоставлять показания датчика 94 давления другим контроллерам либо в ответ на запросы от других контроллеров, либо иначе. В некоторых вариантах осуществления контроллер 90 питания или один или несколько других контроллеров могут конфигурироваться для переключения системы 50 между несколькими разными режимами работы в ответ на изменения в показаниях датчика 94 давления. Например, в разных режимах работы на поверхность могут передаваться разные данные, и/или эти данные передаются с использованием разных компоновок одной или нескольких телеметрических подсистем. Например, для некоторых глубин система 50 может использовать ЭМ-телеметрию, для других глубин система 50 может использовать ГИ-телеметрию, на других глубинах система 50 может одновременно использовать и ЭМ- и ГИ-телеметрию.

Контроллер 90 питания может подключаться для управления выключателями, подсоединяющим или отсоединяющим другие части устройства 50 от аккумуляторного питания. Например, если устройство 50 работает в режиме, в котором одна телеметрическая система не используется, контроллер 90 управления питанием может отсоединить подачу электроэнергии на телеметрическую подсистему (включая ее контроллер). В период, когда датчики не считываются, контроллер 90 управления питанием может отсоединить подачу электроэнергии датчикам и/или устройству сопряжения с датчиками (например, контроллеру 60 датчиков интерфейсов).

В некоторых вариантах осуществления отдельный контроллер питания не требуется. Функции контроллера 90 питания могут объединяться с функциями другого контроллера и/или распределяться среди других контроллеров в устройстве 50. Например, один контроллер может действовать как контроллер питания ЭМ-телеметрической подсистемы 75 и как интерфейс 60 датчиков, а также действовать как контроллер для ГИ-телеметрической подсистемы.

На фиг. 3А показан примерный вариант осуществления, в котором система 85 управления питанием содержит контроллер 90 питания, подключенный для управления работой выключателей S1, S2, S3 и S4. Выключатель S1 управляет подачей питания на RX-блок и интерфейс 60 датчиков. Выключатель S2 управляет подачей питания на ЭМ-телеметрическую подсистему 75. Выключатель S3 управляет подачей питания на датчик 54 потока. Выключатель S4 управляет подачей питания на блок 80 генератора импульсов давления. Могут предусматриваться и дополнительные выключатели (не показаны) для управления подключения электрической энергии к другим схемам забойной системы.

Различные контроллеры управляющей системы 42 могут сообщаться по шине передачи данных, такой как шина 98 CAN (локальной сети контроллеров). В других вариантах осуществления контроллеры могут сообщаться посредством любого другого подходящего протокола, по физическим или беспроводным сетям, или любым иным образом, известным в настоящее время или разработанным впоследствии.

Забойная система в соответствии с любым из вариантов осуществления, описанных в настоящем документе, может сообщаться с другими датчиками, системами, компонентами, устройствами и т.п. по шине 98 данных или иным образом. Например, управляющая система 42 может дополнительно или альтернативно находиться в сообщении с наддолотным инструментом, который может передавать в управляющую систему 42 результаты измерений, снятые возле бурового долота 14. Эти результаты измерений могут передаваться телеметрической системой 40 любым из путей, раскрытых в настоящем описании.

В некоторых вариантах осуществления схема управления (такая как управляющая система 42 и шина 98 данных) и другие устройства (такие как батарея 92 конденсаторов) объединены на одной или нескольких коротких (например, длиной 12 дюймов (примерно 30 см)) платах-носителях, вместе образуя управляющую систему внутри кожуха 51. В некоторых вариантах осуществления компоненты телеметрического устройства 50 расположены в следующей последовательности: клапан 86, двигатель 84, управляющая система, система 64 гамма-каротажа, система 62 направления и угла наклона и аккумулятор 96. Эти варианты осуществления могут использоваться в любой ориентации (т.е. с клапаном 86, расположенным либо на верхнем по стволу скважины или нижнем по стволу скважины конце), но при расположении клапана 86 на нижнем по стволу скважины конце зонда может уменьшиться повреждение уплотнений зонда от потока бурового раствора.

Ясно, что, по меньшей мере, некоторые варианты осуществления предусматривают один комплект датчиков и систему для управления данными от датчиков, одновременно обеспечивая гибкость для передачи любых данных посредством любого одного или большего количества из нескольких разных телеметрических каналов. В некоторых вариантах осуществления данных (будь то одинаковые данные или

разные данные) могут передаваться одновременно по двум или более телеметрическим каналам. В некоторых вариантах осуществления система имеет конфигурацию, позволяющую каждой из двух или более телеметрических систем (которые могут работать, используя физические принципы, отличающиеся друг от друга) работать независимо друг от друга. Система управления питанием может управлять подачей питания в телеметрические каналы от общего источника питания или общих нескольких источников питания, тем самым обеспечивая лучшее управление питанием, чем можно было бы, если бы каждый телеметрический канал питался от отдельного источника.

Примерные способы передачи данных и конфигурации.

В одном примерном варианте осуществления забойная система, описанная в настоящем документе, может конфигурироваться для передачи данных в любом из нескольких разных режимов, отличающихся друг от друга в том, какие телеметрические системы являются доступными, и/или какие телеметрические системы используются для передачи данных, и/или в случаях, когда доступны более одной телеметрической систем для передачи данных, какие данные передаются с использованием каждой телеметрической системы, и/или какие части забойной системы выключены.

Примерные телеметрические режимы.

Разные режимы могут определять использования разных телеметрических систем или комбинаций телеметрических систем для передачи телеметрических данных.

Режимы только ЭМ- и только ГИ-телеметрии.

Например, одна забойная система, описанная в настоящем документе, такая как система 40 или 40А или 50, может иметь режим только ЭМ-телеметрии (в котором для передачи данных используется только ЭМ-телеметрическая система, например, 46А, 85), режим только ГИ-телеметрии (в котором для передачи данных используется только ГИ-телеметрическая система 46В, 75), или режим параллельной телеметрии (в котором обе ЭМ- и ГИ-телеметрические системы активны и доступны для передачи и могут передавать данные одновременно). В некоторых вариантах осуществления ЭМ-телеметрическая система 46А или 85 выключается, когда система 40 находится в режиме только ГИ-телеметрии, а система 46В или 75 ГИ-телеметрии выключается, когда система 40 находится в режиме только ЭМ-телеметрии.

Использование режима только ЭМ-телеметрии может быть особенно преимущественным в периоды отсутствия потока бурового раствора (условия "отсутствия потока"). В эти периоды электрическая помеха минимальна, а ГИ-телеметрия практически неосуществима. ЭМ-телеметрия может использоваться в эти периоды, например, для быстрой передачи данных исследований. Передача данных исследований в условиях выключения насоса позволяет избежать задержек в ожидании данных исследований, подлежащих передаче ГИ-телеметрией, после возобновления потока раствора. Кроме того, при выключенном насосе ЭМ-телеметрия обычно в наименьшей степени подвержена воздействию шума и может осуществляться с больших глубин и/или с потреблением меньшего количества энергии, чем потребовалось бы для передачи тех же данных в ходе бурения. Использование режима только ГИ-телеметрии может быть особенно преимущественным во время активного бурения.

Режимы параллельной телеметрии.

При передаче данных в режиме параллельной телеметрии телеметрическая система 40 может конфигурироваться для передачи в параллельном подтверждающем режиме, в котором одни и те же телеметрические данные или очень близкие, но отличающиеся телеметрические данные передаются обеими - электромагнитной и гидроимпульской - телеметрическими системами, или в параллельном совместном режиме, в котором некоторые телеметрические данные передаются ЭМ-телеметрической системой, а остальные телеметрические данные передаются ГИ-телеметрической системой. Возможны и комбинированные режимы (например, некоторые данные могут передаваться обеими - электромагнитной и гидроимпульской - телеметрическими системами, а другие данные могут передаваться только одной из ЭМ-телеметрической системы и ГИ-телеметрической системы). В других вариантах осуществления режимы телеметрии, другие нежели ЭМ- и ГИ-телеметрия, могут использоваться отдельно или в комбинации с режимами ГИ-и/или ЭМ-телеметрии и/или в комбинации между собой.

Параллельный подтверждающий режим.

Параллельный подтверждающий режим позволяет поверхностному оборудованию (например, поверхностному приемопередатчику 26) или операторам сравнивать одни и те же данные, переданные блоками 46А, 46В или 75, 85 телеметрии, которые могут приниматься и сравниваться между собой на поверхности. В параллельном подтверждающем режиме ЭМ-телеметрия 46А и ГИ-телеметрия 46В сконфигурированы для передачи одних и тех же данных приблизительно одновременно. Получатель этих двух сигналов (например, поверхностное оборудование или оператор на поверхности) может затем декодировать их и сравнить данные, переданные каждой из телеметрических систем 46. Если данные совпадают, получатель может рассматривать это как свидетельство того, что телеметрические системы 46 работают правильно. Если данные не совпадают, получатель может предпринять попытку откорректировать свои способы или устройство декодирования или может заключить, что одна или несколько телеметрических систем 46 работает неправильно. Таким образом, профиль параллельной подтверждающей конфигурации может служить как режим "проверки системы" или может обеспечивать дополнительную избыточность при передаче критических данных. Более подробно речь об этом пойдет ниже со ссылками на фиг. 14.

В параллельном подтверждающем режиме один из блоков 46А, 46В или 75, 85 телеметрии может назначаться основным или главным передатчиком. В некоторых вариантах осуществления блок 46В, 75 ГИ-телеметрии задается как основной передатчик по умолчанию. Контроллер для основного блока телеметрии может управлять запросами относительно измерений к датчикам (например, датчикам 54, 56, 58, 62, 64, 66, 94) и передавать полученные данные измерений в контроллер для другого блока телеметрии. В некоторых вариантах осуществления данные измерений датчиком потока и частоты вращения могут использоваться для включения передачи данных ЭМ- и ГИ-телеметрии.

В некоторых вариантах осуществления данные, отправленные в параллельном подтверждающем режиме разными блоками телеметрии, могут быть подобными, но отличающимися. Например, данные, отправленные одним блоком телеметрии, могут содержать значение параметра, измеренное в первый момент времени, а данные, отправленные другим блоком телеметрии, могут содержать значение того же параметра, измеренное во второй момент времени, отличный от первого момента времени. В одном примерном варианте осуществления первый и второй моменты времени находятся в пределах доли секунды (например, в пределах 100 или 50 мс) друг от друга.

Параллельный подтверждающий режим может использоваться для определения, какая из двух или более телеметрических систем лучше в текущих условиях бурения. Каждая система может передавать одни и те же данные со своей собственной скоростью. Функциональные возможности каждой телеметрической системы могут полностью использоваться. Критическая информация будет передаваться на поверхность, даже если одна телеметрическая система работает не должным образом в текущих условиях бурения.

Еще одно применение параллельного подтверждающего режима - проверка, может ли конкретная телеметрическая система эффективно использоваться при одновременном обеспечении того, что необходимые данные будут получены передачей этих же данных другой телеметрической системой. Например, при бурении разведочной скважины может быть неизвестно, подходят ли забойные условия для ЭМ-телеметрии. С ЭМ- и ГИ-телеметрическими системами, работающими в параллельном подтверждающем режиме, бурение можно продолжать, даже если ЭМ-телеметрия оказывается неосуществимой, учитывая забойные условия. Если оказывается, что ЭМ-телеметрия функционирует эффективно, то можно использовать преимущество ЭМ-телеметрии над ГИ-телеметрией в части скорости, чтобы ускорить бурение скважины.

В вариантах осуществления, в которых забойная система имеет резервные датчики (например, резервные датчики 67), в некоторых вариантах осуществления забойная система, работающая в параллельном подтверждающем режиме, сконфигурирована для отправки данных из основных датчиков с использованием одной телеметрической системы и соответствующих данных из резервных датчиков с использованием другой телеметрической подсистемы. Это обеспечивает проверку и подтверждение достоверности самих показаний датчиков. В одном альтернативном режиме одна телеметрическая подсистема может отправлять средние значения показаний основного и резервного датчиков, а другая телеметрическая подсистема может отправлять показания основного и/или резервного датчиков.

В некоторых вариантах осуществления забойная система, работающая в параллельном подтверждающем режиме, сконфигурирована для получения данных, представляющих значение из одного датчика в два разнесенных момента времени, и для передачи одного из результирующих значений с использованием первой телеметрической подсистемы и другого из результирующих значений с использованием второй телеметрической подсистемы. Поскольку эти значения можно получить в близкие моменты времени, сравнение этих значений может использоваться для оценки достоверности передачи данных. В этом режиме поверхностное оборудование может получать более быструю выборку значений выходного сигнала датчика, чем получало бы, используя параллельный подтверждающий режим, в котором одно и то же показание датчика передавалось бы дважды по одному разу каждой из двух различных телеметрических подсистем. Этот метод может использоваться, например, для передачи значений в результате гамма-каротажа более высокой плотности.

Примерное использование параллельного подтверждающего режима.

В случае передач, выполняемых в параллельном подтверждающем режиме, и как показано на фиг. 14, поверхностный приемопередатчик 26 и компьютер 32 могут обрабатывать и декодировать каждый ЭМ- и ГИ-телеметрический сигнал в свои соответствующие наборы данных измерений. Компьютер 32 может выполнять протокол контроля ошибок по совпадению битов для каждого набора декодированных данных и затем присваивать каждому набору данных уровень достоверности. Компьютер 32 может использовать протоколы контроля ошибок по совпадению битов, известные в данной области техники, такие как 1-разрядный контроль по четности или 3-разрядный циклический контроль избыточности (CRC). В частности, забойное телеметрическое устройство 50 может добавлять CRC-биты к телеметрическому сигналу, например, в конце телеметрического сигнала ("биты телеметрических данных"), а декодеры поверхностного приемопередатчика 26 могут иметь CRC-биты совпадения ("биты контроля ошибок"), которые будут сравниваться с CRC-битами в телеметрических сигналах для определения, были ли ошибки в телеметрическом сигнале.

В одном варианте осуществления каждому набору данных может назначаться один из трех уровней

достоверности, соответствующих следующему:

- высокая достоверность - биты телеметрических данных совпадают с битами контроля ошибок;
- средняя достоверность - биты телеметрических данных совпадают с битами контроля ошибок только после изменения выбранных порогов, например порога амплитуды;
- недостоверность - биты телеметрических данных не совпадают с битами контроля ошибок даже после изменения выбранных порогов.

Поверхностный приемопередатчик 26 может определять отношение сигнал-шум каждой принятой ЭМ- и ГИ-телеметрии способом, известным в данной области техники.

Поверхностный приемопередатчик 26 может затем сравнивать наборы данных ЭМ- и ГИ-телеметрии и определять, достаточно ли подобны эти наборы данных, чтобы отвечать предопределенному порогу совпадения; если да, то наборы данных считаются совпадающими. В частности, если оба набора данных закодированы с использованием одинакового числа битов, декодированные наборы данных должны иметь точное совпадение. В некоторых вариантах осуществления одинаковые или подобные значения данных кодируются с первой точностью с использованием первого числа битов для передачи в первой телеметрической подсистеме или первом режиме и кодируются со второй точностью с использованием второго числа битов для передачи второй телеметрической подсистемой или вторым режимом. Если наборы данных кодируются с использованием разных чисел битов для представления одних и тех же данных измерений, порог совпадения выдерживается до тех пор, пока ошибка между двумя декодированными наборами данных находится в указанных пределах, например меньше разницы между 1-разрядным изменением.

Если два набора данных совпадают, и оба имеют, по меньшей мере, средний уровень достоверности, то для восстановления данных измерений может использоваться любой набор данных. Если наборы ЭМ- и ГИ-данных не совпадают, и обоим наборам ЭМ- и ГИ-данных назначен одинаковый - высокий или средний - уровень достоверности, поверхностный приемопередатчик 26 может выбирать набор данных, имеющий самое высокое отношение сигнал-шум. Если наборы ЭМ- и ГИ-данных не совпадают, и наборам ЭМ- и ГИ-данных назначены разные уровни достоверности, поверхностный приемопередатчик 26 может выбирать набор данных, имеющий самый высокий уровень достоверности. Если обоим наборам ЭМ- и ГИ-данных назначен уровень недостоверности, поверхностный приемопередатчик 26 может выдать сигнал "нет данных", показывающий, что нельзя использовать ни один набор данных.

Параллельный совместный режим.

Параллельный совместный режим действует подобно двум отдельным телеметрическим системам. В этом режиме каждый из блоков 46А и 46В или 75, 85 ГИ- и ЭМ-телеметрии может конфигурироваться для получения определенных данных измерений от датчиков (например, от некоторых или всех датчиков 54, 56, 58, 62, 64, 66, 94) и кодирования и передачи этих данных. Например, ЭМ-контроллер 70 может конфигурироваться для считывания результатов измерений гамма-каротажа, ударных нагрузок и вибрации и кодирования этих результатов измерений в ЭМ-телеметрический сигнал, а ГИ-контроллер 80 может конфигурироваться для считывания измерений скважинного инструмента и кодирования этих измерений в ГИ-телеметрический сигнал.

Забойная система может конфигурироваться с таким расчетом, чтобы обеспечивать передачу более критических данных измерений телеметрической подсистемой, которая, как ожидается, будет более надежной или более быстрой при текущих условиях бурения, и передачу менее критических данных измерений другой телеметрической подсистемой. Надежность разных телеметрических подсистем может оцениваться на постоянной или периодической основе. Какая телеметрическая подсистема быстрее или надежнее - это может зависеть от глубины и других условий бурения.

Один примерный способ, который может использоваться для оценки относительной достоверности телеметрических данных и выбора телеметрического режима на основании этой оценки, описан ниже со ссылками на фиг. 14. В некоторых вариантах осуществления телеметрическая подсистема сконфигурирована для периодической передачи предопределенных контрольных передач, и надежность канала передачи данных, используемого телеметрической подсистемой, оценивается путем декодирования этих контрольных передач и сравнения декодированных контрольных передач с известным содержанием контрольных передач. Эти контрольные передачи могут дополнительно или альтернативно использоваться для контроля изменений затухания передачи телеметрической системой в зависимости от глубины скважины. Эта информация о затухании может использоваться для управления передачей телеметрических сигналов с компенсацией этого затухания при одновременной экономии электрической энергии, если есть такая возможность.

Как еще один пример, если для разных телеметрических режимов имеются показатели надежности и своевременности (задержки), данные могут распределяться среди телеметрических режимов на основании различных факторов для разных типов данных. Например, для первой категории данных основным критерием может быть высокая достоверность декодированных данных. Данные первой категории данных могут передаваться с использованием телеметрического режима, для которого показатель надежности свидетельствует о самой высокой достоверности переданных данных. Для второй категории данных основным критерием может быть своевременность. Эти данные могут передаваться с использованием

телеметрического режима, для которого показатель своевременности свидетельствует о самой низкой задержке.

В некоторых вариантах осуществления есть третья категория данных, для которых также важна в декодированных данных высокая достоверность. Третья категория не обязательно отличается от первой и/или второй категорий. В этих случаях данные в третьей категории могут передаваться с использованием двух телеметрических режимов: более быстрого, но менее надежного режима, и более медленного, но более надежного режима. В некоторых таких вариантах осуществления поверхностное оборудование декодирует данные, переданные в более быстром, но менее надежном режиме, когда эти данные получены, и делает эти декодированные данные доступными; когда эти же данные приняты в более медленном, но более надежном режиме, поверхностное оборудование может обновлять данные, особенно если декодированные полученные вторыми данные отличаются от менее надежных полученных первыми данными. Если данные отображаются на устройстве отображения, устройство отображения факультативно содержит указание относительно уровня надежности отображаемых в данный момент данных. В некоторых вариантах осуществления устройство отображения содержит указание относительно того, ожидаются или нет и/или когда ожидаются для отображения более надежные данные.

