Современные беспроводные технологии: проблемы применения для модернизации систем для внутритрубной диагностики газопроводов

**Человек:** В настоящее время основным методом контроля эксплуатируемых газопроводов, проложенных пол землей, стала внутритрубная диагностика, осуществляемая путем сканирования их внутренней поверхности. Использование автоматизированных киберфизических систем неразрушающего контроля газопроводов позволит повысить уровень техногенной безопасности. В статье рассматриваются виды беспроводных технологий, проводится анализ эффективности использования технологии WFi для модернизации процесса неразрушающего контроля трубопровода в режиме реального времени. Выдвигается гипотеза о работе трубопровода в качестве волновода при беспроводной передаче данных. Для решения поставленной задачи используются методы теории передачи данных, теории графов, аналитическое и имитационное моделирование. Научная новизна заключается в выборе и обосновании выбора использования способа передачи данных результатов неразрушающего контроля по беспроводной линии связи в режиме реального времени на основе анализа передаваемых данных и существующих технологий, а также модернизации конструкции киберфизической системы для внутритрубной диагностики газопровода, проложенного под землей.

**Key words:** киберфизическая система, WiFi, беспроводные технологии, внутрутрубная диагностика, неразрушающий контроль, передача данных, роботизированная система, визуальный осмотр, WiMax, лазерная профилометрия

=================================

**FastText\_KMeans\_Clean:** Пропускная способность. до 1 Мбит/с. до 10 метров. Bluetooth v. 2.0. 802.15.3. WPAN. до 75 Мбит/с. 25-80 км. 1,5-11 ГГц. Диагностический модуль. По результатам экспериментальных исследований по измерению уровня входного сигнала беспроводной точки передачи данных, установленной КФС и анализа влияния электромагнитных помех на качество передачи информации можно сделать вывод о том, что модернизация КФС путем подключения ее к беспроводной сети с последующим увеличением производительности системы реализуема.

**Key words part:** 0.5185185185185185

=================================

**FastText\_KMeans\_Raw/:** Пропускная способность. Bluetooth v. 2.0. 802.15.3. WPAN. до 11 Мбит/с. до 300 метров. 2,4 -- 2,5 или 5,0 ГГц. Диагностический модуль. По результатам экспериментальных исследований по измерению уровня входного сигнала беспроводной точки передачи данных, установленной КФС и анализа влияния электромагнитных помех на качество передачи информации можно сделать вывод о том, что модернизация КФС путем подключения ее к беспроводной сети с последующим увеличением производительности системы реализуема.

**Key words part:** 0.5185185185185185

=================================

**FastText\_PageRank\_Clean/:** Пропускная способность. Bluetooth v. 2.0. 802.15.3. WPAN. Bluetooth v. 3.0. 802.11. WPAN. Диагностический модуль. Модуль лазерной профилометрии. 70. Описание экспериментальных исследований. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 3. Рисунок 2 – Схема маршрута проводимого эксперимента.

**Key words part:** 0.4074074074074074

=================================

**FastText\_PageRank\_Raw/:** Пропускная способность. Bluetooth v. 2.0. 802.15.3. WPAN. Bluetooth v. 3.0. 802.11. WPAN. 2,4 -- 2,5 или 5,0 ГГц. Диагностический модуль. Модуль лазерной профилометрии. 70. Описание экспериментальных исследований. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 3.

**Key words part:** 0.4074074074074074

=================================

**Mixed\_ML\_TR/:** В случае с использованием КФС внутри трубопровода эта проблема может быть решена спецификой выполнения работ. до 16 Мбит/с. от 5 до 50 см. . Bluetooth v. 1.1. 802.15.1. WPAN. до 11 Мбит/с. до 300 метров. до 54 Мбит/с. до 300 метров. до 450 Мбит/с. до 300 метров. до 1 Гбит/с. до 300 метров. Измеренный объем данных, передаваемых по линии связи в единицу времени приведен в таблице 2. Диагностический модуль. При помощи виджета по выводу информации об уровне Wi-Fi соединения были получены значения уровня входящего сигнала в зависимости от расстояния между модемами.

