



В.С. Ваганов  
vaganovv@inbox.ru



Л.В. Урусов

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МФСБ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

### ANALYSIS OF METHODS OF ORGANIZATION DATA NETWORKS FOR BUILDING MODERN MFSB IN COAL MINES

**В. С. Ваганов** – канд. физ.-мат. наук, эксперт приборостроительного кластера «БОРТ», г. Новосибирск

**Л. В. Урусов** – эксперт приборостроительного кластера «БОРТ», г. Новосибирск

**V. S. Vaganov** – candidate of chemical sciences, expert of instrument-making cluster "BORT", Novosibirsk, Russia

**L. V. Urusov** – expert of instrument-making cluster "BORT", Novosibirsk, Russia

*В соответствии с Федеральными нормами и правилами «Правила безопасности в угольных шахтах» (ПБ) «в горных выработках шахты, надшахтных зданиях и сооружениях должен быть оборудован комплекс систем и средств, обеспечивающий организацию и осуществление безопасности ведения горных работ, контроль и управление технологическими и производственными процессами в нормальных и аварийных условиях», а «системы и средства данного комплекса должны быть объединены в многофункциональные системы безопасности (МФСБ)» [1].*

*Состав МФСБ определяется проектной документацией. При проектировании МФСБ решается, в числе прочих, задача выбора оборудования передачи данных, способов мониторинга атмосферы шахты, параметров работы технических средств и наблюдения за местоположением персонала и связи с ним. Неправильный выбор оборудования приводит к бесполезной трате времени и ресурсов и не обеспечивает предупреждение формирования условий для возникновения различного рода опасностей.*

*В современном мире сети передачи данных активно используются в промышленности и повседневной жизни. Невозможно представить работу промышленного предприятия без сети Интернет, мобильной связи, сети систем позиционирования и контроля доступа персонала.*

*Цель данной статьи – провести взвешенную оценку технологий передачи данных, которые используют производители различных систем безопасности для угольной отрасли, и представить рекомендации по выбору наиболее эффективного варианта.*

*In accordance with Federal Codes and Regulations "Safety Rules in Coal Mines" (PB) "in the mine workings, pit head buildings and structures shall be equipped with complex systems and means to ensure the organization and implementation of safety of conducting of mining works, monitoring and control of technological and production processes in normal and emergency conditions" and "systems and devices of this system should be merged into multi-function security (MFSB)" [1].*

*Composition MFSB is determined by the design documentation. The task of selecting data transmission equipment, methods of monitoring the atmosphere of the mine, the operation parameters of the technical means and monitor the location of staff and communication with staff addressed, among others, when designing MFSB. The wrong choice of equipment leads to waste of time and resources and ensures the prevention of the formation of conditions for occurrence of various hazards.*

*In the modern world data network are widely used in industry and everyday life. It is impossible to imagine operation of an industrial enterprise without Internet, mobile communication network, positioning systems and access control of personnel.*

*The purpose of this article is to conduct a balanced assessment of the data transmission technologies that use different security systems for the coal industry, and to provide advice on choosing the most effective option.*

**Ключевые слова:** МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ, МЕТАН, УГОЛЬНАЯ ПЫЛЬ, ВЗРЫВЫ В ШАХТАХ, ПОДЗЕМНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ПЕРСОНАЛА

**Key words:** MULTI SAFETY SYSTEM, METHANE, COAL DUST, MINE EXPLOSION, UNDERGROUND PERSONNEL POSITIONING

## Введение.

Подавляющая часть так называемых коммуникационных сетей «открытых систем» (все популярные корпоративные и домашние сети) построена на стеке протоколов TCP/IP [2]. Конечно же, вместе с широко распространенными сетевыми стандартами, существуют и менее известные проводные промышленные технологии передачи данных, классификация которых рассмотрена в [3]. Все устройства проводных сетей физически связаны между собой при помощи медного провода (витая пара, коаксиальный кабель) или оптического волокна: основной среды обмена для проводных соединений. Наиболее популярным стандартом при построении, например, проводных локальных вычислительных сетей стал Ethernet (IEEE 802.3) [4]. Эта технология обеспечивает высокие скорости обмена данными: от 1 Мбит/с до 1 Тбит/с и гибкость топологии различных физических сетей. Она также регламентирует и максимальную дальность участка сети, например, на витой паре, связанную с качеством среды передачи (медь). Участки сети на оптическом кабеле имеют большую протяженность, благодаря большей скорости распространения сигнала в среде передачи. Эти стандарты утвердились в качестве основных и для передачи данных под землей. Если год-два тому назад еще можно было встретить системы использующие стан-

дарты промышленной шины RS485, CAN в качестве основной магистрали передачи данных, то на сегодня все основные производители современного оборудования используют в качестве проводных магистралей стандарты DSL, EthernetTX, EthernetFX.

Там, где нет физического соединения, на помощь приходят беспроводные сети, в которых используются технологии передачи данных электромагнитным полем. Беспроводные сети вынуждены конкурировать между собой и с голосовой аналоговой радиосвязью (рации, системы промышленной радиосвязи) за единую среду передачи сообщений – окружающее пространство. Кроме этого, на качество беспроводной среды передачи данных сильно влияют помехи от работающего электрооборудования и линий электропередачи, температура рудничной атмосферы, влажность, уровень ионизирующего излучения, помехи, возникающие при отражении и преломлении несущей электромагнитной волны. По этой причине скорость обмена данными в беспроводных сетях существенно ниже скорости обмена в проводных сетях и пока не превышает 10 Гбит/с. Такие же ограничения существуют и для дальности передачи. В зависимости от выбранного протокола беспроводной связи различают сети:

**WPAN** (Wireless Personal Area Networks) - беспроводные персональные сети, стандарт

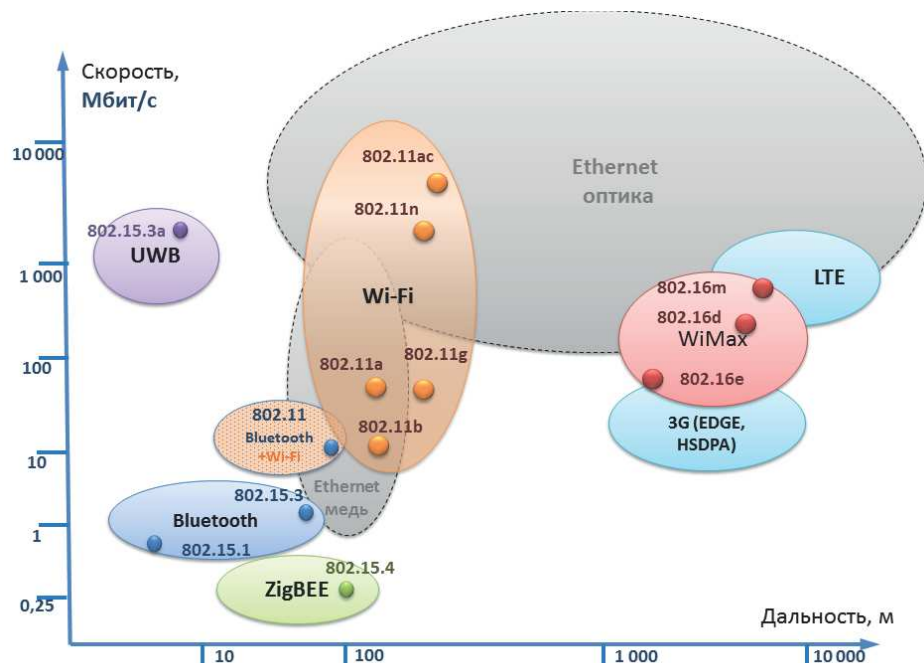


Рисунок 1 - Области действия стандартов современной беспроводной связи

IEEE 802.15, основные технологии — **Bluetooth**, **ZigBee**. Основная частота несущей 0,868 ГГц (Европа), 0,902...0,928 ГГц (Северная Америка), 2,4... 2,483 ГГц (весь мир), ширина канала - до 1 МГц, скорость передачи данных - до 2 Мбит/с, расстояние между узлами - до 75 м;

**WLAN** (Wireless Local Area Networks) - беспроводные локальные сети, стандарт IEEE 802.11, основные технологии — **Wi-Fi**. Основная частота несущей 2,4 или 5 ГГц, ширина канала - до 160 МГц, скорость передачи данных - от 11 Мбит/с до 6,77 Гбит/с, расстояние между узлами - до 200 м;

**WMAN** (Wireless Metropolitan Area Networks) - беспроводные сети масштаба города, стандарт IEEE 802.16, 3GPP основные технологии — **WiMAX**, **LTE**. Основная частота несущей 2,3-12 ГГц, лицензированная полоса частот LTE, ширина канала - от 1,5 до 20 МГц, скорость передачи данных до 100 Мбит/с, расстояние между узлами - до 10 км;

Назначение и возможности того или иного беспроводного стандарта показаны на рисунке 1, на котором изображены их области действия в координатах: дальность (расстояние между узлами сети) и скорость передачи.

Каждый стандарт беспроводной связи создавался для конкретного круга задач. Например, Bluetooth предназначен для передачи небольших объемов данных на малых расстояниях и поэтому получил распространение в различных носимых устройствах и в быту. ZigBee создан для передачи небольших объемов данных на средние расстояния и получил распространение в офисах, учреждениях, домашней ав-

томатизации. Wi-Fi позволяет связываться на средних расстояниях с относительно большими скоростями передачи данных и ориентирован на обеспечение доступа любых беспроводных устройств в корпоративные сети и Интернет.

Большие скорости передачи требуют больших энергетических затрат и наоборот. Поэтому устройства стандартов Bluetooth и ZigBee, как правило, имеют низкое энергопотребление и малые габариты, а точки доступа Wi-Fi требуют существенно большей энергии.

### Беспроводная связь в шахтах.

Беспроводные технологии обеспечивают **мобильность** - очень важное свойство для электронного оборудования, используемого в экстремальных условиях подземных работ и предназначенного для построения МФСБ, и, в том числе, систем, отвечающих за связь, оповещение и определение местоположения персонала. Поэтому при оценке оборудования производителей различных систем безопасности для угольной отрасли следует уделять особое внимание техническим решениям по обеспечению беспроводных каналов передачи данных [5]. Такие технологии позволяют сохранить или восстановить связь и наблюдение в случае аварии. Прямым подтверждением этому служит повсеместное использование мобильных устройств на земной поверхности.

Как показывает опыт применения различных систем данного назначения [6], только мобильные технологии позволяют непрерывно определять местонахождение горняков и оборудования в шахте, обеспечивать двусторон-