В некоторых вариантах осуществления распределение данных разным телеметрическим подсистемам включает назначение набора данных для передачи одной телеметрической подсистеме. Для этого набора данных может устанавливаться очередь в соответствии с приоритетом, причем наиболее важные данные являются первоочередными. Для завершения передачи этого набора данных может предварительно задаваться предельный срок. Если становится очевидным, что передача этого набора данных не будет завершена к предельному сроку, то некоторая часть этого набора данных может перенаправляться для передачи в альтернативную телеметрическую подсистему. Дополнительно или альтернативно, для передачи набора данных может устанавливаться минимальная скорость передачи в битах. Если минимальная скорость передачи в битах назначенной телеметрической подсистемой не выдерживается, некоторая часть этого набора данных может перенаправляться для передачи в альтернативную телеметрическую подсистему.

В одном варианте осуществления параллельного совместного телеметрического режима один блок 46А, 46В или 75, 85 телеметрии будет передавать свой телеметрический сигнал независимо от того, функционирует или отказал другой блок 46А, 46В или 75, 85 телеметрии. Как более подробно описано в настоящем документе, забойная система может конфигурироваться для переключения телеметрических режимов в ответ на прием команды по нисходящему каналу связи от оператора на поверхности, например команды на переключения с параллельного совместного режима на режим только ГИ-телеметрии, если оператор обнаруживает, что блок 75 ЭМ-телеметрии вышел из строя. В еще одном варианте осуществления блок 75, 85 телеметрии, который вышел из строя или не функционирует надлежащим образом, запрограммирован на отправку сигнала по шине 98 данных. Другой блок 75, 85 телеметрии, который по-прежнему функционирует, может конфигурироваться таким образом, чтобы при приеме этого сигнала переключаться в режим работы, в котором он получает данные измерений от датчиков (например, датчиков 54, 56, 58, 62, 64, 66, 94), которые должны были быть получены вышедшим из строя блоком 75, 85 телеметрии, в дополнение к данным измерений, получать которые этот блок телеметрии уже сконфигурирован.

В еще одном примере параллельного режима блоки 46А, 46В или 75, 85 ЭМ- и ГИ-телеметрии могут конфигурироваться для передачи только некоторых из тех же самых данных измерений (например, данных скважинного инструмента). Это может быть полезным, когда потребуется проверить точность некоторых данных. В некоторых вариантах осуществления соответствующие блоки ЭМ- и ГИ-телеметрии сконфигурированы для получения одних и тех же данные измерений в одно время, т.е. для синхронизации считывания ими данных измерений от соответствующих датчиков.

В одном примере телеметрического режима данные исследований (например, данные исследований, полученные одним или несколькими датчиками 54, 56, 58, 62, 64, 66, 94) могут передаваться блоком 46А или 75 ЭМ-телеметрии, при этом данные исследований кодируются в ЭМ-телеметрический сигнал и передаются блоком 46А или 75 ЭМ-телеметрии во время простоя бурильной колонны - в период отсутствия потока бурового раствора и отсутствия вращения бурильной колонны. После того как данные исследований переданы, блок 46А или 75 ЭМ-телеметрии может выключаться, а остальные данные измерений могут передаваться блоком 46В или 85 ГИ-телеметрии.

Разделение единицы данных, например разделение байтов.

В еще одном типе параллельного совместного режима части отдельных элементов данных передаются с использованием разных блоков телеметрии. Этот подход может помочь частично решить проблему, заключающуюся в том, что при бурении глубоких скважин скорости передачи данных во всех телеметрических режимах могут стать очень низкими. Рассмотрим, например, случай, когда телеметрическая система затрачивает 5 с на бит для передачи определенных данных на поверхность из определенного места в скважине, а объем этих данных 12 бит. В этом примере передача данных с использованием этой телеметрической системы займет по меньшей мере $5 \times 12 = 60$ с. Эти данные могут представлять собой, например, значение одного показания датчика.

Если доступна вторая телеметрическая система, задержку (время между снятием показания датчика и доставкой доступного показания датчика на поверхность) можно уменьшить передачей некоторых из этих битов с использованием каждой из телеметрических систем. Например, если вторая телеметрическая система также может передавать данные из этого места в скважине со скоростью 5 секунд на бит, то каждая телеметрическая система может конфигурироваться на передачу 6 бит данных. В этом режиме время, занимаемое на передачу данных, может быть уменьшено до $5 \times 6 = 30$ с. Таким образом, разделение одного элемента данных между двумя или более телеметрическими каналами (например, между каналом ЭМ-телеметрии и каналом ГИ-телеметрии) может привести к значительно меньшей задержке, что в свою очередь может обеспечить управление операцией бурения, более близкое к управлению в реальном времени. Этот режим может называться "параллельный совместный режим с разделением байтов" (даже хотя разделяемые единицы данных не обязательно являются 8-разрядными байтами).

В некоторых вариантах осуществления разделяемая единица данных представляет собой одно число (например, двоичное число, кодирующее одно или несколько значений параметров). В некоторых вариантах осуществления разделяемая единица данных содержит код с обнаружением и/или исправлением ошибок. Например, один или несколько контрольных битов. Например, в дополнение к информационным битам единица данных может содержать бит контроля по четности, несколько CRC (циклический контроль избыточности)-битов и т.п. В одном примерном варианте осуществления единица данных содержит 7 информационных битов, представляющих данные, такие как данные скважинного инструмента и 3 CRC-бита - в общей сложности 10 битов. В некоторых вариантах осуществления единица данных содержит 33 или меньше битов. В некоторых вариантах осуществления единица данных содержит 7-15 битов. В некоторых вариантах осуществления для эффективного использования единицы данных и/или проверки единицы данных на предмет ошибок и/или для исправления ошибок в единице данных требуется вся единица данных.

В некоторых вариантах осуществления для передачи данных скважинного инструмента используется параллельный совместный режим с разделением байтов. В некоторых вариантах осуществления данные скважинного инструмента передаются способом, меняющимся в зависимости от доступных скоростей передачи данных. Например, если первая телеметрическая подсистема (например, подсистема ГИ-телеметрии) может передавать данные скважинного инструмента с высокой скоростью, данные скважинного инструмента с высоким разрешением могут передаваться с использованием первой телеметрической подсистемы. Если доступная скорость передачи данных падает ниже пороговой величины, данные скважинного инструмента с высоким разрешением могут разделяться, при этом некоторые биты данных скважинного инструмента могут передаваться с использованием первой телеметрической подсистемы, а остальные биты данных скважинного инструмента могут быть отправлены с помощью второй телеметрической подсистемы (например, подсистемы ЭМ-телеметрии). Если скорость передачи данных падает еще ниже, данные скважинного инструмента с высоким разрешением могут передаваться (снова с разделением битов между первой и второй телеметрическими подсистемами). В одном примерном варианте осуществления данные скважинного инструмента с высоким разрешением составляют 11 бит, и данные скважинного инструмента с низким разрешением - 7 бит. В любом случае могут предусматриваться и биты обнаружения/исправления ошибок в данных.

В некоторых вариантах осуществления биты единицы данных распределены между телеметрическими подсистемами пропорционально скорости передачи в битах, с которой могут работать телеметрические системы. Например, если из некоторого места в скважине подсистема ЭМ-телеметрии может передавать данные со скоростью 5 бит каждые 10 с, а подсистема ГИ-телеметрии может передавать данные со скоростью 10 бит каждые 10 с, то для минимизации задержки 12-байтовой единицы данных, 8 байтов могут передаваться подсистемой ГИ-телеметрии, и 4 байта могут передаваться подсистемой ЭМ-телеметрии.

Для обеспечения параллельного совместного режима с разделением байтов контроллер в забойной системе может конфигурироваться для получения показания датчика и переадресации частей показания датчика каждой из двух или более телеметрических систем для передачи. Как еще один пример, контроллер может конфигурироваться для переадресации всего показания датчика каждой из нескольких телеметрических систем, и каждая телеметрическая система может конфигурироваться для передачи соответствующей части показания датчика. Как еще один пример, каждая телеметрическая система может конфигурироваться для получения показания датчика и передачи соответствующей части показания датчика.

Для распределения конкретных битов единицы данных среди телеметрических подсистем может использоваться целый ряд схем. Например, биты могут распределяться с использованием схемы в порядке круговой очереди, по которой каждой из нескольких телеметрических подсистем выделяется один бит или одна группа из двух или более битов по очереди. Например, в случае двух работающих телеметрических подсистем первая из телеметрических подсистем может передавать биты для каждой позиции четного бита в единице данных, а вторая из телеметрических подсистем может передавать биты для каждой позиции нечетного бита единицы данных.

Как альтернатива, старшие биты единицы данных могут передаваться первой телеметрической под-

системой, а младшие биты могут передаваться второй телеметрической подсистемой. В этом случае надежность передач данных телеметрических подсистем может факультативно использоваться для определения, какая телеметрическая подсистема используется для передачи старших битов единицы данных, и какая телеметрическая подсистема используется для передачи младших битов единицы данных. Например, более надежная (с более низкой частотой появления ошибок) телеметрическая подсистема может использоваться для передачи младших битов в случаях, когда существует меньшая вероятность изменения старших битов между последующими показаниями датчиков.

Распределение битов определенных единиц данных среди нескольких телеметрических подсистем может выполняться в соответствии с predetermined профилем конфигурации (рассмотренным ниже). В других вариантах осуществления распределение битов определенных единиц данных среди нескольких телеметрических подсистем может задаваться с помощью команд по нисходящему каналу связи или устанавливаться автоматически в забойной системе (которая может затем сообщать это распределение битов поверхностному оборудованию с использованием одной или нескольких телеметрических систем). Поверхностное оборудование выполнено для приема, декодирования и объединения битов для восстановления переданных данных.

В некоторых вариантах осуществления одна или несколько телеметрических систем выполнена для передачи символов, каждый из которых представляет N битов (где N меньше размера единицы данных, подлежащей передаче), а забойная система выполнена для отправки N битов элемента данных телеметрической системы и для отправки остальной части единицы данных с использованием одной или нескольких других телеметрических систем.

Благодаря возможности работы в нескольких разных телеметрических режимах забойные системы, описанные в приведенных примерах, обеспечивают оператору гибкость в управлении системой предпочтительным образом. Например, оператор может увеличивать ширину полосы пропускания телеметрического инструмента, работая в параллельном совместном режиме, поскольку обе системы ЭМ- и ГИ-телеметрии одновременно передают телеметрические данные по отдельным каналам. Или оператор может повысить надежность и точность передачи, работая в параллельном подтверждающем режиме, поскольку при этом оператор имеет возможность выбрать телеметрический канал, имеющий более высокий уровень достоверности. Или оператор может экономить энергию, работая в одном из режимов только ГИ-телеметрии или только ЭМ-телеметрии. Или оператор может уменьшить задержку передачи отдельных параметров или других блоков информации, работая в режиме "разделения байтов".

Кроме того, оператор может выбирать режимы только ГИ-телеметрии или только ЭМ-телеметрии, исходя из того, какой режим лучше всего подходит к текущим рабочим условиям; например, если порода-коллектор требует, чтобы ЭМ-телеметрическая система передавала с очень низкой частотой, чтобы ЭМ-телеметрический сигнал достиг поверхности, при этом результирующая низкая скорость передачи данных может заставить оператора выбрать для передачи режим только ГИ-телеметрии. И наоборот, при отсутствии протекающего бурового раствора (например, при бурении с очисткой забоя воздухом) оператор может выбрать для передачи телеметрических данных режим только ЭМ-телеметрии. Гибкость забойных систем в соответствии с предпочтительными вариантами осуществления, описанными в настоящем документе, обеспечивает выполнение этих забойных систем со следующими преимуществами: более быстрая передача данных, более высокая эффективность использования энергии, более надежная передача данных и/или более гибкая передача данных.

Режимы проверки.

Некоторые варианты осуществления предусматривают для разных телеметрических систем режимы проверки. В режиме проверки телеметрическая система может работать на передачу predetermined данных для их приема и анализа на поверхности.

Благодаря наличию нескольких разных телеметрических режимов, в которых телеметрические сигналы могут передаваться телеметрическим устройством 50 и приниматься поверхностным приемопередатчиком 26, телеметрическая система предоставляет оператору большую гибкость в последовательности выполнения технологических операций. Телеметрическое устройство 50 может получить команду на передачу с самой высокой скоростью передачи данных, доступной при текущих рабочих условиях; например, если телеметрическое устройство 50 находится в таком месте, что блок 75 ЭМ-телеметрии должен передавать ЭМ-телеметрический сигнал очень низкой частоты, чтобы достичь поверхности и в результате чего скорость передачи данных ниже скорости передачи данных блока 85 ГИ-телеметрии, оператор на поверхности может послать команду по нисходящему каналу связи телеметрическому устройству 50 на передачу с использованием блока 85 ГИ-телеметрии. Кроме того, телеметрическое устройство 50 может получить команду на передачу в одном телеметрическом режиме, когда условия работы не позволяют передавать в другом телеметрическом режиме; например, при отсутствии протекающего бурового раствора телеметрическое устройство 50 может получить команду на передачу в режиме только ЭМ-телеметрии. Кроме того, телеметрическое устройство 50 может использоваться в параллельном совместном режиме, эффективно удваивая число телеметрических каналов, тем самым увеличивая общую ширину полосы пропускания данных телеметрического устройства 50. Кроме того, надежность телеметрического устройства 50 может быть повышена передачей в параллельном подтверждающем режиме и

выбором телеметрических данных, имеющих самый высокий уровень достоверности. Кроме того, если одна телеметрическая подсистема выходит из строя или не может использоваться в текущих условиях, для обеспечения непрерывного бурения может использоваться другая телеметрическая система.

Синхронизация поверхностного оборудования.

Для того чтобы декодировать сообщения, принятые от забойной системы, поверхностному оборудованию необходимо знать, каким образом данные закодированы. Это можно проделать самыми разными путями. Например

в некоторых вариантах осуществления конкретные данные, подлежащие кодированию забойной системой, и путь, каким эти данные кодируются, predetermined. Забойная система сконфигурирована для передачи данных с использованием predetermined схемы, а поверхностное оборудование сконфигурировано для декодирования этих данных с помощью знания этой predetermined схемы.

В некоторых вариантах осуществления разные группы данных передаются забойной системой в соответствии с различными predetermined схемами. Поверхностное оборудование может конфигурироваться для декодирования данных и для определения, какая схема использовалась для каждого набора полученных данных, на основании информации в этих данных (например, заголовок кадра, идентификационный код и т.п.).

Схемы кодирования могут быть выбраны и/или заданы после того, как была установлена забойная система. Это можно проделывать, например, когда забойная система находится относительно близко к поверхности, и поэтому доступна надежная относительно высокоскоростная связь. В некоторых таких вариантах осуществления телеметрическая информация, такая как один или несколько аспектов выбора данных, и/или способов кодирования для этих данных, и/или телеметрического режима, и/или очередности данных, может определяться в забойной системе и передаваться поверхностному оборудованию. Эта передача может выполняться с использованием predetermined протокола. Например, поверхностная система может конфигурироваться на ожидание двоичного сообщения о состоянии, показывающего, как поверхностная система должна декодировать принятые телеметрические передачи. Эта телеметрическая информация может впоследствии использоваться поверхностным оборудованием для декодирования телеметрических данных, принятых поверхностным оборудованием.

В некоторых вариантах осуществления одна телеметрическая подсистема (например, подсистема ЭМ-телеметрии) может использоваться для передачи телеметрической информации для всех или группы телеметрических подсистем. В некоторых вариантах осуществления забойная система может определять телеметрическую информацию, исходя частично из рабочего состояния и наличия доступных телеметрических подсистем.

В некоторых вариантах осуществления одна телеметрическая подсистема может использоваться для передачи телеметрической информации для другой телеметрической подсистемы и наоборот. Например, подсистема ЭМ-телеметрии может использоваться для передачи поверхностному оборудованию телеметрической информации, необходимой для декодирования телеметрических данных от забойной подсистемы ГИ-телеметрии, а подсистема ГИ-телеметрии может использоваться для передачи поверхностному оборудованию телеметрической информации, необходимой для декодирования телеметрических данных от забойной подсистемы ЭМ-телеметрии.

Забойная система может передавать сообщения о состоянии, показывающие изменения в телеметрических режимах, какие данные передаются, как эти данные форматированы, имеет ли место разделение байтов, и/или другие данные, необходимые или используемые для декодирования телеметрических данных на поверхности.

В одном примерном варианте осуществления система ЭМ-телеметрии используется для передачи информации, касающейся кодирования данных, переданных системой ГИ-телеметрии. Это может значительно уменьшить количество времени, необходимого для того, чтобы начать принимать и декодировать данные с помощью системы ГИ-телеметрии. В случае наличия нескольких доступных каналов ЭМ-телеметрии (например, забойными являются две системы ЭМ-телеметрии) факультативно один канал ЭМ-телеметрии может выделяться для предоставления телеметрической информации для других каналов телеметрии (например, для канала ГИ-телеметрии и/или для другого канала ЭМ-телеметрии). Управляющая информация может кодироваться и передаваться, например, в соответствии с predetermined форматом.

Телеметрическая информация в любом варианте осуществления может содержать, например, индекс, идентифицирующий predetermined профиль конфигурации, данные, показывающие схему кодирования, данные, показывающие телеметрический режим, и/или другие данные, предоставляющие информацию, необходимую или используемую для обнаружения и/или декодирования в поверхностном оборудовании принятых телеметрических передач.

Переключение режимов.

Забойная система (например, 40, 40А, 50) может переключаться между доступными режимами различными путями. Эти пути включают

принятие команды по нисходящему каналу связи от поверхностного оборудования;

принятие введенной пользователем информации до установки забойной системы;

автоматическое изменение режимов в ответ на обнаруженное состояние бурения;
автоматическое изменение режимов в ответ на один или несколько результатов измерений, собранных датчиками забойной системы;

автоматическое изменение режимов в ответ на состояние забойной системы (например, наличие питания, отказ компонента, включение или отключение одной или нескольких подсистем забойной системы, например системы ЭМ-телеметрии, системы ГИ-телеметрии и т.д.). Отключение подсистемы забойной системы может быть вследствие, например, повреждения, нарушения нормальной работы, автоматического процесса, указания пользователя, намеренного или ненамеренного пропадания питания, условий, снижающих эффективность телеметрической системы, и/или любой иной причины);

автоматическое изменение режимов в ответ на условия, влияющие на одну или несколько телеметрических систем (например, чрезмерное потребление тока для системы ЭМ-телеметрии, недостаточный поток для системы ГИ-телеметрии);

автоматическое изменение режимов в predetermined моменты времени; и комбинации этих путей.

В некоторых вариантах осуществления забойная система может конфигурироваться для осуществления телеметрии определенным путем или путями посредством загрузки одного или нескольких профилей конфигурации на поверхности. Инструмент может затем работать в одной конфигурации для всей забойной системы. В других вариантах осуществления забойная система может конфигурироваться для переключения между двумя или более разными режимами в ответ на команды с поверхности (переданные по нисходящему каналу связи телеметрической системы или из-за predetermined режимов работы бурильной колонны и/или системы бурового раствора) и/или автоматически в ответ на определенные события и/или условия. В некоторых вариантах осуществления забойная система загружается с информацией о конфигурации, указывающей каждый из последовательности режимов работы в predetermined порядке. В этих вариантах осуществления для управления забойной системой для переключения на следующий из последовательности режимов может быть достаточно очень короткой команды.

В некоторых вариантах осуществления команды по нисходящему каналу связи предоставляются посредством ЭМ-телеметрии с использованием нисходящего канала связи.

В некоторых вариантах осуществления переключение между разными режимами достигается переключением между соответствующими профилями конфигурации, указывающими атрибуты разных режимов, как подробнее описано ниже.

