

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

МОЛОКОВСКИЙ ИГОРЬ АЛЕКСЕЕВИЧ

УДК 621.39

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ
ОБЪЕКТОВ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель –
кандидат технических наук,
профессор Турупалов В.В.

Донецк – 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СРЕДСТВ СВЯЗИ ДЛЯ ТССН УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ	13
1.1 Основные направления развития телекоммуникационных технологий в ТССН угледобывающих предприятий	13
1.2 Обзор беспроводных технологий для ТССН	23
1.3 Обеспечение надежности передачи данных в ТССН	30
1.3.1 Международные требования к системам ТССН	30
1.3.2 Использование государственных стандартов при создании ТССН.	31
1.4 Выводы	34
2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТССН УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ	36
2.1 Модель определения координат в подземной части угледобывающего предприятия	36
2.2 Исследование волноводного распространения сигнала в выработке.....	42
2.3 Исследование распространения радиоволн в системе «излучающий кабель – подземная выработка»	59
2.4 Ожидаемый диапазон связи между перемещающимися объектами в условиях ограниченного пространства	62
2.5 Выводы	64
3 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	66
3.1 Исследование особенностей проектирования систем связи с применением излучающего кабеля	66
3.2 Построение ТССН для угледобывающих предприятий	72
3.3 Принцип работы и основные характеристики системы мониторинга	

мобильных объектов при помощи беспроводной ТССН	82
3.4 Исследование рабочих характеристик беспроводной ТССН в подземной части угледобывающего предприятия	84
3.4.1 Определение соотношения доставки пакетов	85
3.4.2 Определение коэффициента прохождения радиосигнала	97
3.5 Выводы	101
4 РЕАЛИЗАЦИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ТССН УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ	103
4.1 Сетевая информация и система поддержки принятия решений для ТССН угледобывающего предприятия	103
4.2 Аппаратно-программный комплекс определения местоположения мобильных объектов	108
4.3 Выводы	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	119
ПРИЛОЖЕНИЕ А Результаты экспериментальных исследований рабочих характеристик беспроводных приемопередатчиков в подземной части угледобывающего предприятия	131
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Алгоритм работы различных модулей аппаратно- программного комплекса	135
ПРИЛОЖЕНИЕ В Интерфейс пользователя АПК ЦТО	142
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Модель распространения радиоволн в условиях подземной части угледобывающих предприятий	149
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Документы о внедрении и использовании результатов работы	154

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АПК ЦТО	–Аппаратно-программный комплекс центра технического обслуживания
АРЧ	– Автоматическая регулировка частоты
АТС	– Автоматическая телефонная станция
АЦП	– Аналого-цифровой преобразователь
БСБ	– Беспроводная система безопасности
КТС	– Комплекс технологической связи
М	– Считыватель
НПАОТ	– Нормативно-правовой акт по охране труда
ОУ	– Оконечное устройство
ПГД	– Пульт горного диспетчера
ПК	– Персональный компьютер
ПФ	– Полосовой фильтр
СВЧ	– Сверхвысокие частоты
ТАШ	– Телефонный аппарат шахтный
ТССН	– Телекоммуникационная сеть специального назначения
УАПП	– Универсальный асинхронный приемник-передатчик
УС	– Устройство согласования
ФАПЧ	– Фазовая автоподстройка частоты
ФНЧ	– Фильтр низких частот
ЦАП	– Цифро-аналоговый преобразователь
CSMA/CA	– Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
FHSS	– Frequency Hopping Spread Spectrum
IEEE	– Institute Electrical and Electronics Engineers
LAN	– Local Area Network
PPS	– Portable Protocol Stack
TDMA	– Time Division Multiple Access

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В подземной части угледобывающего предприятия, как и на многих других промышленных предприятиях, используются различные технологические системы связи. Соответствующие системы в пределах подземных выработок, на поверхности угледобывающего предприятия, а также между подземными рабочими станциями являются жизненно важной частью правильного функционирования любого подземного средства связи. Отлаженная работа технологических систем, которые расположены в подземной части, вносит важный фактор в концепцию безопасности отрасли в целом. Если быстрый и точный поток технологической информации будет автоматически и непрерывно предоставляться для управления, то решения могут быть приняты скорее и точнее.

