

УДК 550.82

Постнов А.А., ведущий инженер, [alexposts@yandex.com](mailto:alexposts@yandex.com)

Институт Коммуникаций и Информационных Технологий КРСУ

## ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛЕЗНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПИТАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ ДАТЧИКОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В ПЕРЕДАЧЕ ТЕЛЕМЕТРИИ БУРОВЫХ РАБОТ

В данной статье были проанализированы современные методы получения полезной энергии для питания электронных схем беспроводных датчиков в условиях отсутствия или невозможности использовать стационарный источник питания или химический источник тока. При проведении буровых и некоторых других горных работах такие случаи наступают тогда, когда датчик находится в труднодоступном или быстро подвижном механизме, а подвод сигнального кабеля затруднен или невозможен.

**Ключевые слова:** буровые станки для БВР, датчик оборотов вращения штанги, питание от энергии полезного сигнала, методы получения полезной энергии без использования внешних источников питания, беспроводной датчик.

### Введение

В современной добывающей промышленности, как открытого типа, так и в подземных выработках, важную роль занимают буровзрывные работы. Это комплекс производственных процессов для планирования, подготовки и закладки взрывных скважин во взрываемый блок в горном массиве, а так же проведение массового взрыва с целью воздействия на горные породы - дробления, рыхления, перемещения и т.п. Произведением буровых работ на карьерах и подземных выработках занимаются станки буровые шарошечные, вращательного бурения. Кроме буровзрывных работ, буровыми работами в горном деле заняты так же и станки геологической разведки.

На рис. 1 представлена классификация буровых станков для открытых горных работ [1].

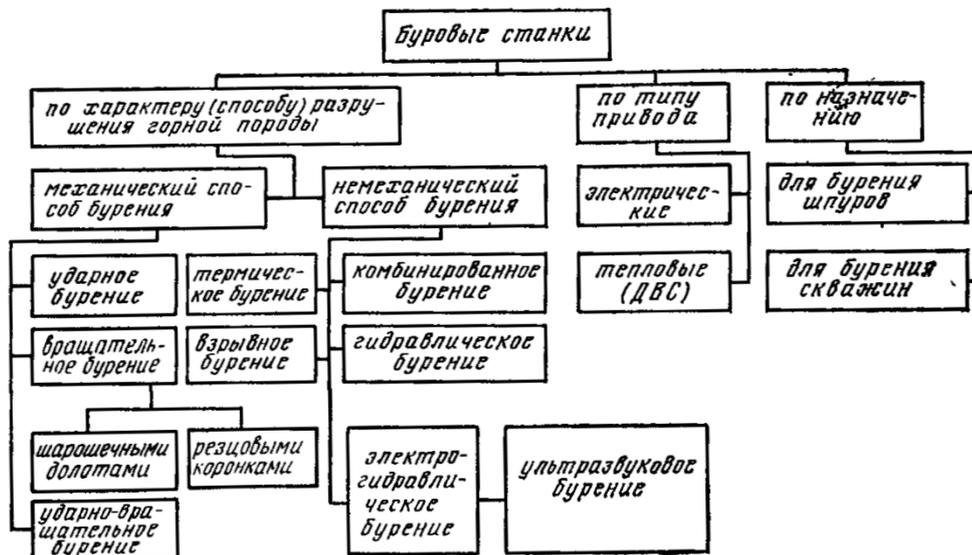


Рисунок 1 – Классификация буровых станков для открытых горных работ.

По характеру разрушения горной породы, большое распространение имеют вращательное и ударно-вращательное бурение. Такие буровые станки представляет собой самоходную гусеничную машину с буровой мачтой, силовой установкой, несущей рамой, кабиной машиниста и различными системами (управления, воздухоподготовки, смазки, пожаротушения и т.д.). По типу привода (силовой установки) буровые станки разделяют на электрические и тепловые (с приводом от ДВС). Кроме перечисленных элементов, важной составляющей в работе станка составляет система электронных датчиков физических параметров процесса бурения. Эти параметры, во-первых, позволяют контролировать чтобы

в процессе работы буровой станок не вышел за пределы паспортных характеристик, во-вторых, позволяют оптимизировать процесс бурения и свести к минимуму такие непроизводительные процессы как перегрузка буровой установки, чрезмерный износ бурового инструмента, закусывание, явления резонанса и т.п.

