(19) Евразийское патентное ведомство

(21) 201690470 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2016.09.30

(22) Дата подачи заявки
2014.08.28

(51) Int. Cl. ***E21B 47/13*** (2012.01)
E21B 44/00 (2006.01)
G08C 17/02 (2006.01)
H04W 52/00 (2009.01)
H04W 80/00 (2009.01)

(54) ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ

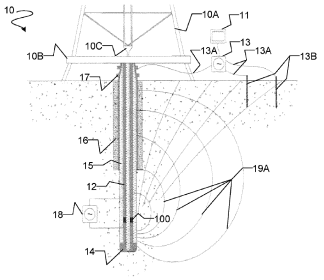
(31) **61/870,968**
(32) **2013.08.28**
(33) **US**
(86) **PCT/CA2014/050825**
(87) **WO 2015/027340 2015.03.05**

(71) Заявитель:
ЭВОЛЮШН ИНЖИНИРИНГ ИНК. (CA)

(72) Изобретатель:
Лю Цзили, Сюй Миндун, Логан Аарон В., Свицер Дэвид А., Варга Моника Э., Каземи Мираки Моджтаба (CA)

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

(57) Система электромагнитной телеметрии обеспечивает регулировку параметров, которые могут включать несущую частоту, амплитуду сигнала и/или протокол кодирования данных, для достижения надежной передачи данных и экономии энергии. В некоторых вариантах осуществления в свип-сигналах передают диапазон несущих частот, и параметры определяют частично путем анализа принятых свип-сигналов. В некоторых вариантах осуществления различные параметры выбирают автоматически на основании режима бурения.



201690470 A1

201690470 A1

P11068404EA

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ

Область изобретения

[0001] Эта заявка относится к подземному бурению, а именно к способам и устройству для передачи данных на скважинное оборудование и от него с помощью электромагнитной телеметрии. Варианты осуществления применимы к бурению скважин для добычи углеводородов.

Предпосылки изобретения

[0002] Добыча углеводородов из подземных зон обычно предполагает бурение стволов скважин.

[0003] Скважины создают с использованием находящегося на поверхности бурового оборудования, вращающего бурильную колонну, которая в конечном итоге проходит от поверхностного оборудования до целевого пласта 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, как правило, в виде бурового раствора. Промывочная жидкость охлаждает и смазывает буровое долото, а также выносит буровой шлам назад на поверхность. Также, использование промывочной жидкости может способствовать регулированию забойного давления для подавления притока углеводородов из пласта в ствол скважины и их потенциального выброса на поверхность.

[0004] 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 забойный гидротурбинный двигатель или роторная управляемая система); датчики для измерения свойств окружающих геологических пластов (например, датчики для использования при каротаже); датчики для измерения скважинных условий по мере прохождения бурения; одна или более систем для телеметрии данных на поверхность; стабилизаторы; утяжеленные бурильные трубы, генераторы импульсов и т. п. КНБК обычно продвигают в ствол скважины колонной металлических труб (бурильной трубой).

[0005] Современные буровые системы могут включать любые из широкого ряда механических/электронных систем в КНБК или других местах скважин. Такие 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 любую из широкого ряда функций, включая без ограничения: сбор данных, измерение свойств окружающих геологических пластов (например, каротаж), измерения скважинных условий по мере прохождения бурения, управление скважинным оборудованием, контроль состояния скважинного оборудования, применение направленного бурения, применение измерений во время бурения (ИВБ), применение каротажа во время бурения (КВБ), измерение свойств флюидов в скважине 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 включать один или более датчиков вибрации, магнитометров, инклинометров, акселерометров, детекторов радиоактивных частиц, электромагнитных детекторов, акустических детекторов и др.; получения изображений; измерения потока флюидов; определения направлений; излучения сигналов, частиц или полей для обнаружения другими устройствами, установления связи с другим скважинным оборудованием; отбора проб скважинных флюидов и т. п. Глубинный зонд обычно подвешивают в отверстии бурильной колонны возле бурового долота.

[0006] Глубинный зонд может посредством телеметрии передавать на поверхность широкий диапазон информации. Телеметрическая информация может быть бесценной для проведения эффективных бурильных работ. Например, телеметрическая информация может быть использована бригадой буровой установки для принятия решений об управлении и наведении бурового долота для оптимизации скорости и траектории бурения на основании множества факторов, включая допустимые границы, положения существующих скважин, свойства пласта, размер и положение углеводородов и т. п. По мере необходимости бригада может производить умышленные отклонения от запланированного пути на основании информации, собранной со скважинных датчиков и переданной на поверхность телеметрией во время процесса бурения. Способность получать и передавать надежные данные из мест в скважине обеспечивает относительно более экономичное и более эффективное выполнение бурильных работ.

[0007] Данные телеметрии могут включать данные относительно текущей ориентации бурового долота (иногда называемые данными «передней поверхности инструмента»). Телеметрическая информация может включать данные, получаемые от различных датчиков, которые отслеживают характеристики пластов, окружающих ствол скважины (данные «каротажа»). Телеметрическая информация может включать информацию относительно самого бурения (например, информацию относительно вибрации в стволе скважины, характеристики буримого ствола скважины, расход промывочной жидкости, давление в скважине и т. п.).

[0008] Есть несколько известных телеметрических методов. Они включают передачу информации путем генерирования вибраций в скважинном флюиде (например, акустическая телеметрия или гидроимпульсная (ГИ) скважинная телеметрия) и передачу информации посредством электромагнитных сигналов, которые распространяются по меньшей мере частично через землю (ЭМ (электромагнитная) телеметрия). В других телеметрических методах для передачи данных на поверхность применяют бурильную колонну с проводами,

оптоволоконный кабель или акустическую телеметрию по утяжеленной бурильной трубе.

[0009] Преимущества ЭМ телеметрии, в сравнении с ГИ скважинной телеметрией, включают обычно более высокие скорости передачи данных в бодах, повышенную надежность благодаря отсутствию движущихся деталей в скважине, высокую устойчивость к применению материалов для борьбы с поглощением (МБП) и применимость для бурения с продувкой воздухом/бурения с отрицательным дифференциальным давлением. Система ЭМ телеметрии может передавать данные без непрерывного столба жидкости; поэтому она применима при отсутствии потока промывочной жидкости. Это является преимущественным, когда буровая бригада добавляет новую секцию бурильной трубы, поскольку электромагнитный сигнал может передавать информацию (например, информацию о направлении), когда буровая бригада добавляет новую трубу.

[0010] Поскольку электромагнитные сигналы сильно ослабевают на больших расстояниях в геологических пластах, ЭМ телеметрия может иметь недостаток, заключающийся в неподходяще коротком диапазоне. Также для ЭМ телеметрии может потребоваться относительно большое количество электроэнергии, особенно при попытке осуществления ЭМ телеметрии из глубокого ствола скважины или из пласта, который имеет относительно высокую удельную электропроводность.

[0011] В типичном устройстве для электромагнитной телеметрии в качестве антенны используются части бурильной колонны. Бурильная колонна может быть разделена на две проводящие секции посредством включения в бурильную колонну изолирующей вставки или соединителя («стыковочного переводника»). Стыковочный переводник обычно располагают в верхней части КНБК, так что металлическая бурильная труба в бурильной колонне над КНБК служит в качестве одного элемента антенны, а металлические секции в КНБК служат в качестве другого элемента антенны. Затем сигналы электромагнитной

телеметрии могут быть переданы путем распространения электрических сигналов между двумя антенными элементами. Сигналы обычно включают сигналы переменного тока очень низкой частоты, приспособленные для кодирования информации для передачи на поверхность. Применение низких частот объясняется тем, что сигналы более высокой частоты ослабевают сильнее, чем сигналы низкой частоты. Электромагнитные сигналы могут быть обнаружены на поверхности, например, путем измерения разницы электрических потенциалов между бурильной колонной или металлической обсадной трубой, которая проходит в землю, и одним или более заземленными стержнями.

[0012] Существует потребность в надежной и эффективной телеметрии. Имеется особая потребность в высокопроизводительных системах ЭМ телеметрии.

Краткое изложение сущности изобретения

[0013] Настоящее изобретение обладает рядом аспектов. Согласно одному аспекту предложены способы ЭМ телеметрии. Некоторые такие способы включают динамическое регулирование несущей частоты и/или амплитуды сигнала сигналов ЭМ телеметрии для достижения целевых показателей. Целевые показатели могут, например, включать одну или более желаемых скоростей передачи данных и желаемое потребление энергии. Согласно другому аспекту предложены системы ЭМ телеметрии и их компоненты. Например, согласно одному аспект предложен контроллер для системы ЭМ телеметрии. Согласно другому аспекту предложен скважинный блок ЭМ телеметрии. Согласно другому аспекту предложена полнокомплектная система ЭМ телеметрии. Согласно другому аспекту предложена бурильная колонна, содержащая несколько скважинных систем ЭМ телеметрии.

[0014] Согласно иллюстративному аспекту предложен способ скважинной электромагнитной (ЭМ) телеметрии при проведении работ по бурению скважины. Способ включает отправку набора ЭМ свип-сигналов из скважинной системы ЭМ телеметрии, расположенной в месте в скважине, на наземную систему, расположенную в месте на поверхности. Набор ЭМ свип-сигналов

содержит сигналы множества различных частот. В ходе способа определяют, принимает ли наземная система каждый из ЭМ свип-сигналов, и для полученных ЭМ свип-сигналов измеряет параметры принятых ЭМ свип-сигналов. Параметры включают по меньшей мере одно из интенсивности сигнала и отношения сигнал/шум. По меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров с помощью способа определяют протокол для передачи скважинных данных, протокол устанавливает параметры протокола, включая одно или более из частоты сигнала, амплитуды сигнала и схемы кодирования данных, и настраивают скважинную систему ЭМ телеметрии для передачи данных на наземную систему.

[0015] В некоторых вариантах осуществления схема кодирования данных включает ряд циклов ЭМ сигналов, применяемых для кодирования символов для передачи; и определение протокола включает установку числа циклов, которые необходимо использовать для кодирования сигналов для передачи.

[0016] В некоторых вариантах осуществления способ включает определение режима буровых работ и определение протокола по меньшей мере частично на основании режима бурильных работ. Например, различные протоколы могут быть использованы в зависимости от того, не осуществляются работы в стволе скважины (с отсутствием циркуляции и вращения бурильной колонны), ведутся работы в скользящем режиме (с циркуляцией, но без вращения бурильной колонны или с ограниченным вращением), или в режиме бурения с вращением (с циркуляцией и вращением бурильной колонны с поверхности). В некоторых вариантах осуществления для каждого режима бурильных работ назначен предустановленный протокол.

[0017] В некоторых вариантах осуществления протокол определяется на наземной системе посредством процессора, и протокол передают на скважинную систему ЭМ телеметрии с помощью системы нисходящей передачи. Протокол необязательно может быть определен на наземной системе с помощью пользовательского ввода в сочетании с процессором.

[0018] В неограничительном иллюстративном варианте осуществления набор предустановленных протоколов хранится в скважинной системе ЭМ телеметрии, и определение протокола для передачи скважинных данных включает: генерирование на наземной системе указателя, идентифицирующего один из предустановленных протоколов, хранящихся в скважинной системе ЭМ телеметрии, по меньшей мере частично на основании одного или более из режима бурильных работ, принятых ЭМ сигналов и измеренных параметров; передачу указателя на скважинную систему ЭМ телеметрии с помощью системы нисходящей передачи; и выбор одного из предустановленных протоколов, хранящихся в скважинной системе ЭМ телеметрии, по меньшей мере частично на основании переданного указателя.

[0019] В некоторых вариантах осуществления происходит периодическая отправка наборов ЭМ свип-сигналов от скважинной системы ЭМ телеметрии на наземную систему; обнаружение ЭМ свип-сигналов на наземной системе и определение необходимости регулирования одного или более параметров протокола на основании обнаруженных ЭМ свип-сигналов. Такие варианты осуществления могут применяться для экономии электроэнергии на скважинной системе ЭМ телеметрии путем переключения на более энергоэффективный протокол, когда обнаруженные ЭМ свип-сигналы указывают, что более энергоэффективный протокол обеспечит достаточную производительность. В качестве примера, в более энергоэффективном протоколе используется более высокая частота и/или меньшее количество циклов на символ для достижения более высокой скорости передачи данных, так что данный объем данных может быть передан вверх по скважине за более короткий период работы скважинной системы ЭМ телеметрии, и/или выбирается частота, которая может быть принята на поверхности при передаче с использованием более низкой амплитуды передачи.

[0020] В другом иллюстративном аспекте предложена система ЭМ телеметрии для передачи сигналов в стволе скважины между местом на поверхности и местом в скважине. Система ЭМ телеметрии содержит: генератор сигналов,

выполненный с возможностью отправки набора ЭМ свип-сигналов в место в скважине; приемник, выполненный с возможностью приема ЭМ свип-сигналов в месте на поверхности; и процессор, соединенный с приемником и генератором сигналов, причем процессор выполнен с возможностью определения того, принят ли на приемнике каждый из ЭМ свип-сигналов набора и записи параметров ЭМ свип-сигнала каждого из принятых ЭМ свип-сигналов, причем параметры включают по меньшей мере одно из интенсивности сигнала и отношения сигнал/шум, процессор дополнительно выполнен с возможностью определения протокола для передачи данных между местом в скважине и местом на поверхности, причем протокол содержит параметры протокола, включая одно или более из частоты сигнала, амплитуды сигнала и схемы кодирования данных; и систему нисходящей передачи, соединенную с процессором и генератором сигналов, причем система нисходящей передачи осуществляет передачу определенного протокола на генератор сигналов.

[0021] В другом иллюстративном аспекте предложена скважинная система ЭМ телеметрии, содержащая: контур управления, передатчик ЭМ сигналов, множество протоколов ЭМ телеметрии и один или более датчиков. Контур управления выполнен с возможностью определения состояния бурильных работ на основании сигналов от одного или более датчиков и применять один из множества протоколов ЭМ телеметрии для передачи данных передатчиком ЭМ сигналов на основании определенного состояния буровых работ.

[0022] В другом иллюстративном аспекте предложен способ скважинной электромагнитной (ЭМ) телеметрии при выполнении работ по бурению скважины. Способ включает настройку скважинной системы ЭМ телеметрии для передачи данных на наземную систему с помощью первого протокола, по которому передают данные с первой скоростью передачи данных, в ответ на определение того, что бурильные работы не осуществляются, то есть отсутствует циркуляция промывочной жидкости и вращение бурильной колонны. Способ включает передачу первых данных с помощью первого протокола. В некоторых вариантах осуществления первые данные представляют собой данные

исследования. После передачи первых данных способ включает настройку скважинной системы ЭМ телеметрии для передачи данных на наземную систему с помощью второго протокола, который передает данные со второй скоростью передачи данных, более низкой, чем первая скорость передачи данных, и передачу вторых данных с помощью второго протокола. В некоторых вариантах осуществления определение того, что бурильные работы не осуществляются, включает обработку сигналов одного или более датчиков в скважинной системе. Датчики могут включать датчики расхода жидкости и датчик вращения или направления в некоторых вариантах осуществления.

[0023] Дополнительные аспекты настоящего изобретения и признаки иллюстративных вариантов осуществления представлены на прилагаемых графических материалах и/или описаны в последующем описании.