Точная оценка местоположения мобильных объектов при аварийной ситуации поможет быстрее найти персонал и оказать медицинскую помощь. В дополнение к этим очевидным преимуществам дистанционный мониторинг и управление оборудованием в условиях подземного пространства позволят управленческому персоналу предотвращать несчастные случаи и другие причины аварийных ситуаций. Решение данной проблемы является крайне важным. Так, например, по данным Государственной службы горного надзора и промышленной безопасности Украины только за 2012-й год по Донецкому территориальному управлению из-за организационно-технических причин погибло 64 чел., что составило 83,1% от общего числа погибших в угольной отрасли.

Исследования этих несчастных случаев, вызванных авариями, которые произошли на угледобывающих предприятиях в течение 2012 года, показали, что финансовые затраты на ликвидацию аварий составили почти 200 миллионов гривен (без учета денежных отчислений по временной потере

трудоспособности в результате несчастного случая). Около 50% от общих затрат, связанных с подземными несчастными случаями, были направлены угледобывающими компаниями в форме выплат компенсаций пострадавшим от несчастного случая. Исследования показали также тенденцию к снижению на определенный временной срок производительности труда работников угледобывающего предприятия, на котором произошел несчастный случай, особенно после серьезных аварий. Очевидно, что любые устройства или методы, в том числе системы связи с аварийным оповещением, комплексы мониторинга окружающей среды, системы определения местоположения персонала, приведут к сокращению количества несчастных случаев и быстро себя окупят.

Развитие угольной добывающей отрасли неизбежно, поскольку уголь играет наиболее существенную роль в национальном энергетическом балансе Украины. Важным фактором в развитии угольной отрасли является применение современных средств дистанционного управления технологическим процессом, а также методов контроля за состоянием окружающей среды и за мобильными объектами. Одной из основных характеристик таких систем является надежность. Согласно ГОСТ 2860-94 [40] это комплексный показатель, и для характеристики надежности используются понятия безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохранности и безопасности труда. В рассматриваемом случае надежность работы телекоммуникационной сети специального назначения (ТССН) позволяет обеспечить безопасное проведение работ в подземной части угледобывающих предприятий и, соответственно, получить социальный и экономический эффекты. Одной из важных составляющих социального эффекта является сокращение времени нахождения персонала в подземной части угледобывающего предприятия в аварийной ситуации за счет оперативного определения его местоположения. Достижения в дистанционном контроле состояния оборудования и условий подземного пространства достигаются за счет более широкого применения

компьютерной техники. Системы мониторинга подземной части угледобывающего предприятия при помощи компьютерной техники были уже ранее установлены в некоторых шахтах. В основном эти системы состоят из датчиков, помещенных в стратегические местоположения, ретрансляционных станций данных и систем передачи информации по беспроводным каналам связи с помощью различных приемо-передающих устройств. При этом компьютеры запрограммированы на обработку текущих данных для определения того, где и когда возникают аномальные явления, и для оповещения персонала. Однако эти системы выполняют, как правило, только одну из функций контроля, вынуждая угледобывающие предприятия устанавливать два и более комплексов, работа которых часто не согласуется друг с другом.

В последние годы ведутся интенсивные разработки по созданию современных комплексов технологической связи, в том числе на основе излучающих элементов систем или их отдельных блоков, т.е. нахождения стратегического места расположения приемоизлучающих устройств, прокладке соединительных линий, определения места нахождения мобильных объектов и т.д. Среди зарубежных и отечественных авторов, которые решали отдельные задачи этой проблемы, можно отметить следующих: I.F. Akyildiz [71,72], E.P. Stuntebeck [72], W. Su [71], Y. Sankarasubramaniam [71], E. Cayirci [71], H. Aniss [73], P.M. Tardif [73], R. Ouedraogo [73], P. Fortier [73], L. Boglione [79], M. Boutin [81], S. Affes [81], C. Despins [81], T. Denidni [81], В. Резаи [48], В. Вишневський [8], Г. Гайкович [8], А.А. Сахнюк [52], А.М. Литвин [52], А.М. Брюханов [5], Ю.А. Иванов [5], О.Г. Кременев [5], В.А. Решетюк [5], И.В. Бабенко [5], В.В. Турупалов [62], А.В. Василенко [6], А.Г. Шевченко [6], В.И. Ревякин [6], Г.В. Алешин [1], Ю.А. Богданов [1] и др.

