

ресурсы]. URL: <http://tizpribor.com/registrator-tekhnologicheskikh-parametrov-rtp-04m>.

12. Прахова, М.Ю. Способ диагностирования обводненности газовых скважин /М.Ю. Прахова, А.Н. Краснов, Е.А. Хорошавина //Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2016. – № 3. – С. 19-26.

13. Г.Ю. Коловертнов, А.Н. Краснов, Ю.С. Кузнецов, М.Ю. Прахова, С.Н. Федоров, Е.А. Хорошавина, Автоматизация процесса удаления жидкости из газовых скважин и шлейфов, с. 70-76 № 9 сентябрь 2015 ТЕРРИТОРИЯ НЕФТЕГАЗ

14. Костиков, С.Л. Применение датчиков-сигнализаторов выноса песка и капельной влаги для мониторинга режимов работы скважин подземных хранилищ газа / С.Л. Костиков и др. // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2016. – № 2. – С.190-210. URL:

http://ogbus.ru/issues/2_2016/ogbus_2_2016_p190-210_KostikovSL_ru.pdf

15. Эксплуатация газовых скважин в условиях активного водо- и пескопроявления Д.В. Изюмченко, Е.В. Мандрик, С.А. Мельников, А.А. Плосков, В.В. Моисеев, А.Н. Харитонов, С.Г. Памужак Научно-технический сборник · ВЕСТИ ГАЗОВОЙ НАУКИ № 1 (33) / 2018 С. 235-242

16. Леднев Д. М. Адаптация акустических датчиков-сигнализаторов выноса песка и капельной влаги ДСП-АКЭ-2 на технологических нитках газосборных пунктов подземного хранилища газа/ Леднев Д. М., Магомедов З. А., Назаров С. И., Токарев Е. Ф., Тябликов А. В., Костин Н.С. //Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2017. С. 144-160 №1 URL: <http://ogbus.ru>

TRANSMISSION OF INFORMATION IN CONTROL SYSTEMS AND DRILLING PROCESS CONTROL

Emets S.

can. of tech. sci., associate professor of the Department of Automation, Telecommunications and Metrology Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

Krasnov A.

can. of tech. sci., associate professor of the Department of Automation, Telecommunications and Metrology Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

Prakhova M.

associate professor of the Department of Automation, Telecommunications and Metrology Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

Kalashnik Yu.

senior lector of the Department of Automation, Telecommunications and Metrology Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ БУРЕНИЯ

Емец С.В.

канд.техн.наук, доцент кафедры автоматизации, телекоммуникации и метрологии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Краснов А.Н.

канд.техн.наук, доцент кафедры автоматизации, телекоммуникации и метрологии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Прахова М.Ю.

доцент кафедры автоматизации, телекоммуникации и метрологии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Калашник Ю.В.

ст. преподаватель кафедры автоматизации, телекоммуникации и метрологии ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

DOI: 10.24412/3453-9875-2021-73-1-59-64

Abstract

The article provides an overview and analysis of existing technical solutions in the field of construction of downhole telemetry systems and trends in their development.

Аннотация

В статье приведен обзор и анализ существующих технических решений в области построения систем скважинной телеметрии и трендов их развития.

Keywords: Information system, communication channel, drilling.

Ключевые слова: Информационная система, канал связи, бурение.

Введение

Любая система автоматизации основана на передаче информации и энергии между ее отдельными компонентами. От расположенных на объекте датчиков информация поступает в блок управления, который, в свою очередь, посылает команды на исполнительные устройства. Организация каналов связи имеет большое значение для эффективности всей системы, т.к. их характеристики влияют как на достоверность передаваемой информации, так и на скорость ее передачи.