Обобщая виды датчиков, наиболее важных для контроля за работой буровой установки, можно выделить для станков с гидравлическим приводом следующую группу датчиков [2]:

- датчик глубины – определение глубины погружения бурового инструмента
- датчик оборотов – частоты вращения вращателя (бурового инструмента) в об/мин
- датчик осевого усилия – абсолютного давления в гидравлической магистрали цилиндров подачи вращателя
- датчик давления вращения – абсолютного давления в гидравлической магистрали гидродвигателя вращателя
- датчик давления воздуха продувки – абсолютного давления воздушной или водовоздушной смеси, используемой для продувки шлама из обуриваемой скважины или же энергии давления сжатого воздуха, используемой для полезной работы пневмо-ударного инструмента
- датчики учета и наблюдения за силовой установкой (учет расхода топлива и диагностика ДВС)
- прочие датчики (системы диагностики, системы подачи воды и пр.)

Если говорить о буровых станках с электрическим приводом, то в целом набор перечисленных датчиков похож на гидравлический, однако в качестве вращателя используется электрический двигатель. Поэтому вместо гидравлического датчика давления вращения – могут быть использованы датчики в силовой цепи электропитания вращателя (электромотора), а в качестве силовой установки будут выступать связка «трансформатор питания – электромотор – редуктор».

Кроме упомянутых систем и датчиков, современные буровые станки оснащаются как штатными системами автоматизации процесса бурения, так и системами сторонних производителей. К таким системам относятся системы высокоточной навигации, слежения за приближением к опасным объектам (откосы, борты, персонал и пр.), системы аутентификации и цифровой подписи, цифровые шины диагностики двигателя и др.

Отдельно стоит отметить, что все больший интерес набирают системы компьютеризированного управления станка и роботизации. Известны примеры карьеров, где большая часть буровых работ производится полностью без участия людей или с их минимальным привлечением. Например, один оператор управляет группой буровых станков. Такая глубокая степень автоматизации бурового оборудования требует безотказной работы всех перечисленных датчиков бурового станка.

На рис. 2 представлен общий вид бурового станка шарошечного с гидравлическим приводом СБШ250-40 ДГ, где 1 – силовая установка, 2 – мачта с буровым инструментом и оборудованием, 3 – буровые штанги в кассете, 4 – вращатель, 5 – рама на гусеничном ходу, 6 – кабина оператора.

Одним из таких датчиков является датчик частоты оборотов бурового инструмента, который находится внутри редуктора вращателя 4.

Датчик оборотов устанавливается в тело вращателя (редуктора) в непосредственной близости от зубьев ведущей шестерни. В следствии явления электромагнитной индукции датчик генерирует сигнал с частотой пропорциональной частоте вращения ведущей шестерни. В штатном исполнении, от индуктивного датчика частоты оборотов до индикатора в кабине машиниста, проложен сигнальный кабель. Не смотря на комплекс защитных мер, кабель, в следствии постоянных скручивающих, изгибающих и растягивающих усилий быстро выходит из строя. И, соответственно, перестают поступать данные о частоте оборотов вращения бурового инструмента. Что является критичным отказом, особенно для систем с компьютеризацией, роботизацией и для оптимизации

режимов бурения. Кроме этого, важными критериями являются точность и частота получаемых данных от этого датчика.

Поэтому, для подобных систем, работающих в тяжелых, труднодоступных или не имеющих возможности использовать проводную передачу полезного сигнала датчика, предлагаем рассмотреть методы получения полезной энергии для питания беспроводных датчиков без использования внешних источников питания.

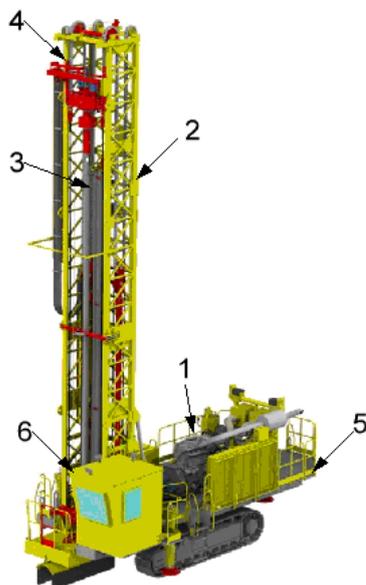


Рисунок 2 – Общий вид бурового станка шарошечного с гидравлическим приводом СБШ250-40 ДГ (для примера производства ОАО «ЛМЗ Универсал»)

### Обзор методов получения полезной энергии

Важность получить питание беспроводного передатчика телеметрии, именно без использования проводных источников питания, появилась ввиду того факта, что гидравлический вращатель не имеет никаких электрических источников энергии, а использование химических источников тока (батарей) неизбежно привела бы к их регулярной замене и влиянию человеческого фактора.