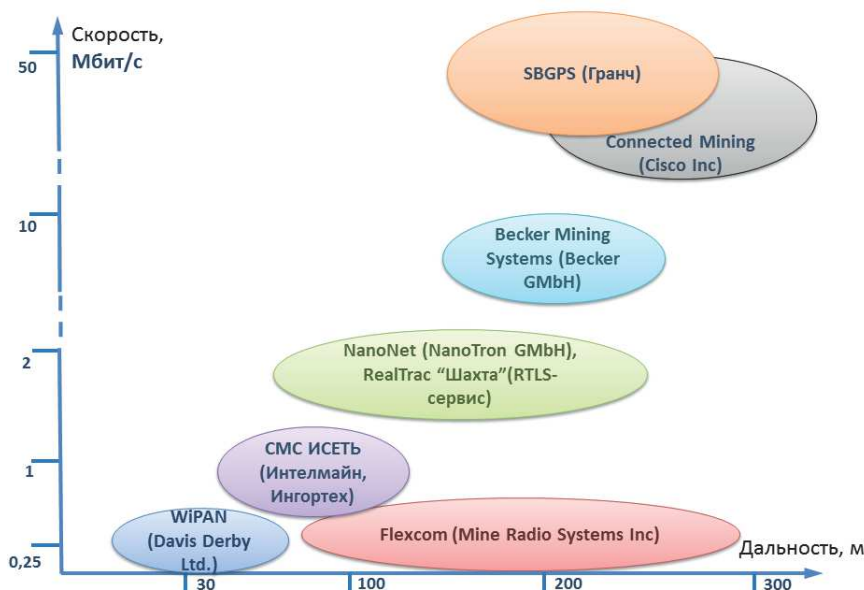


Рисунок 2 - Области действия беспроводной части оборудования ведущих производителей систем связи для шахт

нюю связь и передавать данные с «носимых» устройств на гора [7].

На рисунке 2 показаны области действия оборудования ведущих производителей, обеспечивающего беспроводную связь в шахтах, в координатах: дальность (расстояние между узлами сети) и скорость передачи.

**Численная оценка производительности беспроводных сетей в случае «идеальной» топологии на примере функции «геопозиционирование».**

На рисунке 2 заметна большая разница в производительности оборудования. Может быть, производители высокоскоростных беспроводных сегментов сетей неоправданно завышают скорость и можно обойтись менее производительными системами?

Для ответа на этот вопрос нужно оценить объем необходимых минимальных данных, которые надо передать по локальной сети из подземной части на гора для обеспечения какой-либо одной функции МФСБ. Оценим объем передаваемых данных по сети для функции МФСБ «геопозиционирование» на примере оборудования лидера сетей класса WPAN - компании Nanotron [8]. В этой сети, схема показана на рисунке 3, *устройства* определяют расстояния между *мобильной меткой* и *узлом сети* путем обмена короткими пакетами (радиосигналами) и последующим измерением времени распространения этих пакетов (метод ToF — Time of Flight), скорость которых равна скорости света. Не принимая во внимание время на определение расстояния и время на внутреннюю обработку результатов измерений, получим, что для обеспечения «геопозиционирования», или

определения координат местонахождения метки с частотой 1 с<sup>-1</sup>, сеть должна обеспечивать минимальную передачу информации к серверу в размере 128 байт (1 пакет) на каждое устройство (метку) [8] или 1 Кбит/с (128 байт x 8 бит/байт = 1024 бит). При этих расчетах топология передающей сети (способ соединения узлов связи и реальное расположение) не учитываются и координаты полученные узлами сети передаются к серверу с максимальной скоростью проводной магистрали (оранжевые стрелки). Координаты передаются по беспроводному каналу (красные молнии) с максимальной скоростью передачи данных для этой сети: 1 Мбит/с - для двоичной системы и 2 Мбит/сек - для системы с четырьмя уровнями передачи. По результатам испытания пропускной способности сети, построенной на модулях Nanotron в [9], с учетом конкуренции устройств за среду передачи, были получены реальные скорости передачи данных в 530 кбит/с и 840 кбит/с - для двоичной и четверичной логики, соответственно. Для окончательной оценки следует уменьшить скорость передачи на 20 %, что является обычным допущением по ресурсному резервированию, и учесть потери на технологическое построение маршрутов в размере 10 – 15 %. Окончательно можно сделать вывод, что максимальное число каналов для позиционирования в этой системе - от 300 до 500.

Но производитель системы RealTrack на модулях Nanotron [8] указывает, что возможно подключение 25 000 устройств. Как это можно сделать? Нужно уменьшить частоту определения координат и делать это не один раз в одну секунду, а гораздо реже, допустим, один раз в минуту. Тогда получится 30 000 устройств (500

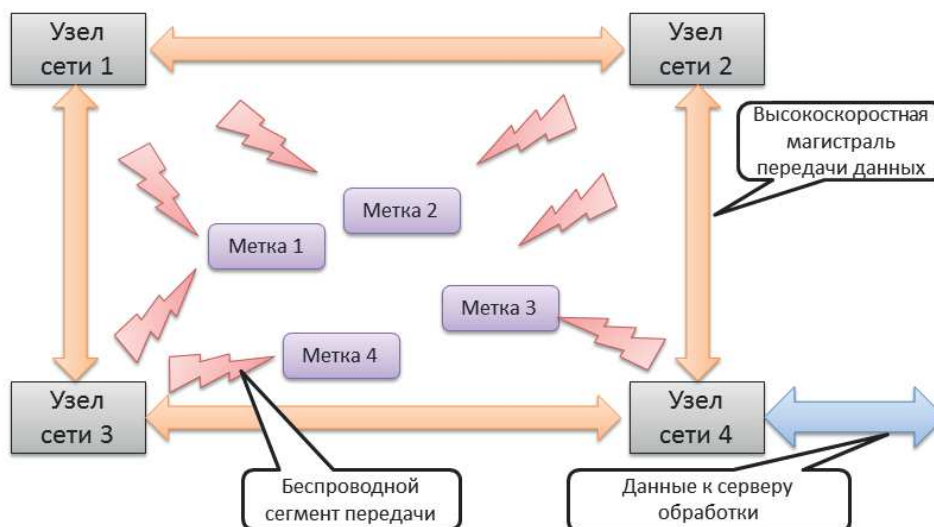


Рисунок 3 – Схема «идеальной» системы геопозиционирования для оценки её пропускной способности

каналов  $\times 60 \text{ мин}^{-1}$ ). Однако, при этом страдает точность определения координат объекта. Например, если за 1 с объект при скорости 3,6 км/ч сдвинется на 1 метр, то за 1 мин он уйдет на 60 метров. Для того, чтобы этого не произошло, производители такой системы применяют различные методы экстраполяции координат, то есть в промежутке между реальными измерениями координат проводятся промежуточные вычисления координат или математическими методами, или при помощи локальных алгоритмов [10]. Это хорошо согласуется с архитектурой WPAN-устройств, основное преимущество которых – низкое потребление энергии. Дело в том, что при интенсивном определении координат ( $1 \text{ с}^{-1}$ ) много энергии тратится на излучение и устройства теряют это преимущество. Поэтому по рекомендациям разработчиков WPAN-устройств период опроса узлов сети следует устанавливать во многие десятки секунд.