Краткое описание графических материалов

[0024] На прилагаемых графических материалах представлены неограничительные иллюстративные варианты осуществления настоящего изобретения.

[0025] На фиг. 1 представлен схематический вид выполнения бурильных работ.

[0026] На фиг. 2 представлен пример свип-сигнала.

[0027] На фиг. 3 представлен пример свип-сигнала, обнаруженного на поверхности.

[0028] На фиг. 4 представлена блок-схема, представляющая иллюстративный способ регулирования параметров ЭМ телеметрии.

[0029] На фиг. 5 представлена блок-схема, представляющая другой иллюстративный способ регулирования параметров ЭМ телеметрии.

Описание

[0030] По всему тексту последующего описания изложена подробная информация, чтобы обеспечить специалистам в данной области техники более полное понимание. Однако хорошо известные элементы могут не быть показаны или не описаны подробно во избежание ненужного затруднения описания изобретения. Последующее описание примеров технологии не предназначено быть исчерпывающим или ограничивающим систему точными формами любого иллюстративного варианта осуществления.

Соответственно, описание и графические материалы следует рассматривать в иллюстративном, а не в ограничительном смысле.

[0031] На фиг. 1 схематически представлены иллюстративные бурильные работы. Буровая установка 10 приводит в движение бурильную колонну 12, которая содержит секции бурильной трубы, проходящие до бурового долота 14. Представленная буровая установка 10 содержит буровую вышку 10A, пол 10B буровой установки и буровую лебедку 10C для поддержки бурильной колонны. Буровое долото 14 имеет больший диаметр, чем бурильная колонна над буровым долотом. Кольцевое пространство 15, окружающее бурильную колонну, обычно заполнено промывочной жидкостью. Промывочная жидкость закачивается через отверстие в бурильной колонне до бурового долота и возвращается на поверхность через кольцевое пространство 15, вынося буровой шлам от бурильных работ. По мере бурения скважины в стволе скважины может быть создана обсадная колонна 16. На верхнем конце обсадной колонны установлен противовыбросовый превентор 17. Буровая установка, представленная на фиг. 1, представлена в качестве примера. Способы и устройство, описанные в настоящем документе, не являются характерными для любого конкретного типа буровой установки.

[0032] Стыковочный переводник 100 может быть расположен, например, в верхней части КНБК. Стыковочный переводник 100 разделяет бурильную колонну на две электропроводящие части, которые электрически изолированы друг от друга. Две части образуют конструкцию дипольной антенны. Например,

одна часть диполя может состоять из КНБК до электрически изолирующего переводника, а другая часть диполя может состоять из части бурильной колонны, проходящей от переводника до поверхности.

[0033] Электрический сигнал 19A переменного тока (AC) очень низкой частоты генерируется генератором 18 сигналов ЭМ телеметрии и подается на стыковочный переводник 100. Низкочастотный сигнал переменного тока возбуждает и создает в породе электрическое поле 19A, которое дает в результате измеряемую разность потенциалов между верхней частью бурильной колонны 12 и одним или более заземленными электродами (такими как заземленные стержни или заземленные пластины). Электрический сигнал 19A изменяют таким образом, чтобы закодировать информацию для передачи телеметрией.

[0034] Сигнал ЭМ телеметрии обнаруживают на поверхности. По кабелям 13A связи передается измеряемый дифференциал напряжения между верхней частью бурильной колонны и одним или более заземленными электродами 13B, расположенными вокруг буровой площадки, на приемник 13 сигналов. Заземленные электроды 13B могут быть расположены в любых подходящих местах. Приемник 13 сигналов декодирует переданную информацию. Дисплей 11 отображает некоторую или всю принятую информацию. Например, дисплей 11 может отображать принятую информацию, полученную в результате измерения во время бурения, оператору буровой установки.

[0035] Вероятность достоверного обнаружения сигналов ЭМ телеметрии, переданных от источника в скважине на поверхность, зависит от многих факторов. Некоторые из этих факторов зависят от характеристик подземных пластов, через которые проходит ствол скважины, из которого производят электромагнитную телеметрию. Удельная электропроводность подземной среды может существенно влиять на эффективность электромагнитной телеметрии (более высокая удельная электропроводность, особенно вблизи стыковочного переводника 100, склонна к ослаблению сигналов ЭМ телеметрии). Существенную роль могут играть как средняя удельная электропроводность

подземной среды, так и возможный характер изменения удельной электропроводности от места к месту.

[0036] Другим фактором, который может оказывать влияние на электромагнитную телеметрию, является глубина, на которой выполняют электромагнитную телеметрию. В целом, сигналы электромагнитной телеметрии ослабляются все сильнее с увеличением глубины, с которой передают сигналы электромагнитной телеметрии.

[0037] Еще одним фактором, который может оказывать влияние на успешность приема переданных сигналов ЭМ телеметрии на поверхности, является конкретное устройство детекторов сигнала, расположенных на поверхности (например, конкретное устройство заземленных стержней и других устройств, применяемых на поверхности, а также чувствительность схем, применяемых для обнаружения сигналов ЭМ телеметрии).

[0038] Еще одним фактором, который может оказывать влияние на эффективность передачи сигналов ЭМ телеметрии, является наличие и количество промывочной жидкости (например, при бурении с отрицательным дифференциальным давлением может использоваться меньшее количество промывочной жидкости и/или менее плотная промывочная жидкость; при пневматическом бурении с отрицательным дифференциальным давлением ствол скважины может быть наполнен воздухом), тип применяемой промывочной жидкости (промывочная жидкость на нефтяной или водной основе) и особые характеристики любой применяемой промывочной жидкости.

[0039] Другие факторы включают: является ли ствол скважины обсаженным, и если да, то насколько глубоко проходят обсадные трубы; и наклон части буровой скважины, в которой расположен генератор сигналов ЭМ телеметрии. Гораздо более трудно достичь эффективной передачи сигналов ЭМ телеметрии из обсаженного горизонтального ствола скважины, чем из необсаженного вертикального ствола скважины.

[0040] Еще одним фактором, который может влиять на успешность передачи сигналов ЭМ телеметрии, являются буровые работы, которые выполняют во время передачи. Например, бурение часто характеризуется рядом этапов. На одном этапе (который обычно включает время, в течение которого новую секцию бурильной колонны добавляют или убирают из бурильной колонны), работы в буровой скважине не осуществляются. Промывочную жидкость не прокачивают вследствие остановки насосов бурильной колонны. На других этапах бурильных работ промывочную жидкость прокачивают через бурильную колонну. Активное бурение может включать различные режимы работы. В некоторых режимах работы вся бурильная колонна вращается по мере выполнения бурения. В другом режиме работы, «скольжения», буровое долото вращается под действием забойного гидротурбинного двигателя, а бурильная колонна не вращается, за исключением тех случаев, когда необходимо или желательно указывать направление прохождения бурового долота. То, какой из этих режимов имеет место, может оказывать влияние на ЭМ телеметрию в результате создания электрических шумов и т. п.

[0041] Сочетание всех вышеуказанных факторов создает сложную среду для ЭМ телеметрии, особенно когда необходимо оптимизировать ЭМ телеметрию для экономии электроэнергии и максимального увеличения скорости передачи данных, если это необходимо.

[0042] В ситуациях, когда осуществление ЭМ телеметрия сопряжено со сложностями, например, вследствие факторов, таких как один или более из вышеуказанных (и, чаще всего, – сочетания нескольких вышеуказанных), можно отрегулировать тип сигналов ЭМ телеметрии для улучшения надежности канала ЭМ телеметрии. Характеристики самих сигналов ЭМ телеметрии могут оказывать влияние на их успешную передачу на поверхность. Одной характеристикой, которая имеет особенную важность, является частота, с которой сигналы ЭМ телеметрии изменяются по полярности и/или амплитуде.

[0043] В целом сигналы ЭМ телеметрии с более низкой частотой могут быть успешно переданы из более глубоких положений, чем сигналы ЭМ телеметрии с более высокой частотой. По этой причине сигналы ЭМ телеметрии, как правило, имеют очень низкие частоты. Например, сигналы ЭМ телеметрии обычно имеют частоты в диапазоне ниже 24 Гц. Например, сигналы ЭМ телеметрии согласно некоторым вариантам осуществления настоящего изобретения имеют частоты в диапазоне от приблизительно 1/10 Гц до приблизительно 20 Гц. Точные границы этих диапазонов не являются критически важными.

[0044] Одним преимуществом применения более высоких частот для ЭМ телеметрии является то, что скорость, с которой данные могут быть закодированы в сигналах ЭМ телеметрии более высокой частоты, является более высокой, чем скорость, с которой данные могут быть закодированы в сигналах ЭМ телеметрии более низкой частоты. Следовательно, имеется компромисс между увеличением вероятности того, что ЭМ сигналы могут быть успешно переданы с данной глубины с помощью очень низких частот, и сохранением повышенной скорости передачи данных с помощью более высоких частот. Кроме того, если частота является слишком высокой, то ЭМ сигналы будут настолько сильно ослаблены, что на поверхности их не сможет принять практически никакой детектор.

[0045] Выбор несущей частоты для сигналов ЭМ телеметрии может иметь последствия, не относящиеся к количеству времени, требующегося для передачи определенного объема данных на поверхность. Например, передача на более высоких частотах может существенно влиять на количество электроэнергии, требующейся для передачи определенного объема данных. Одной причиной этого является то, что если данные могут быть переданы быстро, то, после того, как данные были переданы (или в другие периоды времени, в течение которых нет необходимости передавать данные), определенные схемы могут быть отключены для экономии электроэнергии. Кроме того, поскольку электрический импеданс, наблюдаемый передатчиком ЭМ телеметрии, отчасти зависит от частоты, количество электроэнергии, требующейся для поддержки сигнала ЭМ телеметрии, также до некоторой степени зависит от частоты. С другой стороны,

более высокие частоты затухают сильнее, чем низкие частоты, и поэтому сигналы более высокой частоты может быть необходимо передавать с большими амплитудами (что приводит к необходимости большего количества электроэнергии).

[0046] Другим фактором, который оказывает влияние на успешность передачи сигналов ЭМ телеметрии является амплитуда сигналов ЭМ телеметрии. Сигналы увеличенной амплитуды легче обнаружить на поверхности. Однако амплитуда сигналов ЭМ телеметрии может быть ограничена возможностями скважинного ЭМ телеметрического передатчика. Например, если передающие схемы ЭМ телеметрии могут обеспечивать передачу только вплоть до максимального электрического тока, то амплитуда сигнала ЭМ телеметрии также будет ограничена.

[0047] Другие ограничения накладываются максимальным напряжением, которое может быть передано передатчиком ЭМ телеметрии на элементы скважинной антенны. Напряжение сигнала ЭМ телеметрии может быть ограничено характером генератора сигналов ЭМ телеметрии, а также его источником питания. В некоторых случаях напряжение может быть ограничено конструкцией так, чтобы быть ниже порогового напряжения по причинам безопасности. Например, в некоторых вариантах осуществления, напряжение может быть ограничено напряжением 50 В или менее, чтобы сократить вероятность поражения электротоком персонала, обслуживающего генератор сигналов ЭМ телеметрии на поверхности, и/или сократить вероятность того, что генератор ЭМ сигналов может стать источником воспламенения.

[0048] Напряжение, которое может быть приложено на элементы антенны ЭМ телеметрии, также может зависеть от свойств переводника. Как правило, в случае использования более длинного переводника более высокое напряжение может быть передано без превышения возможностей электротока генератора сигналов ЭМ телеметрии. В дополнение к вышеуказанному, увеличение амплитуды сигналов ЭМ телеметрии обычно приводит к повышенному потреблению

электроэнергии. Следовательно, желательно не передавать сигналы ЭМ телеметрии, которые имеют амплитуды, существенно превышающие необходимые.

[0049] Схема кодирования, применяемая для передачи сигналов ЭМ телеметрии, также может влиять на вероятность благоприятного исхода приема сигналов ЭМ телеметрии. Например, если схема кодирования осуществляет кодирование информации путем, по меньшей мере частично, передачи сигналов ЭМ телеметрии различных амплитуд, то может быть необходимо, чтобы все различные амплитуды, которые являются частью схемы кодирования, можно было обнаружить на поверхности для успешного приема переданных сигналов ЭМ телеметрии. Если на поверхности принимаются только некоторые амплитуды, может быть невозможно восстановить переданную информацию на поверхности.

[0050] В качестве другого примера, в различных схемах кодирования может использоваться разное количество циклов для кодирования символов для передачи. Например, в средах с низким уровнем шума можно успешно передавать символы ЭМ телеметрии с помощью схемы кодирования, при которой передается один символ за два цикла сигнала ЭМ телеметрии. В средах с более высоким уровнем шума может быть желательно или необходимо применять схему кодирования, при которой передается один символ за три или более циклов сигнала ЭМ телеметрии.

[0051] Согласно одному аспекту настоящего изобретения предложены способы и системы для оптимизации ЭМ телеметрии путем автоматического выбора или оказания помощи пользователю при выборе подходящих параметров ЭМ телеметрии, которые могут включать одно или более из: несущей частоты сигнала ЭМ телеметрии, амплитуды сигнала ЭМ телеметрии и схемы кодирования данных сигнала ЭМ телеметрии.

[0052] Устройство и способы согласно некоторым иллюстративным вариантам осуществления настоящего изобретения предназначены для осуществления

и/или, во время применения, используются для осуществления одного или более из следующего (в любом сочетании):

- выполнения измерений для оценки эффективности передачи ЭМ телеметрии на различных частотах и использования полученной информации для оптимизации передачи сигналов ЭМ телеметрии для одной или более из скорости передачи данных и экономии электроэнергии;
- обнаружения текущего режима бурения и автоматического переключения между одним или более наборами параметров ЭМ телеметрии на основании по меньшей мере обнаруженного режима бурения;
- выбора и/или рекомендации выбора набора параметров ЭМ телеметрии по меньшей мере частично на основании остающегося количества электроэнергии;
- передачи определенных данных с помощью двух или более различных несущих частот ЭМ телеметрии (или одновременно, или в разное время).

[0053] В некоторых вариантах осуществления скважинный генератор сигналов ЭМ телеметрии периодически осуществляет свипирование частоты (например, от одного раза в каждые несколько минут до одного раза в каждые несколько часов). Свипирование частоты может быть запущено в заданный момент времени, после наступления события (например, остановки насосов) или их сочетания. В данном случае выражение «периодически» означает, что между свипированиями частоты не обязательно должен быть постоянный промежуток времени. Временной промежуток может отчасти разниться. Свипирование частоты может осуществляться достаточно часто для обнаружения существенных изменений в условиях ЭМ телеметрии, по мере того как скважинный передатчик ЭМ телеметрии перемещается по продвигающемуся стволу скважины.

[0054] Свипирование частоты представляет собой передачу сигналов электромагнитной телеметрии на различных частотах в различные моменты времени. Хотя это и не всегда выгодно делать, в некоторых случаях сигнал

передают на двух или более частотах одновременно. Передача сигнала только на малом количестве частот в одно и то же время (например, от 2 до 3 частот) имеет преимущества, состоящие в возможности распределения более высокой мощности на каждую частоту (при этом оставаясь в пределах допустимых значений тока/напряжения генератора ЭМ сигналов), а также в упрощении обнаружения сигналов на различных частотах на поверхности. Дифференциальное затухание и фазовые сдвиги между различными частотами, передаваемыми по пути прохождения сигналов ЭМ телеметрии, могут затруднять разделение принятого сигнала на различные частотные компоненты.