Несмотря на большое количество работ, выполненных по созданию универсальных комплексов технологической связи для угледобывающих предприятий, с целью дальнейшего повышения безопасности работ и

надежности работы предприятия в целом возникла необходимость в эффективных методах определения местонахождения мобильных объектов, которые находятся в подземной части, и аварийной связи с ними по беспроводным технологиям. Большинство известных систем связи для угольной промышленности не позволяют одновременно определять точное местоположение мобильных объектов, управлять технологическим процессом и осуществлять мониторинг за состоянием окружающей среды. В отличие от существующих, предложенный подход к проектированию ТССН на основе беспроводных технологий позволяет проводить мониторинг всех технологических процессов и определять координаты персонала, а в случае аварийной ситуации – передавать сигнал тревоги или остановить процесс добычи угля, снять напряжение с механизмов. Все вышеизложенное подчеркивает важность и актуальность рассматриваемого вопроса.

Связь работы с научными программами, планами и темами

Вопросы и задания, которые рассмотрены в диссертационной работе, соответствуют Государственной программе развития «Основные научные направления и наиболее важные проблемы фундаментальных исследований в области естественных, технических и гуманитарных наук на 2009-2013 гг.», позиция 1.2.5.2 «Научно-техническое обеспечение процессов конвергенции телекоммуникационных сетей», которая утверждена приказом МОН Украины, Национальной Академией Наук Украины от 26.11.09 № 1066/609. Выполнение диссертационной работы связано с планами научно-исследовательских работ Государственного высшего учебного заведения «Донецкий национальный технический университет». Ряд положений диссертации являются результатами научно-исследовательских работ, выполненных при непосредственном участии автора в качестве исполнителя:

- «Исследование и разработка методов проектирования и повышения технической эффективности цифровых систем управления, информационно-измерительных систем и телекоммуникаций» (Н-03-11, 2011-2015 гг.);

– «Разработка теории синтеза дискретно-непрерывных систем автоматического управления технологическими объектами» (ДР№0111U001424, 2011-2013 гг.);

– Нормативно-правовой акт по охране труда «Системы и средства комплексной автоматизации и диспетчеризации шахт. Структура и общие требования».

Отдельные результаты исследования внедрены на ПАО «Автоматгормаш им. В.А. Антипова» при проектировании комплексов технологических средств связи для угледобывающих предприятий, а также на ООО «Инпромтех» для контроля за местоположением мобильных объектов, управлением технологическими процессами и для осуществления мониторинга за состоянием окружающей среды, что подтверждено соответствующими актами.

Результаты диссертационных исследований внедрены в учебный процесс ГВУЗ Донецкого национального технического университета в лекционном курсе по дисциплине «Промышленные системы телекоммуникаций».

Целью работы является повышение точности определения координат положения мобильного объекта в телекоммуникационных сетях в условиях динамического изменения окружающего пространства.

Для достижения поставленной цели необходимо решить общую научно-прикладную задачу разработки метода и средств мониторинга положения мобильного объекта в телекоммуникационных сетях специального назначения в условиях подземной части угледобывающих предприятий.

В свою очередь, для решения общей научно-прикладной задачи диссертации необходимо решить следующие **задачи**:

– выполнить анализ существующих методов контроля технологического процесса, местонахождение мобильного объекта и средств

передачи информации в телекоммуникационных сетях угледобывающих предприятий;

- разработать математическую модель определения координат подвижных объектов в условиях подземной части угледобывающих предприятий;

- усовершенствовать математическую модель распространения радиоволн в условиях ограниченного пространства за счет учета дестабилизирующих факторов окружающей среды очистного забоя угледобывающего предприятия;

- разработать метод определения местонахождения мобильных объектов за счет использования центра технического обслуживания телекоммуникационной сети специального назначения;

- разработать структуру аппаратно-программного комплекса сбора и анализа информации о местонахождении мобильных объектов с использованием центра технического обслуживания в телекоммуникационной сети угледобывающего предприятия.

Научная новизна состоит в предлагаемом новом подходе к определению местонахождения мобильных объектов с использованием центра технического обслуживания в телекоммуникационной сети специального назначения и заключается в следующем:

- впервые предложена математическая модель определения координат подвижных объектов, которая отличается тем, что учитывает параметры объектов при постоянном изменении положения окружающего пространства очистного забоя угледобывающего предприятия, и позволяет повысить точность определения местоположения мобильных объектов;

- усовершенствована модель распространения радиоволн в условиях ограниченного пространства, которая отличается от существующих учетом дестабилизирующих факторов окружающей среды очистного забоя угледобывающего предприятия. Данная модель позволяет оценить

суммарное затухание и максимальное расстояние между передающим и приемным устройствами;

– впервые предложен метод определения координат подвижных объектов, отличающийся тем, что учитывает конструктивные особенности оборудования очистного забоя угледобывающего предприятия и основан на построении расчетных сеток и модели определения координат, что позволяет уменьшить время аварийно-спасательных работ.