Автоматизация процессов бурения развивалась с некоторым запаздыванием по отношению к другим технологическим процессам нефтегазовой промышленности, что связано со сложностью этого процесса. Для нормального функционирования системы автоматического управления (САУ) необходима информация, измеряемая как непосредственно на устье скважины, так и получаемая с забоя скважины. К первой группе относятся такие режимные параметры, как осевая нагрузка на долото, частота вращения долота, расход и параметры качества (плотность, вязкость, водоотдача, содержание песка и т.д.) бурового раствора. Параметры второй группы, измеряемые на забое инклинометрами и средствами каротажа, необходимы для контроля пространственного положения скважины относительно геологических объектов в процессе бурения, обоснования решений по изменению траектории скважины в зависимости от изменяющихся геологических условий скважины прямо в процессе бурения и оперативного получения данных для количественной оценки параметров пласта и его коллекторских свойств.

Соответственно, для успешной автоматизации бурения с помощью забойных телеметрических систем (ЗТС) было необходимо решить две проблемы. Во-первых, создать датчики, способные надежно работать в «недружелюбной» среде с высоким уровнем вибрации от механического оборудования, температурой, давлением, абразивным действием бурового раствора и т.п. с заданной точностью. Во-вторых, построить не менее надежный канал передачи этой информации на устье скважины с минимальными искажениями. Именно вторая задача долгое время была камнем преткновения при развитии телеметрических систем контроля скважинных параметров [1]. Да и в настоящее время ее нельзя назвать полностью решенной, что доказывает большое количество патентов по данной тематике.

Также необходимо отметить, что до недавнего времени для проведения любых исследований на забое процесс бурения приходилось останавливать. Сравнительно недавно появились телеметрические системы измерений *Measurement while drilling* (MWD, *измерение в процессе бурения*) и каротажа *Logging while drilling* (LWD, каротаж во время бурения), позволяющие получать всю необходимую информацию без остановки процесса [2, 3, 4].

В бескабельных ЗТС информация непрерывно передается на поверхность по колонне бурильных

труб в виде электромагнитных, акустических или гидравлических сигналов.

В статье приведен обзор и анализ существующих технических решений в области построения систем скважинной телеметрии и трендов их развития.

Каналы связи, используемые в скважинной телеметрии

Как уже отмечалось, именно канал связи (КС) определяет успешность работы ЗТС, и именно он создает наибольшие затруднения при ее разработке. От выбора КС прежде всего зависит объем информации, передаваемый в реальном масштабе времени, а также надежность и эксплуатационные качества всей ЗТС [2].

Для построения любого канала связи необходим источник (передатчик) информации, ее получатель (приемник) и линия связи между ними. Конкретное построение этих компонентов определяется физическим принципом, на котором построена передача информации (носителем сигнала). Обмен информацией между забоем и устьем скважины (земной поверхностью) может происходить посредством:

- электрических сигналов, передаваемых по проводным линиям связи (геофизический кабель или силовой кабель электробура);
- гидравлических импульсов, создаваемых в промывочной жидкости;
- акустических импульсов, создаваемых в металле трубы или также в промывочной жидкости;
- электромагнитных колебаний, распространяемых по горной породе, окружающей скважину, либо по бурильной трубе;
- радиоволн, также распространяемых по горной породе, окружающей скважину, либо по бурильной трубе.

Проводной канал может быть непрерывным, разъемным или представлять собой смешанное кабельное соединение [5].

Преимущества данного канала, такие как двусторонняя передача данных с высокой скоростью, помехозащищенность, нечувствительность к свойствам породы и бурового раствора, позволяют ему до сих пор сохранять конкурентоспособность. Длительное время основными недостатками этого канала были отсутствие возможности вращения бурильной колонны и проблемы, связанные с самим кабелем, а именно вероятность его механического повреждения и сложность наращивания.

Эта проблема (обеспечение возможности вращения) в итоге была решена, но недостаток, обусловленный сложностью межсекционных соединений в проводных (кабельных) системах, остался. Кабельный канал рекомендуется использовать для скважин глубиной до 6000 м в связи с уменьшением надежности системы при увеличении количества бурильных труб [6].