[0055] Свипирование может охватывать весь диапазон частот, которые может генерировать система ЭМ телеметрии, или, как ниже описано дополнительно, может передавать сигналы только на поднаборе таких частот в некоторых вариантах осуществления. На фиг. 2 представлен пример свипирования 30. На фиг. 3 представлен пример свип-сигнала, обнаруженного на поверхности.

[0056] Свипирование 30 частоты показывает, что сигналы ЭМ телеметрии, имеющие первую, самую низкую частоту, передаются в первый период времени 31A, сигналы ЭМ телеметрии других частот передаются в последующие периоды времени 31B, 31C, 31D и 31E.

[0057] На фиг. 3 можно видеть, что амплитуда принятых сигналов быстро падает вместе с частотой до точки, в которой сигнал самой высокой частоты не принимается успешно. Одним преимуществом передачи сигнала на одной из частот в один момент времени при частотном свипировании является то, что принятый сигнал может быть отображен пользователю таким образом, благодаря которому четко видно величину затухания на различных частотах и то, принят или нет приемлемый сигнал на каждой частоте. На фиг. 3 представлен пример одного возможного дисплея. Это, в свою очередь, позволяет выбирать частоту для передачи ЭМ сигнала с большей степенью уверенности.

[0058] Иллюстративная система ЭМ телеметрии имеет частотный диапазон от 1/10 Гц до 16 Гц с рядом шагов. Например, система может быть выполнена с

возможностью передачи сигналов ЭМ телеметрии на частоте 1/10 Гц, 1/2 Гц, 1 Гц, 2 Гц, 4 Гц, 8 Гц, 12 Гц и 16 Гц. Свипирование может включать последовательную передачу сигналов на этих различных частотах. Каждая передача может длиться в течение заданного времени, заданного количества циклов, и т. п. В некоторых вариантах осуществления передача на каждой частоте осуществляется в течение одинакового периода времени.

[0059] Передача сигналов на различных частотах не обязательно должна происходить в каком-либо конкретном порядке. Они могут быть переданы в следующем порядке: от верхних частот к нижним частотам; от нижних частот к верхним частотам; или иных порядках, которые не обязательно упорядочены по частоте. Передача сигнала в порядке от нижних частот к верхним частотам имеет преимущество в том, что нижние частоты, как правило, проще принимать на поверхности, чем верхние частоты. Следовательно, запуск свипирования на нижних частотах обеспечивает гарантию того, что оборудование на поверхности обнаруживает сигнал ЭМ телеметрии в начале свипирования. Оборудование на поверхности затем может определять качество передачи на последовательно более высоких частотах.

[0060] Скважинное оборудование электромагнитной телеметрии может быть выполнено с возможностью выполнения свипирования в определенные моменты времени и/или во время определенных этапов бурильных работ. Например, система ЭМ телеметрии может автоматически выполнять свипирование при обнаружении остановки насосов (также называемого состоянием «отсутствия циркуляции») (остановка насосов может быть обнаружена, например, с помощью датчика расхода или иного датчика, связанного со скважинной системой электромагнитной телеметрии). Свипирование может быть выполнено, например, через несколько секунд (например, от 10 до 50 секунд, в иллюстративном варианте осуществления - 30 секунд) после остановки насосов. Свипирование может осуществляться автоматически каждый раз, когда скважинная система ЭМ телеметрии обнаруживает, что работы в скважине не осуществляются (отсутствует вращение и циркуляция).

[0061] Оборудование на поверхности может обнаруживать некоторые или все частоты сигнала, переданного при свипировании. Для каждой из обнаруженных частот оборудование на поверхности может измерять различные факторы, такие как интенсивность сигнала, отношение сигнал/шум и т. п.

[0062] По меньшей мере частично на основании анализа принятых свип-сигналов, система может настраивать скважинную систему ЭМ телеметрии на передачу данных с помощью установленного протокола ЭМ телеметрии (установленного набора параметров ЭМ телеметрии) и/или выборочно изменять один или более параметров ЭМ телеметрии. Протокол может, например, устанавливать: одну или более несущих частот ЭМ телеметрии и/или одну или более определенных амплитуд сигнала ЭМ телеметрии, и/или одну или более схем кодирования данных ЭМ телеметрии.

[0063] Местоположение (-я), в котором осуществляют определение того, какой протокол будет использован скважинным генератором сигналов ЭМ телеметрии для передачи данных, может отличаться в различных вариантах осуществления. В некоторых вариантах осуществления определение осуществляется компьютерной системой, расположенной на поверхности, или путем применения алгоритмов, таких как описанные ниже алгоритмы, или путем применения алгоритмов в сочетании с пользовательским вводом. Затем решение может быть передано в некотором виде по нисходящему каналу телеметрии на скважинную систему ЭМ телеметрии. В некоторых вариантах осуществления скважинная система ЭМ телеметрии хранит набор предопределенных протоколов, и по нисходящему каналу телеметрии передается указатель, идентифицирующий для применения один из предопределенных протоколов. В других вариантах осуществления по нисходящему каналу телеметрии передаются параметры ЭМ телеметрии для протокола, который нужно использовать.

[0064] Передача по нисходящему каналу может быть осуществлена посредством ЭМ телеметрии, но также или вместо этого может быть выполнена с помощью телеметрии другого типа. Примерами альтернативных типов телеметрии,

которые могут быть использованы для передачи по нисходящему каналу телеметрии, включают: гидроимпульсную телеметрию, акустическую телеметрию в бурильной колонне или телеметрию, осуществляемую путем эксплуатации бурильного оборудования (например, путем вращения бурильной колонны и/или запуска или прекращения циркуляции промывочной жидкости, или регулирования потока промывочной жидкости по схеме, обнаруживаемой датчиками на скважинном генераторе сигналов ЭМ телеметрии).

[0065] В других вариантах осуществления наземная система может передавать результаты свипирования на скважинную систему ЭМ телеметрии. Процессор на скважинной системе ЭМ телеметрии может применять алгоритм для определения протокола, который нужно использовать для ЭМ телеметрии, на основании результатов свипирования.

[0066] Протокол может быть выбран на основании:

- набора из одной или более частот и амплитуд, которые могут быть приняты на поверхности при текущих рабочих условиях; и или
- необходимой скорости передачи данных для определенных данных (например, может быть необходимо передать информацию о «передней поверхности инструмента» – информацию, устанавливающую текущую ориентацию бурового долота – на высокой скорости передачи данных, так чтобы информация могла быть получена на поверхности с малой задержкой); и/или
- ограничений, наложенных желанием сэкономить электроэнергию и/или доступными запасами электроэнергии.

[0067] Например, в конкретном случае может быть необходимо быстро передать на поверхность информацию о передней поверхности инструмента. На основании свипирования система может определить, что для частот передачи 12 Гц или 16 Гц на поверхности не было получено надежно обнаруживаемого сигнала. Сигнал на частоте 8 Гц может быть обнаружен в пределах ограничений оборудования на

поверхности (которые обычно могут обнаружить на поверхности сигналы в несколько сотен микровольт). Однако может быть необходимо использовать высокое напряжение для передачи (соответствующее относительно высокой мощности передачи), чтобы обеспечить возможность обнаружения на поверхности сигнала частотой 8 Гц. Сигнал на частоте 2 Гц может быть обнаружен на поверхности с более умеренной амплитудой передачи ЭМ сигнала. Система может уравновешивать необходимость быстрой передачи на поверхность данных о передней поверхности инструмента с затратами в плане использования мощности при передаче данных на несущей частоте 8 Гц.

[0068] В другом иллюстративном варианте осуществления в некоторых доступных протоколах ЭМ телеметрии используется передача сигналов на двух или более частотах. Результаты свипирования могут быть применены в таких вариантах осуществления для определения доступности использования таких протоколов (например, если две подходящие частоты недоступны, то такие протоколы не могут быть использованы), и если они доступны, то какую из двух или более частот нужно использовать для выбранного протокола. Например, в случае, когда свипирование показывает, что на поверхности четко принимаются сигналы и на частоте 16 Гц, и на частоте 12 Гц, то в двухчастотном протоколе могут использоваться частоты 12 Гц и 16 Гц. В другом случае, когда единственно доступной частотой, которую можно надежно принять на поверхности, является частота $^1/_2$ Гц, может быть применен протокол с единственной частотой, использующий сигналы на частоте $^1/_2$ Гц.

[0069] В некоторых вариантах осуществления система определяет затраты на бит различных доступных частотно-амплитудных сочетаний, где затраты выражены в единицах потребления энергии. Различные типы данных могут иметь различную значимость. Например, информация о передней поверхности инструмента может быть передана с более высокой скоростью передачи данных вплоть до пороговой величины затрат на бит, тогда как другая информация, быстрое получение которой менее важно, может иметь меньшую значимость и может быть передана с помощью протокола, который имеет меньшие затраты на бит.

[0070] В некоторых вариантах осуществления один или более параметров ЭМ телеметрии регулируют с определенным шагом на основании результатов свипирования. Например, если на поверхности принят очень сильный свип-сигнал, то:

- несущая частота сигнала ЭМ телеметрии может быть увеличена; и/или
- может быть осуществлено переключение на протокол передачи данных, который обеспечивает более высокую скорость передачи данных на такой же или другой частоте; и/или
- может быть уменьшена амплитуда (напряжение) сигнала ЭМ телеметрии.

[0071] Обратная регулировка (регулировки) может быть произведена, когда принятый свип-сигнал является слабым. Каждый раз, когда осуществляется свипирование, система может определять необходимость увеличения или уменьшения одного или более параметров с определенным шагом.

[0072] В некоторых вариантах осуществления система выполнена с возможностью сначала регулировать частоту для получения сигнала ЭМ телеметрии, который можно эффективно принять. Система может начинать с текущей частоты и постепенно понижать частоту до осуществления приема. Если это не срабатывает, то система может повышать амплитуду сигналов ЭМ телеметрии вплоть до предела, чтобы попытаться найти сочетание частоты и интенсивности сигнала, которые обеспечат успешную передачу сигнала.

[0073] На фиг. 4 представлена блок-схема, описывающая способ 40 согласно одному иллюстративному варианту осуществления. В блоке 42 происходит запуск системы. Передатчик ЭМ сигналов сначала установлен на частоту по умолчанию, например, 12 Гц или некоторую другую частоту, которая представляет собой необходимую рабочую частоту. В блоке 43 проверяют, хорошо ли принят сигнал. Если нет, то в блоке 44 определяют, можно ли уменьшить частоту. Если да, то в блоке 45A частоту уменьшают до меньшей

частоты, например, 4 Гц, и система возвращается к блоку 43 для проверки того, хорошее ли качество сигнала.

[0074] Если в блоке 44 определяют, что дальнейшее уменьшение частоты невозможно, то способ переходит к блоку 44A, в котором проверяют, можно ли увеличить напряжение (ток) сигнала ЭМ телеметрии. В некоторых вариантах осуществления в блоке 44A определение основано на доступной мощности батарей. В других вариантах осуществления доступен ряд настроек напряжения, и в блоке 44A определяют, установлена ли уже система на наивысшее напряжение (ток), или нет. Если нет, в блоке 45B увеличивают напряжение до следующего уровня, и способ возвращается к блоку 43. Если увеличение напряжения невозможно, то в блоке 45C указывают изменение типа телеметрии (например, система может переключиться на гидроимпульсную телеметрию).

[0075] Можно видеть, что если качество сигнала является неприемлемым, то способ 40 будет систематически переключаться на более низкие частоты, пока не будет выбрана самая нижняя доступная частота, и затем будет пытаться увеличить амплитуду сигнала, пока не будет выбрана самая высокая амплитуда сигнала. Если качество сигнала по-прежнему является неприемлемым, то способ 40 переключается на альтернативный тип телеметрии (или предпринимает альтернативное действие, такое как выход).

[0076] Если в блоке 43 определяют, что качество сигнала является приемлемым, то способ 40 переходит к блоку 46. В блоке 46 определяют, является ли приемлемой скорость передачи данных. В блоке 46 определение может быть частично основано на характере данных, доступных для передачи (например, имеют данные высокий приоритет или низкий приоритет для передачи), а также предопределенной минимальной скорости передачи данных. Если в блоке 46 определяют, что скорость передачи данных является приемлемой, то способ 40 переходит к блоку 49, в котором сохраняют текущие параметры ЭМ телеметрии. В ином случае способ 40 переходит к блоку 47, в котором проверяют, можно ли увеличить частоту. В некоторых вариантах осуществления после блока 46 способ

может переходить к блоку 47 только в том случае, если предопределенная минимальная скорость передачи данных изменилась с последнего по времени выполнения блока 46. В таких вариантах осуществления, если минимальная скорость передачи данных не изменилась, после блока 46 может выполняться блок 49.

[0077] В некоторых вариантах осуществления для определения доступных скоростей передачи данных осуществляют измерения отношения сигнала к шуму (ОСШ) и/или интенсивности принятого сигнала. Например, если ОСШ является низким, то скорость передачи данных может быть ограничена ниже скорости передачи данных, которая может быть получена для более высокого ОСШ. Если мощность принятого сигнала является низкой, то скорость передачи данных также может быть ограничена (например, если мощность принятого сигнала является низкой, может потребоваться протокол передачи, в котором используется большее число циклов на бит). На фиг. 4 представлены блоки 46A и 46B, в которых оценивают ОСШ и мощность принятого сигнала. Решение на блоке 46 и/или доступные частоты в блоке 47 могут быть определены на основании результатов, полученных в блоках 46A и/или 46B. Блок 46 и/или 47 может включать поиск подходящих скоростей передачи данных и/или частот передачи, соответствующих ОСШ и/или интенсивности сигналов, обнаруженных на этапах 46A и 46B. В некоторых вариантах осуществления при таких операциях поиска также применяют текущие параметры передачи, например, частоту и мощности передачи, для поиска соответствующих значений скорости передачи данных и/или частот.

[0078] Если в блоке 47 определяют, что частоту можно увеличить, способ 40 переходит к блоку 48, на котором увеличивают частоту, которую необходимо применять для ЭМ телеметрии. В некоторых вариантах осуществления блок 48 может быть выполнен достаточное число раз для увеличения частоты до 16 Гц или даже выше.

[0079] На фиг. 5 представлен способ 50 согласно еще другому альтернативному варианту осуществления настоящего изобретения, который включает дополнительные этапы для регулирования протокола передачи сигналов. На фиг. 5 в блоке 52 определяют, является ли принятый сигнал достаточно сильным. Блок 52 может, например, включать определение энергии бита (которая может быть представлена в виде произведения продолжительности бита на мощность принятого сигнала). Если принятый сигнал недостаточно сильный (например, имеет энергию бита ниже порогового значения), в блоке 53 уменьшают частоту передаваемого сигнала и/или увеличивают амплитуду передаваемого сигнала. Блок 53 может быть выполнен, например, как описано в блоках 44–45C способа 40. В некоторых вариантах осуществления в блоке 53 сначала происходит попытка получения приемлемого принятого сигнала путем уменьшения частоты, а затем – увеличения амплитуды сигнала.