Объект исследования: процессы функционирования телекоммуникационных систем специального назначения угледобывающего предприятия.

Предмет исследования: метод обеспечения мониторинга в телекоммуникационной сети специального назначения угледобывающего предприятия.

Методы исследования: методы распространения радиосигналов, методы теории вероятности и математической статистики, методы моделирования на ПЭВМ.

Практическое значение полученных в диссертационной работе результатов для отрасли телекоммуникаций заключаются в следующем:

– на основе разработанного метода определения координат мобильных объектов определена структура технических средств для телекоммуникационной сети специального назначения в подземной части угледобывающего предприятия;

– разработан аппаратно-программный комплекс центра технического обслуживания, основанный на полученных теоретических и экспериментальных исследованиях математической модели определения координат мобильных объектов в телекоммуникационной сети специального назначения, позволяющий автоматизировать процесс поиска мобильных объектов в подземной части угледобывающего предприятия как в нормальном режиме работы, так и в аварийных ситуациях. Данный комплекс

отличается от ранее созданных более точным определением местоположения объектов (с точностью до 0,6 м);

– полученные результаты исследований используются при проектировании современных комплексов технологических средств связи для угледобывающих предприятий ПАО «Автоматгормаш им. В.А. Антипова» (акт внедрения от 21.01.2013 г.) и ООО «Инпромтех» (акт внедрения от 26.02.2013 г.);

– результаты разработки внесены в нормативно-правовой акт по охране труда «Системы и средства комплексной автоматизации и диспетчеризации шахт. Структура и общие требования».

Личный вклад соискателя

Заключается в самостоятельном получении основных научных результатов, экспериментальных исследований и апробации результатов. В печатных работах, опубликованных как в соавторстве, так и единолично отражено, что диссертантом самостоятельно сформированы задачи исследования, создана математическая модель определения координат подвижных объектов [39], развита модель распространения радиоволн в условиях ограниченного пространства [26, 30-31, 34, 36, 38], разработан метод определения координат мобильных объектов [24], определена структура технических средств для телекоммуникационной сети специального назначения [24].

Апробация результатов диссертации.

Основные результаты исследований были представлены и обсуждены на следующих научно-технических конференциях:

– IV Міжнародний науково-технічний симпозиум «Нові технології в телекомунікаціях», м. Вішків, Україна, 2011 р;

– VII Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології», м. Лівадія, АР Крим, Україна, 2011 р;

– VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології», м. Лівадія, АР Крим, Україна, 2012 р;

– VI Міжнародний науково-технічний симпозиум «Нові технології в телекомунікаціях», м. Вішків, Україна, 2013 р.

Публікації. Матеріали дисертації опубліковані в 15 наукових роботах, із них 11 – статті в професійних виданнях, згідно переліку ДАК України, 4 – тези доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, висновку, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи становить 161 сторінка, з яких 2 рисунки, 5 додатків на 30 сторінках і список використаних джерел – 100 назв на 12 сторінках. Дисертація написана російською мовою.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алешин Г.В. Эффективность сложных радиотехнических систем / Г.В. Алешин, Ю.А. Богданов – К.: Наукова думка, 2008. – 288 с.
2. Аппаратура стволowej радиосвязи «Весна–СРС» / С.В. Бабков, В.А. Казаков, В.П. Коптиков и др. // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2005». Т.1. – Дніпропетровськ: НГУ, 2005. – С. 48–53.
3. Бабков С.В. Исследование и разработка аппаратуры стволowej радиосвязи / С.В. Бабков, В.А. Козаков // Тезисы докладов конференции «Пути повышения безопасности горных работ в угольной отрасли». – Макеевка: МакНИИ, 2004. – С. 227–229.
4. Беспроводные сети ZigBee [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wless.ru/technology/?tech=1>.
5. Брюханов А.М. Интегрированная автоматизированная система табельного учета АСТУ / А.М. Брюханов, Ю.А. Иванов, О.Г. Кременев, В.А. Решетюк, И.В. Бабенко // Способы и средства безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. – Макеевка, 2009. – Вып. 2(24). – С. 109–116.
6. Василенко А. В. Аппаратура позиционирования персонала и подвижного оборудования / А.В. Василенко, А.Г. Шевченко, В.И. Ревякин // Уголь Украины. – 2009. – Вып. 12. – С. 12–14.
7. Верещагин Г.П. Связь в угольной промышленности / Г.П. Верещагин: Справочник. – М.: Недра, 1991. – 511 с.
8. Вишневський В. Беспроводные сенсорные сети в системах промышленной автоматизации / В. Вишневський, Г. Гайкович // Электроника: наука, технология, бизнес. – М., 2008. – Вып. 1. – С. 106–110.
9. Дворников В.И. Оценка эффективности устройств шахтной стволowej сигнализации и связи / В.И. Дворников, А.Н. Чехлатый // Проблеми експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок: збірник наукових праць. – Донецьк, 2004. – Вып. 99. – С. 279.