Рассмотрим наиболее известные и имеющие промышленную реализацию способы получения полезной энергии при отсутствии каких-либо источников питания.

*1. Метод с использованием энергии фотоэлектрической солнечной батареи.* Фотоэлектрическая солнечная батарея основана на преобразовании энергии солнечных лучей в электрическую на основе явления фотоэффекта. Устройству предстоит работать в условиях производства буровых работ, а значит условиях сильнейшей запыленности. Известна работа по оценке различных способов очистки фотоэлектрических батарей от пыли – вода, сжатый воздух, воздействие вибрацией. Они подробно рассмотрены по ссылке: [3]

Однако, даже при условии применения одного из способов очистки фотоэлектрических батарей, в условиях карьеров, солнечный свет часто отсутствует в принципе или весьма ослаблен (ночь, полярная ночь, низкая облачность и т.д.). Поэтому использование фотоэлектрических элементов для питания устройств такого рода видится малоэффективным.

*2. Метод с использованием энергии пьезоэлектрического модуля.* Пьезоэлектрический модуль совместно с харвестером энергии (Energy harvester) – работает на принципе появления электрических потенциалов на поверхности пьезоэлектрика при механических воздействиях. Конструктивно пьезоэлектрический модуль представляет собой гибкую композитную пластину из набора соответствующих конструктивных элементов (рис. 3).

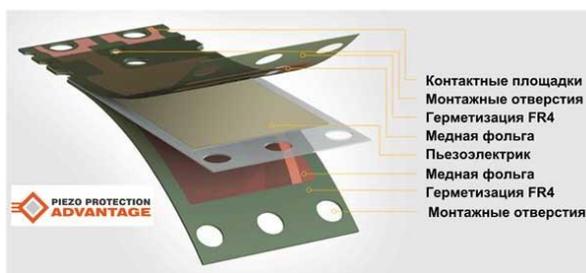


Рисунок 3 – Пьезоэлектрический модуль. На примере производителя Mide

Такие устройства показывают весьма приемлемые (для нашего применения) энергетические характеристики. Так, один из ведущих мировых производителей подобных устройств Mide, с модулем D220-H4BR-2513YB имеет на выходе заявленные показатели полезной среднеквадратичной мощности 19.6мВт на частоте резонанса 78Гц и габаритными размерами 63x31x0.5мм, ссылка на сайт производителя [4].

Следует отметить, что такие модули требуют главного – для постоянства полезной мощности – стабильности частоты резонанса и амплитуды колебаний. Такое возможно, например, при установке устройства на раму вибрирующей электроустановки. В случае вращателя бурового станка - вибрации носят переменный характер и для них характерны более низкие частоты, чем те, что требуется для типовых пьезоэлектрических модулей. В работе по ссылке [5] приводятся данные о низкочастотных вибрациях в диапазоне 2-12Гц, которые возникают в процессе взаимодействия вращательно-подающего органа с породой.

Кроме того, возможное применение такого модуля потребует помещение его в отдельный защитный кожух, размером с сам передатчик, что лишает этот метод его масса-габаритных преимуществ, по сравнению с другими.

3. *Метод с использованием энергии радиоволн из радиоэфира.* Современные элементы и модули, работающие в сфере Energy harvester достигли возможности собирать энергию из окружающего эфира радиоволн Radio Frequency Energy Harvesting (RFEH). Ввиду того, что практически каждый современный карьер оснащается цифровой сетью передачи данных из нескольких базовых станций, а на буровых станках устанавливается приемно-передающее радиооборудование, то появляется возможность собирать и использовать эту энергию удаленно на движущемся вращателе.

В статье [6] показано, что такой метод питания подходит для устройств с потреблением порядка единиц мкВт при работе на большой дистанции (FARFIELD), что в нашем случае означало бы использование энергии от базовых станций радиосети карьера. С другой стороны, возможно получение энергии от энергии радиоволн радиооборудования самого бурового станка.

Наибольшее распространение для задач диспетчеризации на открытых горных работах получили следующие системы передачи данных: системы, работающие в диапазоне УКВ, транкинговые системы (TETRA), сотовые системы передачи данных, а также широкополосные системы и технологии беспроводной передачи данных: WiFi и WiMax [7].