Гидравлический КС использует для передачи информации существующую в процессе бурения

среду – столб бурового раствора в бурильной колонне, что является его неоспоримым преимуществом [2].

Он является наиболее востребованным каналом связи, т.к. обладает большой дальностью действия, практически не требует дополнительных затрат на организацию канала связи (за исключением специального устройства, генерирующего в потоке бурового раствора импульсы давления). Эти устройства могут создавать сигналы трех типов: положительный импульс, отрицательный импульс или непрерывная волна. Положительный импульс создается кратковременным частичным перекрытием нисходящего потока бурового раствора, отрицательные – кратковременным перепуском части жидкости в затрубное пространство через боковой клапан, а сигналы, близкие к гармоническим, – с помощью электродвигателя, вращающего клапан пульсатора.

Скорость распространения гидравлических импульсов составляет порядка 90 – 150 м/с, что обуславливает низкую скорость передачи информации, типичная частота импульсов не превышает 100 Гц. Способы модуляции сигнала могут быть различными, однако сама природа канала связи предполагает только последовательную передачу информации.

В акустическом канале связи используются звуковые колебания, распространяющиеся в скважине по промывочной жидкости (гидроакустический КС), колонне бурильных труб (акустомеханический КС) или окружающей породе (сейсмический КС). Основной проблемой при использовании этого канала связи является наличие существующих вибраций в бурильной колонне из-за процесса бурения, что серьезно затрудняет обнаружение сигналов, передаваемых таким образом.

Акустический канал является наименее изученным и, как следствие, относительно редко используемым.

Электромагнитный канал связи использует для передачи информации электромагнитные волны. Они могут распространяться между изолированным участком колонны бурильных труб и породой. В этом случае на поверхности земли сигнал принимается как разность потенциалов от растекания тока по горной породе между бурильной колонной и приемной антенной, устанавливаемой в грунт на определенном расстоянии от буровой установки. Эти колебания могут также распространяться по колонне бурильных труб.

По простоте конструкции глубинных и наземных устройств, надежности деталей забойных устройств, контактирующих с абразивным потоком бурового раствора, пропускной способности он является наиболее перспективным при организации устойчивой связи «забой – устье» как при турбинном, так и при роторном бурении скважин. Кроме того, этот канал обеспечивает передачу информации в обоих направлениях.

К недостаткам электромагнитного канала относятся слабая помехоустойчивость, сложность установки антенны, зависимость дальности связи

от электрофизических свойств и чередования слоев горных пород. Этот канал неприменим для подводных месторождений и соленосных отложений.

Использование электромагнитного канала связи возможно в скважинах глубиной до 3500 м [6].

Надо отметить, что приведенная классификация каналов связи, как любая классификация, достаточно условна. На разных участках скважины используют ЗТС с разным типом каналов связи, выбирая тот канал, который обеспечивает наилучшие результаты. Например, на верхних участках используют электромагнитные КС, а на нижних – гидравлические.

Анализ технических решений по модернизации каналов связи

Проводной канал, реализуемый посредством размещения кабеля в бурильных трубах, используется очень давно. Патент США № US4126848 защищает систему телеметрии бурильной колонны, в которой для передачи данных из призабойной зоны ствола скважины на промежуточную позицию в бурильной колонне используется проводная линия связи, выполненная в виде бронированного электрического кабеля. Далее, для передачи информации с промежуточной позиции на поверхность земли, используется специальная бурильная колонна, имеющая изолированный электрический проводник [7]. В патенте США № US3696332 [8] предлагается конструкция кабельной секции с кольцеобразными электрическими контактными соединителями. Похожую кабельную систему для телеметрии в стволе скважины защищают патенты США и Европы № US3957118 [9], № US3807502 [10], № US4806928 [11], № EP0539240A3 [12], описывающие способы установки электрического проводника (кабеля) в бурильной колонне из стандартных буровых беспроводных труб.