10. Дубинский А.А. Структура искробезопасных полевых шин управления и передачи данных / А.А. Дубинский, А.А. Дубинский, В.Д. Власов // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. / УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2008. – С.221–225.

11. Жданкин В. Применение fieldbus-систем во взрывоопасных зонах / В. Жданкин // Современные технологии автоматизации. – 2006. – Вып. 4. – С. 76–80.

12. Закон Украины «Про охорону праці» зі змінами та доповненнями № 2694-12 від 14.10.92 // Відомості Верховної Ради України, – 1992.– №49. – С.668.

13. Карпенко А.П. Конспект лекцій. Методи оптимізації: базовий курс [Електронний ресурс] / А.П. Карпенко / МГТУ ім. Н.Э. Баумана, Каф. САПР. – Режим доступа: <http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=MO/base.cou>.

14. Кветний Р.Н. Моделювання та оцінка параметрів якості зв'язку в телекомунікаційних мережах: монографія / Р.Н. Кветний – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 132с.

15. Клиماش М.М. Методи визначення показників якості послуг в телекомунікаційних мережах / М.М. Клиماش, Р.А. Бурачок, Т.В. Андрухів. – Львів: Нац. ун-т «Львівська-політехніка», 2009. – 285с.

16. Комплекс шахтной диспетчерской телефонной связи и оповещения «САТ» для работы на нефтяных, химических и горнодобывающих предприятиях с взрывоопасными зонами: Дейта Экспресс, ЧК: ALL-BIZ.INFO: Украина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://1918.ukrindustrial.com/cat.php? oid=165699>.

17. Комплекс шахтной телефонной связи искробезопасный ШТСИ4/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://eurosvyaz.com.ua/products/product/324/KPTS-4.html>.

18. Крук Б.И. Телекоммуникационные системы и сети: учебное пособие в 3-х т. Т.1: Современные технологии / Б.И. Крук, В.Н.

Попантопуло, В.П. Шувалов; под ред. проф. В.П. Шувалова. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 647 с.

19. Локализация внутри помещений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wless.ru/technology/?tech=11>.

20. Лопухов И. Концепция параллельного и кольцевого резервирования [Электронный ресурс] / Иван Лопухов // Журнал Современные технологии автоматизации. – Режим доступа: <http://issuu.com/cta-mag/docs/20121018?mode=window&viewMode=doublePage>.

21. Методические указания по обеспечению требований безопасности аппаратуры шахтной стволовой сигнализации и связи: Р 12.28.235-91 [Текст] // Макеевка: Минуглепром СССР, МакНИИ. – 1991.- 11с.

22. Методологія побудови систем контролю та моніторингу цифрових телекомунікаційних мереж: [монографія] / Р.Н. Кветний, В.Г. Лисогор, В.П. Посвятенко та ін. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 162с.

23. Молоковский И.А. Анализ современных средств связи в угольных шахтах и очистных забоях. / И.А. Молоковский // Materialy IV Mezinarodni vedecko-prakticka conference “Zpravu Vedecke Ideje – 2008” – Прага, 2008 р. – С. 62-68.

24. Молоковский И.А. Аппаратно-программный комплекс для центра технического обслуживания сети специального назначения / И.А. Молоковский, В.В. Турупалов // Наукові праці Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Донецьк, 2013. – Вип. 33. – С. 119-125.