[0080] Если в блоке 52 определяют, что качество сигнала является приемлемым, в блоке 54 определяют, не является ли интенсивность принятого сигнала излишне высокой. Если да, то выполняют блок 55. В блоке 55 увеличивают частоту передаваемых сигналов и/или уменьшают амплитуду передаваемых сигналов. Блок 55 может быть выполнен аналогично блоку 53. Блок 55 может быть выполнен путем осуществления вначале попытки по уменьшению амплитуды передаваемого сигнала, а затем попытки по увеличению частоты передаваемого сигнала, или наоборот. В некоторых вариантах осуществления блок 55 может быть выполнен путем осуществления попытки по увеличению частоты до достижения максимальной частоты.

[0081] Если в блоке 54 определяют, что интенсивность сигнала не является чрезмерной, то в блоке 56 проверяют, является ли приемлемой скорость передачи данных. Если нет, то в блоке 57 проверяют, можно ли сократить количество циклов на символ. В некоторых вариантах осуществления в блоке 57 проверяют, можно ли сократить количество циклов на символ, не снижая энергию бита ниже порогового значения. Если да, то протокол передачи меняют, чтобы сократить количество циклов на символ в блоке 58B. В ином случае в блоке 58A

увеличивают частоту (если возможно). Если в блоке 56 определяют, что скорость передачи данных является приемлемой, то в блоке 59 текущие параметры ЭМ телеметрии сохраняют.

[0082] В некоторых вариантах осуществления эффективность, используемые частоты и т. д. для ЭМ телеметрии могут быть легко спрогнозированы исходя из опыта бурения предыдущих стволов скважин в аналогичных условиях. В таких вариантах осуществления может быть приемлемо не выполнять свипирования для определенных видов бурильных работ (в которых характеристики ЭМ телеметрии могут быть легко спрогнозированы по предыдущему опыту). В таких вариантах осуществления, например, свипирование можно выполнять один раз на каждые N остановок насосов (где N является целым числом).

[0083] В иллюстративном варианте осуществления, в разрабатываемой скважине, которая, как ожидается, будет иметь характеристики, подобные ранее выбуренной разведочной скважине или другой ранее выбуренной разрабатываемой скважине, причем скважинная система ЭМ телеметрии может быть выполнена с возможностью автоматического выбора протокола ЭМ телеметрии на основе глубины согласно предопределенному плану (глубина может быть определена, например, путем считывания с датчика давления). Система ЭМ телеметрии может периодически, но намного реже, чем могло бы быть в ином случае, передавать свип-сигнал на поверхность. Обнаружение свип-сигнала на поверхности может быть сравнено с ожидаемыми показаниями, а результат использован для регулирования плана изменений протоколов ЭМ телеметрии с глубиной.

[0084] В некоторых вариантах осуществления частота передачи сигналов ЭМ телеметрии и/или другие элементы протокола ЭМ телеметрии определяют по меньшей мере частично на основании текущего режима бурения. Например, могут быть использованы различные протоколы ЭМ телеметрии в зависимости от того, остановлены ли насосы и, если нет, выполняют ли бурение в скользящем режиме или в режиме вращения, в котором вращается вся бурильная колонна.

[0085] Например, при определенных условиях ЭМ телеметрия может быть выполнена на частоте: 16 Гц когда работы в скважине не осуществляются (без циркуляции и с остановленными насосами); 8 Гц при бурении в скользящем режиме; и 2 Гц при бурении в режиме вращения, когда бурильная колонна вращается. Конкретные частоты, используемые в различных режимах бурения, могут отличаться в различных обстоятельствах. Эти конкретные частоты могут, например, быть установлены частично на основании результатов свипирования.

[0086] В иллюстративном варианте осуществления максимальную частоту для использования определяют по информации, переданной во время свипирования. Максимальная частота может быть использована в те моменты времени, когда работы в стволе скважины не осуществляются (без циркуляции и вращения бурильной колонны). Более низкие частоты могут быть выбраны для применения автоматически при эксплуатации бурильной колонны. Различные частоты могут быть использованы в зависимости от того, эксплуатируется ли бурильная колонна в скользящем режиме (с циркуляцией и без существенного вращения бурильной колонны) или в режиме бурения с вращением (с циркуляцией и вращением бурильной колонны). Эти различные частоты могут быть выбраны автоматически. Например, могут быть получены показания датчиков, которые указывают, циркулирует ли промывочная жидкость и вращается ли бурильная колонна. Частоты передачи могут быть выбраны на основании показаний датчиков. Первая частота, F1, может быть выбрана в случае отсутствия циркуляции и вращения. Вторая частота F2 может быть выбрана в случае наличия циркуляции, но отсутствия вращения. Третья частота F3 может быть выбрана в случае наличия циркуляции и вращения. Частота, выбранная для применения при обнаружении скользящего режима, может быть выше, чем частота, выбранная для применения при обнаружении режима бурения с вращением. В некоторых случаях F1>F2>F3.

[0087] В некоторых вариантах осуществления в одних режимах бурения применяют большее число частот, чем в других. Например, когда работы в стволе скважины не осуществляются, для передачи данных могут быть использованы

две или более частот, а во время режима бурения с вращением для передачи данных может быть использована только одна частота.

[0088] Для кодирования данных в сигнале ЭМ телеметрии согласно вариантам осуществления настоящего изобретения может применяться любая подходящая схема. Одной такой схемой является КФМ (квадратурная фазовая манипуляция). Другой схемой является ДФМ (двукратная фазовая манипуляция). В схеме кодирования ФМ (фазовой манипуляции) может использоваться ряд циклов (на текущей частоте) для передачи каждого символа. Количество циклов, используемых для передачи каждого символа, можно изменять. Например, в средах с низким уровнем шума можно успешно передавать символы ЭМ телеметрии с помощью двух циклов на символ. В средах с более высоким уровнем шума для передачи каждого символа может быть желательно или необходимо использовать три цикла (или более). В некоторых вариантах осуществления количество циклов, которые необходимо использовать для кодирования символа, выбирают на основании измеренного отношения сигнал/шум (ОСШ) в последнем свипировании. Другие схемы кодирования включают ЧМн (частотная манипуляция), КАМн (квадратурная амплитудная модуляция), АМн-8 (8-кратная амплитудная манипуляция), АФМн (амплитудно-фазовая манипуляция) и т. п. Могут быть применены любые схемы, в которых для передачи данных используются любые подходящие сочетания изменений в фазе, амплитуде, распределении импульсов и/или частоты во времени.

[0089] В некоторых вариантах осуществления различные схемы кодирования выбирают автоматически на основании режима бурения. Например, меньшее количество циклов на символ может быть использовано для телеметрии во время остановленных насосов, по сравнению с телеметрией во время режима бурения с вращением. Поскольку текущий режим бурения легко определить как на скважинной системе ЭМ телеметрии, так и на поверхности, нет необходимости обеспечивать точную связь между скважинной системой телеметрии и

поверхностью для указания того, что из-за изменения режима бурения для передачи сигналов ЭМ телеметрии используют другой протокол ЭМ телеметрии.

[0090] В некоторых вариантах осуществления протокол, используемый для ЭМ телеметрии, установлен в конфигурационном файле на скважинной системе ЭМ телеметрии. Скважинные датчики могут передавать показания на систему ЭМ телеметрии. Например, скважинная система телеметрии может иметь доступ к показаниям от датчика вращения (любого датчика, который обнаруживает вращение бурильной колонны) и датчика расхода, который обнаруживает циркуляцию промывочной жидкости. На основании выходных сигналов этих датчиков система ЭМ телеметрии может определять, что бурильная колонна не эксплуатируется (вращение не обнаружено, циркуляция не обнаружена) или же бурильная колонна работает в скользящем режиме (вращение не обнаружено, но циркуляция обнаружена), или же бурильная колонна работает в режиме вращения (обнаружены и вращение, и циркуляция). Скважинная система может автоматически переключаться между различными конфигурационными файлами в зависимости от показателей датчиков.

[0091] Информация, описывающая метод кодирования сигнала, может уже быть известна на поверхностном оборудовании или может быть передана на поверхностное оборудование со скважинной системы ЭМ телеметрии. Например, протокол передачи данных может включать заголовок с включенным в заголовок идентификатором (ID), указывающим, какой протокол ЭМ телеметрии (или какой набор протоколов ЭМ телеметрии) применяется для кодирования данных (и, следовательно, как данные следует декодировать поверхностному оборудованию). Заголовок может быть передан в легком для декодирования формате, например, ДФМ.

[0092] В некоторых вариантах осуществления скважинная система ЭМ телеметрии автоматически ожидает нисходящий сигнал после осуществления свипирования. Нисходящий сигнал может, например, устанавливать протокол ЭМ телеметрии, который нужно использовать. Если нисходящий сигнал не

обнаружен, скважинный сигнал ЭМ телеметрии может автоматически возвращаться к протоколу «худшего случая» по умолчанию.

Протокол по умолчанию может, например, устанавливать очень низкую частоту, например, менее $^1/_2$ Гц или менее 0,1 Гц, или даже настолько низкую как несколько сотых Герц (с целью максимального увеличения вероятности получения передаваемых сигналов на поверхности).

[0093] В некоторых вариантах осуществления одни и те же данные передают посредством ЭМ телеметрии (или с поверхности, или со скважинной системы ЭМ телеметрии, или с обоих) как на нижних несущих частотах, так и верхних несущих частот. Эти сигналы могут быть переданы последовательно или одновременно. Если сигнал верхней частоты успешно принят в пункте его назначения, то по нему могут предприниматься действия, не дожидаясь приема сигнала нижней частоты. Одной из применяемых частот может быть сверхнизкая частота, которая с наибольшей вероятностью будет обнаружена в условиях худшего случая. Другой сигнал может быть передан на более высокой частоте.

[0094] Например, когда скважинная система ЭМ телеметрии принимает нисходящие данные, отправленные с помощью высокочастотного сигнала ЭМ телеметрии, то скважинная система ЭМ телеметрии может настраиваться согласно командам в данных нисходящего сигнала без ожидания завершения передачи тех же команд на низкочастотном сигнале.

[0095] Аналогично, когда бурильщик ожидает данные (например, данные о передней поверхности инструмента) для продолжения работ, то в случае успешного приема данных, отправленных с помощью высокочастотного сигнала ЭМ телеметрии от скважинной системы ЭМ телеметрии, бурильщику не нужно ожидать приема тех же данных, переданных с помощью низкочастотного сигнала ЭМ телеметрии. Как только бурильщик получает требующиеся данные, бурильщик может возобновлять бурение. В некоторых вариантах осуществления, в которых низкочастотная передача продолжается во время, когда бурильщик

начинает бурение, низкочастотная передача может быть прервана в ответ на обнаружение вращения бурильной колонны.

[0096] В некоторых вариантах осуществления протокол ЭМ телеметрии может устанавливать, что данные, которые подлежат передаче посредством скважинной системы ЭМ телеметрии, следует разделить и передавать на различных частотах ЭМ телеметрии (или одновременно, или в заданной последовательности). Сигналы, обнаруженные на поверхности, могут быть отфильтрованы для разделения различных частот. Для каждой частоты может быть предусмотрен различный фильтр.

[0097] В некоторых вариантах осуществления, в которых по результатам свипирования или иным образом система определяет, что для использования доступно несколько частот ЭМ телеметрии, система может быть выполнена с возможностью одновременной отправки данных посредством ЭМ телеметрии на двух или более различных несущих частотах. В случаях, когда приоритетом является связь с низкой задержкой, данные с более высоким приоритетом могут быть отправлены на самой высокой частоте, а данные с более низким приоритетом могут быть отправлены на более низких частотах. На поверхности данные, принятые на различных частотах, могут быть разделены с помощью подходящих фильтров и затем отдельно и одновременно показаны, сохранены и/или иным образом обработаны. В случаях, когда приоритетом является надежная связь, данные с более высоким приоритетом могут быть отправлены на одной или более нижних частотах, а данные с более низким приоритетом могут быть отправлены на более высоких частотах.

[0098] В некоторых вариантах осуществления во время остановки насосов, когда в скважине работы не осуществляются, скорость передачи данных может быть увеличена с целью скорейшей передачи определенных данных (например, данных каротажа или исследований). Такие данные могут быть переданы с помощью протокола ЭМ телеметрии, который обеспечивает более высокую скорость передачи данных (возможно, за счет повышенного энергопотребления),

чтобы сократить время, требующееся для передачи данных на поверхность. После того, как данные исследования или желаемая часть данных исследования были переданы, система может переключаться на альтернативный протокол ЭМ телеметрии, который обеспечивает сокращенное энергопотребление.

[0099] В некоторых вариантах осуществления применяются другие режимы телеметрии в дополнение к ЭМ телеметрии. Например, гидроимпульсная телеметрия может быть использована для передачи нисходящих сигналов и/или для передачи восходящих сигналов. Эта возможность может быть использована для осуществления надежной передачи на скважинную систему ЭМ телеметрии или от нее, а также для обеспечения по меньшей мере одного режима связи, который имеет относительно низкую задержку с целью получения быстрого ответа скважинной системы ЭМ телеметрии. Например, быстрые изменения в режиме работы скважинной системы ЭМ телеметрии, например, переключение между конфигурационными файлами, могут быть достигнуты очень быстро с помощью быстрой ЭМ телеметрии по нисходящему каналу. Данные, которые менее зависимы от времени при передаче на систему ЭМ телеметрии, могут быть переданы в более медленном, но, возможно, более надежном во всех обстоятельствах режиме передачи данных. Передача в различных режимах может происходить одновременно (совместно) или с перекрытием по времени, или может быть осуществлена в различные моменты времени.

[0100] В некоторых вариантах осуществления выбор соответствующего протокола передачи данных основан по меньшей мере частично на текущем состоянии заряда скважинных батарей, питающих систему электромагнитной телеметрии.

[0101] В некоторых вариантах осуществления для кодирования данных используют, собственно, свипирование. Например, порядок, в котором передают различные частоты, и/или амплитуды, с которыми передают различные частоты, и/или количество циклов каждой отдельной передаваемой частоты можно менять таким образом, чтобы кодировать данные. Эти данные могут быть приняты на

поверхности. Эти данные могут, например, включать: схему кодирования, которая будет использована для кодирования передаваемых данных с помощью ЭМ телеметрии; данные, которые нужно передать (например, данные о передней поверхности инструмента); данные о состоянии скважинной системы ЭМ телеметрии или другой скважинной системы и т. п.

[0102] В некоторых вариантах осуществления частоты, вероятность приема которых низкая, в свипирование не включают. Например, когда скважина была пробурена до такой глубины, что сигналы с самыми высокими частотами при свипировании больше не принимаются, самую высокую частоту или частоты можно исключить из свипирования с целью экономии времени и энергии. В некоторых вариантах осуществления сигналы с самыми высокими частотами все же передают один раз при каждых нескольких свипированиях или через одно свипирование и т. п., на случай, если условия изменились так, что сигналы с самыми высокими частотами снова можно принимать. В другом иллюстративном варианте осуществления, в котором имеется электрический шум, который делает некоторую частоту непригодной для ЭМ телеметрии или нежелательной, эту частоту могут исключить из свипирования.