**Key words part:** 0.3703703703703704

=================================

**MultiLingual\_KMeans/:** В случае с использованием КФС внутри трубопровода эта проблема может быть решена спецификой выполнения работ. Для модернизации КФС беспроводной передачей данной был проведен анализ существующих технологий беспроводной передачи данных (табл. Bluetooth v. 2.0. 802.15.3. WPAN. до 1 Гбит/с. до 300 метров. до 40 Мбит/с. 1-5 км. 2,3-13,6 ГГц. Измеренный объем данных, передаваемых по линии связи в единицу времени приведен в таблице 2. Диагностический модуль. Таблица 3 – Значения уровня входящего сигнала от расстояния.

**Key words part:** 0.4814814814814815

=================================

**Multilingual\_PageRank/:** Несмотря на то, что VDSL2 является новейшим стандартом xDSL широкополосных проводных коммуникаций, скорость передачи информации не позволяет в полной степени эксплуатировать существующее оборудование и проводить модернизацию. Одной из главных проблем беспроводных сетей является невозможность локализации радиоволн в ограниченном пространстве. Выдвигается гипотеза, что трубопровод будет служить экраном от электромагнитных помех, а геометрия трубопровода при этом не оказывает влияния на качество передачи информации. до 450 Мбит/с. до 300 метров. 2,4 -- 2,5 или 5,0 ГГц. 70. Описание экспериментальных исследований. Участок с изгибами был выбран с наличием 2-х отводов с углом поворота 90 градусов. На открытой площадке показатель -36 дБ был измерен только на расстоянии 3 метров.

**Key words part:** 0.4074074074074074

=================================

**RuBERT\_KMeans\_Without\_ST/:** до 16 Мбит/с. от 5 до 50 см. . Bluetooth v. 1.1. 802.15.1. WPAN. до 11 Мбит/с. до 300 метров. Для возможности корректного выбора беспроводной технологии передачи данных из перечня, приведенного в сводной таблице 1, был проведен анализ трафика. По результатам экспериментальных исследований по измерению уровня входного сигнала беспроводной точки передачи данных, установленной КФС и анализа влияния электромагнитных помех на качество передачи информации можно сделать вывод о том, что модернизация КФС путем подключения ее к беспроводной сети с последующим увеличением производительности системы реализуема.

**Key words part:** 0.5555555555555556

=================================

**RuBERT\_KMeans\_With\_ST/:** Bluetooth v. 2.0. 802.15.3. WPAN. от 20 до 250 Кбит/с. 1-100 м. 2,4 ГГц. до 54 Мбит/с. до 300 метров. При помощи виджета по выводу данных учета исходящей и входящей скорости получаемого и отдаваемого трафика были получены значения необходимой скорости передачи данных для каждого модуля. 70. Описание экспериментальных исследований. Схема маршрута, на котором проводился эксперимент, приведена на рис. 2. По результатам экспериментальных исследований по измерению уровня входного сигнала беспроводной точки передачи данных, установленной КФС и анализа влияния электромагнитных помех на качество передачи информации можно сделать вывод о том, что модернизация КФС путем подключения ее к беспроводной сети с последующим увеличением производительности системы реализуема.

**Key words part:** 0.5185185185185185

=================================

**RUBERT\_page\_rank\_Without\_ST/:** Выдвигается гипотеза, что трубопровод будет служить экраном от электромагнитных помех, а геометрия трубопровода при этом не оказывает влияния на качество передачи информации. 2,4 -- 2,5 или 5,0 ГГц. Таблица 2 - Объем данных, передаваемых по линии связи в единицу времени. Модуль лазерной профилометрии. 70. Описание экспериментальных исследований.

**Key words part:** 0.4814814814814815

=================================

**RUBERT\_page\_rank\_With\_ST/:** Таблица 1 – Аналитический обзор беспроводных технологий. Пропускная способность. Bluetooth v. 2.0. 802.15.3. WPAN. Bluetooth v. 3.0. 802.11. WPAN. Точка доступа закрепляется на корпусе средства доставки.