Если телеметрическая подсистема переконфигурируется для передачи данных другим путем (например, для изменения схемы кодирования, формата, в каком данные представляются в телеметрических сигналах, и т.д.), поверхностное оборудование должно тоже переконфигурироваться, чтобы правильно декодировать принятые телеметрические сигналы. Из-за проблем связи с забойной системой на значительных глубинах возможны случаи, когда неизвестно, принята ли и исполняется ли забойной системой команда по нисходящему каналу. В некоторых вариантах осуществления, если забойная система переконфигурирует одну телеметрическую подсистему, забойная система конфигурируется для передачи подтверждающей информации другой телеметрической системой, подтверждающей изменение. Подтверждающая информация может факультативно содержать информацию, указывающую или идентифицирующую новый режим. Например, если ЭМ-система переконфигурирована на более низкую частоту, и/или другое число циклов на бит, и/или другую схему кодирования, информация поверхностному оборудованию может передаваться подсистемой ГИ-телеметрии, подтверждающей, что подсистема ЭМ-телеметрии на данный момент переконфигурирована. Подобным образом, подсистема ЭМ-телеметрии может использоваться для отправки подтверждающей информации, подтверждающей, что подсистема ГИ-телеметрии переконфигурирована.

Примерные использования переключения режимов.

Пример 1.

В одном примерном варианте осуществления забойная система 40, 40А, 50 сконфигурирована (например, с помощью подходящего программного обеспечения) на начало работы сначала с использованием выбранного телеметрического режима и на переключение в другой телеметрический режим в ответ на команду по нисходящему каналу связи от поверхностного оборудования.

Пример 2.

В другом примерном варианте осуществления в первом режиме активны и доступны для передачи как ЭМ-телеметрическая система 46А, так и ГИ-телеметрическая система 46В. Первый режим может быть "параллельным совместным" режимом, в котором ЭМ-телеметрическая система 46А сконфигурирована для передачи самых последних результатов измерений от системы 62 направления и угла наклона вместе с результатами измерений из одного или нескольких остальных датчиков. В первом режиме ГИ-телеметрическая система 46В может быть выделена исключительно для передачи самых последних результатов измерений системы 64 гамма-каротажа. В первом режиме телеметрические системы 46 передают данные независимо, чтобы получить соответствующее увеличение общей ширины полосы пропускания телеметрической системы 40.

Кроме того, в этом примере управляющая система 42 может конфигурироваться так, что если сис-

тема 46В ГИ-телеметрии отключается, или если с поверхности принято соответствующее указание, управляющая система 42 может переключать на второй режим "только ЭМ-телеметрии". До переключения режимов управляющая система 42 может отправлять сообщение о состоянии. Сообщение о состоянии информирует поверхностное оборудование об изменении режима.

В режиме только ЭМ-телеметрии забойная система может конфигурироваться так, чтобы заставлять ЭМ-телеметрическую систему 46А передавать самый последний результат измерения системы 64 гамма-каротажа в каждом втором кадре (например, в нечетных кадрах), оставляя оставшиеся (например, четные кадры) для использования для других требуемых данных. В альтернативном варианте осуществления второй режим может конфигурировать телеметрические системы 46 для независимой работы так, что в случае отключения одной телеметрической системы 46, оставшаяся телеметрическая система (системы) 46 продолжает (продолжают) работать без изменения своего поведения. Изменение поведения может по-прежнему вызываться, например, передачей указания с поверхности в компоновку низа буровой колонны на изменение профилей конфигурации.

Управляющая система 42 может в ответ на определенные показания датчиков отключать или приостанавливать работу одной или нескольких телеметрических систем. Например, система может содержать датчик, подключенный для измерения тока сигнала ЭМ-телеметрии. Если ток превышает пороговую величину, система ЭМ-телеметрии может быть отключена или переведена в непередающий режим. В этом случае система может автоматически переключаться на профиль конфигурации "только ГИ-телеметрии". Профиль только ГИ-телеметрии может как указывать, что система ЭМ-телеметрии должна быть отключена или запрещена, так и указывать данные, подлежащее передаче системой ГИ-телеметрии в конкретной последовательности.

Другие показания датчиков, которые могут вызывать изменение профиля конфигурации, могут, например, включать обнаружение импульсов давления бурового раствора (МР) скважинным датчиком давления или получение показаний датчиков давления, показывающих, что клапан, используемый для генерирования импульсов бурового раствора (МР), заедает или же каким-либо иным образом неправильно работает. Управляющая система 42 может конфигурироваться для переключения на профиль конфигурации "только ЭМ-телеметрии" в ответ на обнаружение этих показаний датчиков. Профиль только ЭМ-телеметрии может как указывать, что система ГИ-телеметрии должна быть отключена или запрещена, так и указывать конкретные данные, подлежащее передаче системой ЭМ-телеметрии в конкретной последовательности.

В некоторых вариантах осуществления управляющая система 42 может автоматически изменять профили в ответ на обнаружение этого показания датчика. В некоторых вариантах осуществления такое показание датчика может обеспечивать в результате передачу на поверхность одного или нескольких кадров "состояния", отражающих это показание датчика; это позволяет оператору на поверхности ответить указанием на изменение профилей конфигурации.

В некоторых вариантах осуществления система может конфигурироваться для использования только ГИ-телеметрии и для переключения на ЭМ-телеметрию в случае, если система ГИ-телеметрии не может функционировать правильно (либо из-за отказа, либо из-за забойных условий, неподходящих для ГИ-телеметрии). В более общем отношении, в некоторых вариантах осуществления система может конфигурироваться для использования только первого режима телеметрии и для переключения в другой режим телеметрии, если первый режим телеметрии хотя бы на минимальном уровне функционирования невозможен.

Пример 3.

В еще одном примере забойная система (или поверхностное оборудование) сконфигурирована (или сконфигурировано) для периодического определения стоимости на бит данных, переданных несколькими доступными телеметрическими подсистемами. Стоимость может оцениваться в отношении потребления энергии и/или кпд (например, к телеметрической подсистеме, которая имеет низкую скорость передачи данных или является ненадежной, может применять штраф). Исходя из информации о стоимости, забойная система может автоматически переключаться между разными режимами работы (например, режим только ЭМ-телеметрии, режим только ГИ-телеметрии, любые из различных совместных режимов, которые могут отличаться общим объемом данных, подлежащих передаче, и/или распределением этих данных между подсистемой ЭМ-телеметрии и подсистемой ГИ-телеметрии).

Как еще один пример, пользователь забойной системы может платить за данные, переданные разными телеметрическими подсистемами, по разным тарифам. На основании информации об экономических затратах забойная система может быть переключена вручную или автоматически между разными режимами работы, например, забойная система может автоматически переключаться в телеметрический режим меньшей стоимости или переключать распределение данных так, чтобы когда смета на передачу данных с использованием телеметрического режима более высокой стоимости исчерпывалась, в телеметрическом режиме более высокой стоимости отправлялось меньше данных. В некоторых вариантах осуществления телеметрическим режимом более высокой стоимости является режим ЭМ-телеметрии.

Профили конфигурации.

В некоторых вариантах осуществления профили конфигурации используются для обеспечения указания конкретных характеристик разных рабочих режимов и обеспечения переключения между двумя или более разными режимами. Профиль конфигурации содержит информацию, которая может храниться в электронном виде. Эта информация может содержать программные указания для исполнения одним или несколькими контроллерами и/или данные, такие как признаки состояния, значения параметров, настройки и т.д., которые могут применяться для изменения работы забойной системы. Телеметрическое устройство 50 может содержать набор профилей конфигурации, хранящийся в одном или нескольких складах данных.

Профили конфигурации могут конфигурировать многие аспекты работы устройства 50. После этого работа устройства 50 может изменяться путем переключения из одного профиля конфигурации на другой. В некоторых вариантах осуществления профиль конфигурации содержит несколько наборов указаний и/или данных для каждого из нескольких контроллеров. Каждый контроллер может работать, как определено соответствующим набором указаний и/или данных. Профили конфигурации могут храниться в хранилище 204 данных или в некоторой другой памяти или месте, доступном одному или нескольким контроллерам управляющей системы 42.

Например, разные профили конфигурации могут соответственно конфигурировать устройство 50 для работы в: 1) режиме только ГИ-телеметрии, в котором только блок 85 ГИ-телеметрии используется для отправки телеметрических сигналов посредством гидроимпульсов; 2) режиме только ЭМ-телеметрии, в котором только блок 75 ЭМ-телеметрии используется для отправки телеметрических сигналов посредством ЭМ-сигналов; 3) в параллельном совместном телеметрическом режиме, в котором для передачи данных используются одновременно оба блока 75, 85 ЭМ- и ГИ-телеметрии, и в котором некоторые данные отправляются ЭМ-телеметрическими сигналами, а остальные данные отправляются ГИ-телеметрическими сигналами; и 4) параллельном подтверждающем телеметрическом режиме, в котором для передачи одних и тех же данных используются оба блока 75, 85 ЭМ- и ГИ-телеметрии. Устройство 50 может переходить в любой из этих режимов путем активизации соответствующего профиля конфигурации.

Профиль конфигурации может содержать исполняемые указания и/или данные, которые коллективно исполняются и/или интерпретируются устройством 50, чтобы заставить устройство 50 действовать, как обозначено профилем конфигурации. Способность изменять работу устройства 50 с использованием хранимых в электронном виде профилей конфигурации позволяет легко переконфигурировать устройство 50 для работы в широком диапазоне приложений.

В некоторых вариантах осуществления профили конфигурации могут содержать программное обеспечение и/или настройки, исполняемые/интерпретируемые конкретными контроллерами 52, 60, 70, 80 и 90. Переключение между разными профилями конфигурации может включать исполнение стандартной программы, которая активирует программное обеспечение и/или настройки, связанные с новым профилем конфигурации. Разные профили конфигурации могут среди прочего указывать разные режимы телеметрии. Каждый из профилей конфигурации может вызывать генерирование телеметрическим устройством 50 телеметрических сигналов в соответствии с соответствующей выбранной рабочей конфигурацией, определенной указаниями и/или настройками в профиле конфигурации. Профили конфигурации могут, например, указывать такие факторы, как

- телеметрический режим, в котором телеметрическое устройство 50 может работать (например, какие телеметрические системы будут использоваться, какие данные будут собираться и передаваться в каждой телеметрической системе);

- тип (типы) кадров сообщений для отправки в телеметрической передаче (передачах);

- состав кадра (кадров) сообщения, который может включать тип данных, время и/или порядок данных в каждом кадре сообщения, спецификация любого протокола исправления ошибок; и

- одна или несколько схем модуляции для использования для кодирования данных в телеметрические сигналы.

Набор профилей конфигурации может содержать несколько профилей конфигурации, все из которых определяют один и тот же общий телеметрический режим (например, только ГИ-телеметрия или только ЭМ-телеметрия и т.д.). Каждый профиль конфигурации для этого телеметрического режима может определять разные рабочие параметры для этого телеметрического режима. Например, в режиме только ЭМ-телеметрии может предусматриваться один профиль конфигурации с указаниями для телеметрического устройства 50 на кодирование данных измерений с использованием одного типа схемы модуляции (например, квадратурная фазовая манипуляция, QPSK), и может предусматриваться другой профиль конфигурации с указаниями для телеметрического устройства 50 на кодирование данных измерений с использованием другого типа схемы модуляции (например, частотная манипуляция, FSK). Или разные профили конфигурации могут выдавать указания для блока 75 ЭМ-телеметрии на передачу телеметрических сигналов с разной выходной мощностью, причем подходящий профиль конфигурации выбирается в зависимости от места телеметрического устройства 50 в скважине и соответствующего затухания в толще пород, которое необходимо преодолеть, чтобы ЭМ-передача достигла поверхности.

В некоторых вариантах осуществления в системе 50 храниться набор по умолчанию, содержащий несколько профилей конфигурации. Для некоторых работ профили конфигурации, включенные в набор по умолчанию, могут соответствовать требованиям.

В телеметрическое устройство 50 может загружаться набор индивидуально подобранных профилей конфигурации, например, когда телеметрическое устройство 50 находится на поверхности. Загрузка профилей конфигурации в устройство 50 может выполняться с помощью проводного или беспроводного подключения к хост-системе, такой как компьютер или Интернет или склад данных, в которой доступны требуемые профили конфигурации. Например, подключение к хост-компьютеру может выполняться посредством USB-кабеля, соединяющего компьютер с интерфейсным портом, подключенным к шине 98 данных подходящим USB-интерфейсом. В качестве еще одного примера, профили конфигурации могут загружаться в устройство 50 путем вставки одной или нескольких карт памяти или других носителей, содержащих профили конфигурации, в подходящие интерфейсы, предусмотренные устройством 50.

В некоторых вариантах осуществления набор профилей конфигурации может загружаться для каждой работы. Число профилей конфигурации, загруженных в систему 50 для любой конкретной работы, может зависеть от ожидаемых операций, которые буровая установка будет выполнять во время этой работы. После того как оператор определит, какие профили конфигурации должны образовывать набор профилей конфигурации для загрузки в телеметрическое устройство 50, в загрузочном компьютере может выполняться загрузочная программа для загрузки выбранных профилей конфигурации в устройство 50.

В некоторых вариантах осуществления каждый профиль конфигурации может содержать несколько частей, предназначенных для использования разными контроллерами. Например, одна часть профиля конфигурации может оговаривать признаки для передачи посредством ЭМ-телеметрии и может предназначаться для использования ЭМ-контроллером 70. Другая часть профиля конфигурации может касаться управления питанием и может предназначаться для использования контроллером 90 питания и т.д. В некоторых вариантах осуществления устройство 50 имеет отдельные памяти или зоны памяти для хранения программного обеспечения и/или настроек для разных контроллеров 52, 60, 70, 80, 90 телеметрического устройства 50. В этих вариантах осуществления загрузочная программа может определять, какая часть каждого профиля конфигурации должна храниться для доступа каждым контроллером, и может затем сохранять разные части каждого профиля конфигурации в соответствующих местах хранилища данных в устройстве 50. Например, указания в профиле конфигурации, относящиеся к работе блока 75 ЭМ-телеметрии, могут загружаться только в память ЭМ-контроллера 70.

Если профиль конфигурации выбран, каждый соответствующий контроллер исполняет применимые программные указания и/или считывает применимые настройки. Эти указания/настройки обуславливают выполнение контроллером его функций так, как указано в профиле конфигурации. Например, когда ЭМ-контроллер 70 исполняет часть профиля конфигурации, хранящегося в его памяти, профиль конфигурации может содержать указания касаясь того, должен ли блок 75 ЭМ-телеметрии быть активным для телеметрического режима, указанного в профиле конфигурации. Если указанный телеметрический режим требует активации ЭМ-телеметрии (например, указанный телеметрический режим представляет собой режим только ЭМ-телеметрии или комбинированный режим), ЭМ-контроллер 70 может конфигурироваться для считывания результатов измерений, выполненных одним или несколькими датчиками (например, одним или несколькими из датчиков 54, 56, 58, 62, 64, 66, 94), указанными в профиле конфигурации, кодирования данных измерений в ЭМ-телеметрический сигнал с использованием схемы модуляции, указанной в профиле конфигурации, и обеспечения передачи компонентами блока 75 ЭМ-телеметрии ЭМ-телеметрического сигнала в соответствии со свойствами кадра сообщения (например, тип, состав, порядок, время), указанными в профиле конфигурации.

В некоторых вариантах осуществления пользователь буровой установки 10 может обусловить передачу поверхностным приемопередатчиком 26 одного или нескольких управляющих сигналов забойной системе 20 и, в частности, телеметрической системе 46 забойной системы 20, которые подают команды телеметрической системе 40 выбрать, добавить, удалить и/или изменить профиль конфигурации, тем самым вызывая изменение поведения телеметрической системы 40 в следующий раз, когда профиль конфигурации будет активирован. Этот аспект может использоваться, например, для исправления ошибок в профиле конфигурации, для компенсации проблем, вызванных отказом компонентов и/или неблагоприятными условиями телеметрии, и/или для предоставления информации, требуемой для решения проблемы, с которой пришлось столкнуться в процессе бурения.

Переключение между профилями конфигурации.

На фиг. 7 показан примерный способ 310 изменения активного на данный момент профиля конфигурации телеметрической системы 40. Блок 312 - это состояние системы, в котором никакие изменения не происходят и не учитываются. После того как снимают показание датчика, в этом способе переходят к блоку 314 и принимают показание датчика. Затем система рассматривает в блоке 316, удовлетворено ли условие изменения. Условием изменения могло бы быть, например, принятие показания датчика из системы 46А ЭМ-телеметрии, показывающего, что ток по шкале превышает пороговую величину. Обнаружение того, что система, такая как телеметрическая система 46, стала активной или неактивной, включе-

но для простоты понимания и с целью отображения на фиг. 7 в виде "показания датчика".

Если полученное показание датчика удовлетворяет всем условиям изменений, связанные с неактивным профилем конфигурации, в способе переходят к блоку 318, где активный на данный момент профиль конфигурации изменяют на профиль конфигурации, связанный с этими удовлетворенными условиями. После изменения на новый профиль конфигурации, или если ни один неактивный профиль конфигурации не имеет удовлетворенными все свои условия, в способе возвращаются в блок 312.

Если телеметрической системе 40 передают управляющий сигнал, в способе переходят в блок 320 для приема управляющего сигнала, а затем переходят в блок ветвления 322. Если принятый управляющий сигнал кодирует указания для добавления, удаления или изменения профиля конфигурации (что может включать добавление, удаление или изменение условий изменения, связанных с любым данным профилем конфигурации), в способе 310 переходят в блок 324, где эти добавления, удаления или изменения включают телеметрической системой 40. Это включение могут выполнять, например, путем изменения значений в памяти, устройстве, структуре или сервисе (например, в хранилище 204 данных), где хранятся профили конфигурации и связанные с ними условия изменений.

Затем в способе 310 переходят к блоку 326, где повторно оценивают текущее состояние, чтобы определить, какой профиль конфигурации должен быть активным. Этот процесс может включать, например, сравнение всех самых последних снятых показаний датчиков с текущим набором условий изменения вместе с текущим состоянием активности или неактивности различных систем телеметрической системы 40, и любой иной информацией, используемой для определения активного на данный момент профиля конфигурации. Затем в способе 310 возвращаются в блок 312.

Если в блоке 322 указание не было указанием добавить, удалить или изменить профиль конфигурации, то в способе 310 переходят в блок 328, где телеметрическая система 40 определяет, кодирует ли сигнал контроллера указания на изменение активного на данный момент профиля конфигурации. Если да, то в способе 310 переходят в блок 330, где активный на данный момент профиль конфигурации изменяют на указанный управляющим сигналом. Затем в способе 310 выходят из блока 330 (или если указание с конфигурации не изменилось) из блока 328 в блок 312. Если конфигурация изменилась в ответ на четко скомандованное изменение на конкретный профиль конфигурации, телеметрическая система 40 может в некоторых вариантах осуществления не изменять профили конфигурации до получения четкой команды на изменение из управляющего сигнала. Телеметрическая система 40 может дополнительно или альтернативно конфигурироваться для продолжения оценивания показаний датчиков и управляющих сигналов и изменения текущих профилей конфигурации в ответ на них.