Все приведенные рассуждения относятся и к системе «WiPAN» производства компании Davis Derby, построенной на аналогичной технологии. Единственное отличие от технологий RealTrack состоит в том, что при заявленной скорости передачи данных в 256 Кбит/с максимальное число устройств в системе позиционирования составит 100 шт. Компания заявляет о 500 устройствах [11], откуда получаем период опроса – 10 с.

#### Учет топологии беспроводных WPAN-сетей.

До сих пор мы рассматривали беспроводные сети с «идеальной» топологией. В этой сети

на доставку данных до высокоскоростной проводной магистрали по беспроводному сегменту тратится минимальное время. Однако, при рассмотрении реальных топологий беспроводных сетей время передачи данных сильно возрастает. Дело в том, что большинство WPAN-сетей используют ячеистую топологию [8], [11]. Ячеистая топология (англ. Mesh Topology) — сетевая топология компьютерной сети, построенная на принципе ячеек, в которой рабочие станции сети соединяются друг с другом и способны принимать на себя роль коммутатора для остальных участников. Такая организация сети является достаточно сложной в настройке, однако, при этой топологии реализуется высокая отказоустойчивость. Как правило, узлы соединяются по принципу "каждый с каждым" и таким образом, большое количество связей обеспечивает широкий выбор маршрута следования трафика внутри сети, а обрыв одного соединения не нарушит функционирования сети в целом. Во всех предыдущих рассуждениях мы рассматривали топологию WPAN-сетей, показанную на рисунке 4. Беспроводной трафик в такой сети минимален, т.к. взаимодействие между метками и узлами сети проходит по минимальному расстоянию и полученные узлом данные очень быстро доставляются к серверу обработки.

Реальная топология выглядит по-другому (Рисунок 5).

В реальной топологии всегда есть протяженный участок радиосегмента или беспроводной сети. Такая сеть автоматически планирует маршруты соединений со шлюзом (на рисунке 5 красный) и обладает функцией «самовосстанов-

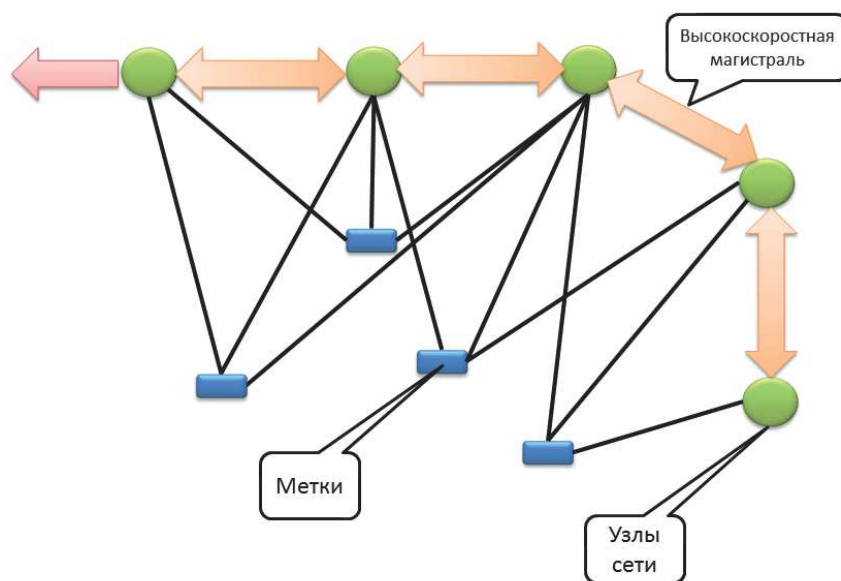


Рисунок 4 – Идеальная топология WPAN-сетей

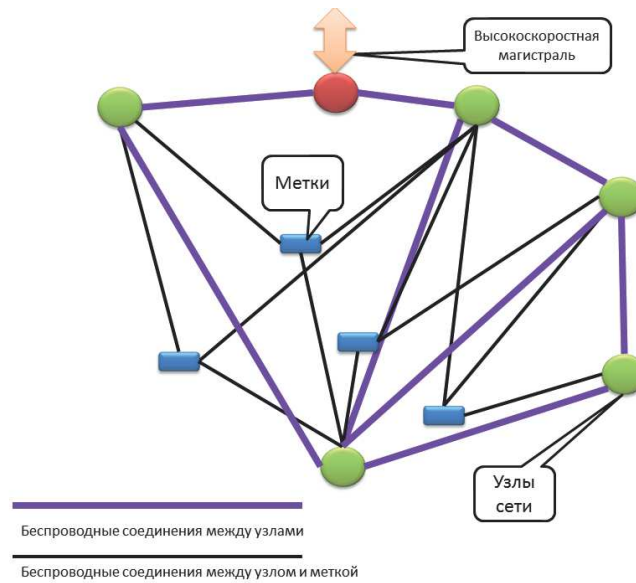


Рисунок 5 – Реальная топология WPAN-сетей с применением технологии MESH.