Например, есть экспериментальные исследования, в результате которых получают полезную электрическую энергию от использования излучения WiFi в закрытом помещении и заряжают Ni-Mh батарею на величину 150мкДж в течении 1 часа [8].

Таким образом, можно сделать вывод, что ввиду чрезвычайно низких показателей получаемой полезной энергии (в сравнении с другими методами), такой метод используют в тех случаях, когда применить никакие другие источники питания невозможно по ряду причин, а конечные устройства используют эту полезную энергию, например, для передачи низкоскоростной телеметрии. В качестве примера можно привести передачу данных о температуре воздуха в помещении, реализуемой 1 раз в 30 минут.

В статье по ссылке [9] опубликована работа и произведены экспериментальные исследования по сбору и накоплению энергии радиоволн стандарта UHF RFID (частоты 865–

868 MHz), используемом в считывателях смарт-карт. Накапливаемой энергии радиоволн достаточно для передачи данных от аналогового температурного датчика в интервале 1 раз в 30 минут. Для передачи данных используется канал BLE (Bluetooth Low Energy).

4. Метод с использованием энергии электромагнитной индукции датчика полезного сигнала. В составе редуктора вращателя бурового станка часто устанавливается датчик частоты оборотов, основанный на возникновении ЭДС электромагнитной индукции. Она возникает тогда, когда изменяется магнитный поток. Изменение направления вектора или модуля магнитной индукции, а также площади контура приводят к тому, что в контуре возникает электродвижущая сила (ЭДС).

На рис. 4 представлен датчик частоты оборотов, устанавливаемый в корпус редуктора вращателя бурового станка, где 1 – постоянный магнит; 2 – датчик; 3 – редуктор вращателя; 4 – железный сердечник; 5 – катушка индуктивности; 6 – ведущее зубчатое колесо.

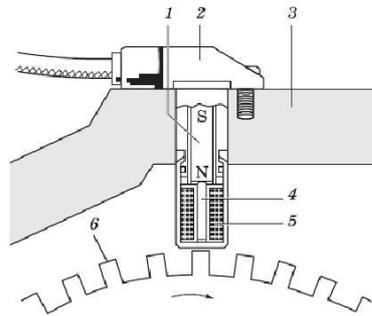


Рисунок 4 – Индуктивный датчик в корпусе редуктора

Датчик 2 располагается непосредственно напротив ведущего зубчатого колеса 6 редуктора 3 вращателя и отделен от его зубьев воздушным зазором. Датчик содержит железный сердечник 4, который окружен катушкой индуктивности 5. Железный сердечник напрямую соединен с постоянным магнитом 1. Магнитное поле постоянного магнита, проходящее через железный сердечник внутрь к зубчатому колесу. Интенсивность магнитного потока, проходящего через катушку и сердечник, напрямую зависит от того, что находится напротив датчика: зазор между зубьями или зуб. Зуб вызывает усиление, а воздушный зазор — уменьшение интенсивности магнитного потока. Эти изменения индуцируют в катушке ЭДС, в виде напряжения близкого к синусоидальному, пропорциональное частоте вращения ведущей шестерни, вала вращателя и, соответственно, частоте вращения бурового инструмента.

На рисунке 5 представлен вращатель бурового станка и индуктивный датчик со стопорной гайкой.

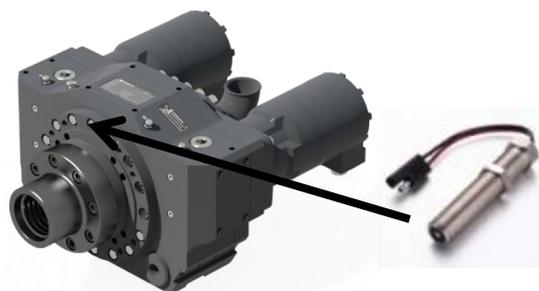


Рисунок 5 – Вращатель бурового станка и индуктивный датчик (на примере производителя Morath GmbH)

На вращателях гидравлических буровых станков часто применяется индуктивный датчик оборотов, аналогичный по принципу действия датчику для измерения частоты

оборотов коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания в автомобильной промышленности. Принцип действия такого датчика описан в патенте WO8604148, ROBERT BOSCH GMBH [10]. Опыт показал, что производители буровых станков применяют индуктивные датчики разных производителей, в зависимости от комплекта поставки. В связи с этим возникла необходимость проведения соответствующих экспериментальных измерений и обобщения их энергетических характеристик.