[0103] В вариантах осуществления, описанных в данном документе, происходит передача ЭМ сигналов с несколькими частотами из места в скважине. В дополнение к применению в оценке самой подходящей частоты для использования для ЭМ телеметрии, такие сигналы также могут быть использованы для создания взаимных помех с ЭМ телеметрией в соседних скважинах. Поскольку направленное бурение может быть использовано для создания стволов скважин, которые проходят на большие расстояния в горизонтальном направлении, оператор установки направленного бурения может непреднамеренно или по неосторожности пробурить ствол скважины, который проходит в пласт, в который оператору бурить не разрешено (например, пласт соседнего участка). Технология, описанная в данном документе, может быть применена для генерации ЭМ сигналов, которые создают взаимные помехи с ЭМ телеметрией такого оператора, отклонившегося от плана работ, и предотвращают

бурение ствола скважины с помощью ЭМ телеметрии в области вблизи ствола скважины, в которой выполняют свипирование, как описано выше.

[0104] В некоторых вариантах осуществления оборудование на поверхности содержит фильтры, выполненные с возможностью блокирования частот, отличающихся от частот, используемых для телеметрии данных из скважины. Поскольку частота или частоты, выделенные для телеметрии данных, могут время от времени изменяться, как описано в данном документе, фильтры в поверхностном оборудовании могут быть перенастроены для прохождения текущих частот сигналов телеметрии данных. Эта перенастройка может быть выполнена автоматически каждый раз, когда выбираются новые частоты сигналов телеметрии данных.

[0105] В некоторых вариантах осуществления частоты сигналов телеметрии данных выбирают частично на основе отношения сигнал/шум на различных частотах. Шум может возникать в результате работы оборудования буровой установки, из-за телеметрии в соседней скважине (от оператора, отклонившегося от плана работ, или другого) или от других источников. В некоторых вариантах осуществления, в ответ на идентификацию частот, на которых имеется существенный шум (например, шум, превышающий пороговое значение и/или ОСШ ниже порогового значения), на поверхностном оборудовании автоматически настраивается блокирующий фильтр для блокирования шумовой частоты (частот), и для телеметрии данных выбираются другие частоты. Такие шумовые частоты могут быть идентифицированы при анализе принятого свип-сигнала, как описано выше.

[0106] Свип-сигнал может быть принят в месте, отличающемся от поверхностного оборудования. Например, свип-сигнал, отправленный первым элементом скважинного оборудования, может быть обнаружен вторым элементом скважинного оборудования, находящимся на расстоянии от первого элемента скважинного оборудования в бурильной колонне. Свип-сигнал, сгенерированный в одном месте, может быть принят в двух или более других

местах. Эти возможности облегчают ряд возможных областей применения. Одна возможная область применения представляет собой установку различных параметров ЭМ телеметрии для осуществления связи с различными конечными точками. Например, глубинный зонд может использовать один набор параметров ЭМ телеметрии (частота(-ы), схема кодирования данных и т. п.) для связи с поверхностным оборудованием и другой набор параметров ЭМ телеметрии для связи с другим глубинным зондом. Каждый набор параметров ЭМ телеметрии может быть выбран на основании принятых свип-сигналов согласно способам, описанным в данном документе.

[0107] Несколько элементов скважинного оборудования может быть выполнено с возможностью генерирования свип-сигналов и приема свип-сигналов, сгенерированных другими элементами скважинного оборудования. Область применения этой возможности состоит в том, чтобы отмечать окно для областей, в которых происходит сильное ослабление ЭМ передач. Например, можно рассмотреть случай, в котором имеется несколько (например, от 4 до 10) систем, разнесенных по бурильной колонне, каждая из которых может генерировать свип-сигналы и принимать свип-сигналы. Когда зона сильного ослабления ЭМ сигнала расположена между двумя системами, которые находятся глубже всего в скважине, две расположенные глубже всех скважинные системы могут обнаруживать ослабленные свип-сигналы друг от друга, но другие системы не могут обнаруживать свип-сигналы от расположенных глубже всех скважинных систем по причине сильного ослабления. Информация о расположении зон сильного ослабления может быть использована для прогнозирования ослабления по всей длине ствола скважины. Эта информация может быть применена при выборе типов телеметрии (например, ЭМ телеметрия может не использоваться для системы, которая расположена в зоне сильного ослабления, и вместо нее могут быть использованы другие типы телеметрии – например, гидроимпульсная телеметрия).

[0108] Поскольку выше описан ряд иллюстративных аспектов и вариантов осуществления, специалистам в данной области техники будут очевидны

определенные модификации, перестановки, дополнения и их подкомбинации. Поэтому подразумевается, что следующая формула изобретения и позднее представленные пункты формулы изобретения интерпретируются как включающие все такие модификации, перестановки, дополнения и подкомбинации как находящиеся в пределах сущности и объема настоящего изобретения.

Интерпретация выражений

[0109] Если контекст явно не требует иного, по всему тексту описания и формулы изобретения:

- выражения «содержать», «содержащий» и т. п. необходимо понимать во включающем смысле, в отличие от исключающего или исчерпывающего смысла; то есть в смысле «включая, но без ограничения»;
- выражения «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 сочетанием;
- выражения «в настоящем документе», «выше», «ниже» и слова подобного смысла при использовании для описания настоящего изобретения должны относиться к описанию настоящего изобретения в целом, а не к каким-либо конкретным частям описания настоящего изобретения;
- выражение «или» при ссылке на перечень из двух или более элементов охватывает все следующие интерпретации этого слова: любой элемент в перечне, все элементы в перечне и любое сочетание элементов в перечне;
- формы единственного числа включают значение любых подходящих форм множественного числа.

[0110] Слова, указывающие направления, такие как «вертикальный», «поперечный», «горизонтальный», «вверх», «вниз», «вперед», «назад»,

«внутренний», «наружный», «вертикальный», «поперечный», «левый», «правый», «передний», «задний», «верхний», «нижний», «вверху», «внизу», «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 не определены строго и не должны интерпретироваться в узком смысле.

[0111] Когда выше производится ссылка на какой-либо компонент (например, схему, модуль, узел, устройство, компонент бурильной колонны, систему буровой установки и т. д.), то, если не указано иное, ссылка на этот компонент (включая ссылку на «средства») должна интерпретироваться как включающая эквиваленты этого компонента, любой компонент, выполняющий функцию описываемого компонента (т. е., функционально эквивалентный), включая компоненты, конструктивно не эквивалентные раскрытой конструкции, выполняющей эту функцию в представленных иллюстративных вариантах осуществления настоящего изобретения.

[0112] 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, исключения и перестановки. Настоящее изобретение включает изменения описанных вариантов осуществления, очевидные специалистам в данной области 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; сочетания признаков, элементов и/или действий из вариантов осуществления, описанных в настоящем документе, с признаками, элементами

и/или действиями другой технологии; и/или исключения сочетания признаков, элементов и/или действий из описанных вариантов осуществления.

[0113] Поэтому подразумеваются, что последующая прилагаемая формула изобретения и позднее представленные пункты формулы изобретения необходимо интерпретировать как включающие все такие модификации, перестановки, дополнения, исключения и подсочетания, которые могут быть обоснованно выведены. Объем формулы изобретения не следует ограничивать предпочтительными вариантами осуществления, изложенными в примерах, но ему следует придавать самую широкую интерпретацию, согласующуюся с настоящим описанием в целом.

Формула изобретения

1. Способ скважинной электромагнитной (ЭМ) телеметрии при проведении работ по бурению скважины, при этом способ включает этапы:

определения режима бурильных работ;

отправки набора ЭМ свип-сигналов из скважинной системы ЭМ телеметрии, расположенной в месте в скважине, на наземную систему, расположенную в месте на поверхности, причем каждый из ЭМ свип-сигналов имеет различную частоту;

определения, принят ли на наземной системе каждый из ЭМ свип-сигналов, и измерения параметров принятых ЭМ свип-сигналов для принятых ЭМ свип-сигналов, причем параметры включают по меньшей мере одно из интенсивности сигнала и отношения сигнал/шум;

определения протокола для передачи скважинных данных по меньшей мере частично на основании: режима бурильных работ, принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, причем протокол устанавливает параметры протокола, включая одно или более из частоты сигнала, амплитуды сигнала и схемы кодирования данных; и

настройки скважинной системы ЭМ телеметрии для передачи данных на наземную систему с помощью протокола.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что схема кодирования данных содержит ряд циклов ЭМ сигналов, применяемых для кодирования символов для передачи; и определение протокола включает установку числа циклов, которые необходимо использовать для кодирования сигналов для передачи.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что для каждого режима бурильных работ назначен предустановленный протокол.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что протокол определяют по меньшей мере частично на основании одного или более из необходимой скорости передачи данных и необходимого потребления энергии.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что протокол определяют на наземной системе посредством процессора, и протокол передают на скважинную систему ЭМ телеметрии с помощью системы нисходящей передачи.

6. Способ по п. 5, отличающийся тем, что протокол определяют на наземной системе с помощью пользовательского ввода в сочетании с процессором.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что набор предустановленных протоколов хранится в скважинной системе ЭМ телеметрии, и определение протокола для передачи скважинных данных включает:

генерирование на наземной системе указателя, идентифицирующего один из предустановленных протоколов, хранящихся в скважинной системе ЭМ телеметрии, по меньшей мере частично на основании одного или более из режима бурильных работ, принятых ЭМ сигналов и измеренных параметров;

передачу указателя на скважинную систему ЭМ телеметрии с помощью системы нисходящей передачи; и

выбор одного из предустановленных протоколов, хранящихся в скважинной системе ЭМ телеметрии, по меньшей мере частично на основании переданного указателя.

8. Способ по п. 1, отличающийся тем, что режим бурильных работ определяют с помощью результатов измерений, полученных от скважинных датчиков.

9. Способ по п. 1, отличающийся тем, что способ дополнительно включает:

периодическую отправку наборов ЭМ свип-сигналов от скважинной системы ЭМ телеметрии на наземную систему; и

обнаружение ЭМ свип-сигналов на наземной системе; и

определение необходимости регулировки одного или более параметров протокола на основании обнаруженных ЭМ свип-сигналов.

10. Способ по п. 1, отличающийся тем, что определение протокола включает:

a) выбор частоты и амплитуды для протокола для ЭМ сигналов передачи данных по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов; и

b) изменение протокола путем уменьшения частоты, пока частота не достигнет минимально допустимой частоты, если ЭМ сигналы указанных частоты и амплитуды не приняты на наземной системе должным образом, и увеличение амплитуды протокола, если ЭМ сигналы минимально допустимой частоты и выбранной амплитуды не приняты на наземной системе должным образом.

11. Способ по п. 10, отличающийся тем, что включает переключение на альтернативную систему телеметрии, если ЭМ сигналы минимально допустимой частоты и максимально допустимой амплитуды не приняты на наземной системе должным образом.

12. Способ по п. 10, отличающийся тем, что включает сокращение количества циклов на символ для протокола, если ЭМ сигнал минимально допустимой частоты и максимально допустимой амплитуды не имеет по меньшей мере пороговой допустимой скорости передачи данных.

13. Способ по п. 12, отличающийся тем, что включает определение пороговой допустимой скорости передачи данных по меньшей мере частично на основании характера данных, доступных для передачи.

14. Способ по п. 10, отличающийся тем, что дополнительно включает: проверку, превышает ли интенсивность ЭМ сигнала пороговое значение, и, если да, увеличение частоты и/или уменьшение амплитуды для протокола.

15. Способ по п. 14, отличающийся тем, что интенсивность ЭМ сигнала определяют по меньшей мере частично на основании энергии бита.

16. Способ по п. 15, отличающийся тем, что включает сокращение количества циклов на символ для протокола без уменьшения энергии бита ниже пороговой величины.

17. Способ по п. 1, отличающийся тем, что набор ЭМ свип-сигналов содержит поднабор из набора предопределенных ЭМ свип-сигналов, и способ включает отправку только поднабора ЭМ свип-сигналов из скважинной системы ЭМ телеметрии на наземную систему.

18. Способ по п. 1, отличающийся тем, что схема кодирования данных представляет собой одно из квадратурной фазовой манипуляции (КФМн), двоичной фазовой манипуляции (ДФМн), фазовой манипуляции (ФМн), частотной манипуляции (ЧМн), квадратурной амплитудной модуляции (КАМн), 8-кратной амплитудной манипуляции (АМн-8) и амплитудно-фазовой манипуляции (АФМн).

19. Способ по п. 1, отличающийся тем, что включает ожидание на скважинной системе ЭМ телеметрии нисходящей передачи от наземной системы после отправки набора ЭМ свип-сигналов и применение предопределенного по умолчанию протокола, если скважинная система ЭМ телеметрии не принимает нисходящую передачу в течение предопределенного периода времени.

20. Способ по п. 1, отличающийся тем, что набор ЭМ свип-сигналов содержит первый ЭМ свип-сигнал, имеющий более низкую частоту, и второй ЭМ свип-сигнал, имеющий более высокую частоту, и причем протокол определяют на основании только второго ЭМ сигнала, если второй ЭМ сигнал принят наземной системой.

21. Способ по п. 5 или п. 6, отличающийся тем, что система нисходящей передачи содержит систему ЭМ телеметрии или систему гидроимпульсной телеметрии.

22. Способ по п. 1, отличающийся тем, что протокол определяют по меньшей мере частично на основании текущего состояния заряда скважинных батарей, питающих скважинную систему ЭМ телеметрии.

23. Способ по любому из пп. 1–22, отличающийся тем, что включает кодирование информации в ЭМ свип-сигналах и декодирование информации из принятых ЭМ свип-сигналов.

24. Способ по п. 23, отличающийся тем, что кодирование информации в ЭМ свип-сигналах включает одно или более из изменения порядка передаваемых частот, изменения количества циклов различных передаваемых частот и модуляции частот, передаваемых в ЭМ свип-сигналах.

25. Способ по п. 23 или п. 24, отличающийся тем, что закодированная информация содержит одно или более из схемы кодирования для кодирования данных, передаваемых с помощью протокола, данных о скважинных условиях и данных о скважинных системах.

26. Способ по любому из пп. 1–25, отличающийся тем, что отправка набора ЭМ свип-сигналов включает отправку двух или более ЭМ сигналов одновременно.

27. Способ по любому из пп. 1–25, отличающийся тем, что включает автоматическую отправку набора ЭМ свип-сигналов в предопределенное время после отключения насосов.

28. Способ по п. 1, отличающийся тем, что включает определение по измеренным параметрам принятых ЭМ свип-сигналов максимальной частоты, применяемой для ЭМ телеметрии, и применение максимальной частоты, когда режим бурильных работ является режимом, в котором отсутствует вращение бурильной колонны и циркуляция жидкости в бурильной колонне.

29. Способ по п. 28, отличающийся тем, что включает автоматический выбор одной или более нижних частот для использования, когда режим буровых работ является режимом, в котором бурильная колонна вращается или жидкость циркулирует по бурильной колонне, или и то и другое.

30. Способ по п. 28 или п. 29, отличающийся тем, что включает применение различных частот для передачи сигналов ЭМ телеметрии в зависимости от того,

соответствует режим бурильных работ скользящему режиму, в котором жидкость циркулирует по бурильной колонне без существенного вращения бурильной колонны, или режиму бурения с вращением, в котором жидкость циркулирует по бурильной колонне с вращением бурильной колонны.

31. Способ по любому из пп. 28–30, отличающийся тем, что включает определение режима бурильных работ на основании показаний датчиков, которые указывают, циркулирует ли промывочная жидкость и вращается ли бурильная колонна.