Разновидностью проводного канала являются системы передачи сигналов через колонну проводных буровых труб, использующие индуктивные коммутационные устройства. Такие системы тоже используются очень давно, например, этот принцип реализован в патенте США № US2379800 [13]. Тем не менее системы постоянно совершенствуются – например, патент № WO2002006716A1 [14].

В патенте РФ № RU2384702C2 [15] предлагается с помощью дополнительных адаптерных проводников, соединенных кабелем, образовать второй коммутационный канал. Один адаптерный переводник подсоединяется между секцией проводных буровых труб и беспроводной секцией бурильной колонны, посредством чего беспроводная секция бурильной колонны преобразуется в кабельную секцию при помощи второго коммуникационного канала. Предложенное решение повышает надежность и быстродействие телеметрической системы за счет снижения вероятности отказов в системе проводных буровых труб.

Кроме технических решений, направленных непосредственно на усовершенствование проводного канала, патенты защищают решения, связан-

ные с диагностикой его состояния. Например, в патенте № RU2436109C2 [16] предлагается способ определения электрического состояния кабельной бурильной трубы путем возбуждения электромагнитного поля, по меньшей мере, в одном звене кабельной бурильной трубы. Напряжения, возбужденные протекающим электрическим током, регистрируются, и по их значениям определяется электрическое состояние.

Электромагнитный канал, так же, как и кабельный, используется достаточно широко. Технические решения, защищаемые патентами, имеют различные векторы – это и конструктивные элементы каналов связи (полезная модель № RU90124 [17]), и система, позволяющая через электромагнитный канал связи при бурении нескольких стволов управлять устройством одного из стволов из другого (патент № EP 0918136A1 [18]).

В некоторых патентах предлагаются решения, направленные на создание такой комбинации каналов, которая повышает надежность или быстроту передачи без существенного усложнения конструкции. Так, например, в патенте № US20120256759A1 [19] предлагается в тех ситуациях, когда электрофизические свойства породы обеспечивают высокую эффективность электромагнитного КС, преобразовывать импульсы давления обычного гидравлического канала связи в электромагнитный сигнал и передавать на поверхность, повышая тем самым скорость передачи данных.

В патенте № RU49898 [20] решается обратная задача, а именно повышение надежности получения забойной информации от скважинного прибора с электромагнитным каналом связи в неблагоприятных для прохождения электромагнитного сигнала условиях: при бурении на больших глубинах, при наличии экранирующих пластов с высокой проводимостью или при наличии помех от работающего наземного бурового оборудования. Для достижения заявленного результата телеметрическая система, имеющая стандартный электромагнитный канал, дополнительно содержит передатчик, формирующий гидравлические импульсы (пульсатор), соответствующие электромагнитному сигналу. Наземное приемное устройство соединено с датчиком давления промывочной жидкости и/или с наземной антенной. Таким образом, передача данных осуществляется по тому каналу, который оптимален для текущих условий бурения.

Усовершенствование гидравлического КС присутствует во многих патентах, защищающих преимущественно конструкции устройств для создания импульсов давления в промывочной жидкости. Цель таких изобретений – повышение скорости передачи и уменьшение влияния помех от работы самого бурового насоса.

В качестве примера можно привести европейский патент № EP0588389B1 [21]. В защищаемой им микропроцессорной системе использован метод преобразования сигнала, включающий получение выборки шума в системе, его спектральный анализ (т. е. преобразование Фурье шума) и выбор рабочей несущей частоты для кодирования сигнала фазовой

модуляцией на частоте с относительно небольшим шумом. Таким образом, соотношение сигнал/шум в системе эффективно увеличивается. Импульсы создаются пульсатором на основе двигателя постоянного тока с магнитным позиционером на вращающемся компоненте приводного вала. Магнитный позиционер гарантирует, что после выключения системы ротор повернут в полностью открытое положение, в котором буровой раствор течет относительно беспрепятственно, т.е. предотвращается заклинивание и / или потеря мощности. Предусмотрена реализация алгоритмов защиты от помех и от заклинивания.