### Экспериментальные измерения энергетических характеристик датчика

Для проведения экспериментальных измерений были использованы: 1 - электронный осциллограф *VELLEMAN PCSU-1000*, ссылка на сайт-производителя [11]; 2 - True RMS Мультиметр *APPA 109N*, ссылка на сайт-производителя [12].

Для выпрямления переменного напряжения ЭДС индуктивного датчика и повышения амплитуды выходного напряжения постоянной полярности применена схема удвоителя напряжения (рис. 6).

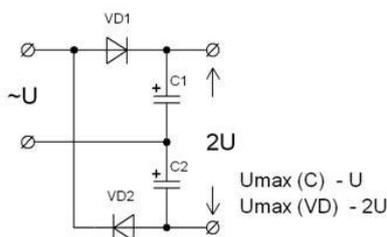


Рисунок 6 – Схема выпрямителя для получения энергетических характеристик

На рис. 7 и рис. 8 представлены результаты проведенных измерений, с использованием полезной нагрузки 1кОм, 5.1кОм и 10кОм  $\pm 1\%$ .

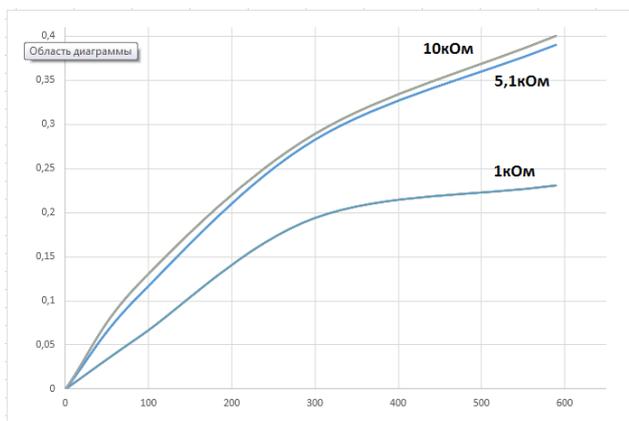


Рисунок 7 – Зависимость полезной мощности (мВт) сигнала датчика (после выпрямителя-удвоителя) от частоты (Гц) при различных сопротивлениях нагрузки

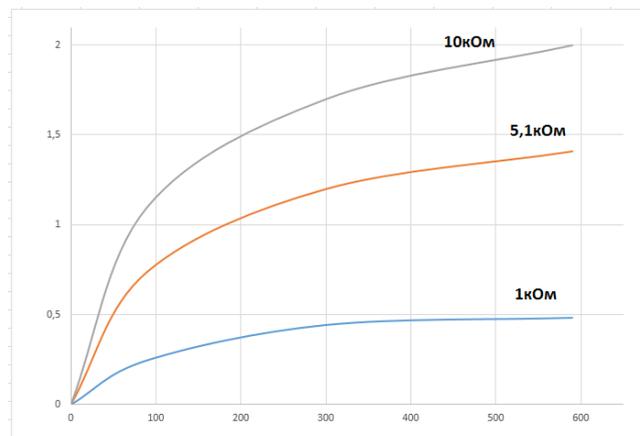


Рисунок 8 – Зависимость выходного напряжения (В) сигнала датчика (после выпрямителя-удвоителя) от частоты (Гц) при различных сопротивлениях нагрузки

Полученные графики (рис.7 и рис.8) связаны со следующими экспериментальными выводами:

- амплитуда выходного переменного напряжения на клеммах обмотки индуктивного датчика на максимальных оборотах вращателя в отсутствии нагрузки, равна  $\sim 3.1V$ , форма сигнала близка к синусоидальной;
- под нагрузкой 1кОм  $\sim 1.1V$ ;
- диапазон изменения частоты 90...600 Гц (минимальные/средние/максимальные обороты);

- амплитуда постоянного напряжения после выпрямителя на нагрузке 1кОм на максимальных оборотах = 0.45В;

Энергетические возможности датчика во всем диапазоне скоростей вращения, не менее:

- импульсная мощность -  $3,3В * 3,3В / 2000 \text{ Ом} + 400\text{мкА} * 3,3 \text{ В} = (5,445 + 1,32) = 6,765 \text{ мВт}$
- средняя постоянная мощность  $6,765 \text{ мВт} * (20/500) + 30\text{мкА} * 3,3В = (0,27 + 0,099) = 0,369 \text{ мВт}$ .