32. Способ по любому из пп. 28–31, отличающийся тем, что включает: выбор первой частоты F1 для применения в случае, когда режим бурильных работ соответствует отсутствию циркуляции жидкости в бурильной колонне и отсутствию вращения бурильной колонны; выбор второй частоты F2 для применения в случае, когда режим бурильных работ соответствует циркуляции жидкости в бурильной колонне и отсутствию вращения бурильной колонны; и выбор третьей частоты F3 для применения в случае, когда режим бурильных работ соответствует циркуляции жидкости в бурильной колонне и вращению бурильной колонны; причем: F1>F2>F3.

33. Система ЭМ телеметрии для передачи сигналов в стволе скважины между местом на поверхности и местом в скважине, при этом система ЭМ телеметрии содержит:

генератор сигналов, выполненный с возможностью отправки набора ЭМ свип-сигналов в место в скважине;

приемник, выполненный с возможностью приема ЭМ свип-сигналов в месте на поверхности; и

процессор, соединенный с приемником и генератором сигналов, причем процессор выполнен с возможностью определения того, принят ли на приемнике каждый из ЭМ свип-сигналов в наборе, и записи параметров ЭМ свип-сигнала для

каждого из принятых ЭМ свип-сигналов, причем параметры включают по меньшей мере одно из интенсивности сигнала и отношения сигнал/шум;

причем процессор дополнительно выполнен с возможностью определения режима бурильных работ;

причем процессор дополнительно выполнен с возможностью определения протокола для передачи данных между местом в скважине и местом на поверхности по меньшей мере частично на основании режима бурильных работ, принятых ЭМ свип-сигналов и записанных параметров, причем протокол содержит параметры протокола, включающие одно или более из частоты сигнала, амплитуды сигнала и схемы кодирования данных; и

систему нисходящей передачи, соединенную с процессором и генератором сигналов, причем система нисходящей передачи выполнена с возможностью передачи определенного протокола на генератор сигналов.

34. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что протокол устанавливает количество циклов ЭМ сигналов, которые необходимо использовать для кодирования символов для передачи.

35. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что процессор выполнен с возможностью определения протокола по меньшей мере частично на основании одного или более из необходимой скорости передачи данных и необходимого потребления энергии.

36. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что процессор выполнен с возможностью приема пользовательского ввода и определения протокола по меньшей мере частично с помощью пользовательского ввода.

37. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что процессор выполнен с возможностью определения протокола путем генерирования указателя, причем указатель идентифицирует один из предустановленных протоколов, хранящихся в контроллере, контроллер соединен с генератором сигналов и процессором, и

путем передачи сгенерированного указателя на контроллер с помощью скважинного канала передачи, причем контроллер выбирает один из предустановленных протоколов на основании указателя и передает выбранный предустановленный протокол на генератор сигналов.

38. Система ЭМ телеметрии по п. 37, отличающаяся тем, что процессор выполнен с возможностью определения режима бурильных работ с помощью результатов измерений, полученных от скважинных датчиков.

39. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что генератор сигналов выполнен с возможностью периодической отправки наборов ЭМ свип-сигналов на приемник, и процессор выполнен с возможностью регулировки одного или более параметров протокола с определенным шагом после каждого свипирования.

40. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что набор ЭМ свип-сигналов содержит поднабор предопределенного набора ЭМ свип-сигналов, и генератор сигналов выполнен с возможностью отправки поднабора ЭМ свип-сигналов на приемник.

41. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что генератор выполнен с возможностью использования предопределенного по умолчанию протокола для передачи данных с помощью ЭМ телеметрии в место на поверхности, если процессор не передает протокол на генератор до предопределенного времени.

42. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что набор ЭМ свип-сигналов содержит первый ЭМ свип-сигнал, имеющий более высокую частоту, и второй ЭМ свип-сигнал, имеющий более низкую частоту, и причем процессор выполнен так, что, если первый ЭМ сигнал принят на приемнике, процессор определяет протокол на основании только первого ЭМ свип-сигнала.

43. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что система нисходящей передачи содержит одно из системы ЭМ телеметрии и системы гидроимпульсной телеметрии.

44. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что процессор выполнен с возможностью определения протокола по меньшей мере частично на основании текущего состояния заряда скважинных батарей, питающих генератор сигналов.

45. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что генератор сигналов выполнен с возможностью кодирования информации в ЭМ свип-сигналах.

46. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что генератор сигналов выполнен с возможностью отправки двух или более ЭМ свип-сигналов одновременно.

47. Скважинная система ЭМ телеметрии, содержащая:

контур управления,

передатчик ЭМ сигналов;

множество протоколов ЭМ телеметрии; и

один или более датчиков;

причем контур управления выполнен с возможностью приема сигналов от одного или более датчиков и применения одного из множества протоколов ЭМ телеметрии для передачи данных передатчиком ЭМ сигналов на основании принятых сигналов, причем один из принятых сигналов содержит сигнал, указывающий режим бурильных работ.

48. Способ скважинной электромагнитной (ЭМ) телеметрии при проведении работ по бурению скважины, при этом способ включает этапы:

периодической отправки набора ЭМ свип-сигналов из скважинной системы ЭМ телеметрии, расположенной в месте в скважине, на наземную систему, расположенную в месте на поверхности, причем каждый из ЭМ свип-сигналов имеет различную частоту;

определения, принят ли на наземной системе каждый из ЭМ свип-сигналов, и измерения параметров принятых ЭМ свип-сигналов для принятых ЭМ свип-сигналов, причем параметры включают по меньшей мере одно из интенсивности сигнала и отношения сигнал/шум;

определения режима бурильных работ;

определения необходимости регулировки одного или более параметров протокола для передачи скважинных данных по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов, измеренных параметров и режима бурильных работ, причем параметры протокола включают одно или более из частоты сигнала, амплитуды сигнала и схемы кодирования данных; и

настройки скважинной системы ЭМ телеметрии для передачи данных на наземную систему с помощью протокола.

49. Способ по п. 48, отличающийся тем, что включает определение по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, превышает ли интенсивность сигнала пороговое значение, и увеличение частоты сигнала, если интенсивность сигнала превышает пороговое значение.

50. Способ по п. 48, отличающийся тем, что включает определение по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, превышает ли интенсивность сигнала пороговое значение, и уменьшение амплитуды сигнала, если интенсивность сигнала превышает пороговое значение.

51. Способ по любому из п. 48 и п. 49, отличающийся тем, что включает определение по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, превышает ли интенсивность сигнала пороговое значение, и уменьшение амплитуды сигнала и увеличение частоты сигнала, если интенсивность сигнала превышает пороговое значение.

52. Способ по любому из пп. 48–51, отличающийся тем, что схема кодирования данных содержит ряд циклов ЭМ сигналов, применяемых для кодирования символов для передачи; и причем способ включает регулирование числа циклов, которые необходимо использовать для кодирования сигналов для передачи.

53. Способ по любому из пп. 48–52, отличающийся тем, что включает ожидание на скважинной системе ЭМ телеметрии нисходящей передачи от наземной системы после отправки свип-сигнала и применение параметров предопределенного по умолчанию протокола, если скважинная система ЭМ телеметрии не принимает нисходящую передачу в течение предопределенного периода времени.

54. Способ по любому из пп. 48–53, отличающийся тем, что включает автоматическую отправку ЭМ свип-сигналов в предопределенное время после отключения насосов.

55. Система ЭМ телеметрии для передачи сигналов в стволе скважины между местом на поверхности и местом в скважине, система ЭМ телеметрии содержит:

генератор сигналов, выполненный с возможностью периодической отправки набора ЭМ свип-сигналов в место в скважине;

приемник, выполненный с возможностью приема ЭМ свип-сигналов в месте на поверхности; и

процессор, соединенный с приемником и генератором сигналов, причем процессор выполнен с возможностью определения того, принят ли на приемнике каждый из ЭМ свип-сигналов в наборе, и записи параметров ЭМ свип-сигнала для каждого из принятых ЭМ свип-сигналов, причем параметры включают по меньшей мере одно из интенсивности сигнала и отношения сигнал/шум;

причем процессор дополнительно выполнен с возможностью определения режима бурильных работ;

причем процессор дополнительно выполнен с возможностью определения по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов, записанных параметров и режима бурильных работ необходимости регулировки одного или более параметров протокола для передачи данных между местом в скважине и местом на поверхности, причем параметры протокола включают одно или более из частоты сигнала, амплитуды сигнала и схемы кодирования данных; и

систему нисходящей передачи, соединенную с процессором и генератором сигналов, причем система нисходящей передачи выполнена с возможностью передачи отрегулированных параметров протокола на генератор сигналов.

56. Система по п. 55, отличающийся тем, что процессор выполнен с возможностью определения по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, превышает ли интенсивность сигнала пороговое значение, и увеличения частоты сигнала, если интенсивность сигнала превышает пороговое значение.

57. Система по п. 55, отличающийся тем, что процессор выполнен с возможностью определения по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, превышает ли интенсивность сигнала пороговое значение, и уменьшения амплитуды сигнала, если интенсивность сигнала превышает пороговое значение.

58. Система по п. 55, отличающийся тем, что процессор выполнен с возможностью определения по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, превышает ли интенсивность сигнала пороговое значение, и уменьшения амплитуды сигнала и увеличения частоты сигнала, если интенсивность сигнала превышает пороговое значение.

59. Способ скважинной электромагнитной (ЭМ) телеметрии при проведении работ по бурению скважины, при этом способ включает этапы:

настройки скважинной системы ЭМ телеметрии для передачи данных на наземную систему с помощью первого протокола, по которому передают данные

с первой скоростью передачи данных, в ответ на определение того, что бурильные работы не осуществляются, то есть отсутствует циркуляция промывочной жидкости и вращение бурильной колонны;

передачи первых данных с помощью первого протокола;

настройки скважинной системы ЭМ телеметрии для передачи данных на наземную систему с помощью второго протокола, по которому передают данные со второй скоростью передачи данных, более низкой, чем первая скорость передачи данных, после передачи первых данных; и

передачи вторых данных с помощью второго протокола.

60. Способ по п. 59, отличающийся тем, что первые данные содержат данные исследования.

61. Способ по п. 59 или п. 60, отличающийся тем, что включает автоматическое переключение на второй протокол после того, как все или предопределенный объем, или часть данных исследования, доступных для передачи на скважинной системе, были переданы с помощью первого протокола.

62. Способ по любому из пп. 60–61, отличающийся тем, что включает настройку скважинной системы ЭМ телеметрии для передачи данных на наземную систему с помощью первого протокола при условии наличия данных исследования, доступных для передачи на скважинной системе.

63. Способ по любому из пп. 59–62, отличающийся тем, что второй протокол использует меньшее количество электроэнергии на бит передаваемых данных, чем первый протокол.

64. Способ по любому из пп. 59–63, отличающийся тем, что первый протокол использует две или более частот передачи, а второй протокол использует единственную частоту передачи.

Формула изобретения

1. Способ скважинной электромагнитной (ЭМ) телеметрии при проведении работ по бурению скважины, при этом способ включает этапы:

определения режима бурильных работ;

отправки набора ЭМ свип-сигналов из скважинной системы ЭМ телеметрии, расположенной в месте в скважине, на наземную систему, расположенную в месте на поверхности, причем каждый из ЭМ свип-сигналов имеет различную частоту;

определения, принят ли на наземной системе каждый из ЭМ свип-сигналов, и измерения параметров принятых ЭМ свип-сигналов для принятых ЭМ свип-сигналов, причем параметры включают по меньшей мере одно из интенсивности сигнала и отношения сигнал/шум;

определения протокола для передачи скважинных данных по меньшей мере частично на основании: режима бурильных работ, принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, причем протокол устанавливает параметры протокола, включая одно или более из частоты сигнала, амплитуды сигнала и схемы кодирования данных; и

настройки скважинной системы ЭМ телеметрии для передачи данных на наземную систему с помощью протокола.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что схема кодирования данных содержит ряд циклов ЭМ сигналов, применяемых для кодирования символов для передачи; и определение протокола включает установку числа циклов, которые необходимо использовать для кодирования сигналов для передачи.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что для каждого режима бурильных работ назначен предустановленный протокол.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что протокол определяют по меньшей мере частично на основании одного или более из необходимой скорости передачи данных и необходимого потребления энергии.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что протокол определяют на наземной системе посредством процессора, и протокол передают на скважинную систему ЭМ телеметрии с помощью системы нисходящей передачи.

6. Способ по п. 5, отличающийся тем, что протокол определяют на наземной системе с помощью пользовательского ввода в сочетании с процессором.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что набор предустановленных протоколов хранится в скважинной системе ЭМ телеметрии, и определение протокола для передачи скважинных данных включает:

генерирование на наземной системе указателя, идентифицирующего один из предустановленных протоколов, хранящихся в скважинной системе ЭМ телеметрии, по меньшей мере частично на основании одного или более из режима бурильных работ, принятых ЭМ сигналов и измеренных параметров;

передачу указателя на скважинную систему ЭМ телеметрии с помощью системы нисходящей передачи; и

выбор одного из предустановленных протоколов, хранящихся в скважинной системе ЭМ телеметрии, по меньшей мере частично на основании переданного указателя.

8. Способ по п. 1, отличающийся тем, что режим бурильных работ определяют с помощью результатов измерений, полученных от скважинных датчиков.

9. Способ по п. 1, отличающийся тем, что способ дополнительно включает:

периодическую отправку наборов ЭМ свип-сигналов от скважинной системы ЭМ телеметрии на наземную систему; и

обнаружение ЭМ свип-сигналов на наземной системе; и

определение необходимости регулировки одного или более параметров протокола на основании обнаруженных ЭМ свип-сигналов.

10. Способ по п. 1, отличающийся тем, что определение протокола включает:

a) выбор частоты и амплитуды для протокола для ЭМ сигналов передачи данных по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов; и

b) изменение протокола путем уменьшения частоты, пока частота не достигнет минимально допустимой частоты, если ЭМ сигналы указанных частоты и амплитуды не приняты на наземной системе должным образом, и увеличение амплитуды протокола, если ЭМ сигналы минимально допустимой частоты и выбранной амплитуды не приняты на наземной системе должным образом.

11. Способ по п. 10, отличающийся тем, что включает переключение на альтернативную систему телеметрии, если ЭМ сигналы минимально допустимой частоты и максимально допустимой амплитуды не приняты на наземной системе должным образом.

12. Способ по п. 10, отличающийся тем, что включает сокращение количества циклов на символ для протокола, если ЭМ сигнал минимально допустимой частоты и максимально допустимой амплитуды не имеет по меньшей мере пороговой допустимой скорости передачи данных.

13. Способ по п. 12, отличающийся тем, что включает определение пороговой допустимой скорости передачи данных по меньшей мере частично на основании характера данных, доступных для передачи.

14. Способ по п. 10, отличающийся тем, что дополнительно включает: проверку, превышает ли интенсивность ЭМ сигнала пороговое значение, и, если да, увеличение частоты и/или уменьшение амплитуды для протокола.

15. Способ по п. 14, отличающийся тем, что интенсивность ЭМ сигнала определяют по меньшей мере частично на основании энергии бита.

16. Способ по п. 15, отличающийся тем, что включает сокращение количества циклов на символ для протокола без уменьшения энергии бита ниже пороговой величины.