25. Молоковский И.А. Влияние окружающей среды на передачу радиосигналов в промышленных телекоммуникационных системах / И.А. Молоковский // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної

конференції «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології». – К.: ДУІКТ, 2012. – С. 147–149.

26. Молоковський І.А. Исследование возможности передачи информации с помощью беспроводных технологий в телекоммуникационных сетях промышленных предприятий / И.А. Молоковський // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк, 2010. – Вип. 19 (171). – С. 77–82.

27. Молоковський І.А. Надежность промышленных телекоммуникационных систем / И.А. Молоковський, В.В. Турупалов, Л.А. Шебанова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк, 2011. – Вип. 20 (182). – С.152–155.

28. Молоковський І.А. Основные принципы безопасной эксплуатации промышленных телекоммуникационных систем технологических предприятий / И.А. Молоковський // Матеріали VI Міжнародного науково-технічного симпозиуму «Нові технології в телекомунікаціях». – Вишків: ДУІКТ, 2013. – С. 158–160.

29. Молоковський І.А. Повышение надежности передачи информации в сетях технологической связи / И.А. Молоковський, В.В. Турупалов, Л.А. Шебанова // Моделювання та інформаційні технології: збірник наукових праць / Національна Академія наук України. Інститут проблем моделювання в енергетиці. – К., 2009. – Вип. 54. – С. 109–112.

30. Молоковський І.А. Повышение надежности технологических сетей связи / И.А. Молоковський, И.Н. Яремко // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Донецьк, 2011. – Вип. 26. – С. 63–66.

31. Молоковський І.А. Расчет основных параметров передачи данных в сетях промышленных телекоммуникаций / И.А. Молоковський, В.В. Турупалов, Е.Г. Игнатенко // Наукові праці Донецького національного

технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк, 2012. – Вип. 22 (200). – С. 115–119.

32. Молоковський І.А. Система збору і передачі інформації в умовах обмеженого простору на базі протокола TCP/IP / І.А. Молоковський // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій - 2010». – К.: КПІ, 2010. – С. 189.

33. Молоковський І.О. Аналіз систем промислового зв'язку / І.О. Молоковський // Моделювання та інформаційні технології: збірник наукових праць / Національна Академія наук України. Інститут проблем моделювання в енергетиці. – К., 2009. – Вип. 52. – С. 157–160.

34. Молоковський І.О. Аналіз технологій бездротового зв'язку у технологічних мережах промислових підприємств / І.О. Молоковський, В.В. Турупалов, Л.О. Шебанова // Наукові праці Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Донецьк, 2011. – Вип. 28. – С. 88–93.

35. Молоковський І.О. Бездротові технології у технологічних мережах промислових підприємств / І.О. Молоковський, В.В. Турупалов // Матеріали VI Міжнародного науково-технічного симпозіуму «Нові технології в телекомунікаціях». – Вишків: ДУІКТ, 2011. – С. 54–56.

36. Молоковський І.О. Використання НВЧ радіо хвиль для зв'язку у технологічних мережах промислових підприємств / І.О. Молоковський, В.В. Турупалов, Л.О. Шебанова // Моделювання та інформаційні технології: збірник наукових праць / Національна Академія наук України. Інститут проблем моделювання в енергетиці. – К., 2011. – Вип. 62. – С. 130–137.

37. Молоковський І.О. Використання радіозв'язку у складних умовах розповсюдження / І.О. Молоковський, В.В. Турупалов // Матеріали науково-методичної конференції «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій - 2011». – Львів, 2011. – С. 21–23.

38. Молоковський І.О. Застосування випромінюючого кабелю у технологічних мережах промислових підприємств / І.О. Молоковський,

В.В. Турупалов, Л.О. Шебанова // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Донецьк, 2011. – Вип. 27. – С. 50–56.

39. Молоковський І.О. Модель визначення координат мобільних об'єктів в телекомунікаційних мережах спеціального призначення / І.О. Молоковський // Науковий вісник Чернівецького національного університету ім. Юрія Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. – Чернівці: ЧНУ, 2013. – Том 4, Вип. 1. – С. 106–109.

40. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 91 с. – (Національний стандарт України).

41. Нікитюк Л.А. Телекомунікаційні технології цифрових мереж: [навч. посібник] / Л.А. Нікитюк. – Одеса, 1999.