Считаем, что показатели энергии полезного сигнала позволят использовать данный тип датчиков и беспроводные устройства на их базе в любых типах редукторов для решения целого ряда задач. От простого измерения частоты оборотов вращения до возможного решения более сложных задач – анализ вибрационных нагрузок редуктора, степени износа зубьев, акустических шумов редуктора, нагрева подшипников узлов и т.д.

Обзор методов получения полезной энергии для питания беспроводного датчика неразрывно связан с выбором подходящего метода беспроводной передачи телеметрии. С одной стороны метод передачи должен удовлетворять критерию достаточного энергопотребления, а с другой иметь свободный для передачи диапазон частот.

Рассмотрим наиболее распространённые методы передачи телеметрии по радиоканалу, которые представлены в виде диаграммы на рис. 9 с выделенными для радиосетей отрезками частотного спектра [13].

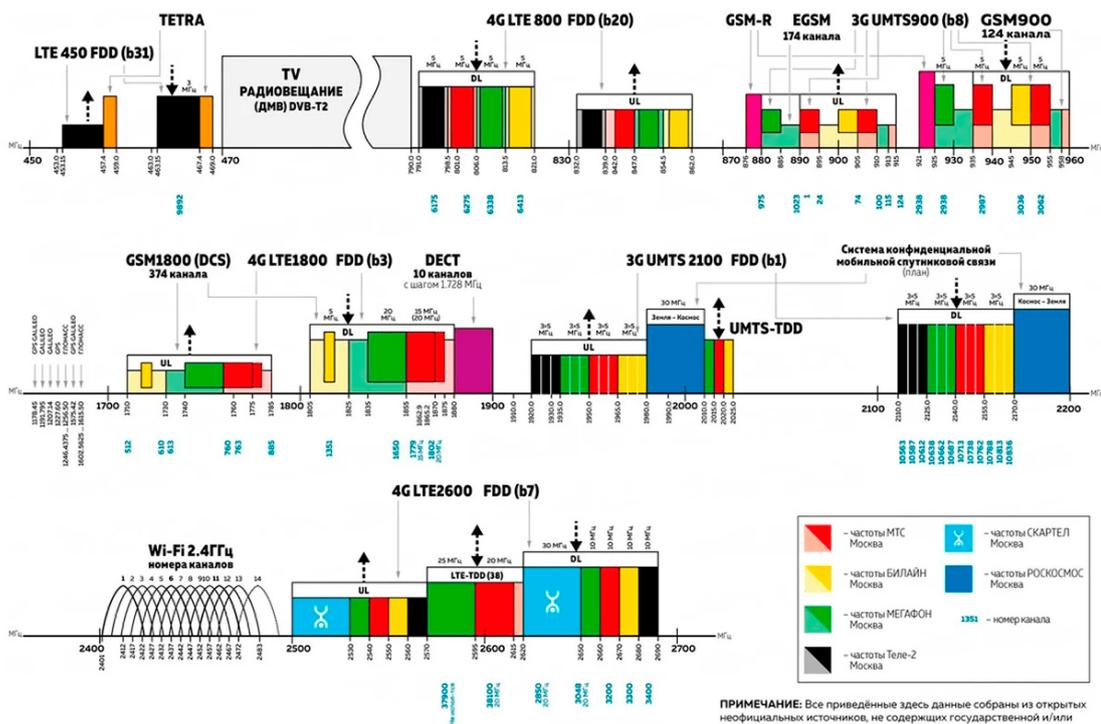


Рисунок 9 – Диаграмма методов передачи телеметрии по радиоканалу

При выборе основного диапазона передачи данных для беспроводного устройства, работающего на буровом станке (кроме обозначенных проблем с электропитанием), мы должны руководствоваться, в том числе, и бесконфликтной работой с одной из современных систем передачи данных на карьерах. Из диаграммы на рис. 9 видно, что относительно «свободным» является диапазоны в районе частот 830, 870 и 915-920МГц.

В диапазоне частот выше 1ГГц работает ГНСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система). Например, передаваемый со спутника навигационный сигнал GPS содержит три модулированных несущих частоты: два канала имеют центр на частоте

1575,42 МГц (сигнал GPS L1) и на частоте 1227,6 МГц (сигнал GPS L2), а центром третьего канала GPS является частота 1176,45 МГц (сигнал GPS L5) [14].