17. Способ по п. 1, отличающийся тем, что набор ЭМ свип-сигналов содержит поднабор из набора предопределенных ЭМ свип-сигналов, и способ включает отправку только поднабора ЭМ свип-сигналов из скважинной системы ЭМ телеметрии на наземную систему.

18. Способ по п. 1, отличающийся тем, что схема кодирования данных представляет собой одно из квадратурной фазовой манипуляции (КФМн), двоичной фазовой манипуляции (ДФМн), фазовой манипуляции (ФМн), частотной манипуляции (ЧМн), квадратурной амплитудной модуляции (КАМн), 8-кратной амплитудной манипуляции (АМн-8) и амплитудно-фазовой манипуляции (АФМн).

19. Способ по п. 1, отличающийся тем, что включает ожидание на скважинной системе ЭМ телеметрии нисходящей передачи от наземной системы после отправки набора ЭМ свип-сигналов и применение предопределенного по умолчанию протокола, если скважинная система ЭМ телеметрии не принимает нисходящую передачу в течение предопределенного периода времени.

20. Способ по п. 1, отличающийся тем, что набор ЭМ свип-сигналов содержит первый ЭМ свип-сигнал, имеющий более низкую частоту, и второй ЭМ свип-сигнал, имеющий более высокую частоту, и причем протокол определяют на основании только второго ЭМ сигнала, если второй ЭМ сигнал принят наземной системой.

21. Способ по п. 5 или п. 6, отличающийся тем, что система нисходящей передачи содержит систему ЭМ телеметрии или систему гидроимпульсной телеметрии.

22. Способ по п. 1, отличающийся тем, что протокол определяют по меньшей мере частично на основании текущего состояния заряда скважинных батарей, питающих скважинную систему ЭМ телеметрии.

23. Способ по любому из пп. 1–22, отличающийся тем, что включает кодирование информации в ЭМ свип-сигналах и декодирование информации из принятых ЭМ свип-сигналов.

24. Способ по п. 23, отличающийся тем, что кодирование информации в ЭМ свип-сигналах включает одно или более из изменения порядка передаваемых частот, изменения количества циклов различных передаваемых частот и модуляции частот, передаваемых в ЭМ свип-сигналах.

25. Способ по п. 23 или п. 24, отличающийся тем, что закодированная информация содержит одно или более из схемы кодирования для кодирования данных, передаваемых с помощью протокола, данных о скважинных условиях и данных о скважинных системах.

26. Способ по любому из пп. 1–25, отличающийся тем, что отправка набора ЭМ свип-сигналов включает отправку двух или более ЭМ сигналов одновременно.

27. Способ по любому из пп. 1–25, отличающийся тем, что включает автоматическую отправку набора ЭМ свип-сигналов в предопределенное время после отключения насосов.

28. Способ по п. 1, отличающийся тем, что включает определение по измеренным параметрам принятых ЭМ свип-сигналов максимальной частоты, применяемой для ЭМ телеметрии, и применение максимальной частоты, когда режим бурильных работ является режимом, в котором отсутствует вращение бурильной колонны и циркуляция жидкости в бурильной колонне.

29. Способ по п. 28, отличающийся тем, что включает автоматический выбор одной или более нижних частот для использования, когда режим буровых работ является режимом, в котором бурильная колонна вращается или жидкость циркулирует по бурильной колонне, или и то и другое.

30. Способ по п. 28 или п. 29, отличающийся тем, что включает применение различных частот для передачи сигналов ЭМ телеметрии в зависимости от того,

соответствует режим бурильных работ скользящему режиму, в котором жидкость циркулирует по бурильной колонне без существенного вращения бурильной колонны, или режиму бурения с вращением, в котором жидкость циркулирует по бурильной колонне с вращением бурильной колонны.

31. Способ по любому из пп. 28–30, отличающийся тем, что включает определение режима бурильных работ на основании показаний датчиков, которые указывают, циркулирует ли промывочная жидкость и вращается ли бурильная колонна.

32. Способ по любому из пп. 28–31, отличающийся тем, что включает: выбор первой частоты F1 для применения в случае, когда режим бурильных работ соответствует отсутствию циркуляции жидкости в бурильной колонне и отсутствию вращения бурильной колонны; выбор второй частоты F2 для применения в случае, когда режим бурильных работ соответствует циркуляции жидкости в бурильной колонне и отсутствию вращения бурильной колонны; и выбор третьей частоты F3 для применения в случае, когда режим бурильных работ соответствует циркуляции жидкости в бурильной колонне и вращению бурильной колонны; причем: F1>F2>F3.

33. Система ЭМ телеметрии для передачи сигналов в стволе скважины между местом на поверхности и местом в скважине, при этом система ЭМ телеметрии содержит:

генератор сигналов, выполненный с возможностью отправки набора ЭМ свип-сигналов в место в скважине;

приемник, выполненный с возможностью приема ЭМ свип-сигналов в месте на поверхности; и

процессор, соединенный с приемником и генератором сигналов, причем процессор выполнен с возможностью определения того, принят ли на приемнике каждый из ЭМ свип-сигналов в наборе, и записи параметров ЭМ свип-сигнала для

каждого из принятых ЭМ свип-сигналов, причем параметры включают по меньшей мере одно из интенсивности сигнала и отношения сигнал/шум;

причем процессор дополнительно выполнен с возможностью определения режима бурильных работ;

причем процессор дополнительно выполнен с возможностью определения протокола для передачи данных между местом в скважине и местом на поверхности по меньшей мере частично на основании режима бурильных работ, принятых ЭМ свип-сигналов и записанных параметров, причем протокол содержит параметры протокола, включающие одно или более из частоты сигнала, амплитуды сигнала и схемы кодирования данных; и

систему нисходящей передачи, соединенную с процессором и генератором сигналов, причем система нисходящей передачи выполнена с возможностью передачи определенного протокола на генератор сигналов.

34. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что протокол устанавливает количество циклов ЭМ сигналов, которые необходимо использовать для кодирования символов для передачи.

35. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что процессор выполнен с возможностью определения протокола по меньшей мере частично на основании одного или более из необходимой скорости передачи данных и необходимого потребления энергии.

36. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что процессор выполнен с возможностью приема пользовательского ввода и определения протокола по меньшей мере частично с помощью пользовательского ввода.

37. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что процессор выполнен с возможностью определения протокола путем генерирования указателя, причем указатель идентифицирует один из предустановленных протоколов, хранящихся в контроллере, контроллер соединен с генератором сигналов и процессором, и

путем передачи сгенерированного указателя на контроллер с помощью скважинного канала передачи, причем контроллер выбирает один из предустановленных протоколов на основании указателя и передает выбранный предустановленный протокол на генератор сигналов.

38. Система ЭМ телеметрии по п. 37, отличающаяся тем, что процессор выполнен с возможностью определения режима бурильных работ с помощью результатов измерений, полученных от скважинных датчиков.

39. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что генератор сигналов выполнен с возможностью периодической отправки наборов ЭМ свип-сигналов на приемник, и процессор выполнен с возможностью регулировки одного или более параметров протокола с определенным шагом после каждого свипирования.

40. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что набор ЭМ свип-сигналов содержит поднабор предопределенного набора ЭМ свип-сигналов, и генератор сигналов выполнен с возможностью отправки поднабора ЭМ свип-сигналов на приемник.

41. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что генератор выполнен с возможностью использования предопределенного по умолчанию протокола для передачи данных с помощью ЭМ телеметрии в место на поверхности, если процессор не передает протокол на генератор до предопределенного времени.

42. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что набор ЭМ свип-сигналов содержит первый ЭМ свип-сигнал, имеющий более высокую частоту, и второй ЭМ свип-сигнал, имеющий более низкую частоту, и причем процессор выполнен так, что, если первый ЭМ сигнал принят на приемнике, процессор определяет протокол на основании только первого ЭМ свип-сигнала.

43. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что система нисходящей передачи содержит одно из системы ЭМ телеметрии и системы гидроимпульсной телеметрии.

44. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что процессор выполнен с возможностью определения протокола по меньшей мере частично на основании текущего состояния заряда скважинных батарей, питающих генератор сигналов.

45. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что генератор сигналов выполнен с возможностью кодирования информации в ЭМ свип-сигналах.

46. Система ЭМ телеметрии по п. 33, отличающаяся тем, что генератор сигналов выполнен с возможностью отправки двух или более ЭМ свип-сигналов одновременно.

47. Скважинная система ЭМ телеметрии, содержащая:

контур управления,

передатчик ЭМ сигналов;

множество протоколов ЭМ телеметрии; и

один или более датчиков;

причем контур управления выполнен с возможностью приема сигналов от одного или более датчиков и применения одного из множества протоколов ЭМ телеметрии для передачи данных передатчиком ЭМ сигналов на основании принятых сигналов, причем один из принятых сигналов содержит сигнал, указывающий режим бурильных работ.

48. Способ скважинной электромагнитной (ЭМ) телеметрии при проведении работ по бурению скважины, при этом способ включает этапы:

периодической отправки набора ЭМ свип-сигналов из скважинной системы ЭМ телеметрии, расположенной в месте в скважине, на наземную систему, расположенную в месте на поверхности, причем каждый из ЭМ свип-сигналов имеет различную частоту;

определения, принят ли на наземной системе каждый из ЭМ свип-сигналов, и измерения параметров принятых ЭМ свип-сигналов для принятых ЭМ свип-сигналов, причем параметры включают по меньшей мере одно из интенсивности сигнала и отношения сигнал/шум;

определения режима бурильных работ;

определения необходимости регулировки одного или более параметров протокола для передачи скважинных данных по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов, измеренных параметров и режима бурильных работ, причем параметры протокола включают одно или более из частоты сигнала, амплитуды сигнала и схемы кодирования данных; и

настройки скважинной системы ЭМ телеметрии для передачи данных на наземную систему с помощью протокола.

49. Способ по п. 48, отличающийся тем, что включает определение по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, превышает ли интенсивность сигнала пороговое значение, и увеличение частоты сигнала, если интенсивность сигнала превышает пороговое значение.

50. Способ по п. 48, отличающийся тем, что включает определение по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, превышает ли интенсивность сигнала пороговое значение, и уменьшение амплитуды сигнала, если интенсивность сигнала превышает пороговое значение.

51. Способ по любому из п. 48 и п. 49, отличающийся тем, что включает определение по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, превышает ли интенсивность сигнала пороговое значение, и уменьшение амплитуды сигнала и увеличение частоты сигнала, если интенсивность сигнала превышает пороговое значение.

52. Способ по любому из пп. 48–51, отличающийся тем, что схема кодирования данных содержит ряд циклов ЭМ сигналов, применяемых для кодирования символов для передачи; и причем способ включает регулирование числа циклов, которые необходимо использовать для кодирования сигналов для передачи.

53. Способ по любому из пп. 48–52, отличающийся тем, что включает ожидание на скважинной системе ЭМ телеметрии нисходящей передачи от наземной системы после отправки свип-сигнала и применение параметров предопределенного по умолчанию протокола, если скважинная система ЭМ телеметрии не принимает нисходящую передачу в течение предопределенного периода времени.

54. Способ по любому из пп. 48–53, отличающийся тем, что включает автоматическую отправку ЭМ свип-сигналов в предопределенное время после отключения насосов.

55. Система ЭМ телеметрии для передачи сигналов в стволе скважины между местом на поверхности и местом в скважине, система ЭМ телеметрии содержит:

генератор сигналов, выполненный с возможностью периодической отправки набора ЭМ свип-сигналов в место в скважине;

приемник, выполненный с возможностью приема ЭМ свип-сигналов в месте на поверхности; и

процессор, соединенный с приемником и генератором сигналов, причем процессор выполнен с возможностью определения того, принят ли на приемнике каждый из ЭМ свип-сигналов в наборе, и записи параметров ЭМ свип-сигнала для каждого из принятых ЭМ свип-сигналов, причем параметры включают по меньшей мере одно из интенсивности сигнала и отношения сигнал/шум;

причем процессор дополнительно выполнен с возможностью определения режима бурильных работ;

причем процессор дополнительно выполнен с возможностью определения по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов, записанных параметров и режима бурильных работ необходимости регулировки одного или более параметров протокола для передачи данных между местом в скважине и местом на поверхности, причем параметры протокола включают одно или более из частоты сигнала, амплитуды сигнала и схемы кодирования данных; и

систему нисходящей передачи, соединенную с процессором и генератором сигналов, причем система нисходящей передачи выполнена с возможностью передачи отрегулированных параметров протокола на генератор сигналов.

56. Способ по п. 55, отличающийся тем, что процессор выполнен с возможностью определения по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, превышает ли интенсивность сигнала пороговое значение, и увеличения частоты сигнала, если интенсивность сигнала превышает пороговое значение.

57. Способ по п. 55, отличающийся тем, что процессор выполнен с возможностью определения по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, превышает ли интенсивность сигнала пороговое значение, и уменьшения амплитуды сигнала, если интенсивность сигнала превышает пороговое значение.

58. Способ по п. 55, отличающийся тем, что процессор выполнен с возможностью определения по меньшей мере частично на основании принятых ЭМ свип-сигналов и измеренных параметров, превышает ли интенсивность сигнала пороговое значение, и уменьшения амплитуды сигнала и увеличения частоты сигнала, если интенсивность сигнала превышает пороговое значение.

59. Способ скважинной электромагнитной (ЭМ) телеметрии при проведении работ по бурению скважины, при этом способ включает этапы:

настройки скважинной системы ЭМ телеметрии для передачи данных на наземную систему с помощью первого протокола, по которому передают данные

с первой скоростью передачи данных, в ответ на определение того, что бурильные работы не осуществляются, то есть отсутствует циркуляция промывочной жидкости и вращение бурильной колонны;

передачи первых данных с помощью первого протокола;

настройки скважинной системы ЭМ телеметрии для передачи данных на наземную систему с помощью второго протокола, по которому передают данные со второй скоростью передачи данных, более низкой, чем первая скорость передачи данных, после передачи первых данных; и

передачи вторых данных с помощью второго протокола.