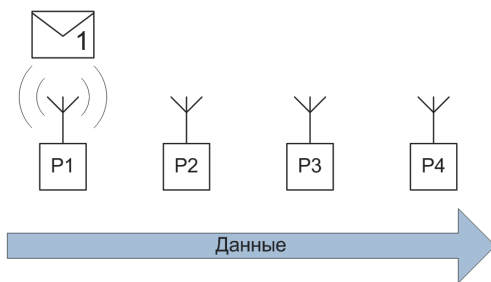


Рисунок 6а – Ретранслятор P1 передает Пакет 1 Ретранслятору P2.

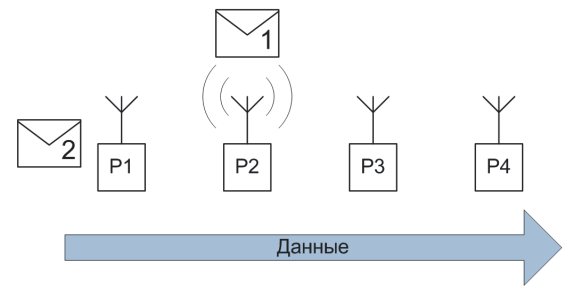


Рисунок 6б – Ретранслятор P2 передает Пакет 1 Ретранслятору P3. Ретранслятор P1 должен ждать, так как Ретранслятор P2 занял канал.

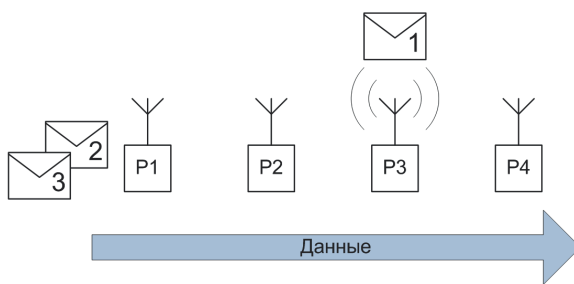


Рисунок 6в – Ретранслятор P3 передает Пакет 1 Ретранслятору P4. Ретранслятор P1 должен ждать, так как Ретранслятор P3 занял канал.

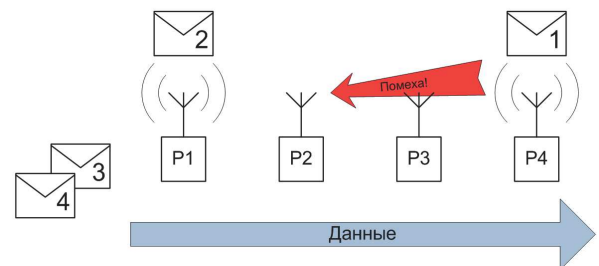


Рисунок 6г – Ретранслятор P4 передает Пакет 1 дальше по сети. Ретранслятор P1 предпринимает попытку передать Пакет 2 Ретранслятору P2. Передача Ретранслятора P4 может мешать ретранслятору P2 принять Пакет 2, поэтому могут потребоваться неоднократные попытки передачи.

ления» в случае повреждения любого узла сети. Mesh-топология позволяет передавать данные на большие расстояния путём разбиения длинного маршрута на серию коротких переходов между узлами - хопов/hops. Учет топологии сети приводит к тому, что реальная пропускная спо-

собность WPAN-сети существенно снижается. Связано это с тем, что пересылка пакета от хопа к хопу требует времени, а это приводит к задержке в передаче сигнала. Для примера можно рассмотреть процесс передачи пакета данных по WPAN-сети из 4 узлов (Ретрансляторов P1...

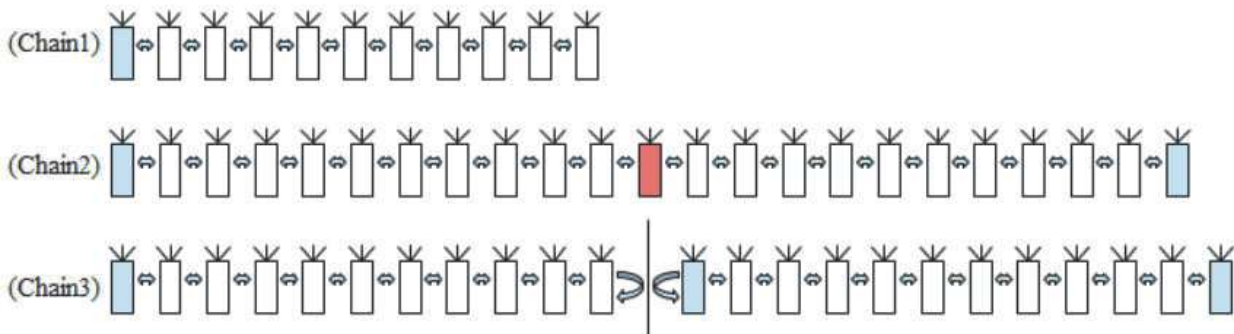


Рисунок 7 – Рекомендованные и нереконмендованные последовательности соединения ретрансляторов (рисунок взят для иллюстрации из источника [12]).

P4), показанный на рисунках ба-бг. Здесь предполагается, что P1 «слышит» процесс передачи P3, то есть P1 связан не только с соседним узлом P2, но и с узлом соседа-соседа P3. Это необходимо для того, чтобы в случае выхода из строя любого ретранслятора не обрушилась вся цепочка. То есть, если P2 выйдет из строя, то восстановится связь по маршруту P1-P3 и весь сегмент продолжит работу.