На фиг. 8 схематически показано, как телеметрическое устройство 50 может программироваться для изменения его рабочей конфигурации в ответ на команду по нисходящему каналу связи, содержащую указания исполнить конкретный профиль конфигурации. В проиллюстрированном варианте осуществления оператор на поверхности может отправить команду по нисходящему каналу связи: нисходящий канал 400 связи для вибрации, нисходящий канал 401 связи для частоты вращения или нисходящий канал 402 связи для давления - способом, известным в данной области техники. В других вариантах осуществления могут использоваться другие типы нисходящих каналов связи. Датчик 54 гидровыключателя и гиродатчик 56 частоты вращения могут принимать команды по нисходящему каналу 400 связи для вибрации или нисходящему каналу 401 связи для частоты вращения; датчик 94 давления может принимать команду по нисходящему каналу 202 связи для давления. При получении аналогового сигнала команды по нисходящему каналу связи центральный процессор (ЦП) контроллера 52 датчиков состояния или контроллера 90 мощности может декодировать полученный сигнал и извлекать битовый поток, содержащий указания команды по нисходящему каналу связи, способом, известным в данной области техники. Затем контроллер 52 датчиков состояния или контроллер 90 мощности будет считывать указания команды по нисходящему каналу связи и исполнять часть профиля конфигурации, хранящуюся в их памяти, соответствующую профилю конфигурации, указанному в команде по нисходящему каналу связи, а также переадресует указания команд по нисходящему каналу связи другим контроллерам 52, 60, 70, 80, 90 по шине 98 данных. При получении указаний команды по нисходящему каналу связи, ЦП других контроллеров 52, 60, 70, 80, 90 также может исполнить части профиля конфигурации в их соответствующих memories, соответствующие профилю конфигурации, указанному в команде по нисходящему каналу связи. В частности,

контроллер 52 датчиков состояния может использовать свои датчики (например, ударный датчик 58, гиродатчик 56 частоты вращения и датчик 54 гидровыключателя) при получении команды на это в профиле конфигурации (этап 403);

ЭМ-контроллер 70 может отключаться, если профиль конфигурации определяет работу в режиме только ГИ-телеметрии, или, альтернативно, лишь передавать данные исследований в режиме только ГИ-телеметрии (этап 404), и будет использовать блок 75 ЭМ-телеметрии в соответствии с указаниями в его части профиля конфигурации, если профиль конфигурации определяет работу в режиме только ЭМ-телеметрии, параллельном совместном или параллельном подтверждающем режиме (этап 405);

контроллер 60 датчиков интерфейсов может использовать свои датчики (например, датчик 62 направления и угла наклона, датчик 64 гамма-карогажа и резервный датчик 66 направления и угла наклона)

при получении команды на это в своей части профиля конфигурации (этап 406);

ГИ-контроллер 80 может отключаться, если профиль конфигурации определяет работу в режиме только ЭМ-телеметрии, и может использовать блок 85 ГИ-телеметрии, если его часть профиля конфигурации определяет работу в режиме только ГИ-телеметрии, параллельном совместном или параллельном подтверждающем режиме (этап 407); и

контроллер 90 мощности может включать или выключать другие контроллеры 52, 60, 70 и 80 по команде в его части профиля конфигурации и может действовать иным образом по управлению потреблением электроэнергии в телеметрическом устройстве 50 и останавливать работу, когда измеренное давление ниже указанного порога безопасности (этап 408).

На фиг. 9-12 схематически иллюстрируются примерные профили конфигурации и этапы, выполняемые каждым из контроллеров 52, 60, 70, 80 и 90 при исполнении указаний их соответствующих частей профилей конфигурации, хранящихся в их соответствующих памятьях. В этих примерах принимается, что телеметрическое устройство 50 уже действует в соответствии с конфигурацией, требующей, чтобы оба блока ЭМ- и ГИ-телеметрии были активными, и датчики (например, датчики 54, 56, 58, 62, 64, 66 и 92) получают команду по нисходящему каналу связи (например, команду для вибрации, частоты вращения или давления по нисходящему каналу связи) на исполнение нового профиля конфигурации.

На фиг. 9 показан первый профиль конфигурации, содержащий указания для телеметрического устройства 50 на работу в режиме только ГИ-телеметрии.

На фиг. 10 показан второй профиль конфигурации, содержащий указания для телеметрического устройства 50 на работу в режиме только ЭМ-телеметрии.

На фиг. 11 показан третий профиль конфигурации, содержащий указания для телеметрического устройства 50 на работу в параллельном подтверждающем режиме.

На фиг. 12 показан четвертый профиль конфигурации, содержащий указания для телеметрического устройства 50 на работу в параллельном совместном режиме.

Со ссылкой на фиг. 9 контроллер 52 датчиков состояния декодирует сигнал команды по нисходящему каналу связи (этап 501) для получения указаний команды по нисходящему каналу связи на исполнение первого профиля конфигурации и переадресовывает эти указания команды по нисходящему каналу связи другим контроллерам 60, 70, 80, 90 (этап 502). Контроллер 90 мощности при исполнении своей части первого профиля конфигурации размыкает выключатели источника питания для ЭМ-контроллера 70 и блока 75 ЭМ-телеметрии для выключения этих устройств (этапы 503) и замыкает выключатели источника питания для ГИ-контроллера 80 и блока 85 ГИ-телеметрии для включения этих устройств (этапы 504), если эти выключатели уже не были замкнуты (в этом примере они уже замкнуты). Контроллер 52 датчиков состояния при исполнении своей части первого профиля конфигурации считывает информацию о состоянии потока и состоянии частоты вращения со своего датчика 56 гидровыключателя и гиродатчика 56 частоты вращения соответственно (этап 505). Контроллер 60 датчиков интерфейсов при исполнении своей части первого профиля конфигурации считывает информацию о состоянии направления и угла наклона и состоянии гамма-каротажа с датчика 62 направления и угла наклона и датчика 64 гамма-каротажа (этап 506). ГИ-контроллер 80 при исполнении своей части первого профиля конфигурации считывает данные измерений, снятые датчиками 54, 56, 62 и 64 (этапы 507), и устанавливает время телеметрической передачи на основании результатов измерения потока и частоты вращения, а затем использует блок 85 ГИ-телеметрии, как определено в его части профиля конфигурации, которая включает кодирование данных измерений в соответствии с указанной схемой модуляции, и имеет определенные тип, состав и время кадров сообщения, управляя ГИ-двигателем для использования узла 152 генератора импульсов давления для генерирования гидроимпульсных телеметрических сигналов (этап 508).

Со ссылкой на фиг. 10 контроллер 52 датчиков состояния декодирует сигнал команды по нисходящему каналу связи (этап 601) для получения указаний команды по нисходящему каналу связи на исполнение второго профиля конфигурации и переадресует эти указания команды по нисходящему каналу связи другим контроллерам 60, 70, 80, 90 (этап 602). Контроллер 90 мощности при исполнении своей части второго профиля конфигурации размыкает выключатели источника питания для ГИ-контроллера 80 и ГИ-контроллера (этапы 603) для выключения этих устройств, и замыкает выключатели источника питания для ЭМ-контроллера 70 и блока 75 ЭМ-телеметрии для включения этих устройств (этапы 604), если эти выключатели уже не были замкнуты (в этом примере они уже замкнуты). Контроллер 52 датчиков состояния при исполнении своей части второго профиля конфигурации считывает информацию о состоянии потока и состоянии частоты вращения со своего датчика 56 гидровыключателя и гиродатчика 56 частоты вращения соответственно (этап 605). Контроллер 60 датчиков интерфейсов при исполнении своей части второго профиля конфигурации считывает информацию о состоянии направления и угла наклона и состоянии гамма-каротажа с датчика 62 направления и угла наклона и датчика 64 гамма-каротажа соответственно (этап 6406). ЭМ-контроллер 70 при исполнении своей части второго профиля конфигурации: считывает данные измерений, снятые датчиками 54, 56 (этапы 607) и датчиками 62, 64 (этап 608); устанавливает время телеметрической передачи на основании результатов измерения потока и частоты вращения (также этап 608); и использует блок 75 ЭМ-телеметрии, как определено в его части второго профиля конфигурации (этап 609). Работа блока 75 ЭМ-телеметрии в соответствии с его частью

второго профиля конфигурации может включать: кодирование данных измерений с использованием определенной схемы модуляции; использование определенных типа, состава и времени кадров сообщения; использование генератора 72 ЭМ-сигналов для генерирования телеметрического сигнала (например, телеметрического сигнала переменного тока); усиление этого сигнала ЭМ-усилителем 74; и подачу сигнала на электрический разделитель 78 через мостовой драйвер 76 (этап 609).

Со ссылкой на фиг. 11 контроллер 52 датчиков состояния декодирует сигнал команды по нисходящему каналу связи (этап 701) для получения указаний команды по нисходящему каналу связи на исполнение третьего профиля конфигурации и переадресовывает эти указания команды по нисходящему каналу связи другим контроллерам 60, 70, 80, 90 (этап 702). Контроллер 90 мощности при исполнении своей части третьего профиля конфигурации замыкает выключатели источника питания как для ЭМ-контроллера 70 и блока 75 ЭМ-телеметрии (этапы 703), так и для ГИ-контроллера 80 и блока 85 ГИ-телеметрии (этапы 704) для включения этих устройств, если эти выключатели уже не были замкнуты (в этом примере они уже замкнуты). Контроллер 52 датчиков состояния при исполнении своей части третьего профиля конфигурации считывает информацию о состоянии потока и состоянии частоты вращения с датчика 54 гидровыключателя и гиродатчика 56 частоты вращения соответственно (этап 705). Контроллер 60 датчиков интерфейсов при исполнении своей части третьего профиля конфигурации считывает информацию о состоянии направления и угла наклона и состоянии гамма-каротажа с датчика 62 направления и угла наклона и датчика 64 гамма-каротажа соответственно (этап 706). ГИ-контроллер 80 при исполнении своей части третьего профиля конфигурации считывает данные измерений, снятые датчиками 54, 56, 62 и 64 (этап 707) и устанавливает время телеметрической передачи на основании результатов измерения потока и частоты вращения (этапы 707), а затем использует блок 85 ГИ-телеметрии, как указано в профиле конфигурации, для генерирования гидроимпульсных телеметрических сигналов (этап 708). ЭМ-контроллер 70 при исполнении своей части третьего профиля конфигурации общается с ГИ-контроллером 80 для получения считанных данных измерений (в операции "зеркально отраженные данные") и устанавливает время телеметрической передачи на основании результатов измерения потока и частоты вращения (этап 709) и использует блок 75 ЭМ-телеметрии, как указано в профиле конфигурации, для генерирования ЭМ-телеметрических сигналов (этап 710).

Части третьего профиля конфигурации для ЭМ- и ГИ-контроллеров 70, 80 могут содержать указания, касающиеся типа, состава, порядка и времени кадров сообщения в обеих ЭМ- и ГИ-телеметрических передачах. Как показано на фиг. 11А, третий профиль конфигурации может содержать, например, указания для контроллера 60 датчиков интерфейсов на выполнение каротажа с использованием датчиков (например, датчика 54 гидровыключателя, гиродатчика 56 частоты вращения, ударного датчика 58 и т.д.) и для блока 75 ЭМ-телеметрии на передачу кадра сообщения исследования, содержащего результаты каротажа, во время отсутствия аномально-высокого давления, когда нет потока бурового раствора или вращения буровой колонны. Поскольку для ГИ-передач необходим поток бурового раствора, третий профиль конфигурации может также содержать указания для блока 85 ГИ-телеметрии на передачу кадра сообщения результатов каротажа, когда буровой раствор протекает, и до вращения буровой колонны. Поскольку телеметрический инструмент работает в параллельном подтверждающем режиме, третий профиль конфигурации может содержать указания для каждого из блоков 75, 85 ЭМ- и ГИ-телеметрии на отправку синхронизированных по времени кадров слайдинга, содержащих те же данные, когда буровой раствор протекает, а буровая колонна не вращается. Наконец, третий профиль конфигурации может содержать указания для блоков 75, 85 ЭМ- и ГИ-телеметрии на отправку затем синхронизированных по времени кадров вращения, содержащих те же данные, когда буровой раствор протекает, а буровая колонна вращается.

Со ссылкой на фиг. 12, контроллер 52 датчиков состояния декодирует сигнал команды по нисходящему каналу связи (этап 801) для получения указаний команды по нисходящему каналу связи на исполнение четвертого профиля конфигурации и переадресовывает эти указания команды по нисходящему каналу связи другим контроллерам 60, 70, 80, 90 (этап 802). Контроллер 70 мощности при исполнении своей части четвертого профиля конфигурации замыкает выключатели источника питания как для ЭМ-контроллера 70 и блока 75 ЭМ-телеметрии (этапы 803), так и для ГИ-контроллера 80 и блока 85 ГИ-телеметрии (этапы 804) для включения этих устройств, если эти выключатели уже не были замкнуты (в этом примере они уже замкнуты).

Контроллер 52 датчиков состояния при исполнении своей части четвертого профиля конфигурации считывает информацию о состоянии потока и состоянии частоты вращения с датчика 54 гидровыключателя и гиродатчика 56 частоты вращения соответственно (этап 805). Контроллер датчиков интерфейсов при исполнении своей части четвертого профиля конфигурации считывает информацию о состоянии направления и угла наклона и состоянии гамма-каротажа с датчика 62 направления и угла наклона и датчика 64 гамма-каротажа соответственно (этап 806). ГИ-контроллер 80 при исполнении своей части четвертого профиля конфигурации считывает данные измерений, снятые датчиками 54, 56, 62 и 64 (этапы 807), устанавливает время телеметрической передачи на основании результатов измерения потока и частоты вращения, а затем использует блок 85 ГИ-телеметрии, как указано в профиле конфигурации, для генерирования гидроимпульсных телеметрических сигналов (этап 808). ЭМ-контроллер 70 при исполнении

своей части четвертого профиля конфигурации считывает данные измерений, снятые датчиками 54, 56, 62 и 64 (этапы 809) (в операции "независимого сбора данных"), устанавливает время телеметрической передачи на основании результатов измерения потока и частоты вращения и использует блок 75 ЭМ-телеметрии, как указано в профиле конфигурации, для генерирования ЭМ-телеметрических сигналов (этап 810).

Части четвертого профиля конфигурации для ЭМ- и ГИ-контроллеров 70, 80 могут содержать указания, касающиеся типа, состава, порядка и времени кадров сообщения в обеих ЭМ- и ГИ-телеметрических передачах. Как показано на фиг. 12А, четвертый профиль конфигурации может содержать, например, указания для контроллера 60 датчиков интерфейсов на выполнение каротажа с использованием датчиков (например, датчика 54 гидровыключателя, гиродатчика 56 частоты вращения, ударного датчика 58 и т.д.) и для блока 75 ЭМ-телеметрии на передачу кадра сообщения исследования, содержащего результаты каротажа, во время отсутствия аномально-высокого давления, когда нет потока бурового раствора или вращения бурильной колонны.

Поскольку для ГИ-передач необходим поток бурового раствора, четвертый профиль конфигурации может также содержать указания для блока 85 ГИ-телеметрии на передачу кадра сообщения результатов каротажа, когда буровой раствор протекает, и до вращения бурильной колонны. Поскольку телеметрический инструмент работает в параллельном совместном режиме, четвертый профиль конфигурации может также содержать указания для каждого из блоков 75, 85 ЭМ- и ГИ-телеметрии на независимую отправку разных данных, определенных профилем конфигурации. Например, четвертая конфигурация может содержать указания для блока 75 ЭМ-телеметрии на передачу результатов измерений гамма-каротажа, ударов и вибраций в кадрах слайдинга и вращения, и для блока 85 ГИ-телеметрии на передачу показаний скважинного инструмента в кадрах слайдинга и вращения.

Распределение и приоритизация телеметрических данных.

Устройство, описанное в настоящем документе, может содержать систему управления данными, которая управляет, какие данные переносятся какой телеметрической системой. Кроме того, система управления данными может управлять, когда эти данные передавать (например, определенные данные могут передаваться чаще других данных, определенные данные могут передаваться в реальном или близко к реальному времени, а другие данные могут сохраняться и передаваться позже). Если предусмотрены две или более телеметрических систем, система управления данными может действовать с возможностью избирательно: передавать определенные данные по одной телеметрической системе и не передавать никаких данных по другой телеметрической системе; передавать определенные данные по одной телеметрической системе и другие данные по другой телеметрической системе; передавать определенные данные более чем по одной телеметрической системе; изменять выбор данных, подлежащих передаче, и/или распределение этих данных между телеметрическими системами, и/или как часто определенные данные передаются. Если одни и те же данные передаются по разным телеметрическим системам, факультативно возможно передавать обновленные данные в одной телеметрической системе чаще, чем в другой.

Возможность распределять данные между разными телеметрическими системами можно с выгодой использовать самыми разными путями. Например, данные исследований могут быть отправлены ЭМ-телеметрией, когда не происходит активное бурение. Это устраняет необходимость передавать данные исследований ГИ-телеметрией и позволяет использовать ГИ-телеметрию для отправки активных данных, как только поток бурового раствора станет достаточным для поддержки гидроимпульсной телеметрии. В одном примерном способе контроллер в телеметрической забойной системе 40, 40А, 50 отслеживает выход датчика, чтобы определить, происходит ли активное бурение. Например, контроллер может отслеживать выход датчика потока. Если активное бурение не происходит (поток бурового раствора не обнаружен, или обнаружен низкий расход бурового раствора), контроллер может выдать команду на передачу данных, например данных исследований, ЭМ-телеметрией. Если активное бурение происходит (поток бурового раствора превышает пороговую величину), контроллер может выдать команду на передачу данных ГИ-телеметрией.

В качестве еще одного примера, данные, которые в противном случае могли бы передаваться ЭМ-телеметрией, могли бы вместо этого передаваться ГИ-телеметрией в случаях, когда шум от вращения делает прием ЭМ-сигналов чрезмерно тяжелым или ненадежным, или когда выполняется горизонтальное бурение, и перекрывающие формации могут снизить эффективность ЭМ-телеметрии. В одном примерном способе данные отправляют одновременно ГИ-телеметрией и ЭМ-телеметрией. ЭМ-телеметрические данные могут отличаться от ГИ-телеметрических данных. Контроллер забойной системы 40, 40А, 50 может определять, что ЭМ-телеметрия неэффективна или нежелательна. Контроллер может делать такое определение, например, на основании одного или нескольких из следующего: ток генератора ЭМ-сигналов (слишком высокий ток свидетельствует о проводящих формациях, в которых ЭМ-телеметрия может быть неэффективной); сигнал по нисходящему каналу связи с поверхности с использованием любого доступного телеметрического режима или предопределенного характера манипуляции вращением бурильной колонны и/или потоком бурового раствора; показание инклинометра (система может конфигурироваться так, чтобы не использовать ЭМ-телеметрию, если наклон КНБК ближе к горизонтали, чем

пороговый угол); и показатель шумов от вращения. При определении, что ЭМ-телеметрия неэффективна или нежелательна, контроллер может автоматически отключить ЭМ-телеметрическую систему и перераспределить данные, передаваемые в данный момент, ГИ-телеметрической системе, чтобы требуемый набор данных передавался ГИ-телеметрией.

В качестве еще одного примера, "рабочие циклы" разных доступных телеметрических систем можно менять. Каждая телеметрическая система может быть активной в некоторые периоды времени и выключенной в другие периоды времени. Например, если есть необходимость в передаче определенных данных, превышающих доступную ширину полосы пропускания предпочтительной телеметрической системы, другая телеметрическая система может быть активирована лишь на выбранные периоды, достаточные для пропускания оставшихся данных, подлежащих передаче. Как еще один пример, каждая телеметрическая система может конфигурироваться на активную передачу данных в определенных таймслотах и отключение в других таймслотах. Это может протекать независимо для каждой телеметрической системы. Режим, при котором телеметрическая система будет активной или отключенной, может указываться в профиле конфигурации. В еще одном варианте осуществления телеметрическая система может работать по требованию. Если эта телеметрическая система имеет данные для передачи, то телеметрическая система может активироваться на время, достаточное для передачи данных. В противном случае телеметрическая система может поддерживаться в непередающем состоянии.