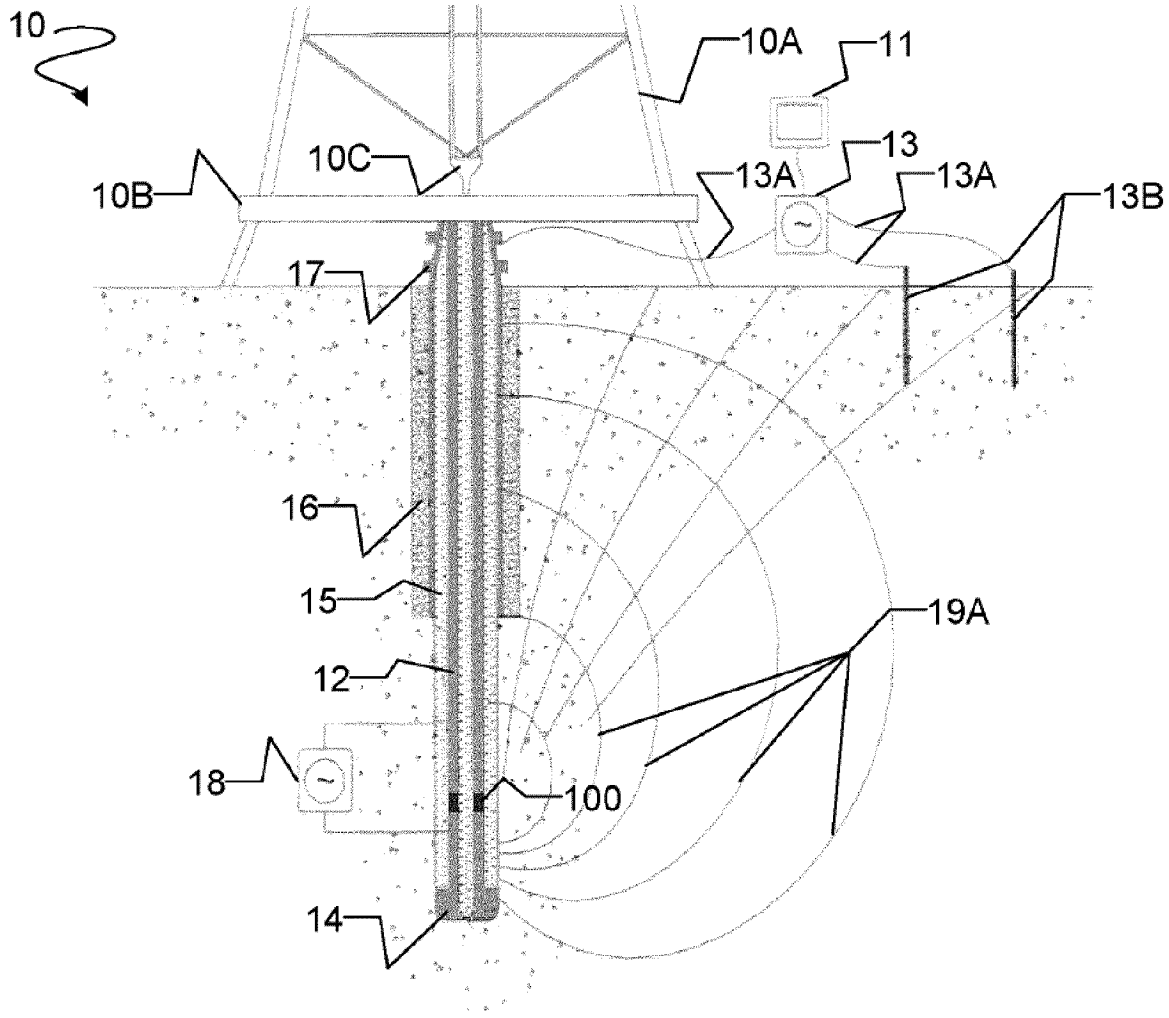
60. Способ по п. 59, отличающийся тем, что первые данные содержат данные исследования.

61. Способ по п. 59 или п. 60, отличающийся тем, что включает автоматическое переключение на второй протокол после того, как все или предопределенный объем, или часть данных исследования, доступных для передачи на скважинной системе, были переданы с помощью первого протокола.

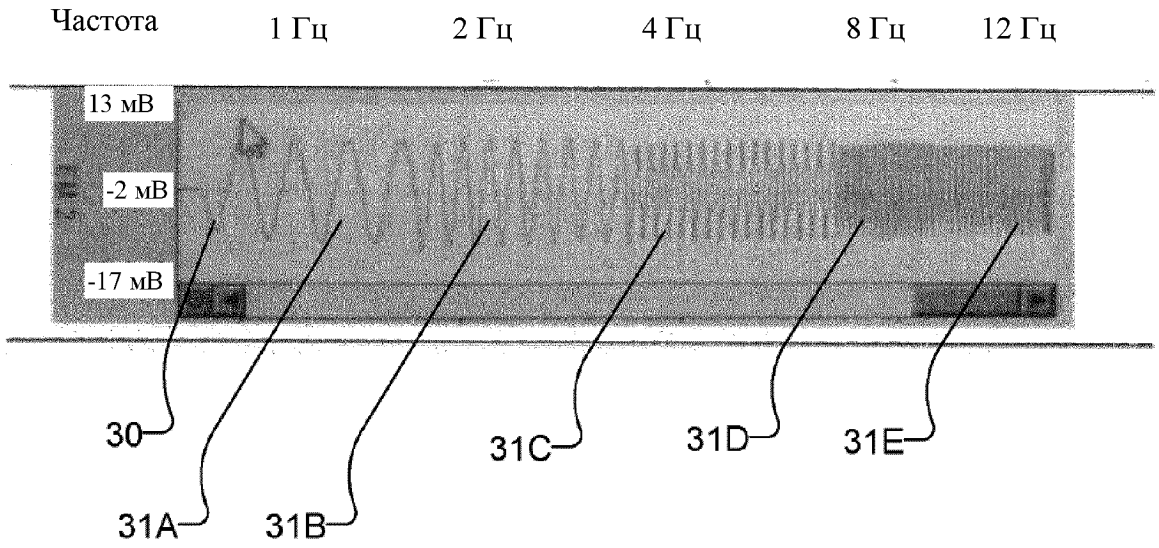
62. Способ по любому из пп. 60–61, отличающийся тем, что включает настройку скважинной системы ЭМ телеметрии для передачи данных на наземную систему с помощью первого протокола при условии наличия данных исследования, доступных для передачи на скважинной системе.

63. Способ по любому из пп. 59–62, отличающийся тем, что второй протокол использует меньшее количество электроэнергии на бит передаваемых данных, чем первый протокол.

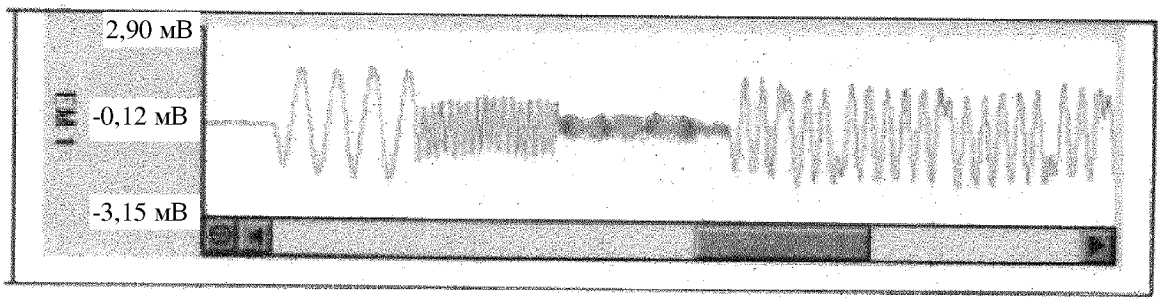
64. Способ по любому из пп. 59–63, отличающийся тем, что первый протокол использует две или более частот передачи, а второй протокол использует единственную частоту передачи.



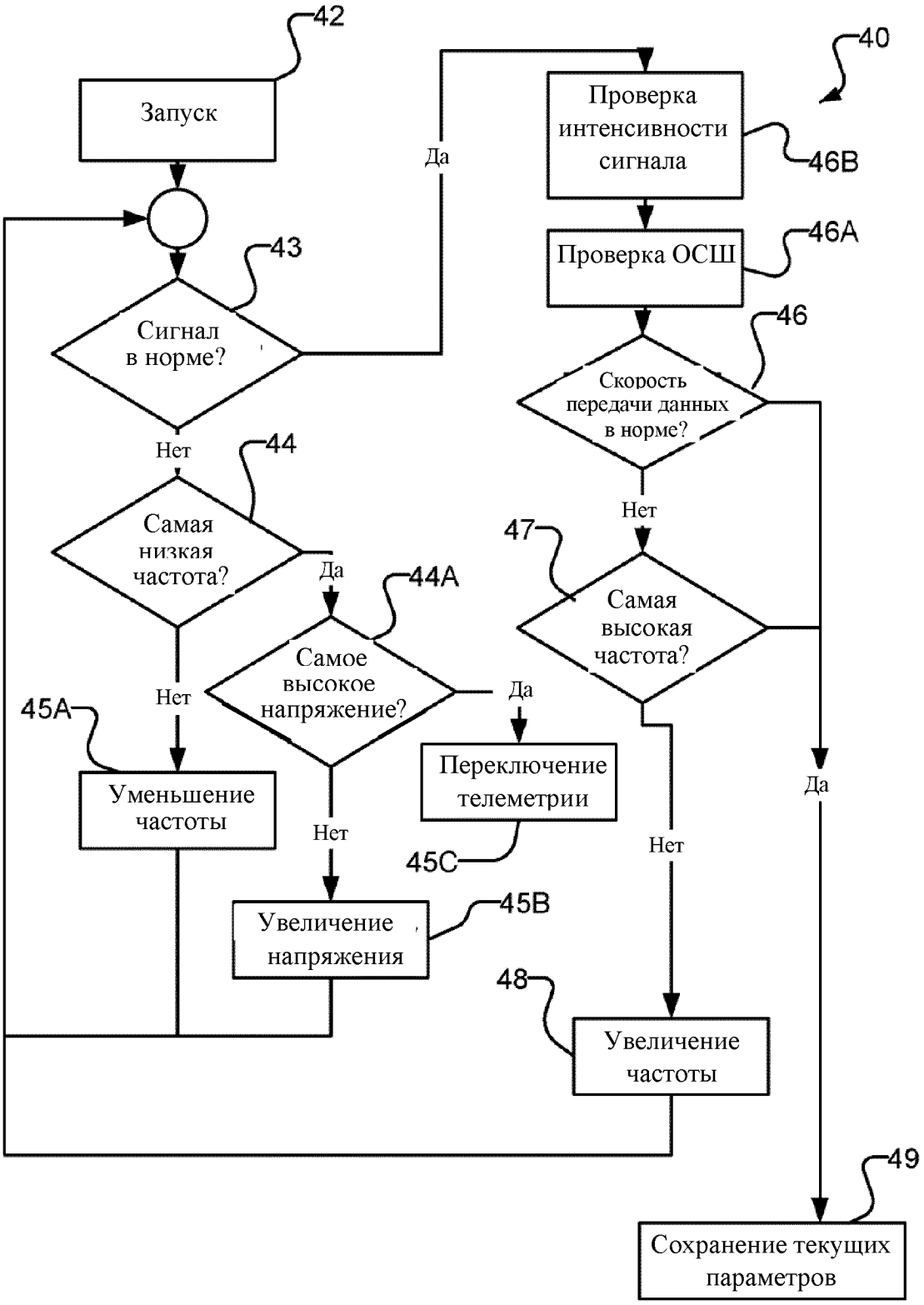
Фиг. 1


Частота
1 Гц
2 Гц
4 Гц
8 Гц
12 Гц
13 мВ
-2 мВ
-17 мВ
30
31A
31B
31C
31D
31E

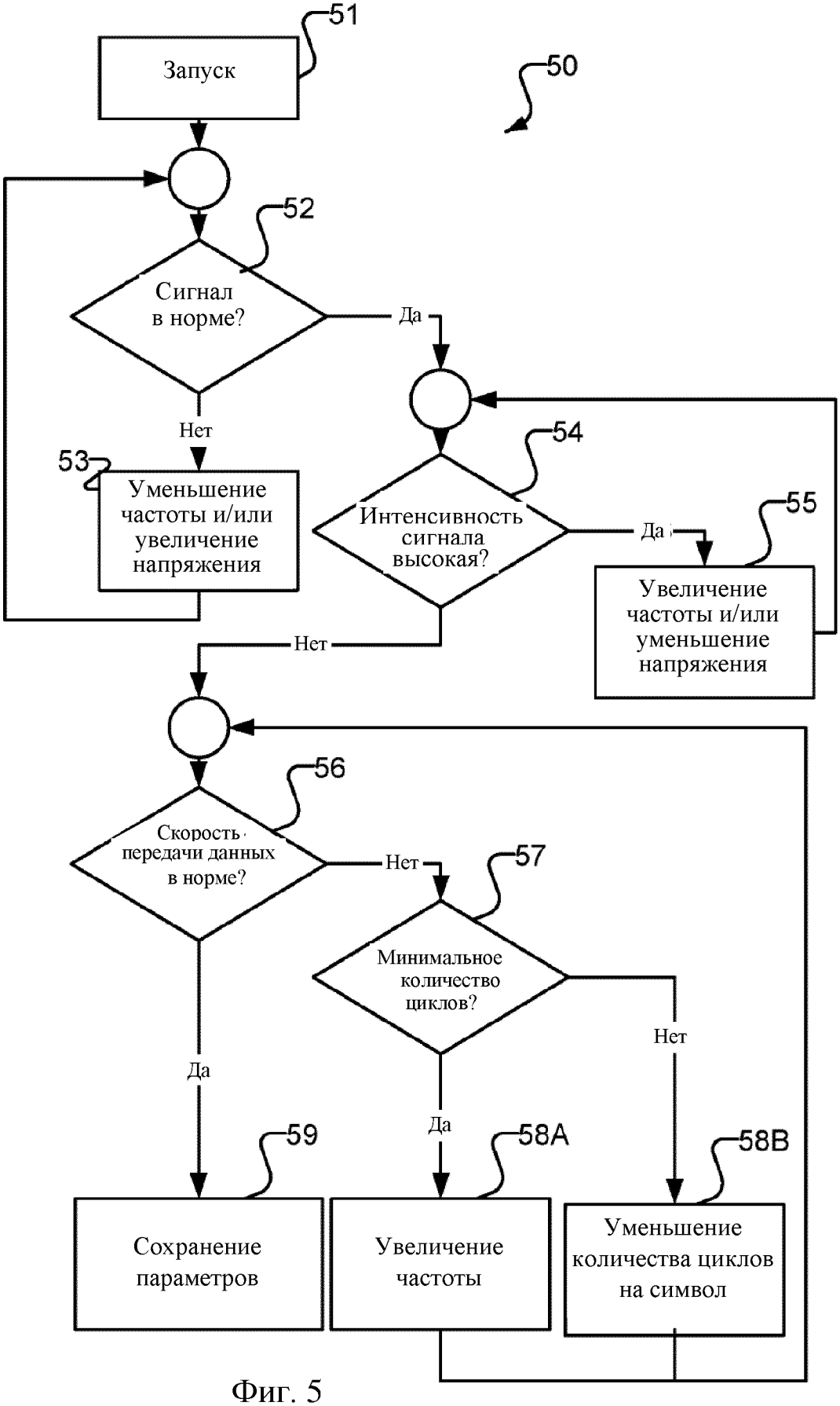
Фиг. 2


2,90 мВ
-0,12 мВ
-3,15 мВ

Фиг. 3


42
Запуск
40
Проверка интенсивности сигнала
46B
Да
Проверка ОСШ
46A
43
Сигнал в норме?
46
Скорость передачи данных в норме?
Нет
44
Самая низкая частота?
Нет
47
Самая высокая частота?
Да
44A
Самое высокое напряжение?
Да
45A
Нет
Уменьшение частоты
Переключение телеметрии
45C
Да
Нет
Нет
45B
Увеличение напряжения
48
Увеличение частоты
49
Сохранение текущих параметров

Фиг. 4


51
Запуск
50
52
Сигнал в норме?
Да
Нет
53
Уменьшение частоты и/или увеличение напряжения
54
Интенсивность сигнала высокая?
Да
55
Увеличение частоты и/или уменьшение напряжения
Нет
56
Скорость передачи данных в норме?
Нет
57
Минимальное количество циклов?
Да
Да
Нет
59
Сохранение параметров
58A
Увеличение частоты
58B
Уменьшение количества циклов на символ

Фиг. 5