**Key words part:** 0.4074074074074074

=================================

**RUSBERT\_KMeans\_Without\_ST/:** Выдвигается гипотеза, что трубопровод будет служить экраном от электромагнитных помех, а геометрия трубопровода при этом не оказывает влияния на качество передачи информации. до 54 Мбит/с. до 300 метров. Для возможности корректного выбора беспроводной технологии передачи данных из перечня, приведенного в сводной таблице 1, был проведен анализ трафика. Скорость передачи, Мб/сек. 1. Этот роутер устанавливается в технологический рез и крепится на срезе трубопровода. Рисунок 2 – Схема маршрута проводимого эксперимента.

**Key words part:** 0.4814814814814815

=================================

**RUSBERT\_KMeans\_With\_ST/:** Выдвигается гипотеза, что трубопровод будет служить экраном от электромагнитных помех, а геометрия трубопровода при этом не оказывает влияния на качество передачи информации. до 40 Мбит/с. 1-5 км. 2,3-13,6 ГГц. При помощи виджета по выводу информации об уровне Wi-Fi соединения были получены значения уровня входящего сигнала в зависимости от расстояния между модемами. Схема маршрута, на котором проводился эксперимент, приведена на рис. 2.

**Key words part:** 0.3703703703703704

=================================

**RUSBERT\_page\_rank\_Without\_ST/:** Одной из главных проблем беспроводных сетей является невозможность локализации радиоволн в ограниченном пространстве. Пропускная способность. Bluetooth v. 3.0. 802.11. WPAN. 110-480 Мбит/с. до 10 метров. Диагностический модуль.

**Key words part:** 0.3703703703703704

=================================

**RUSBERT\_page\_rank\_With\_ST/:** Одной из главных проблем беспроводных сетей является невозможность локализации радиоволн в ограниченном пространстве. Пропускная способность. Диагностический модуль. Точка доступа закрепляется на корпусе средства доставки. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 3.

**Key words part:** 0.3703703703703704

=================================

**Simple\_PageRank/:** Выдвигается гипотеза, что трубопровод будет служить экраном от электромагнитных помех, а геометрия трубопровода при этом не оказывает влияния на качество передачи информации. В связи с этим целесообразно перейти на беспроводную передачу данных, а передачу питающих напряжений оставить в соединительном кабеле, отказавшись от бортового аккумуляторного питания и не усложняя аварийное извлечение из трубопровода [2]. Между базовыми станциями устанавливаются соединения (прямой видимости), использующие диапазон частот от 10 до 66 ГГц, скорость обмена данными может достигать 140 Мбит/c. Для возможности корректного выбора беспроводной технологии передачи данных из перечня, приведенного в сводной таблице 1, был проведен анализ трафика. Во время проведения диагностических работ на объектах транспорта и хранения газа были проведены испытания на возможность установления связи (при помощи двух Wi-Fi роутеров) между системой управления и средством доставки, загруженным в трубопровод. При нахождении средства доставки на расстоянии 350 метров от технологического реза, уровень сигнала составил -36 дБ.

**Key words part:** 0.5555555555555556

=================================

**TextRank/:** Пути решения этой проблемы заключаются в переходе на другую среду распространения сигнала - оптический кабель - или же на беспроводную технологию передачи данных [1]. В связи с этим целесообразно перейти на беспроводную передачу данных, а передачу питающих напряжений оставить в соединительном кабеле, отказавшись от бортового аккумуляторного питания и не усложняя аварийное извлечение из трубопровода [2]. Для модернизации КФС беспроводной передачей данной был проведен анализ существующих технологий беспроводной передачи данных (табл. Для возможности корректного выбора беспроводной технологии передачи данных из перечня, приведенного в сводной таблице 1, был проведен анализ трафика. Во время проведения диагностических работ на объектах транспорта и хранения газа были проведены испытания на возможность установления связи (при помощи двух Wi-Fi роутеров) между системой управления и средством доставки, загруженным в трубопровод. По результатам экспериментальных исследований по измерению уровня входного сигнала беспроводной точки передачи данных, установленной КФС и анализа влияния электромагнитных помех на качество передачи информации можно сделать вывод о том, что модернизация КФС путем подключения ее к беспроводной сети с последующим увеличением производительности системы реализуема.