Система управления данными может содержать коммутационную панель, совмещающую доступные данные с доступными слотами в протоколе или протоколах передачи данных. Например, в некоторых вариантах осуществления телеметрическая система передает данные в кадрах, каждый из которых может переносить определенное количество данных. В этих вариантах осуществления система управления данными может совмещать данные, подлежащие передаче, со слотами в подлежащих передаче кадрах данных. Со структурной схемой, в которой все системы датчиков соединены между собой шиной передачи данных (фиг. 3 представляет собой лишь один пример такой структурной схемы), система управления данными может передавать любые выбранные данные по любой доступной телеметрической системе.

Могут использоваться различные протоколы передачи данных, так что поверхностное оборудование поймет важность переданных данных.

Например,

система управления данными может передавать управляющую информацию, указывающую, какие данные будут передаваться, передаются или были переданы в доступных слотах в протоколе передачи данных;

система управления данными может назначать данные слотам в протоколе передачи данных в соответствии с указаниями, поданными с поверхности;

система управления данными может конфигурироваться для назначения данных слотам в протоколе передачи данных в соответствии с одним или несколькими predeterminedными расположениями;

эти данные могут быть различимыми (например, выходные сигналы определенных разных датчиков обычно могут иметь значения в диапазонах, отличающихся от выходных сигналов других датчиков), при этом назначение данных слотам в протоколе передачи данных можно вывести из анализа данных, полученных на поверхности;

система управления данными может назначать данные слотам в протоколе передачи данных в соответствии с predeterminedными правилами, при этом поверхностное оборудование может вывести из predeterminedных правил, какие данные система управления данными назначила разным слотам в протоколе передачи данных;

система управления данными может конфигурироваться для использования разных протоколов передачи данных для разных расположений передаваемых данных, при этом поверхностное оборудование может вывести расположение переданных данных путем определения, какой протокол передачи использует система управления данными.

Имеются и другие возможности. Эти способы могут также объединяться в любые комбинации для получения дополнительных способов. В некоторых вариантах осуществления информация, касающаяся расположение данных, передаваемых с использованием одной телеметрической системы, передается другой телеметрической системой.

Протокол может указывать другие аспекты переданных сигналов, такие как тип кодирования для использования (например, 8PSK, QPSK, FSK и т.д.) и скорости передачи в битах.

Кадры данных.

В некоторых примерных вариантах осуществления данные передаются в соответствии с протоколом, определяющим синтаксис для кадров одного или нескольких разных типов. Каждый кадр может содержать группу элементов данных. Конфигурационная информация может назначать разные данные разным кадрам. Например, одна телеметрическая система может в некоторых кадрах передавать самые последние результаты измерений из системы датчика 62 направления и угла наклона и может в других кадрах передавать результаты измерений из одного или нескольких остальных датчиков. Кадры могут чередоваться, так что кадры, несущие один выбор данных, перемежаются с кадрами, несущими другие

выборы данных.

Каждый кадр может содержать заголовочную часть, устанавливающую время, амплитуду и тип кадра сообщения. Например, заголовок может содержать две части, которые передаются как один непрерывный поток. Первая часть может содержать указанную фиксированную форму волны. Форма волны первой части может иметь структуру, выбранную таким образом, что эту структуру можно легко распознать поверхностным оборудованием для обработки и легко отличить от шума. Передача этой структуры может служить для синхронизации приемника со временем и амплитудой формы волны. Вторая часть заголовка может содержать переменную форму волны, функционирующую для идентификации типа (ID) кадра. Заголовочная секция может содержать идентификатор, позволяющий получателю кадра считывать и/или понимать эту часть данных. Общий состав этих кадров сообщений известен в данной области техники, и поэтому конкретные детали более подробно в настоящем описании не обсуждаются. В зависимости от функций, выполняемых буровой установкой, могут вызываться различные типы кадров. Приведем примеры.

Кадры исследований, содержащие данные, которые обычно имеют высокий приоритет (например, данные об угле наклона, азимуте, квалификации/проверке датчиков плюс иная требуемая информация) могут отправляться при подготовке к бурению. Например, кадры исследований могут быть отправлены ЭМ-телеметрической системой во время соединения бурильных труб или в ГИ-телеметрической системой, как только начнет протекать достаточное количество бурового раствора.

Кадры слайдинга могут быть отправлены при бурении, когда колонна бурильных труб не вращается с поверхности. Кадры слайдинга могут, например, конфигурироваться для отправки устойчивого потока показаний скважинного инструмента и могут также включать дополнительные данные, отправленные между последовательными сообщениями скважинного инструмента. В одном примерном варианте осуществления кадры слайдинга могут определяться системой управления данными как состоящие из чередующихся показаний скважинного инструмента и показаний гамма-каротажа в информационной части каждого кадра. Заголовочная часть кадра слайдинга может содержать уникальный идентификатор, не используемый совместно другими типами кадров, так что получатель, который принимает заголовочную часть кадра слайдинга, будет знать, что информационная часть, следующая за заголовочной частью, будет соответствовать известной структуре, связанной с этим идентификатором.

Кадры вращения могут отправляться, когда бурильная колонна вращается на поверхности. Кадры вращения обычно не включают данные скважинного инструмента, поскольку эти данные обычно являются нерелевантными, когда колонна бурильных труб вращается с поверхности. Любые другие нужные данные могут быть включены в кадры вращения.

Кадры состояния могут быть отправлены в любое время для сообщения поверхностному оборудованию о текущем состоянии забойной системы. Кадры состояния могут отправляться, например, для подачи сигнала об изменении или событии, например изменении типа (типов) используемой телеметрии, значительном изменении показаний датчиков, изменении скорости телеметрии и т.п. Кадры состояния могут генерироваться для предупреждения получателя об изменениях типа, скорости, амплитуды, конфигурации телеметрии, значительном изменении состояния датчиков (таком как, например, нефункционирующий или не полностью функционирующий акселерометр), или другом изменении состояния забойного инструмента. Отправки кадров состояния могут инициироваться конкретными событиями. Например, команда по нисходящему каналу связи, полученная с поверхности, таймер, вызывающий передачу кадров состояния в определенные моменты времени, конфигурация, вызывающая передачу кадров состояния на определенных стадиях бурения, или отказ датчика в инструменте и т.п. Кадр состояния может содержать идентификатор, идентифицирующий, какой профиль конфигурации в данный момент активен в забойной системе и используется применительно к телеметрическим сигналам; этот идентификатор позволит поверхностному приемопередатчику 26 выбрать правильную демодуляцию и другие операции декодирования для декодирования полученных на поверхности сигналов.

Другие типы кадров могут факультативно генерироваться при других обстоятельствах.

Конкретная структура информационной части любого типа кадра может варьироваться для разных вариантов осуществления или разных конфигураций системы управления данными.

Забойный инструмент может конфигурироваться для автоматического переключения между задачами разных типов кадров. Например, забойный инструмент может содержать датчик потока (который может отслеживать поток путем обнаружения вибрации инструмента). Инструмент может управлять, когда должны собираться данные исследований, и когда инструмент должен отправлять кадры исследований, на основании выходного сигнала датчика потока. Инструмент может конфигурировать себя для отправки кадров исследований, когда датчик потока обнаруживает отсутствие потока бурового раствора, и может конфигурировать себя для отправки активных кадров (например, кадров слайдинга или кадров вращения), когда датчик потока обнаруживает поток, превышающий пороговый поток. Инструмент может содержать акселерометр или другой датчик вращения и может автоматически переключать между передачами кадров слайдинга и кадров вращения на основании обнаруженной скорости вращения (причем кадры вращения передаются, когда скорость вращения превышает пороговую величину). В некоторых вариантах осуществления контроллер датчиков состояния (например, 52) отслеживает показания

датчиков для определения текущего режима бурения и при обнаружении изменений режима бурения инициирует переключение конфигураций на использование других типов информационных кадров.

В некоторых вариантах осуществления профили конфигурации, хранящиеся в одной или нескольких памятях скважинного прибора, определяют информационный контент для нескольких разных предопределенных кадров. Каждый кадр может определять разный набор данных для отправки на поверхность. Пример такого варианта осуществления проиллюстрирован на фиг. 6А. Телеметрический контроллер 202 сконфигурирован для принятия решений, какой кадр (кадры) отправлять на поверхность. Это решение может основываться на забойных условиях, определенных датчиками, и/или командах по нисходящему каналу связи с поверхностью.

Разные кадры могут определять разные комбинации информации (параметров) для передачи на поверхность. Например, кадр "1" может содержать лишь данные из системы направления и угла наклона. Кадр "2" может содержать комбинацию данных из системы направления и угла наклона и данные из системы гамма-каротажа. Кадр "3" может содержать комбинацию данных из системы направления и угла наклона, данных из одного или нескольких датчиков давления и данных других датчиков и т.д. Может предусматриваться любое подходящее число предопределенных кадров. Забойная система может быть высококонфигурируемой, благодаря чему оператор может настраивать забойную систему на предоставление кадров, содержащих любую комбинацию данных, которая предположительно потребуется для предложенной операции бурения.

Системы управления данными.

Система управления данными может реализовываться одним или несколькими соответствующими сконфигурированными контроллерами (например, контроллером 42 на фиг. 2 или одним или несколькими контроллерами 42А, 42В на фиг. 2А или одним или несколькими контроллерами устройства 50). Система управления данными может быть распределена. Например, для каждой телеметрической системы может быть предусмотрена отдельная система управления данными. Эти системы управления данными могут действовать независимо друг от друга. Каждая из систем управления данными может конфигурироваться для передачи определенных элементов. Конфигурации разных систем управления данными могут быть комплементарными, при этом каждый необходимый элемент данных передается по одной или нескольким телеметрическим системам. В этих вариантах осуществления возможно, но не обязательно, что при нормальной работе системы управления данными взаимодействуют друг с другом.

В других вариантах осуществления система управления данными централизована и распределяет данные доступным слотам передачи для двух или более телеметрических систем. В других вариантах осуществления каждая телеметрическая система содержит квазинезависимую систему управления данными, но одна из систем управления данными действует для координации работы других систем управления данными. В других вариантах осуществления система управления данными содержит центральную часть, координирующую работу подсистем, связанных с разными телеметрическими системами.

На фиг. 6 схематически показана примерная система 200 конфигурации телеметрии, содержащая телеметрический контроллер 202. Телеметрический контроллер 202 может, например, реализовываться программным кодом, выполняемым в ЭМ-контроллере 70 или ГИ- контроллере 80. Телеметрический контроллер 202 может в более общем отношении представлять собой любой контроллер управляющей системы 42, подключенный к шине данных, которая обеспечивает ему доступ к данным, которые могли быть переданными, и телеметрическим системам, доступным для передачи данных.

Телеметрический контроллер 202 имеет доступ к хранилищу 204 данных. Хранилище 204 данных может представлять собой память, доступную для телеметрического контроллера 202, набор регистров, заключенных в телеметрическом контроллере 202 (если телеметрический контроллер 202 содержит ЦП или иное содержащее регистр устройство), или любое иное соответствующее сконфигурированное устройство, систему или сервис, способные хранить информацию, доступную для телеметрического контроллера 202.

Хранилище 204 данных содержит один или несколько местоположений 206 данных. Например, хранилище 204 данных содержит местоположения 206А, 206В и 206С данных. Каждое местоположение данных 206 может хранить или идентифицировать (например, посредством адреса или указателя) элемент данных, который может передаваться телеметрической системой. В примере, показанном на фиг. 6, местоположение 206А данных соответствует данным из системы датчика 62 направления и угла наклона, местоположение данных 206В соответствует данным из системы датчика 64 гамма-каротажа, а местоположение данных 206С соответствует данным из датчика 94 давления. Местоположения 206 данных совместно предоставляют данные, доступные для включения в данные, подлежащие передаче поверхностному приемопередатчику 26 телеметрической системой.

Хранилище 204 данных содержит одно или несколько местоположений 207 данных. Например, хранилище 204 данных содержит местоположения 207А, 207В и 207С данных. Каждое местоположение 207 данных может соответствовать доступному слоту, в котором элемент данных может передаваться телеметрической системой. Каждое местоположение данных 207 может содержать значение, идентифицирующее одно из местоположений 206 данных. Таким образом, последовательность элементов данных для передачи телеметрической системой может управляться приписыванием значений местоположениям

206 данных, которые идентифицируют данные, подлежащие передаче, и значений местоположениям 207 данных, которые идентифицируют последовательность, в какой эти данные будут передаваться телеметрической системой. В некоторых вариантах осуществления для разных телеметрических систем могут предусматриваться разные наборы местоположений 207 данных.

Специалистам в данной области техники будет понятно, что подобного результата можно добиться, используя один набор местоположений данных для каждой телеметрической системы, в которой каждый один набор местоположений данных соответствует доступному слоту передачи, и каждый может содержать или идентифицировать элемент данных, подлежащий передаче.

Телеметрический контроллер 202 привязывает местоположения 206 данных к контентам информационных кадров для передачи. Например, телеметрический контроллер 202 может конфигурироваться для передачи данных, идентифицированных местоположениями 206А и 206В данных в одном кадре, и для передачи данных, идентифицированных местоположениями 206С, 206D и 206Е данных (местоположения 206D и 206Е не показаны) в последующем кадре. В последующих кадрах телеметрический контроллер 202 может перейти к дальнейшим местоположениям 206F данных и т.д. или при отсутствии дальнейших местоположений данных может вернуться к местоположениям 206А и 206В данных.

Как еще один пример, телеметрический контроллер 202 может конфигурироваться для передачи данных, идентифицированных одним или несколькими местоположениями 206 данных (например, 206А), в каждом кадре, и для изменения, какие из данных, связанных с оставшимися местоположениями 206 данных, включаются в каждый из последующих кадров. Например, если телеметрический контроллер 202 сконфигурирован так, что каждый кадр содержит данные, идентифицированные следующими тремя местоположениями 206 данных в последовательности, каждое третье местоположение 206 данных могло бы кодироваться данными, которые инициирует особо важный датчик, такой как система 62 направления и угла наклона, тем самым обеспечивая, что информация о направлении и угле наклона передается в каждом кадре, при этом по-прежнему оставляя место для дополнительной информации датчиков, циклически передаваемой в последовательных кадрах. Подобного результата можно добиться путем кодирования только одного местоположения 206 данных (предположим, местоположения 206А данных) в данном хранилище 204 данных данными, идентифицирующими систему 62 направления и угла наклона, и конфигурирования телеметрического контроллера 202 на включение данных, идентифицированных местоположением 206А данных, в каждый кадр.

Хотя возможна независимая работа телеметрических систем или передача данных забойной системой с использованием меньше, чем все доступные телеметрические системы 46 (например, в режимах только ЭМ- или только ГИ-телеметрии), по меньшей мере, в некоторых вариантах осуществления телеметрические системы работают на передачу данных совместно. Любой один или несколько контроллеров могут конфигурироваться для передачи информации в одной или нескольких телеметрических системах. Какие данные передаются и посредством каких телеметрических систем может определяться в ответ на текущую конфигурацию забойной системы (например, определенную профилем конфигурации) и - в некоторых вариантах осуществления - системой конфигурации телеметрии, такой как примерная система 200 конфигурации телеметрии.

Условная передача выбранных данных.

В некоторых вариантах осуществления телеметрический контроллер 202 или, в более общем отношении, управляющая система 42 может конфигурироваться для отслеживания определенных параметров и определения, передавать или не передавать телеметрической системой на поверхность значения для контролируемых параметров на основании изменений значений параметров. Изменения могут определяться по временному кадру (например, насколько изменилось значение параметра за последние 10 секунд, или последнюю минуту, или последние 10 мин, или последний час) и/или относительно переданного последнего значения для этого же параметра.

Например, в одном примерном варианте осуществления управляющая система 42 регистрирует значения параметров, ранее переданных на поверхность телеметрической системой. Затем управляющая система 42 сравнивает текущее значение параметра с ранее переданным значением этого параметра. Если это сравнение показывает, что значение параметра изменилось более чем на пороговую величину, контроллер может конфигурироваться для передачи текущего значения параметра на поверхность. Если это сравнение показывает иное, контроллер 42 может пропустить передачу текущего значения параметра. Эти сравнения могут выполняться любыми подходящими путями (например, вычитанием текущего и ранее переданного значений параметра одного из другого, определением отношения текущего и ранее переданного значений параметра и т.д.). Для разных параметров могут предусматриваться разные пороги изменений.

Дополнительно или альтернативно, управляющая система 42 может регистрировать значения параметров через определенные промежутки времени (которые для разных параметров факультативно могут быть разными) и может сравнивать зарегистрированное в данный момент значение параметра с предыдущим значением (или средним или средневзвешенным показателем ряда нескольких предыдущих значений) и определять, превышает ли изменение пороговую величину. Опять-таки, для разных параметров могут предусматриваться разные пороги.

Сравнения, описанные выше, могут проводиться периодически, и/или каждый раз, когда получено новое значение параметра, и/или каждый раз, когда есть возможность для передачи этих значений параметров. В некоторых вариантах осуществления управляющая система 42 может приоритизировать передачу текущих значений параметров, достаточно отличающихся от предыдущих значений (например, в соответствии с различиями, определенными выше), чтобы требовать повторной передачи. Значения параметров, не отличающиеся достаточно от предыдущих значений, передавать не нужно. Одно из преимуществ передачи определенных значений параметров только в том случае, если эти значения изменились, заключается в том, что может уменьшиться количество энергии, необходимое для передачи данных, и, следовательно, может увеличиться срок службы аккумулятора. Еще одно преимущество, которого можно добиться в некоторых вариантах осуществления, - освобождение полосы пропускания для передачи других данных.

Приоритизация таких передач может основываться на предопределенном порядке приоритетов и/или величине изменения параметра. В одном примерном варианте осуществления управляющая система 42 ведет упорядоченный список отслеживаемых параметров. Управляющая система 42 определяет, как описано выше, нужно ли передавать текущее значение любого из параметров. Когда появляется возможность для передачи значений одного или нескольких параметров, контроллер 42 может пройти по указанному упорядоченному списку и передать значения параметров с наивысшим приоритетом из тех параметров, для которых управляющая система 42 определила, что текущее значение параметра должно быть передано. Если есть возможность передать N текущих значений параметров, где N - некоторое целое число, управляющая система 42 может отправить N значений параметров с наивысшим приоритетом из тех параметров, для которых управляющая система 42 определила, что текущее значение параметра должно быть передано. Управляющая система 42 может дополнительно передавать заголовок или иную информацию, идентифицирующую конкретные значения передаваемых параметров.

Как один конкретный пример, управляющая система 42 может конфигурироваться для передачи данных в наборах (например, кадрах) в одной или нескольких телеметрических системах. Некоторые кадры могут резервироваться для конкретных данных. Например, первый кадр и каждый третий кадр после него могут нести первый тип информации (например, информацию о направлении и угле наклона). Второй кадр и каждый третий кадр после него могут нести второй тип информации (например, информацию гамма-каротажа). Третий кадр и каждый третий кадр после него могут конфигурироваться для переноса переменной информации (т.е. одного или нескольких текущих значений параметров, выбранных для передачи на основании изменения их значений).

Как еще один пример, управляющая система 42 может конфигурироваться для отправки данных в кадрах, в которых часть некоторых или всех кадров распределена для переноса текущих значений выбранных параметров, достаточно изменившихся, чтобы требовать повторной передачи (если таковые имеются). Если со времени, когда значение выбранного параметра передавалось последний раз, этот выбранный параметр изменился меньше чем на пороговую величину, передача значения этого выбранного параметра может блокироваться.

Как еще один пример, управляющая система 42 может конфигурироваться для отправки данных для нескольких параметров в определенной последовательности. Управляющая система 42 может выполнять проверку, чтобы определить, что не нужно передавать некоторые или все параметры (например, может быть ненужным передавать текущее значение параметра, если это текущее значение параметра близко к прежде переданному значению параметра).