Очевидно, что скорость передачи данных в такой сети сильно снижается. Именно размеры выработок шахт ограничивают возможности MESH-сети, поскольку заставляют вытягиваться магистрали в длинные отрезки и ограничивают тем самым сети в построении оптимальных маршрутов. Косвенно это подтверждается данными опубликованными в [12]. В этой работе описываются проблемы, возникшие у компании

«Ингортех» при внедрении системы голосовой связи СМС «ИСЕТЬ» [13] на реальной шахте. СМС «ИСЕТЬ» практически идентична разработке RealTrac «Шахта» компании «RTL-сервис», однако отличается показателями производительности и возможностей сети. Так вот, в этой работе большое внимание уделяется правилам построения топологии сети, в частности указывается на то, что число последовательных узлов сети (хопов) не может быть больше 10. Здесь узлы инфраструктуры, которые взаимодействуют с мобильными устройствами системы (метками позиционирования, цифровыми рациями и т.д.) и другими точками доступа по радиоканалу называются РТД, а узлы инфраструктуры с выходом на высокоскоростную магистраль ШТД, так же как и в [13]. Предлагается расставлять узлы РТД только в рекомендованной последователь-

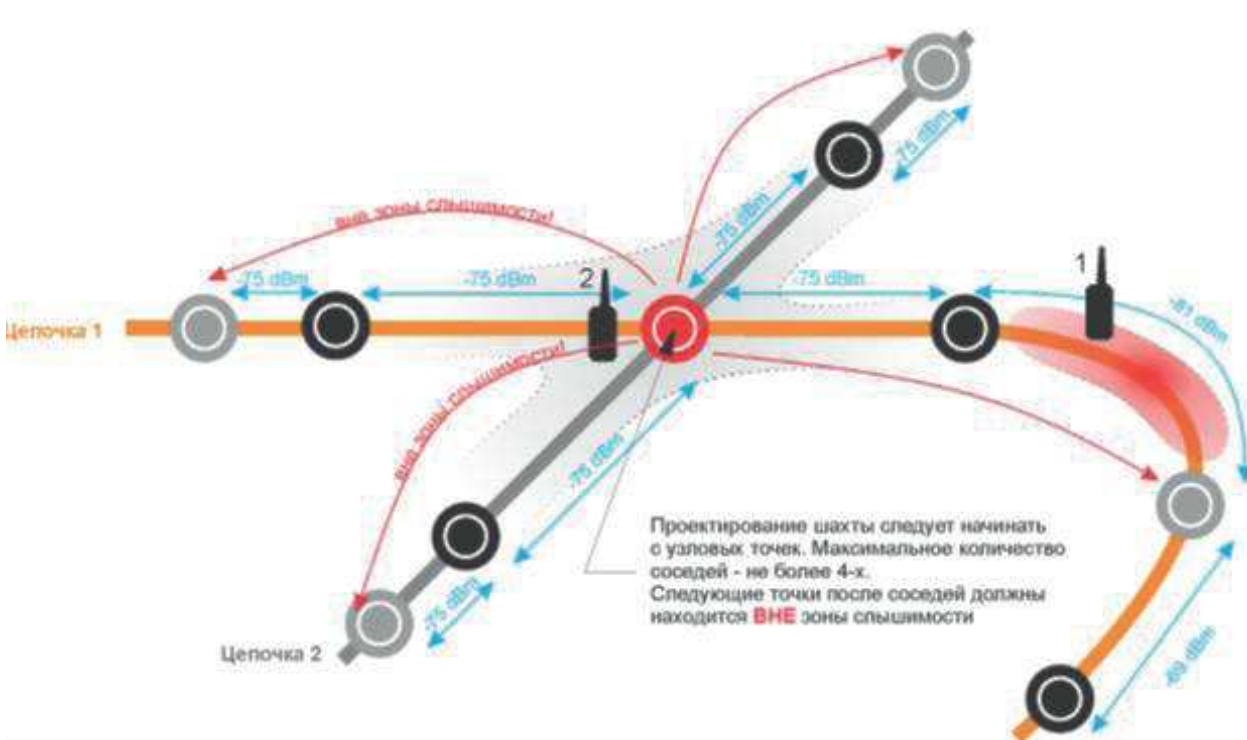


Рисунок 8 – Ограничения в последовательности соединения ретрансляторов (рисунок взят для иллюстрации из источника [12])

ности Chain1 на рисунке 7 и избегать последовательности Chain2. ШТД – конечный узел связи в цепочке Chain1 и закрашен голубым цветом. В цепочке Chain2 вся информация от 10 РТД справа и 10 РТД слева передается на ШТД в середине цепочки и парализует его работу. Для исправления ситуации рекомендуется применять непрозрачную преграду для электромагнитных волн в последовательности Chain3.

Так же советуется избегать топологий сети аналогичных конфигурации, указанной на рисунке 8. Если хоть один узел связи, указанный серым цветом будет доступен для связи узлу указанному красным цветом, то будет парализована работа всех радиосегментов сети, подключенных к этому узлу. И это одна из фундаментальных проблем стандарта IEEE 802.15.4 во всех его модификациях, которая получила название «IEEE 802.15.4 hidden node problem» или «проблема скрытого узла» [14], косвенно разобранная выше на примере четырех ретрансляторов.

Все эти ограничения указывают на то, что инфраструктура WPAN работает на пределе своей пропускной способности.

#### **Оценка производительности беспроводных WPAN-сетей с учетом других функций МФСБ**

До сих пор, мы рассматривали работу сетей WPAN на примере функции «Позиционирование персонала и оборудования», и уже на этом этапе столкнулись с ограничениями в работе развертывания инфраструктуры для обеспечения реальной работы. Попробуем теперь оценить, к чему приведет добавление новых функций.

Возьмем для примера функцию «Голосовая связь». Эта функция в такой сети реализуется по принципу IP-телефонии или передачи голоса внутри сети передачи данных. Стандартно она реализуется следующим образом. Голос работника преобразуется в цифровой файл с определенными потерями и уплотнением, описываемыми стандартом G.729A (алгоритм сжатия звука). Объем информации для передачи по одному каналу 8 кГц/16-бит. Для передачи такого объема информации потребуется скорость передачи около 24 кбит/с, что равносильно 24 каналам меток геопозиционирования. Если учесть, что в системе СМС «Исеть» производства «Интеллайн» заявляется 30 каналов [13] для дуплексной голосовой связи, то при одновременной работе всех каналов связи потребуется 720 Кбит/с, а это полностью парализует функцию «Позиционирование персонала и оборудова-

ния».