**Key words part:** 0.5555555555555556

=================================

**TF-IDF\_KMeans/:** Для модернизации КФС беспроводной передачей данной был проведен анализ существующих технологий беспроводной передачи данных (табл. до 1 Мбит/с. до 10 метров. Bluetooth v. 2.0. 802.15.3. WPAN. Между базовыми станциями устанавливаются соединения (прямой видимости), использующие диапазон частот от 10 до 66 ГГц, скорость обмена данными может достигать 140 Мбит/c. Проверка показала, что для стабильной работы диагностических модулей максимальная пропускная способность должна быть не менее 70 Мб/сек. Таблица 2 - Объем данных, передаваемых по линии связи в единицу времени. При помощи виджета по выводу информации об уровне Wi-Fi соединения были получены значения уровня входящего сигнала в зависимости от расстояния между модемами. Схема маршрута, на котором проводился эксперимент, приведена на рис. 2.

**Key words part:** 0.4814814814814815

=================================

**Текст:** В настоящее время информация передается по технологии доступа VDSL2 с использованием медных проводов соединительного кабеля. Несмотря на то, что VDSL2 является новейшим стандартом xDSL широкополосных проводных коммуникаций, скорость передачи информации не позволяет в полной степени эксплуатировать существующее оборудование и проводить модернизацию.. Пути решения этой проблемы заключаются в переходе на другую среду распространения сигнала - оптический кабель - или же на беспроводную технологию передачи данных [1].. Одной из главных проблем беспроводных сетей является невозможность локализации радиоволн в ограниченном пространстве. В случае с использованием КФС внутри трубопровода эта проблема может быть решена спецификой выполнения работ. Выдвигается гипотеза, что трубопровод будет служить экраном от электромагнитных помех, а геометрия трубопровода при этом не оказывает влияния на качество передачи информации. КФС для внутритрубной диагностики с применением беспроводной передачи данных теоретически может быть реализована, так как проблема электромагнитной совместимости может быть решена на этапах разработки системы.. Условия эксплуатации КФС могут оказаться критичными для использования оптического волокна в составе соединительного кабеля, так как во время выполнения работ кабель испытывает продольные и поперечные нагрузки. В связи с этим целесообразно перейти на беспроводную передачу данных, а передачу питающих напряжений оставить в соединительном кабеле, отказавшись от бортового аккумуляторного питания и не усложняя аварийное извлечение из трубопровода [2]. Для модернизации КФС беспроводной передачей данной был проведен анализ существующих технологий беспроводной передачи данных (табл. 1).. Таблица 1 – Аналитический обзор беспроводных технологий. Технология. Стандарт. Использование. Пропускная способность. Радиус действия. Частоты. Инфракрасный порт. IrDa. WPAN. до 16 Мбит/с. от 5 до 50 см. . Bluetooth v. 1.1. 802.15.1. WPAN. до 1 Мбит/с. до 10 метров. 2,4 ГГц. Bluetooth v. 2.0. 802.15.3. WPAN. до 2,1 Мбит/с. до 100 метров. 2,4 ГГц. Bluetooth v. 3.0. 802.11. WPAN. от 3 Мбит/с до 24 Мбит/с. до 100 метров. 2,4 ГГц. UWB. 802.15.3 a. WPAN. 110-480 Мбит/с. до 10 метров. 7,5 ГГц. ZigBee. 802.15.4. WPAN. от 20 до 250 Кбит/с. 1-100 м. 2,4 ГГц. Wi-Fi. 802.11 a. WLAN. до 54 Мбит/с. до 300 метров. 5,0 ГГц. Wi-Fi. 802.11 b. WLAN. до 11 Мбит/с. до 300 метров. 2,4 ГГц. Wi-Fi. 802.11 g. WLAN. до 54 Мбит/с. до 300 метров. 2,4 ГГц. Wi-Fi. 802.11 n. WLAN. до 450 Мбит/с. до 300 метров. 2,4 -- 2,5 или 5,0 ГГц. Wi-Fi. 802.11aс. WLAN. до 1 Гбит/с. до 300 метров. 5 ГГц. WiMax. 802.16 d. WMAN. до 75 Мбит/с. 25-80 км. 1,5-11 ГГц. WiMax. 