Если контроллер 42 определяет, что передача текущих значений одного или нескольких других параметров не требуется, контроллер 42 может конфигурироваться для выполнения одного или нескольких из следующих действий:

- оставить пробел, где должно было быть передано значение параметра;
- передать один или несколько специальных символов в слоте, где должно было быть передано значение параметра (символы могут факультативно выбираться для низкого потребления энергии и/или малой задержки); или
- сжать оставшиеся данные вместе (и, если необходимо или желательно, передать информацию, идентифицирующую данные, переданные и/или не переданные).

В некоторых вариантах осуществления управляющая система 42 отслеживает два или более разных наборов параметров (наборы параметров могут факультативно содержать одновременно некоторые или все элементы). Каждая телеметрическая система из нескольких телеметрических систем может быть связана с одним из наборов параметров и сконфигурирована для передачи текущих значений параметров их соответствующего набора параметров, достаточно изменившихся, чтобы требовать повторной передачи (если таковые имеются).

В некоторых вариантах осуществления каждая телеметрическая система содержит отдельный контроллер, и этот контроллер сконфигурирован для отслеживания параметров в соответствующем наборе и для передачи текущих значений параметров, если удовлетворяется условие, относящееся к изменению значения параметра. Например, ЭМ-телеметрическая система может содержать контроллер, сконфигурированный для отслеживания параметров, таких как угол наклона, удар и прихват-проскальзывания, и

может передавать текущие значения одного или нескольких из этих параметров в ответ на определение, что текущее значение (значения) одного или нескольких из этих параметров изменилось более чем на пороговую величину по сравнению с предыдущим значением (значениями) одного или нескольких из этих параметров. В том же устройстве ГИ-телеметрическая система может содержать контроллер, сконфигурированный для отслеживания значений другого набора параметров, таких как напряжение (или состояние зарядки) аккумулятора, азимут и температура.

В некоторых вариантах осуществления управляющая система реализует способ, включающий периодическую передачу определенных данных по телеметрической системе и условную передачу других данных ("условные данные") по телеметрической системе. Условие может относиться к разнице между текущим значением условных данных и предыдущим значением условных данных и/или к сравнению условных данных с порогом (например, определенные данные могут передаваться, если их значение ниже порога, а другие данные могут передаваться, если их значение превышает порог).

В еще одном варианте осуществления система 42 может применять алгоритм, использующий предыдущие переданные данные (например, предыдущие переданные значения параметра) для прогнозирования текущего значения параметра. Система 42 может передавать текущее значение параметра, если оно отличается от значения, прогнозируемого алгоритмом прогнозирования, более чем на пороговую величину. Система 42 может блокировать передачу текущего значения параметра, если алгоритм прогнозирования относительно точно оценивает текущее значение параметра (например, значение, спрогнозированное алгоритмом прогнозирования, отличается от текущего значения параметра менее чем на пороговую величину). В некоторых вариантах осуществления алгоритм прогнозирования содержит подбирание функции к двум или более предыдущим переданным значениям параметра. Эта функция может, например, представлять собой линейную функцию, полиномиальную функцию второй или более высокой степени, сплайн-функцию и т.д. Если система 42 не передает текущее значение параметра, поверхностное оборудование может использовать для оценки текущего значения параметра алгоритм прогнозирования и предыдущие переданные значения параметров.

Как еще один пример, телеметрическая система может конфигурироваться для передачи определенного набора данных. Телеметрическая система может контролировать уровни приоритета одного или нескольких датчиков. Уровни приоритета могут определяться, например, в соответствии с одним или несколькими из следующих показателей: продолжительность времени с того момента, когда данные датчика были последний раз переданы; скорость изменения данных датчика; характер данных одного или нескольких датчиков, отвечающий определенному правилу; совокупное изменение с того момента, когда данные датчика были последний раз переданы; предопределенный уровень приоритета, связанный с датчиком (так что, например, новым данным датчика автоматически назначается высокий приоритет); и/или т.п. В ответ на определение, что данные одного или нескольких датчиков имеют приоритет выше порогового уровня, телеметрическая система может автоматически вставить данные датчика (датчиков) высокого приоритета в специальный кадр или специальное местоположение в существующем кадре.

Телеметрическая система, содержащая несколько телеметрических передатчиков, может факультативно конфигурироваться для доставки диагностической информации, касающейся одного телеметрического передатчика (и любых связанных систем), другим телеметрическим передатчиком. Диагностическая информация может, например, содержать такую информацию, как: информацию о состоянии различных подсистем; измеренные значения, такие как напряжение и/или ток питания, диагностические показания из соответствующих схем или схемных плат и т.п. Эта информация может передаваться, когда телеметрическая система еще находится в скважине, и использоваться персоналом на поверхности для диагностики и подготовки к ремонту другой телеметрической системы, если необходимо.

Приемник сигналов на поверхности может конфигурироваться для отслеживания, когда каждое полученное значение параметра было последний раз обновлено. Приемник сигналов может факультативно обнаруживать пробелы в телеметрических данных, если значение параметра упущено (например, потому, что управляющая система 42 обнаружила, что текущее значение параметра близко к переданному самым последним значению параметра или отличается от него меньше, чем на пороговую величину), и/или другие телеметрические сигналы, показывающие, что текущее значение параметра не передается. Приемник сигналов может отображать параметры с указанием, насколько недавно отображаемые значения разных параметров были получены (например, отображая значения параметров в определенных цветах и/или определенными шрифтами и/или отображая индексы, связанные со значениями параметров).

Если поверхностная система обнаруживает, что текущие значения одного или нескольких параметров не включены в принятую передачу, поверхностная система может факультативно отображать индексы, указывающие, что отображенное значение не было получено в переданном самым последним наборе значений параметров. Например, поверхностная система может отображать символ, отображать значение параметра конкретным шрифтом, цветом, атрибутом шрифта (например, миганием) и т.п., в качестве еще одного примера, поверхностная система может добавить примечание отображаемому значению параметра о допустимой величине. Предположим, например, что параметр имеет текущее значение $18,0^\circ$, предыдущее переданное значение того же параметра было $17,5^\circ$, и порог для изменения параметра $0,9^\circ$. По-

сколько текущее значение параметра отличается от предыдущего переданного значения параметра на $0,5^\circ$, что меньше порога $0,9^\circ$, управляющая система 42 может не совершать отправки текущего значения параметра. Поверхностная система может иметь доступ к порогу (в этом примере $0,9^\circ$) и, зная, что параметр упущен, может отображать $17,5 \pm 0,9^\circ$ как значение этого параметра. Предположим, что значение параметра впоследствии изменяется на $18,5^\circ$. Теперь разность между текущим значением параметра и переданным самым последним значением параметра превышает порог (поскольку $18,5 - 17,5 > 0,9$). Следовательно, управляющая система 42 может передавать текущее значение параметра, и поверхностная система может отображать текущее значение параметра (без необходимости отображать область допустимых значений или указания иным образом, что отображенное значение не было получено в переданном самым последним наборе значений параметров).

Другие примеры, в которых данные могут передаваться условно, включают случаи, когда передавать определенные данные может быть трудно или дорого в отношении срока службы аккумулятора. Например, при работе на большой глубине система, описанная в настоящем документе, могла бы конфигурироваться для отправки ЭМ-данных исследований только в периоды между активным бурением кроме случаев, если шумы во время активного бурения могут быть слишком большими для приема во время бурения. Это продлевает срок службы аккумулятора и ускоряет исследования.

Прием телеметрических данных.

Значительным признаком некоторых вариантов осуществления является одна поверхностная система для приема и декодирования телеметрии, переданной несколькими отличающимися телеметрическими подсистемами забойной системы. Использование такой одной системы позволяет разделять данные между двумя или более разными телеметрическими подсистемами в забойной системе, а затем повторно объединять в поверхностном оборудовании легким для пользователей образом. Вся информация, переданная телеметрической системой из забойной системы, может представляться на одном устройстве отображения или согласованно на нескольких устройствах отображения. Кроме того, как описано где-либо еще в настоящем документе, при такой системе телеметрическая информация, предоставленная с помощью телеметрической подсистемы (например, ЭМ-телеметрической подсистемы), может использоваться для поддержки телеметрии, предоставленной другой телеметрической подсистемой (например, ГИ-телеметрической подсистемой). Эта поддержка может содержать передачу конфигурационной информации, указывающей, как кодируются данные в другой телеметрической подсистеме, передачу данных пополнения, перенос данных неисправной телеметрической системы или т.п.

Со ссылкой на фиг. 13, поверхностный приемопередатчик 26 обнаруживает и обрабатывает ЭМ- и ГИ-телеметрические сигналы, переданные телеметрическим устройством 50, и посылает эти сигналы в компьютер 32, который декодирует эти сигналы для восстановления телеметрических каналов и преобразования данных измерений для использования оператором. Компьютер 32 содержит исполняемую программу, содержащую метод (методы) демодуляции, соответствующие выбранному методу (методам) модуляции, использованному блоками 75, 85 ЭМ- и ГИ-телеметрии, которые предназначены для декодирования модулированных телеметрических сигналов. Кроме того, компьютер 32 содержит такой же набор профилей конфигурации, какие были загружены в телеметрическое устройство 50, и может обращаться к конкретному профилю конфигурации, использованному телеметрическим устройством 50, для декодирования полученных телеметрических сигналов, которые были переданы в соответствии с этим профилем конфигурации.

Поверхностный приемопередатчик 26 может содержать приемник ГИ-сигналов и фильтры, приемник ЭМ-сигналов и фильтры, центральный процессор (ЦП приемника) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). В частности, поверхностный приемопередатчик 26 может содержать схемную плату поверхностного приемника, содержащую приемники ГИ- и ЭМ-сигналов и фильтры. Приемник ЭМ-сигналов и фильтр могут содержать предусилитель, электрически соединенный с кабелями 27 связи для приема и усиления передачи ЭМ-телеметрии, содержащей ЭМ-несущую, и полосовой фильтр, сообщающийся с предусилителем, сконфигурированный для отфильтровывания нежелательного шума в передаче. Также, АЦП может располагаться на схемной плате и может действовать для преобразования аналоговых электрических сигналов, принятых приемниками ГИ- и ЭМ-сигналов и фильтрами, в потоки цифровых данных. ЦП приемника может содержать процессор обработки цифровых сигналов (ПОЦС), применяющий различные операции обработки цифровых сигналов на потоках данных при исполнении программы обработки цифровых сигналов, хранящейся в его памяти. Альтернативно, для выполнения одной или нескольких функций ПОЦС могут использоваться отдельные компоненты аппаратных средств; например, для выполнения обработки цифровых сигналов способом, который известен в области техники, могут использоваться специализированная интегральная микросхема (ASIC) или программируемые пользователем матрицы логических элементов (FPGA). Указанные предусилители, полосовые фильтры, и А/Ц преобразователи хорошо известны в данной области техники, и поэтому в настоящем документе подробно не описываются. Например, предусилитель может быть модели INA118, выпускаемой компанией Texas Instruments, АЦП может быть модели ADS 1282, выпускаемой компанией Texas Instruments, а полосовой фильтр может представлять собой оптический полосовой фильтр или RLC-схему, рассчитанную на

пропускание частот в пределах от 0,1 до 20 Гц.

Компьютер 32 может сообщаться с поверхностным приемопередатчиком 26 по кабелю Ethernet или другому подходящему кабелю связи для приема обработанных ГИ- и ЭМ-телеметрических сигналов и с оператором на поверхности для приема идентификации профиля конфигурации, который используется телеметрическим устройством 50 для передачи телеметрических сигналов ("рабочий профиль конфигурации"). В одном варианте осуществления компьютер 32 представляет собой универсальный компьютер, содержащий центральный процессор (ЦП, далее по тексту именуемый "поверхностным процессором") и память, имеющую программу, исполняемую поверхностным процессором для выполнения различных функций декодирования, в том числе демодуляции цифровых сигналов в телеметрические данные. Кроме того, компьютер 32 может содержать программу для выполнения фильтрации цифровых сигналов и обработки цифровых сигналов в дополнение к фильтрации и обработке цифровых сигналов, выполняемых поверхностным приемопередатчиком 26 или вместо них.

Программа для поверхностного процессора может использовать методы демодуляции, соответствующие методам модуляции, использованным телеметрическим устройством 50 для кодирования данных измерений в ЭМ- и ГИ-телеметрический сигнал. Эти методы модуляции применяются к ЭМ- и ГИ-телеметрическим сигналам, принятым поверхностным приемопередатчиком 26, для восстановления данных измерений.

Альтернативно или дополнительно, поверхностный приемопередатчик 26 и/или компьютер 32 могут программироваться на отыскание идентификации рабочего профиля конфигурации, используемого телеметрическим устройством 50, из самих телеметрических сигналов. Идентификация рабочего профиля конфигурации может находиться в кадре состояния или другом кадре сообщения. Идентификация рабочего профиля конфигурации может также повторяться в телеметрическом сигнале, например в конце кадра исследований.

В одном варианте осуществления поверхностное оборудование может соединяться с датчиками, по показаниям которых можно определить текущим режим бурения. Например, поверхностный датчик может определять, протекает или нет буровой раствор в стволе скважины. В некоторых вариантах осуществления данные ГИ-приемопередатчика на поверхности обрабатываются для определения, протекает или нет флюид в стволе скважины. Забойная система, описанная в настоящем документе, может конфигурироваться для отправки определенной информации в моменты времени, синхронизированные с изменениями режима бурения. Например, забойная система может конфигурироваться для выдачи команды ЭМ-подсистеме на отправку длинного заголовка (указывающего путь, каким данные будут переданы ЭМ- и/или ГИ-телеметрией) в указанный момент времени после начала условия отсутствия потока бурового раствора. Поверхностное оборудование может, например, обнаруживать начало условия отсутствия потока бурового раствора путем контроля выхода датчика давления на поверхности (который может также служить детектором для импульсов ГИ-телеметрии на поверхности). Затем поверхностное оборудование может обрабатывать ЭМ-телеметрические данные в поиске длинного заголовка в применимый момент времени.

Альтернативно или на тот случай, если поверхностный приемопередатчик 26 и/или компьютер 32 не могут извлечь идентификацию рабочего профиля конфигурации из телеметрического сигнала или не получают идентификацию рабочего профиля конфигурации от оператора, или имеет место несоответствие между идентификацией, обнаруженной в телеметрическом сигнале, и идентификацией, предоставленной оператором, поверхностный приемопередатчик 26 и/или компьютер 32 могут программироваться на попытку декодировать принятую телеметрическую передачу во всех известных режимах телеметрии и использовать все известные методы демодуляции, пока не будут найдены правильный телеметрический режим и правильный метод демодуляции.

Компьютер 32 может дополнительно содержать программу, исполняемую его процессором, для обработки телеметрических сигналов, переданных телеметрическим устройством 50 в параллельном совместном режиме или параллельном подтверждающем режиме. В частности, если передача выполнялась в параллельном совместном режиме, может выполняться программа, объединяющая данные измерений из каналов ГИ- и ЭМ-данных в один поток данных для отображения оператору. Если передача выполнялась в параллельном подтверждающем режиме, может выполняться программа, сравнивающая принятые сигналы ЭМ- и ГИ-телеметрии и выбирающая для декодирования и получения данных измерений телеметрический сигнал с наивысшим уровнем достоверности.

Определенные варианты осуществления, описанные в настоящем документе, предлагают преимущество, заключающееся в нескольких разных типах телеметрии и гибкости в использовании разных телеметрических систем разными путями (примеры которых описаны выше) в системе, в которой питание подается обычным набором аккумуляторов, и данные собираются обычным набором датчиков, доступных каждой из телеметрических систем. Хотя забойный инструмент в соответствии с некоторыми вариантами осуществления может быть выполнен с возможностью принимать самостоятельные решения относительно телеметрии данных, это не является необходимым во всех вариантах осуществления.

Преимуществом некоторых вариантов является большая гибкость в том, что забойный инструмент может конфигурироваться на работу в соответствии с предпочтениями оператора буровой установки.

Забойный инструмент может конфигурироваться на использование выбранной одной телеметрической системы (с запрещенными всеми остальными), если это отвечает требованиям оператора. В других случаях забойный инструмент может конфигурироваться любыми путями, описанными выше, на использование двух или более телеметрических систем, тем самым обеспечивая больший объем данных данного типа, данные более разных типов и/или более надежные данные.

Поскольку выше описан ряд примерных аспектов и вариантов осуществления, специалистам в данной области техники будут очевидны определенные модификации, перестановки, дополнения и их подкомбинации. Все эти модификации, перестановки, дополнения и подкомбинации включены в изобретение, описанное в настоящем документе.

Интерпретация выражений.

Если в контексте четко не подразумевается другое, по всему тексту описания и формулы изобретения

слова "содержать", "содержащий" и т.п. должны толковаться в смысле включения в отличие от смысла исключения или исчерпывания; т.е. в смысле "включая, но без ограничения";

слова "соединенный", "связанный" или любой их вариант означают любое соединение или связь, прямую или непрямую, между двумя или более элементами; связь или соединение между элементами могут быть физическими, логическими или их комбинацией;

слова "в настоящем документе", "выше", "ниже" и слова подобного смысла при использовании для указания на настоящее описание должны означать настоящее описание в целом, а не какие-либо конкретные части настоящего описания;

"или" при ссылке на перечень двух или более наименований охватывает все следующие интерпретации этого слова: любое из наименований в перечне, все наименования в перечне и любая комбинация наименований в перечне;

формы неопределенных и определенного артиклей "a", "an" и "the" в единственном числе также включают значение любых подходящих форм во множественном числе.

Слова, указывающие направления, такие как "вертикальный", "поперечный", "горизонтальный", "вверх", "вниз", "вперед", "назад", "вовнутрь", "наружу", "вертикальный", "поперечный", "левый", "правый", "передний", "задний", "верхний", "нижний", "ниже", "выше", "под" и т.п., используемые в настоящем описании и любых пунктах формулы изобретения (если используются), зависят от конкретной ориентации описанного и проиллюстрированного устройства. Объект изобретения, описанный в настоящем документе, может принимать различные альтернативные ориентации. Соответственно, эти связанные с направлением термины строго не определены и не должны интерпретироваться узко.

Заголовки включены лишь для удобства и не должны использоваться для интерпретации значения раскрытия или формулы изобретения.

Если в приведенном выше описании упоминается какой-либо компонент (например, схема, система, узел, устройство, компонент буровой колонны, система буровой установки и т.д.), то, если нет иных указаний, упоминание этого компонента (включая упоминание "средства") должно интерпретироваться как включающее эквиваленты этого компонента, любой компонент, выполняющий функцию описываемого компонента (т.е. функционально эквивалент), включая компоненты, конструктивно не эквивалентные раскрытой конструкции, выполняющей эту функцию в проиллюстрированных примерных вариантах осуществления изобретения.

Все заголовки на настоящем документе служат лишь для удобства читателя. Текст под любым заголовком может также относиться к другим заголовкам. Формулировка самих заголовков не ограничивает каким-либо образом значение любого текста.

Конкретные примеры систем, способов и устройства описаны в настоящем документе в целях иллюстрации. Они представляют собой лишь примеры. Технология, предлагаемая в настоящем документе, может быть применимой к другим системам, отличным от описанных выше примерных систем. В пределах практического осуществления настоящего изобретения возможны многие изменения, модификации, дополнения, опущения и перестановки. Изобретение включает изменения описанных вариантов осуществления, очевидные специалистам в области данной техники, включая изменения, полученные путем: замены признаков, элементов и/или действий эквивалентными признаками, элементами и/или действиями; смешивания и совмещения признаков, элементов и/или действий из других вариантов осуществления; комбинирования признаков, элементов и/или действий из вариантов осуществления, описанных в настоящем документе, с признаками, элементами и/или действиями другой технологии; и/или опускания комбинирования признаков, элементов и/или действий из описанных вариантов осуществления.