Далее, выше частот 1600 МГц, следуют сигналы сотовых сетей GSM1800, 3G, 4G и, далее, промышленные сети WiFi 2400...2500 МГц. [15]

В этой связи, применение диапазона 868 МГц и 915-920 МГц имеет еще одно важное преимущество для пользователя – устройства, использующие этот диапазон с мощностью передатчика менее 10мВт, не требуют лицензирования (unlicensed) и соответствуют стандарту IEEE 802.11ah [16].

Диапазон частот 864-868,2 МГц – предназначены для бесшнуровых телефонных аппаратов офисного типа, радиотелефонных систем, использующих технологию стандарта СТ-2 с мощностью передатчиков не более 10 мВт. При этом перечисленные выше полосы частот используются радиоэлектронными средствами гражданского назначения без права предъявления претензий в случае появления радиопомех от радиоэлектронных средств правительственного назначения [17].

Известные производители интегральных схем предлагают свои решения для контроллеров и передатчиков Суб-гигагерцового диапазона (Sub-1GHz). Они обладают энергопотреблением, сопоставимым с уровнем полезной энергии, которую вырабатывает электромагнитный датчик оборотов вращения. Эти устройства позволяют настроить диапазон рабочей частоты на 868МГц и обеспечить передачу телеметрии на скорости до 50kbps.

### **Заключение**

В данной работе были проанализированы методы получения полезной энергии для питания беспроводных датчиков, участвующих в получении телеметрии буровых работ. Обзор позволил оценить возможность использования источников энергии в тех случаях, когда использование стационарных или проводных источников питания на производстве затруднено или не представляется возможным. Особое внимание было уделено принципу получения полезной электромагнитной энергии сигнала самого индуктивного датчика оборотов вращения. Этот вид энергии не только превосходит остальные представленные, по энергетическим признакам и возможностям применения, но и может стать основой для получения новых качественных характеристик для устройств на его основе. К ним можно отнести анализ вибрационных нагрузок редуктора, износ зубьев, акустических шумов редуктора, нагрева подшипниковых узлов на основе дополнительных подключаемых датчиков и т.д.

Кроме этого, представлен краткий обзор и выбор возможного метода для передачи телеметрии по радиоканалу на карьерах для буровых станков. Выбор этого метода обуславливает с одной стороны достаточность энергии вырабатываемым методом электромагнитной индукции для питания электроники датчика, а с другой открывает возможность к разработке серии устройств на этом принципе.

Произведенный обзор позволяет сделать следующие выводы:

- рассмотрение беспроводного решения для использования в передаче телеметрии процесса бурения вызвано невозможностью использования обычного сигнального кабеля
- важность получения всех параметров телеметрии бурения возрастает с уровнем автоматизации бурового оборудования
- использование полезной электрической энергии сигнала датчика частоты оборотов, для питания беспроводных устройств на его основе, является наиболее эффективным решением, по сравнению с другими возможными источниками питания
- не смотря на сравнительно малые энергетические характеристики полезного сигнала, постоянство его поступления может быть использовано не только для питания схем, участвующих непосредственно в передаче телеметрии процесса бурения, но и для накопления и дальнейшего использования в других задачах. Например, оценка вибрационных процессов на вращателе и т.д.