802.16 e. Mobile WMAN. до 40 Мбит/с. 1-5 км. 2,3-13,6 ГГц. Между базовыми станциями устанавливаются соединения (прямой видимости), использующие диапазон частот от 10 до 66 ГГц, скорость обмена данными может достигать 140 Мбит/c. При этом, по крайней мере, одна базовая станция подключается к сети провайдера с использованием классических проводных соединений.. Основным отличием Wi-Fi от WiMAX является радиус действия [6].. По стандарту 802.11n устройства могут использовать диапазоны 2,4 ГГц или 5 ГГц, что повышает надёжность связи, уменьшая влияние радиочастотных помех. Для возможности корректного выбора беспроводной технологии передачи данных из перечня, приведенного в сводной таблице 1, был проведен анализ трафика.. При помощи виджета по выводу данных учета исходящей и входящей скорости получаемого и отдаваемого трафика были получены значения необходимой скорости передачи данных для каждого модуля. Проверка показала, что для стабильной работы диагностических модулей максимальная пропускная способность должна быть не менее 70 Мб/сек. Измеренный объем данных, передаваемых по линии связи в единицу времени приведен в таблице 2.. Предполагается, что Wi-fi модемы обеспечит передачу видеоинформации с вспомогательных технических устройств и насадок, а также передачу результатов на оборудование приемной части при проведении контроля. Узконаправленная антенна будет обеспечит усиление сигнала передачи информации для возможности увеличения дальности контроля от места загрузки.. Таблица 2 - Объем данных, передаваемых по линии связи в единицу времени. № п/п. Диагностический модуль. Внешний вид. Скорость передачи, Мб/сек. 1. Модуль ЭМА. . 15. 2. Модуль лазерной профилометрии. . 60. 3. Камера КВИК. . 70. Описание экспериментальных исследований. Во время проведения диагностических работ на объектах транспорта и хранения газа были проведены испытания на возможность установления связи (при помощи двух Wi-Fi роутеров) между системой управления и средством доставки, загруженным в трубопровод.. . Рисунок 1 - Срез трубы для проведения экспериментальных исследований. Оба устройства настроены на автоматическое соединение между собой. Роутер со стандартными антеннами подключен через Ethernet кабель к ноутбуку. Этот роутер устанавливается в технологический рез и крепится на срезе трубопровода. Точка доступа закрепляется на корпусе средства доставки. Устройства находятся в прямой видимости, настраивается связь и по мере удаления средства доставки от места загрузки снимаются показания уровня входного сигнала.. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 3.. При помощи виджета по выводу информации об уровне Wi-Fi соединения были получены значения уровня входящего сигнала в зависимости от расстояния между модемами.. Таблица 3 – Значения уровня входящего сигнала от расстояния. Расстояние, м. Сила сигнала, дБ. Геометрия участка. 61. -22. Участок с изгибами. 91. -23. Участок с изгибами. 122. -27. Участок с изгибами. 152. -30. Участок с изгибами. 183. -33. Участок с изгибами. 260. -35. Участок с изгибами. 290. -35. Участок с изгибами. 350. -36. Участок с изгибами. Участок с изгибами был выбран с наличием 2-х отводов с углом поворота 90 градусов. Схема маршрута, на котором проводился эксперимент, приведена на рис. 2.. . Рисунок 2 – Схема маршрута проводимого эксперимента. Испытания проводились в трубопроводе номинальным диаметром 1000 мм.. При нахождении средства доставки на расстоянии 350 метров от технологического реза, уровень сигнала составил -36 дБ.. На открытой площадке показатель -36 дБ был измерен только на расстоянии 3 метров. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что теория трубопровода в качестве волновода действительно работает.. По результатам экспериментальных исследований по измерению уровня входного сигнала беспроводной точки передачи данных, установленной КФС и анализа влияния электромагнитных помех на качество передачи информации можно сделать вывод о том, что модернизация КФС путем подключения ее к беспроводной сети с последующим увеличением производительности системы реализуема..