Поэтому подразумевают, что последующая прилагаемая формула изобретения интерпретируется как включающая все эти модификации, перестановки, дополнения, опущения и подкомбинации, которые могут быть обоснованно выведены. Объем формулы изобретения не должен ограничиваться предпочтительными вариантами осуществления, изложенными в примерах; ей должна даваться самая широкая интерпретация, согласующаяся с описанием в целом.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Забойная система для сбора данных по исследованиям в скважинах и телеметрии, содержащая несколько телеметрических подсистем, управляющую систему, содержащую несколько телеметрических контроллеров, причем каждый телеметрический контроллер связан и сообщается по меньшей мере с одной телеметрической подсистемой из нескольких телеметрических подсистем, шину, причем по этой шине каждый телеметрический контроллер из нескольких телеметрических контроллеров находится в сообщении с каждым другим телеметрическим контроллером из нескольких телеметрических контроллеров, и один или несколько датчиков в сообщении с несколькими телеметрическими контроллерами, отличающаяся тем, что первый телеметрический контроллер из нескольких телеметрических контроллеров связан с первой телеметрической подсистемой из нескольких телеметрических подсистем и действует для получения первой информации датчиков из первого набора из одного или нескольких датчиков и для передачи первой информации датчиков по первой телеметрической подсистеме; и второй телеметрический контроллер из нескольких телеметрических контроллеров связан со второй телеметрической подсистемой из нескольких телеметрических подсистем и действует независимо от первого телеметрического контроллера для получения второй информации датчиков из второго набора из одного или нескольких датчиков и для передачи второй информации датчиков по второй телеметрической подсистеме; при этом управляющая система сконфигурирована для обеспечения режима разделения, при этом управляющая система действует для получения единицы данных, содержащей последовательность цифровых битов для передачи, разделения единицы данных на первую часть, содержащую первый набор последовательности цифровых битов, и вторую часть, содержащую второй набор последовательности цифровых битов, передачи первой части единицы данных, используя первую из телеметрических подсистем, и передачи второй части единицы данных, используя вторую из телеметрических подсистем; причем передачу первой и второй частей единицы данных выполняют одновременно, таким образом, что передача всей единицы данных завершается за промежуток времени короче промежутка времени, который потребовался бы для передачи всей единицы данных, используя первую телеметрическую подсистему или вторую телеметрическую подсистему отдельно.
2. Забойная система по п.1, отличающаяся тем, что единица данных представляет собой одно двоичное число.
3. Забойная система по п.1 или 2, отличающаяся тем, что единица данных содержит управляющую информацию.
4. Забойная система по п.3, отличающаяся тем, что управляющая информация представлена двоичным числом, имеющим размер от 7 до 15 битов.
5. Забойная система по п.2 или 3, отличающаяся тем, что единица данных состоит менее чем из 33 битов.
6. Забойная система по п.2 или 3, отличающаяся тем, что единица данных состоит из 10 битов, включая семь информационных битов и три бита обнаружения ошибок.
7. Забойная система по любому из пп.1-6, отличающаяся тем, что управляющая система сконфигурирована распределять биты единицы данных между первой и второй частями пропорционально скоростям передачи в битах первой и второй телеметрических подсистем.
8. Забойная система по любому из пп.1-7, отличающаяся тем, что первая и вторая телеметрические подсистемы работают в соответствии с разными телеметрическими режимами.
9. Забойная система по любому из пп.1-8, отличающаяся тем, что биты единицы данных распределены между первой и второй телеметрическими системами с использованием схемы в порядке круговой очереди.
10. Забойная система по любому из пп.1-9, отличающаяся тем, что управляющая система сконфигурирована отправлять единицу данных по одной из телеметрических подсистем, если скорость передачи данных одной из телеметрических подсистем превышает первый порог, и переключать в режим разделения, если скорость передачи данных одной из телеметрических подсистем падает ниже первого порога.
11. Забойная система по любому из пп.1-9, отличающаяся тем, что единица данных имеет вариант более высокого разрешения и вариант более низкого разрешения и управляющая система сконфигурирована передавать вариант более высокого разрешения единицы данных по одной из телеметрических подсистем, если скорость передачи данных одной из телеметрических подсистем превышает первый порог; переключать в режим разделения и передавать вариант более высокого разрешения единицы данных с использованием обеих - первой и второй - телеметрических подсистем, если скорость передачи данных одной из телеметрических подсистем падает ниже первого порога, а общая скорость передачи данных первой и второй телеметрических подсистем превышает второй порог; и передавать вариант более низкого разрешения единицы данных с использованием обеих - первой и второй - телеметрических подсистем.

тем, если общая скорость передачи данных первой и второй телеметрических подсистем ниже второго порога.

12. Забойная система по п.11, отличающаяся тем, что более высокое разрешение единицы данных имеет 11 информационных битов, а вариант более низкого разрешения единицы данных имеет 7 информационных битов.

13. Забойная система по любому из пп.1-12, отличающаяся тем, что первая часть единицы данных содержит более младшие биты единицы данных, а вторая часть единицы данных содержит более старшие биты единицы данных, при этом в режиме разделения управляющая система действует для оценки надежности телеметрических подсистем и для назначения более надежной из телеметрических подсистем в качестве первой из телеметрических подсистем.

14. Забойная система по любому из пп.1-13, отличающаяся тем, что первая телеметрическая подсистема представляет собой ЭМ-телеметрическую подсистему, а вторая телеметрическая подсистема представляет собой ГИ-телеметрическую подсистему.

15. Забойная система по любому из пп.1-14, отличающаяся тем, что первый и второй наборы из одного или нескольких датчиков содержат по меньшей мере один или несколько общих датчиков.

16. Способ передачи данных из местоположения в скважине с использованием забойной системы по любому из пп.1-15, причем способ включает

получение единицы данных, содержащей последовательность цифровых битов для передачи поверхностному оборудованию;

разделение единицы данных на первую часть, содержащую первый набор последовательности цифровых битов, и вторую часть, содержащую второй набор последовательности цифровых битов;

передачу первой части единицы данных с использованием первой телеметрической подсистемы и

передачу второй части единицы данных с использованием второй телеметрической подсистемы;

причем передачу первой и второй частей единицы данных выполняют одновременно, таким образом, что передача всей единицы данных завершается за промежуток времени короче промежутка времени, который потребовался бы для передачи всей единицы данных, используя первую телеметрическую подсистему или вторую телеметрическую подсистему отдельно.

17. Способ по п.16, отличающийся тем, что включает

прием первой и второй частей единицы данных на поверхностном оборудовании;

кодирование первой и второй частей единицы данных;

восстановление единицы данных в поверхностном оборудовании путем объединения декодированных первой и второй частей единицы данных.

18. Способ по любому из пп.16, 17, отличающийся тем, что единица данных представляет собой одно двоичное число.

19. Способ по любому из пп.16-18, отличающийся тем, что единица данных содержит управляющую информацию.

20. Способ по п.19, отличающийся тем, что управляющая информация представлена двоичным числом, имеющим размер от 7 до 15 битов.

21. Способ по любому из пп.16-19, отличающийся тем, что единица данных состоит из менее чем 33 битов.

22. Способ по любому из пп.16-19, отличающийся тем, что единица данных состоит 10 битов, включая семь информационных битов и три бита обнаружения ошибок.

23. Способ по любому из пп.16-22, отличающийся тем, что управляющая система сконфигурирована распределять биты единицы данных между первой и второй частями пропорционально скоростям передачи в битах первой и второй телеметрических подсистем.

24. Способ по любому из пп.16-23, отличающийся тем, что первая и вторая телеметрические подсистемы работают согласно разным телеметрическим режимам.

25. Способ по любому из пп.16-24, отличающийся тем, что первая телеметрическая подсистема представляет собой ЭМ-телеметрическую подсистему и вторая телеметрическая подсистема представляет собой ГИ-телеметрическую подсистему.

26. Способ по любому из пп.16-25, отличающийся тем, что включает отправку единицы данных по одной из первой и второй телеметрических подсистем, если скорость передачи данных одной из первой и второй телеметрических подсистем превышает первый порог, и переключение в режим, при этом первую и вторую части единицы данных соответственно передают по первой и второй телеметрическим подсистемам, если скорость передачи данных одной из телеметрических подсистем падает ниже первого порога.

27. Способ по любому из пп.16-25, отличающийся тем, что единица данных имеет вариант более высокого разрешения и вариант более низкого разрешения и способ включает передачу варианта более высокого разрешения единицы данных, если общая скорость передачи данных первой и второй телеметрических подсистем превышает порог, и передачу варианта более низкого разрешения единицы данных, если общая скорость передачи данных первой и второй телеметрических подсистем ниже порога.

28. Способ по п.27, отличающийся тем, что вариант более высокого разрешения единицы данных

имеет 11 информационных битов, а вариант более низкого разрешения единицы данных имеет 7 информационных битов.

29. Способ по любому из пп.16-28, отличающийся тем, что первая часть единицы данных содержит более младшие биты единицы данных, а вторая часть единицы данных содержит более старшие биты единицы данных, и способ включает определение относительной надежности передач по первой и второй телеметрическим подсистемам и назначение более надежной из телеметрических подсистем в качестве первой из телеметрических подсистем.

30. Способ забойной телеметрии, причем способ включает

получение в забойной системе значения датчика, выраженного в качестве единицы данных, состоящей из последовательности нескольких цифровых битов, путем считывания датчика;

разделение единицы данных на несколько частей, при этом разделение содержит деление указанной последовательности битов на первый и второй наборы битов, при этом по меньшей мере один из первого и второго наборов битов включает часть последовательности, не включенную в другой из первого или второго наборов битов;

передачу первого набора битов с использованием первой телеметрической системы и

передачу второго набора битов с использованием второй телеметрической системы;

где первый и второй наборы битов передаются одновременно.

31. Способ по п.30, отличающийся тем, что первая телеметрическая система представляет собой ЭМ-телеметрическую систему, а вторая телеметрическая система представляет собой ГИ-телеметрическую систему.

32. Способ по п.30 или 31, отличающийся тем, что деление нескольких битов на первый и второй наборы битов представляет собой распределение первого числа битов в первый набор битов и второго числа битов во второй набор битов, при этом первое и второе число выбирают имеющими отношение, пропорциональное отношению скоростей передачи данных первой и второй телеметрических систем.

33. Способ по п.32, отличающийся тем, что включает завершение передачи первого набора битов с использованием первой телеметрической системы в течение двух секунд после завершения передачи второго набора битов с использованием второй телеметрической системы.

34. Способ по любому из пп.30-33, отличающийся тем, что датчик представляет собой датчик направления и угла наклона, а значение датчика представляет собой данные о направлении и угле наклона.

35. Поверхностное оборудование для обработки скважинных телеметрических сигналов, причем поверхностное оборудование содержит

детектор ГИ-телеметрических сигналов;

детектор ЭМ-телеметрических сигналов;

устройство отображения; и

управляющую систему, сконфигурированную так, чтобы одновременно

получать первый набор битов посредством детектора ГИ-телеметрических сигналов;

получать второй набор битов посредством детектора ЭМ-телеметрических сигналов;

при этом первый и второй наборы битов получены от разделения единицы данных, состоящей из последовательности нескольких цифровых битов, на первый и второй наборы битов;

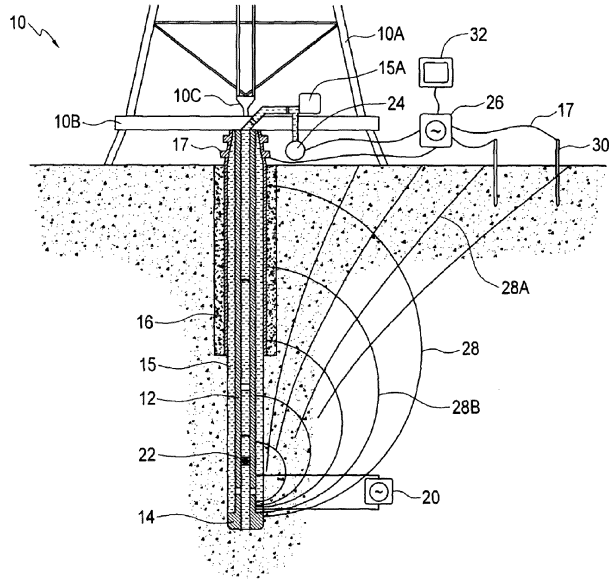
объединять первый и второй наборы битов для получения единицы данных, содержащей последовательность цифровых битов; и

отображать единицу данных на устройстве отображения.

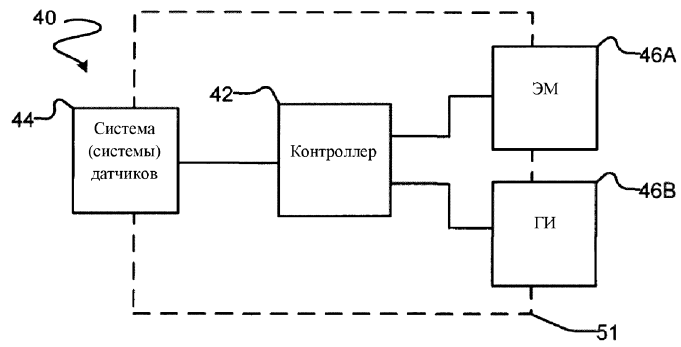
36. Поверхностное оборудование по п.35, отличающееся тем, что единица данных содержит набор битов обнаружения ошибок или исправления ошибок, и управляющая система сконфигурирована проверять единицу данных на ошибки с использованием одного или нескольких битов обнаружения ошибок или исправления ошибок.

37. Поверхностное оборудование по п.34 или 35, отличающееся тем, что единица данных содержит управляющую информацию, а устройство отображения сконфигурировано идентифицировать отображаемую единицу данных как управляющую информацию.

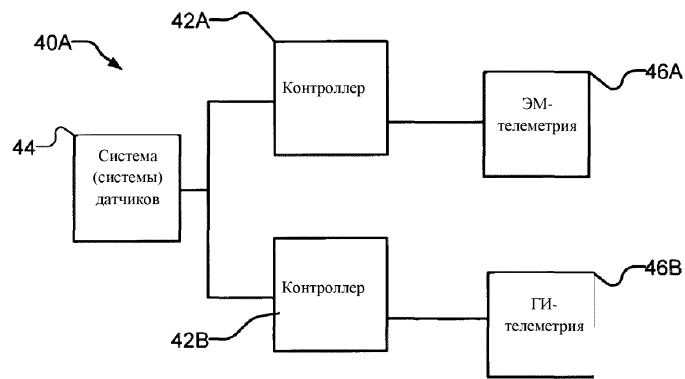
38. Поверхностное оборудование по п.37, отличающееся тем, что управляющая информация в единице данных содержит значения направления и угла наклона, а устройство отображения сконфигурировано отображать значения направления и угла наклона и идентифицировать отображаемые значения направления и угла наклона.