Таким же образом можно оценить затраты сети на передачу данных для функций «Мобильные датчики метана, кислорода, угарного газа». Отметим сразу, что данные измерений бесполезны без координат местонахождения этих датчиков, поэтому функция позиционирования для них крайне важна. Показания датчика, для обеспечения требуемой точности, одно число с плавающей запятой или одно 32-разрядное слово (32 байта, 256 бит). Три датчика дают добавку в 768 бит, то есть один дополнительный канал позиционирования (1024 бит). Если учесть, что датчики планируется размещать рядом с метками в составе светильников горнорабочих [10] и передавать данные с частотой определения координат, то нагрузка на систему передачи данных возрастает ровно в два раза, что ограничивает возможности развертывания на средние и крупные шахты.

#### **Сети на основе WLAN**

Сети передачи данных, построенные по технологии Wi-Fi, лишены большинства недостатков WPAN-сетей и образуют класс WLAN-сетей предназначенных для высокоскоростной передачи данных по беспроводному каналу связи. Достаточно указать на то, что вычисление координат меток проводится несколько раз в секунду и не существует каких-либо ограничений на передачу дополнительных данных внутри таких сетей. Системы управления и безопасности, построенные на основе таких систем, могут наращивать функционал на основе единой инфраструктуры связи. Например, система «SBGPS» производства компании «ГРАНЧ» кроме выполнения функций позиционирования и аварийного оповещения позволяет обеспечивать доступ в Интернет непосредственно из шахты любых серийных мобильных устройств, а также обеспечить связь с земной поверхностью с оборудованием, работающим в данный момент в шахте [15].

Те же технологии используют и зарубежные производители. Наиболее известные решения это «Connected Mining» [16] компании CISCO и «Becker Mining Systems» [17] компании Becker GmbH. Компания CISCO предлагает многофункциональные решения для рудников, а компания Becker кроме рудничных предлагает и решения для угольных шахт.

*Такие системы обеспечивают не менее: 6000 меток позиционирования с частотой опроса не менее 1 с<sup>-1</sup> или 6 Мбит/с;*



Беспроводную голосовую связь 30 каналов или 720 Кбит/с ;

Передачу данных с индивидуальных датчиков или 6 Мбит/с;

Дополнительные передачи, в том числе: видео, файлы и пр. 11-12 Мбит/с;

Резерв около 6 Мбит/с.

### Заключение

По результатам проведённой оценки можно сделать следующий вывод.

1. Вычислительные сети на основе сетей WPAN имеют ограниченное применение на предприятиях с небольшим количеством персонала, оборудования и с простой топологией. Несмотря

на простоту развертывания и параметры автономного энергопотребления, они совершенно не подходят для построения комплексных систем, поскольку ограничены в производительности и не имеют резерва для наращивания функциональности.

2. Для построения современных систем управления и контроля в горной промышленности, а так же эффективной реализации всех функций МФСБ, указанных в [1] необходимы высокопроизводительные сети WLAN на основе технологии Wi-Fi или сравнимой с производительностью передачи данных не менее 30 Мбит/с.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила безопасности в угольных шахтах/ Федер. нормы и правила в обл. пром. безопасности/ Серия 05. Выпуск 40. - М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем пром. безопасности», 2014. - 200 с.

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1-99. - «ВОС. Базовая эталонная модель. Часть 1. Базовая модель». - ОКС: 35.100.70. - Действует с 01.01.2000. - 62с.

3. Гайкович, Г.Ф. Стандартизация в области промышленных сетей. Развитие беспроводных стандартов для АСУ ТП / Г.Ф. Гайкович // Электронные компоненты. - 2009. - №1. - с. 48.

4. ГОСТ Р ИСО 15745-4-2012.- «Системы промышленной автоматизации и интеграция. Прикладная интеграционная среда открытых систем. Часть 4. Эталонное описание систем управления на основе стандарта Ethernet».- ОКС: 25.040.40. - Действует с 01.01.2012. - 503 с.

5. ГОСТ Р 55154-2012 «Оборудование горно-шахтное. Системы безопасности угольных шахт многофункциональные. Общие технические требования»// Введ. 22.11.2012. - М.: Стандартинформ, 2013.

6. Жуков, М.О. Система наблюдения и оповещения персонала угольных шахт. Состояние и перспективы развития. / М.О. Жуков, А.Е. Иванов, А.В. Мацко, И.В. Меркулов, Б.В. Нарымский // Вычислительные технологии. Специальный выпуск. - 2013. - Т.18. - с.107.

7. Ваганов, В.С. Многофункциональные системы безопасности, применяемые при производстве горных работ / В.С. Ваганов // Горная Промышленность. - 2014. - №3 (115). - с.25.

8. Моцеевич, А.П. Исследование скорости передачи данных в беспроводных сетях Nanonet. / А.П. Моцеевич // Беспроводные технологии. - 2006. - №3. - с.38.

9. Ферсте, Томас. Беспроводная платформа локализации мобильных объектов компании Nanotron для горнодобывающей промышленности / Thomas Foerste, Т. Кривченко // Беспроводные технологии - 2014 - № 3 - С. 66.

10. WiPAN краткое описание системы. Davis Derby. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.davisderby.com/>.

11. Подготовка инфраструктуры шахты для внедрения системы локального позиционирования и голосовой связи RealTrac. Блог фирмы «RTL-сервис». - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/rtl-service/blog/301224/>.