## Литература

1. Куличихин Н.И., Воздвиженский Б.И. Разведочное бурение. – Москва: Недра, 1966. – С. 23
2. Антонов Ю.А., Квагинидзе В.С., Козовой Г.И., Корецкий В.Б., Чакветдзе Ф.А. Буровые станки на карьерах. Конструкции, эксплуатация, расчет. – Москва: Горная книга, 2012. – С.93
3. Dust Removal from Solar PV Modules by Automated Cleaning Systems / Abdulsalam S. Alghamdi, AbuBakr S. Bahaj, Luke S. Blunden, Yue Wu // Energies. – 2019. - №12 – P.6, <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/15/2923> (дата обращения: 15.05.2023)
4. [https://piezo.com/collections/piezoelectric-energy\\_harvesters/products/piezoelectric-bending-transducer-d220-h4br-2513yb](https://piezo.com/collections/piezoelectric-energy_harvesters/products/piezoelectric-bending-transducer-d220-h4br-2513yb) (дата обращения: 15.05.2023)
5. Игамбердиев И.П. Методы оценки технического состояния буровых станков. – Навои: изд-во им. Алишер Навои, 2019. 186 стр., С.18
6. RF power harvesting: a review on designing methodologies and applications / Le-Giang Tran, Hyouk-Kyu Cha // Micro and Nano Systems Letters. – 2017. - №14 P.12-13, [https://www.researchgate.net/publication/314126417\\_RF\\_power\\_harvesting\\_a\\_review\\_on\\_designing\\_methodologies\\_and\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/314126417_RF_power_harvesting_a_review_on_designing_methodologies_and_applications) (дата обращения: 15.05.2023)
7. Применение систем радиосвязи для оперативного управления горнотранспортными комплексами в карьерах / Клебанова И.В. // Труды МАИ. - 2016. - № 89, С.4, [https://mai.ru/upload/iblock/fb4/klebanova\\_rus.pdf?referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://mai.ru/upload/iblock/fb4/klebanova_rus.pdf?referer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F) (дата обращения: 15.05.2023)
8. A 2.4 GHz ambient RF energy harvesting system with –20 dBm minimum input power and NiMH / Gudan K, Chemishkian S, Hull JJ, Thomas SJ, Ensworth J, Reynolds MS // IEEE International Conference on RFID (RFID). – 2015. – P.1, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7113071> (дата обращения: 15.05.2023)
9. RF energy harvesting chip powered sensor node / Younus Syed; Bharat G. Hegde; T. V. Prabhakar; M. Manjunath; K. J. Vinoy // IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS). – 2016.- P.1, <https://ieeexplore.ieee.org/document/7841310/authors#authors> (дата обращения: 15.05.2023)
10. Hans-Dieter Schmid, Adam Hirt / Inductive bar sensor for rotational body // Patent WO1986004148A1, ROBERT BOSCH GMBH 1986
11. <https://www.velleman.eu/products/view/?id=362986> (дата обращения: 15.05.2023)
12. [https://prist.ru/catalog/multimetry\\_tsifrovye/appa\\_109n/](https://prist.ru/catalog/multimetry_tsifrovye/appa_109n/) (дата обращения: 15.05.2023)
13. Приведенная диаграмма распределения частот скопирована из открытого источника и представляет собой упрощенную версию для ознакомления с сутью задачи. С полной таблицей распределения частот в Российской Федерации можно ознакомиться на официальном сайте: Федеральное государственное унитарное предприятие «Главный радиочастотный центр» (ФГУП «ГРЧЦ») <https://digital.gov.ru/opendata/7710474375-trpch/table/> (дата обращения: 15.05.2023)
14. Международный Союз Электросвязи, Рекомендация МСЭ-R М.1787-3 / Описание систем и сетей радионавигационной спутниковой службы (космос-Земля и космос-космос) и технические характеристики передающих космических станций, работающих в полосах частот 1164-1215 МГц, 1215–1300 МГц и 1559–1610 МГц // Приложение 2: Техническое описание и

- характеристики глобальной системы определения местоположения (GPS) Navstar. – 2009. – С.5  
[https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1787-0-200908-S!!MSW-R.docx](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1787-0-200908-S!!MSW-R.docx) (дата обращения: 15.05.2023)
15. Приказ №571 Минкомсвязи России «Об утверждении Правил применения абонентских станций (абонентских радиостанций) сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта GSM-900/1800», Москва, 24.10.2017  
<https://digital.gov.ru/ru/documents/5906/> (дата обращения: 15.05.2023)
  16. Smart Grid Standards for Operation in Sub-1 GHz Bands / IEEE Standard Association // The Institute of Electrical and Electronics Engineers. – 2018. – P.12  
[https://www.ieee802.org/24/Smart%20Grid%20Standards%20for%20Operation%20in%20Sub-1%20GHz%20Bands\\_white%20paper.pdf](https://www.ieee802.org/24/Smart%20Grid%20Standards%20for%20Operation%20in%20Sub-1%20GHz%20Bands_white%20paper.pdf) (дата обращения: 15.05.2023)
  17. ПОСТАНОВЛЕНИЕ ПРАВИТЕЛЬСТВА КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ от 20 марта 2018 года № 146 / Об утверждении Национальной таблицы распределения радиочастот между радиослужбами Кыргызской Республики // НАЦИОНАЛЬНАЯ ТАБЛИЦА распределения радиочастот между радиослужбами Кыргызской Республики. – П.165  
<http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/11846> (дата обращения: 15.05.2023)