Как уже отмечалось, акустический КС используется сравнительно редко, соответственно, исследованиями этого канала занимается ограниченное число компаний. Среди зарубежных компаний, развивающих телесистемы с акустическим каналом связи, можно отметить американскую компанию *Halliburton Energy Services, Inc.*

Поскольку основной проблемой при реализации акустического КС является влияние посторонних шумов, практически все патенты направлены на уменьшение или устранение этого влияния. Так, в американском патенте № US4282588 [22] представлена система передачи акустических данных, в которой акустические волны связаны с бурильной колонной. Широкополосный шум, генерируемый самим бурением, удаляется механическим фильтром. Кроме того, частота акустической волны выбирается также из условия минимизации загрязнения шумом. В патенте № US4878206 [23] для подавления шума в сигнале импульса давления, полученном в MWD, опорный сигнал, соответствующий шуму, получают при измерении колебаний бурильной колонны вблизи поверхности.

Еще один вариант шумоподавления предложен в европейском патенте № EP 1185761 [24]: в этой акустической телеметрической системе предложено использовать для получения информационного и опорного сигнала различные режимы передачи: информационный сигнал распространяется и улавливается в осевом режиме передачи, а шум в крутильном режиме используется как опорный сигнал для снижения шума.

В телеметрической акустической системе с высокой скоростью передачи данных по европейскому патенту № EP1230464B1 [25] обеспечивается скорость передачи данных на один или два порядка выше, чем в существующих системах акустической телеметрии. Это достигается за счет нескольких оригинальных технических решений: размещение передатчика и приемника на определенном расстоянии от конца колонны насосно-компрессорных труб, которое связано с длиной волны сигнала несущей частоты конкретными расчетными зависимостями; фильтрация принятого сигнала; использование для частотного мультиплексирования сигналов телеметрии несколько несущих частот.

Как и в случае с другими каналами, акустический КС может использоваться в комбинации с другими. Например, в патенте РФ № RU2584168 [26] акустический канал используется как своеобразная

вставка в кабельный КС, чтобы избежать использования каротажного кабеля с «мокрым» контактом.

Беспроводной канал связи, в котором используется электромагнитный сигнал (ЭМС), реализуется в ЗТС наиболее разнообразно – и в качестве полностью беспроводного, и в составе комбинированных каналов, где беспроводная передача информации реализована на отдельных участках тракта.

Например, в полезной модели № RU95200 [27], передача электромагнитного сигнала базируется на использовании набора резонансных колебательных контуров, установленных по всей длине скважины и связанных друг с другом, например, посредством взаимной индукции. Гармонически меняющееся напряжение, приложенное к первому колебательному контуру, например, находящемуся на устье скважины, после определенного времени достигает остальных контуров, расположенных в скважине. Таким образом, образуется система связанных друг с другом резонансных колебательных контуров, где напряжение и ток изменяются на одной частоте. Энергия, накопленная в каждом из контуров при установившихся колебаниях, будет зависеть от добротности этого контура и величины связи с остальными контурами. Эту энергию можно использовать для питания приборов, находящихся в скважине.

Передача информации осуществлена посредством модулирования колебаний. В случае, когда информация в рассматриваемой системе поступает с поверхности в забойную зону, модулируют прикладываемый сигнал. Если необходимо передать информацию из забойной зоны на поверхность, колебания всего набора связанных контуров могут быть промодулированы контуром, находящемся в забойной зоне и связанным, например, с измерительным прибором.

Техническое решение, защищаемое патентом РФ № RU2574647 [28], имеет своей целью обеспечение точного и надежного обмена информацией между скважинным оборудованием и наземными системами регистрации и управления без «мокрого» контакта геофизического кабеля со скважинным прибором. Для этого на приемно-передающее устройство предвительно устанавливают малогабаритную антенну и преобразователь спектра сигналов, а скважинное устройство оснащают ответной малогабаритной антенной и ответным преобразователем спектра сигналов. Передачу информации осуществляют по кабельно-магнитному каналу связи, при этом считываемый и передаваемый в коде Манчестер-2 спектр информации между приемно-передающим устройством и комплексным скважинным устройством в процессе работы переносят в высокочастотную область и обратно.