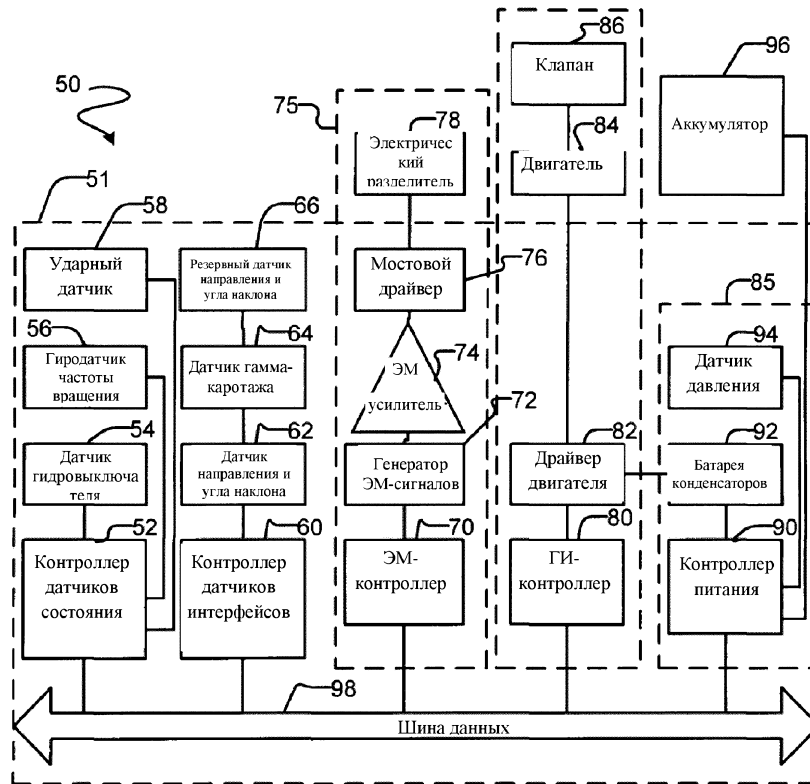
Фиг. 1



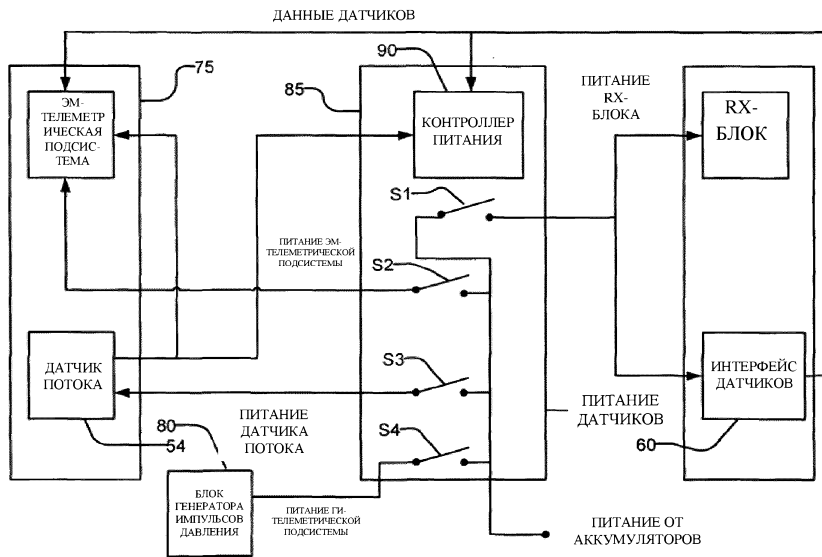
Фиг. 2



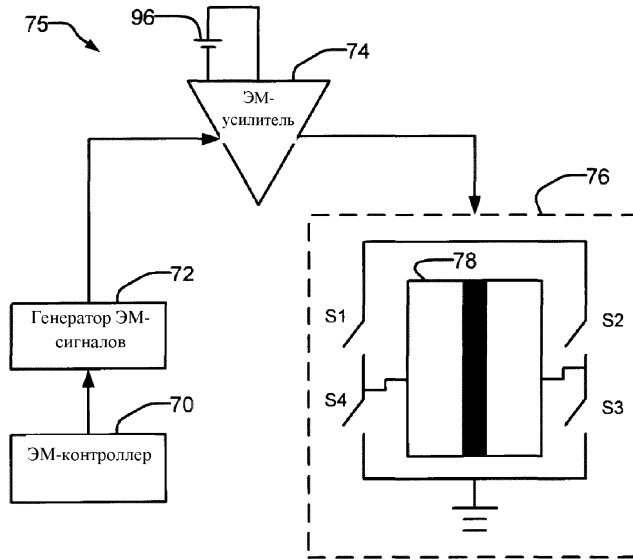
Фиг. 2а



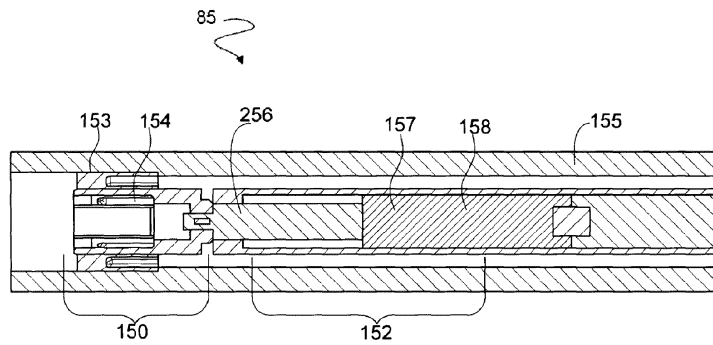
Фиг. 3



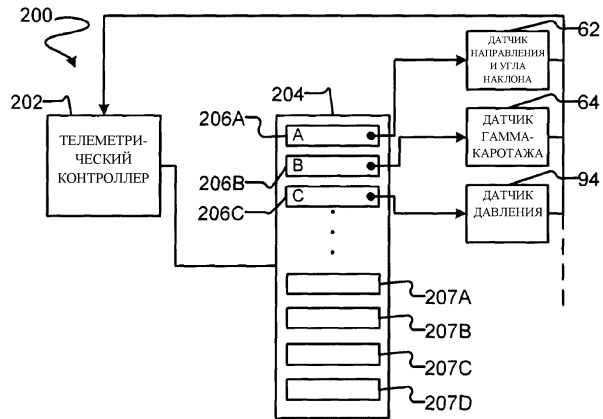
Фиг. 3а



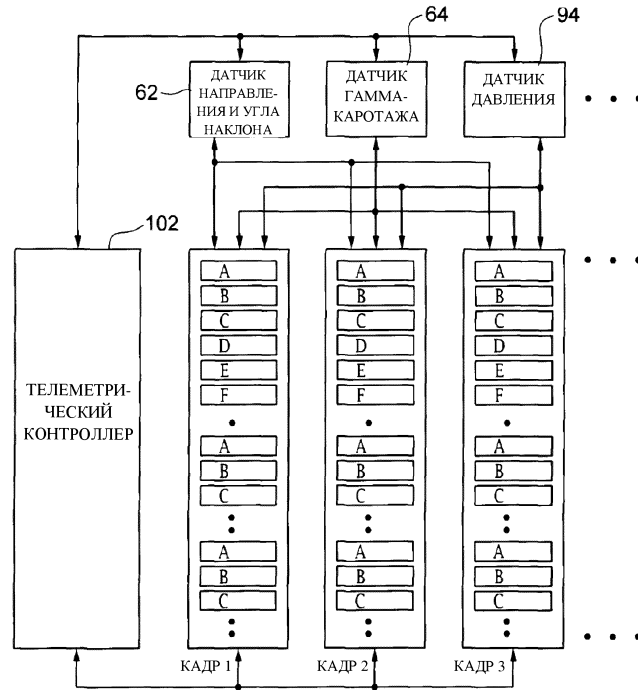
Фиг. 4



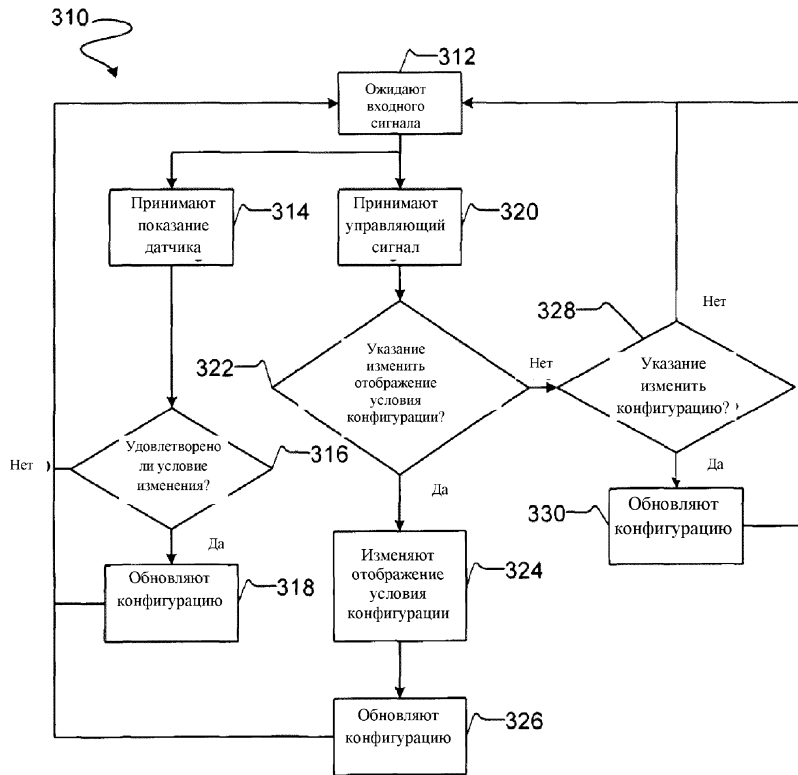
Фиг. 5



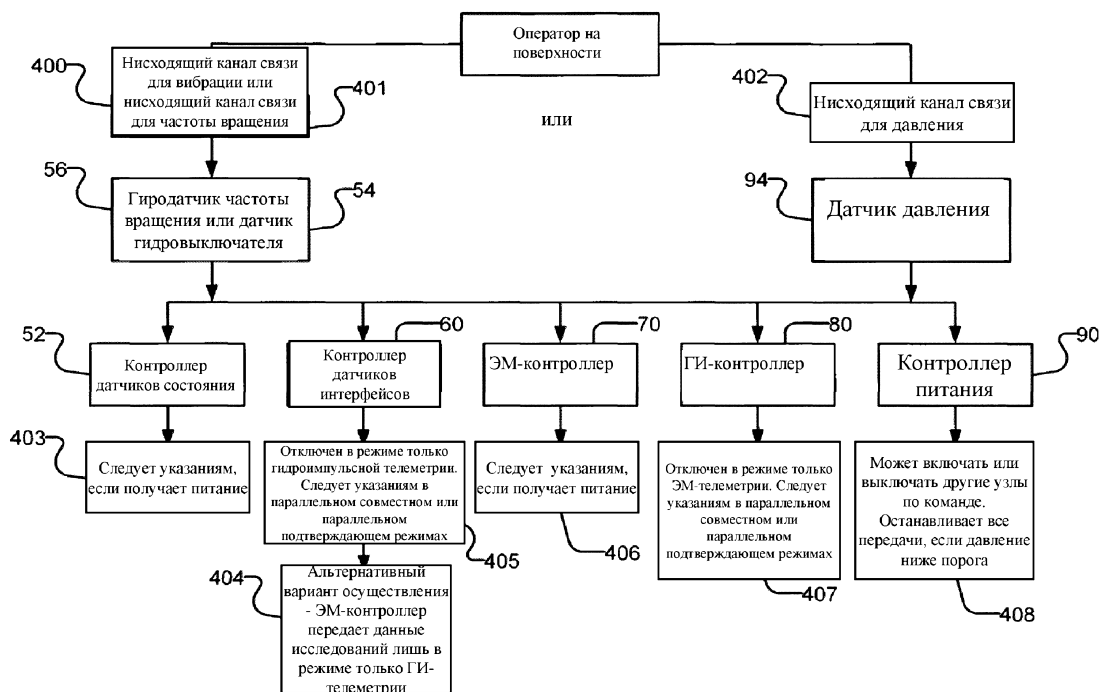
Фиг. 6



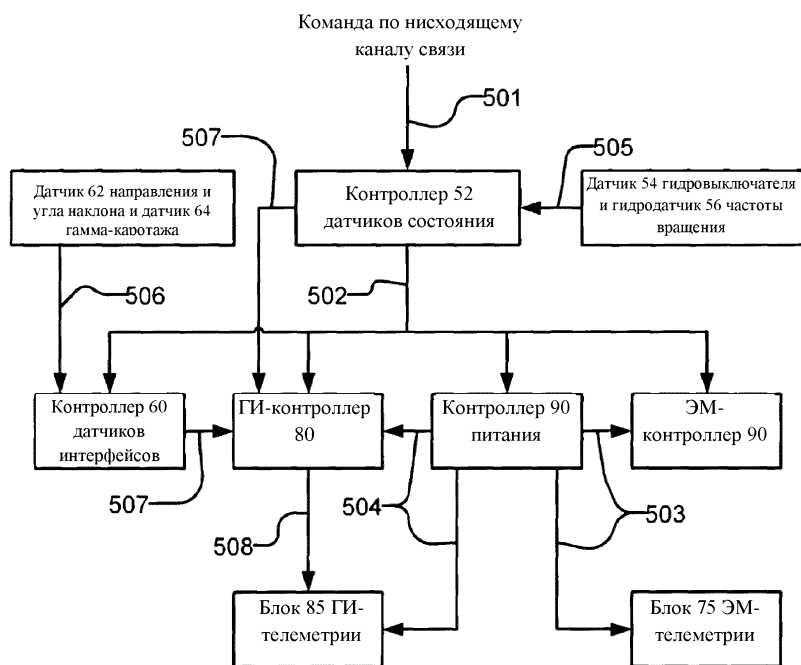
Фиг. 6а



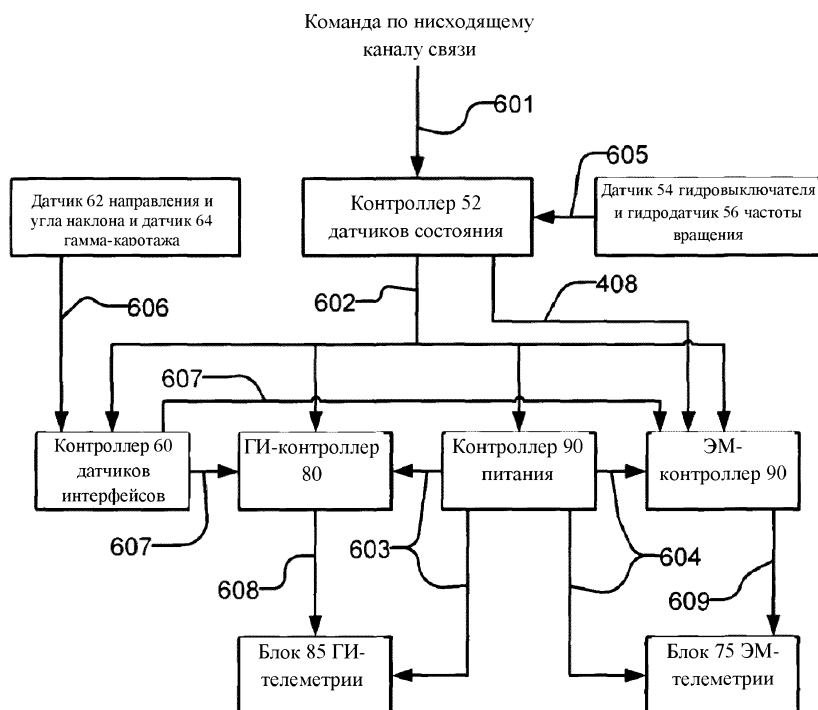
Фиг. 7



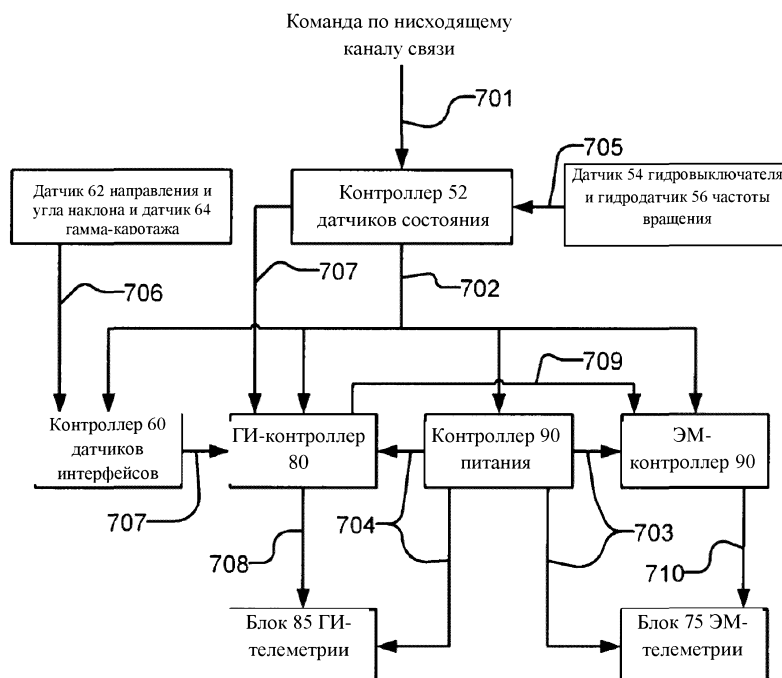
Фиг. 8



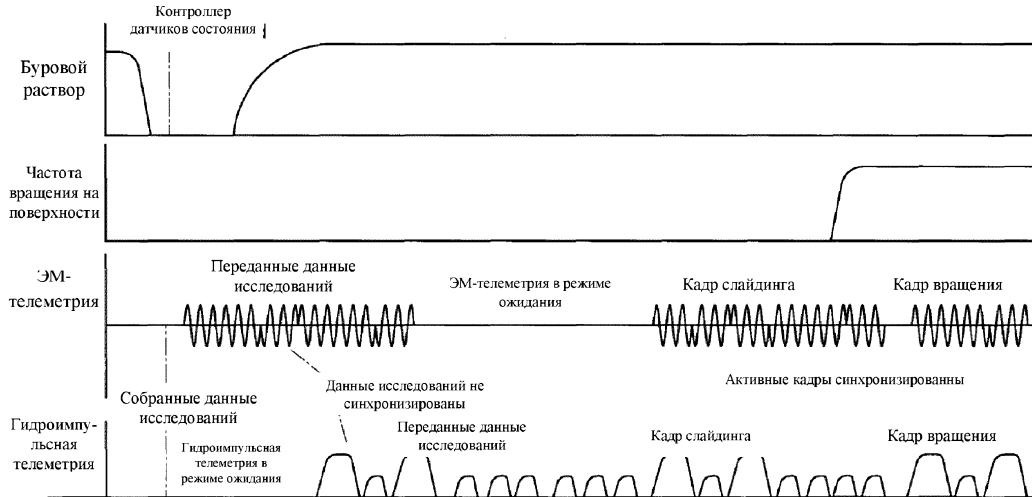
Фиг. 9



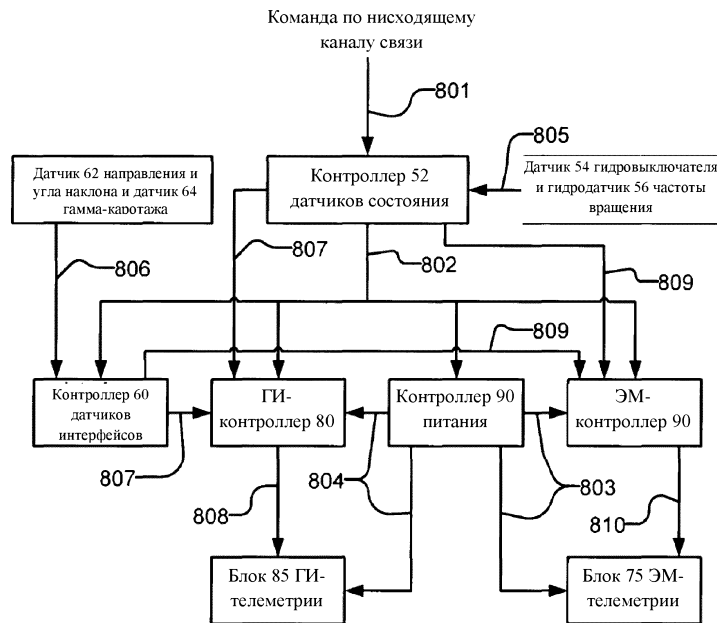
Фиг. 10



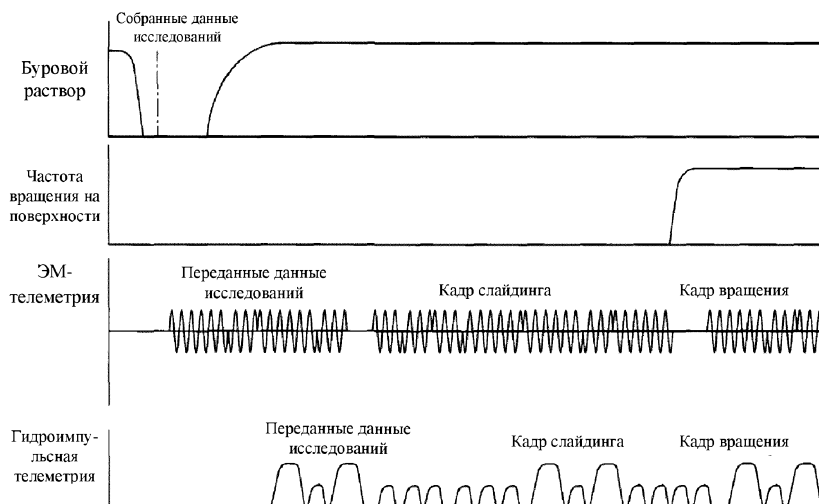
Фиг. 11



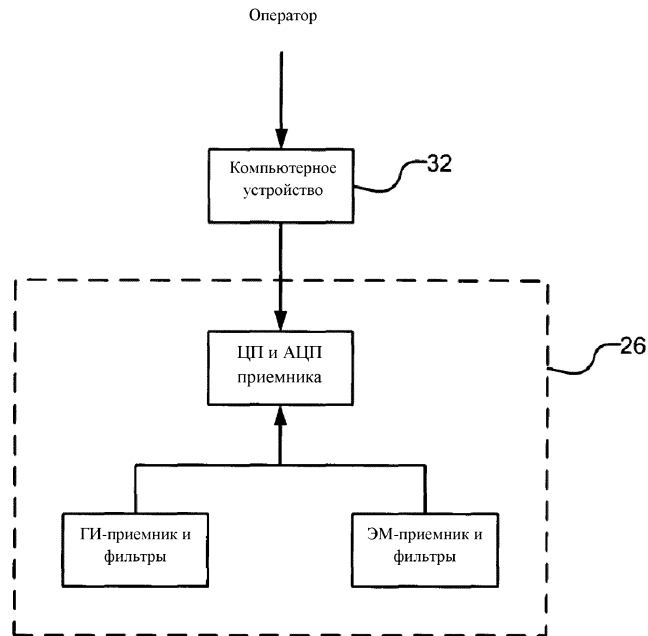
Фиг. 11а



Фиг. 12



Фиг. 12а



Фиг. 13

ДОСТОВЕРНОСТЬ ДАННЫХ ЭМ-ТЕЛЕМЕТРИИ ДО СРАВНЕНИЯ

		ВЫСОКАЯ	СРЕДНЯЯ	НЕДОСТО- ВЕРНОСТЬ
ДОСТОВЕРНОСТЬ ДАННЫХ ЭМ-ТЕЛЕМЕТРИИ ДО СРАВНЕНИЯ	ВЫСОКАЯ	ПОДТВЕРЖДЕНА ИЛИ НАИЛУЧШЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ	ПОДТВЕРЖДЕНА ИЛИ НАИЛУЧШЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ	ИСПОЛЬЗОВАТЬ ГИ-ТЕЛЕМЕТРИЮ
	СРЕДНЯЯ	ПОДТВЕРЖДЕНА ИЛИ НАИЛУЧШЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ	ПОДТВЕРЖДЕНА ИЛИ НАИЛУЧШЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ	ИСПОЛЬЗОВАТЬ ГИ-ТЕЛЕМЕТРИЮ
	НЕДОСТО- ВЕРНОСТЬ	ИСПОЛЬЗОВАТЬ ЭМ-ТЕЛЕМЕТРИЮ	ИСПОЛЬЗОВАТЬ ЭМ-ТЕЛЕМЕТРИЮ	НЕТ ДАННЫХ

Фиг. 14