12. Система многофункциональной связи «ИСЕТЬ» (СМС «ИСЕТЬ»). Руководство по эксплуатации. ИМ.091000.001.00 РЭ ООО «ИНТЕЛМАЙН». / Екатеринбург. - 2014.

13. RealTrac™ “Шахта” - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://rtl-service.com/solutions/mining/>.

14. Uroš Pešović, Jože Mohorko, Karl Benkič, Žarko Čučej. Effect of hidden nodes in IEEE 802.15.4 / ZigBee. 17th Telecommunications forum TELFOR (November 24-26, 2009) - Belgrade: 2009 - С.161-164.

15. Система SBGPS. Руководство по эксплуатации./ Новосибирск: НПФ “ГРАНЧ”. - 2013.

16. Materials and Mining. Электронный ресурс компании CISCO. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/industries/materials-mining.html>.

17. Becker Mining Systems. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ru.becker-mining.com/>.

## REFERENCES

1. Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugol'nyhshahtah» [Federal rules and regulations in the field of industrial safety "Safety rules in coal mines"]. (2014). Moscow: ZAO «Nauchno-tehnicheskij centr issledovanij problem promyshlennoj bezopasnosti» [In Russian].
2. VOS. Bazovaja jetalonnaja model'. Chast' 1. Bazovaja model' [OSI. Basic reference model. Part 1. The base model]. (2000). *HOST R ISO/IEC 7498-1-99 from 1t January 2000*. - OKS: 1. 35.100.70 [In Russian].
3. Gajkovich, G. F. (2009). Standartizacija v oblasti promyshlennyh setej. Razvitie besprovodnyh standartov dlja ASU TP [Standardization in the field of industrial networking. The development of wireless standards for the APCS]. *Jelektronnye Komponenty - Electronic Components*, (1), 48 [In Russian].
4. Sistemy promyshlennoj avtomatizacii i integracija. Prikladnaja integracionnaja sreda otkrytyh sistem. Chast' 4. Jetalonnoe opisanie sistem upravlenija na osnove standarta Ethernet [Industrial automation systems and integration. Application integration open systems environment. Part 4. Reference description of control systems based on Ethernet]. (2012). *HOST R ISO 15745-4-2012 from 1t January 2012*. OKC: 25.040.40 [In Russian].
5. Oborudovanie gorno-shahtnoe. Sistemy bezopasnosti ugol'nyh shaht mnogofunkcional'nye. Obshhie tehniczeskie trebovanija [Mining equipment. System of coal mine safety multifunction. General technical requirements]. (2013) *HOST R 55154-2012 from 22th November 2012*. Moscow: Standartinform [In Russian].
6. Zhukov, M. O., Ivanov, A. E., Matsko, A. V., Merkulov, I. V., & Narymskij, B. V. (2013). Sistema nabljudenija i opoveshhenija personala ugol'nyh shaht. Sostojanie i perspektivy razvitija [System monitoring and alert personnel of coal mines. The state and prospects of development]. *Vychislitel'nye Tehnologii - Computing Technology*, 18, 107.
7. Vaganov, V. S. (2014). Mnogofunkcional'nye sistemy bezopasnosti, primenjaemye pri proizvodstve gornyh rabot [Multifunction security system used in the production of mining]. *Gornaja Promyshlennost' - Mining*, 3 (115), 25.
8. Moshhevikin, A. P. (2006). Issledovanie skorosti peredachi dannyh v besprovodnyh setjah Nanonet [Study the speed of data transmission in wireless networks Nanonet]. *Besprovodnye Tehnologii - Wireless Technology*, 3, 38.
9. Foerste, T., & Krivchenko, T. (2014). Besprovodnaja platforma lokalizacii mobil'nyh objektov kompanii Nanotron dlja gornodobyvajushhej promyshlennosti [Wireless platform localization of mobile objects Nanotron for the mining industry]. *Jelektronnye Komponenty - Electronic Components*, 3, 24.
10. WiPAN kratkoe opisanie sistemy. (2016) [WiPAN is a brief description of the system]. (n.d.). *Website Davis Derby*. Retrieved from: <http://www.davisderby.com> [In Russian].
11. Podgotovka infrastruktury shahty dlja vnedrenija sistemy lokal'nogo pozicionirovanija i golosovoj svjazi RealTrac [Preparation of mine infrastructure for the implementation of the system of local positioning and voice RealTrac]. (n.d.). Retrieved from <https://habrahabr.ru/company/rtl-service/blog/301224/> [In Russian].
12. «INTELMAIN» Ltd. (2014). *SISTEMA MNOGOFUNKCIONAL'NOJ SVJAZI «ISET"» (SMS «ISET"»)*. Rukovodstvo po jekspluatacii. IM.091000.001.00 RE [THE MULTI-FUNCTIONAL SYSTEM OF COMMUNICATION "ISET" (SMS ISET). The user's manual. THEM.091000.001.00 PE] [User manual]. Ekaterinburg: «INTELMAIN» Ltd. [In Russian].
13. RealTrac™ "Shahta" - RealTrac™ "Mine" (2016). Retrieved from <http://rtl-service.com/solutions/mining/> [In Russian].
14. Pešović, U., Mohorko, J., Benkič, K., & Čučej, Z. (2009). Effect of hidden nodes in IEEE 802.15.4 Proceedings from ZigBee. 17th Telecommunications forum TELFOR 2009 (24-26th November) (pp. 161-164). Belgrade.
15. NPF "GRANCH". (2013). *Sistema SBGPS. Rukovodstvo po jekspluatacii [System SBGPS. The user's manual]* [User manual]. Novosibirsk: NPF «GRANCH» [In Russian].
16. Materials and Mining. (n.d.). Retrieved from <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/industries/materials-mining.html>
17. Becker Mining Systems. (n.d.). Retrieved from <http://www.ru.becker-mining.com/> [In Russian].