Каналы связи «забой – устье», объединенные с наземной сетью

подавляющее большинство патентов, связанных с телеметрическими системами контроля процесса бурения, связано с организацией каналов связи внутри самой скважины. Вероятнее всего, это связано с тем, что бурение скважины является достаточно обособленным бизнес-процессом, по

сравнению, например, с добычей нефти или газа. Однако цифровизация позволяет создавать информационные системы, объединяющие несколько буровых площадок для онлайн мониторинга производственного процесса. Примером такой системы может служить информационная система «Удаленный мониторинг бурения» (ИС УМБ), разработанная компанией ОАО «ОЭГ «Петросервис» совместно с ООО «ЛУКОЙЛ-Информ» для обеспечения оперативного контроля удаленных объектов и информационно-аналитической поддержки управленческих решений, направленных на повышение качества и минимизацию затрат строительства скважин.

Некоторые такие системы защищены патентами, например, патент США № US20080007421A1 [29], патент РФ № RU82759 [30], европейский патент № EP1124211A2 [31]. Во всех этих патентах информация с устья скважины передается управляемому объекту по радиоканалу.

Выводы

Проведенные патентные исследования показали, что в настоящее время в ЗТС используются преимущественно гидравлические и электромагнитные каналы связи. В качестве основного тренда можно отметить стремление компаний к использованию на разных участках скважины ЗТС с различными каналами связи, чтобы обеспечить максимальную эффективность каждого канала. Примером такого решения является использование в ЗТС с беспроводным каналом короткого кабельного участка в том месте, где наиболее вероятны помехи, либо, наоборот, беспроводной передачи в тех местах, где кабель неудобен.

Также успешно используются системы, в которых информация с устья скважины поступает далее в наземную информационную сеть и передается в офис буровой компании в двух режимах: режиме реального времени и режиме пакетной передачи данных. Данные реального времени передаются с частотой, определяемой характеристиками системы сбора информации и пропускной способностью канала связи.

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» – соисполнителе НИОКТР «Комплект модулей устьевого оборудования комплекса высокоскоростного канала передачи данных в процессе бурения» при финансовой поддержке Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. N 218

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Стукач, О. В. Разработка новой телесистемы для передачи данных по радиоканалу в процессе бурения скважин / О.В. Стукач, А.Б. Мирманов, А.С. Гопоненко, В.А. Кочумеев // Вестник науки Сибири. 2014. № 1 (11). С. 76–83.
2. Молчанов, А.А. Геофизические исследования горизонтальных нефтегазовых скважин / Молчанов А.А., Лукьянов Э.Е., Рапин В.А.; под ред.

Молчанова А.А. – СПб.: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы, 2001. – 298 с.

3. Stephen Prensky. Recent advances in LWD/MWD and formation evaluation // World Oil. – March 2006. – P. 69–75.

4. D.V. Ellis, J.M. Singer. Well Logging for Earth Scientists. – Springer, 2008.

5. Four Different Systems Used for MWD, W.J.McDonald, The Oil and Gas Journal, pages 115-124, April 3, 1978

6. Юсупова, Г. И. Анализ каналов связи «забой — устье» / Г. И. Юсупова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2021. — № 13 (355). — С. 48-51. — URL: <https://moluch.ru/archive/355/79466/> (дата обращения: 31.10.2021).

7. Early B. Denison. Drill string telemeter system // Патент № US4126848, 1978.

8. Leon L. Dickson, Jr., Emmett G. Ward. Telemetering drill string with self-cleaning connectors // Патент США № US3696332, 1972.

9. Adelbert Barry, Leon H. Robinson, Jerry M. Speers. Cable system for use in a pipe string and method for installing and using the same // Патент № US3957118, 1976.

10. Joe Keith I-leilhecker; Donald Bayne Wood. Method for installing an electric conductor in a drill string // Патент № US3807502, 1974.

11. Anthony F. Veneruso. Apparatus for electromagnetically coupling power and data signals between well bore apparatus and the surface // Патент № US4806928, 1989.

12. Hajime, Yuasa, Kazuho C/O Akishima Lab. Hosono (Mitsui Zosen) Inc. Measurement-while-drilling system // Патент № EP0539240A3, 1997.

13. Donald G C Hare. Signal transmission system // Патент № US2379800A, 1945.

14. David R. Hall, H. Tracy Hall, Jr. David Pixton, Scott Dahlgren, Joe Fox. Data transmission system for a string of downhole components // Патент № WO2002006716A1, 2002.

15. Бойл Брюс В., Пако Николая, Аш Жан-Мишель, Ютен Реми, Мадхаван Рагху, Жюнд Жак. Кабельный коммуникационный канал и система телеметрии для бурильной колонны и способ бурения скважин (варианты) // Патент № RU2384702C2, 2005.

16. Сантосо Дэвид, Рендусара Дуди, Накадзима Хироси, Чадха Кану, Мадхаван Рагху, Хватум Лиз. Способ и прибор для определения местоположения неисправности в кабельной бурильной трубе // Патент № RU2436109C2, 2011.

17. Васильев С.И. Телеметрическая система с электромагнитным каналом связи // Патент № RU90124, 2009.

18. Harrison C. Smith. Adjacent well telemetry system and method for use of the same // Патент № EP0918136A1, 1998.

19. John Petrovic, Victor Petrovic, Matthew R. White, Neal P. Beaulac. System and method for downhole telemetry // Патент № US20120256759A1, 2012

20. Давыдов К.А., Журавлев Н.В.. Бескабельная телеметрическая система // Патент № RU49898, 2005

21. David Malone. Logging-while-drilling tool // Патент № EP0588389B1, 1997.

22. Gary J. Chanson, Alexander M. Nicolson. Resonant acoustic transducer and driver system for a well drilling string communication system // Патент № US4282588, 1981.

23. Donald S. Grosso, Thomas M. Bryant, Mitchell S. Gershonowitz. Method and apparatus for filtering noise from data signals // Патент № US 4878206, 1989.

24. Wallace R. Gardner, Vimal V. Shah, John W. Minear. Acoustic telemetry system with drilling noise cancellation // Патент № EP1185761, 2006.

25. Wallace R. Gardner, Vimal V. Shah. High data rate acoustic telemetry system // Патент № EP1230464B1, 2007.

26. Коровин В. М., Садрутдинов Р. Р., Шилов А. А., Исламов А. Р., Сулейманов М. А. Способ бесконтактной телеметрии скважин и телеметрическая система для его реализации // Патент № RU2584168, 2016.

27. О. Н. Журавлев. Система беспроводной передачи энергии и/или информации для контроля и/или управления удаленными объектами, размещенными в скважине // Патент № RU95200, 2010.

28. Способ бесконтактной телеметрии скважин и телеметрическая система для его реализации // Патент № RU2574647, 2016.

29. Ce Liu, Jing Li. Measurement while-drilling (MWD) telemetry by wireless MEMS radio Units // Патент № US20080007421A1, 2012.

30. Алимбеков Р.И., Валитов Р. А., Енгалычев И. Р., Мулюкин В. А., Нугаев И. Ф., Шулакова М. А.. Система автоматизированного управления бурением скважин // Патент № RU82759, 2008.

31. Scott Charles Evans, David Michael Davenport, John Erik Hershey, Harold Woodruff Tomlinson, Jr. Ralph Thomas Hoctor, Stephen Michael Hladik, Kenneth Brakeley Ii Welles. Wireless telemetry system integrated with a broadband network // Патент № EP1124211A2, 2001.