42. ОАО Союзцветметавтоматика, Комплексы аппаратуры СИГНАЛ-17, СИГНАЛ-18, СИГНАЛ-19, СИГНАЛ-20 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.scma.ru/ru/products/2-20.html>.

43. ООО Коммуникации – поставщик систем связи и речевого оповещения, гтс и переговорных устройств. Взрывозащищенное оборудование для интеркома и конференц-связи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.communications.su/en/sistemy-svyazi-i-bezopasnosti-dlya-rudnichnogo-sektora/17-sistemy-svyazi-i-bezopasnosti-dlya-rudnichnogo-sektora/155-sistemy-podzemnoj-svyazi-videonablyudeniya-i-avtomatizatsii-talnakh>.

44. Поповко А.М. Основы теории надежности / А.М. Поповко, С.В. Гуров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704с.

45. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10. – [Чинний від 2010-06-17].- К.: Мінвуглепром України, 2010. – 110 с.

46. Правила технічної експлуатації вугільних шахт: СОУ10.1-00185790-002-2005. - [Чинний від 2006-11-14]. – К.: Мінвуглепром України, 2006. – 353 с.

47. Продукция – АТС Coral FlexiCom 200 (АТС Coral FlexiCom): характеристика, краткое и подробное описание оборудования, монтаж, документация, форум [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://flexi.com.ua/products/prod.php?id=14>.

48. Резаи В. Создание беспроводных сетей мониторинга промышленного производства / В. Резаи // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – К., 2009. – Вип. 8. – С. 90-96.

49. Романов А.И. Телекоммуникационные сети и управление: [учеб. пособие] / А.И. Романов. – К.: Издательско-полиграфический центр «Киевский университет», 2003. – 247с.

50. Рошан П. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Руководство Cisco 802.11 Wireless Local-Area Network Fundamentals. / П. Рошан, Д. Лиэри — М.: Вильямс, 2004. – С. 304.

51. Самарский А.А. Уравнения математической физики: учебное пособие. – 6-е изд., испр. и доп. / А.А. Самарский – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 798 с.

52. Сахнюк А.А. Промышленные сети / А.А. Сахнюк, А.М. Литвин// Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. – К., 2004. – Вып. 2. – С. 6–8.

53. Сети и телекоммуникации, связь, журнал, журнал для профессионалов, кабельные системы, мобильный контент, cisco systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.seti-ua.com/?in=seti_show_article&seti_art_ID=407&_by_id=2&_CATEGORY=11.

54. Стеклов В.К. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку: підручник для вищ. навч. закладів / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Є.В. Кільчицький. – К.: Техніка, 2004. – 576с.

55. Теоретические и экспериментальные исследования по проблемам радиосвязи в шахтах, туннелях и других подземных сооружениях / под ред. Н.В. Авдеева. – М.: Экос, 1992. – 42с.

56. Технологии и протоколы передачи данных в промышленности Industrial Ethernet [Электронный ресурс] – М.: Компьютер - Информ, 2003. – Режим доступа: http://www.ci.ru/inform13_05/p_22.htm.

57. Технологии и стандарты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ihtc.ru/lib/bluetooth_prof.php.

58. Технология Bluetooth® [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wless.ru/technology/?tech=8>.

59. Турупалов В.В. Информационная система обеспечения безопасности промышленных предприятий / В.В. Турупалов // Науковий вісник Чернівецького університету «Комп'ютерні системи та компоненти»: збірник наукових праць. Т. 3. – Чернівці, 2012. – Вип. 2. – С. 65-68.

60. Турупалов В.В. Надежность промышленных телекоммуникационных сетей / В.В. Турупалов // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2012. – №2(22). – С.47–51.

61. Турупалов В.В. Основные требования к промышленным телекоммуникационным системам крупных технологических предприятий / Турупалов В.В. // Науковий вісник Чернівецького університету «Комп'ютерні системи та компоненти: збірник наукових праць. – Чернівці, 2012, Т. 3. Вип.1. – С.87-90.

62. Турупалов В.В. Повышение надежности технологических сетей связи / В.В. Турупалов, И.А. Молоковский // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології». – К.: ДУІКТ, 2011. – С.152–154.

63. Устройства безопасности / Открытое Акционерное Общество "Рудоавтоматика" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rudoavtomatika.ru/node/3>.

64. Чимишкян С. Распределенные алгоритмы управления [Электронный ресурс] / С. Чимишкян // Мир компьютерной автоматизации -

Распределенные алгоритмы управления. – Режим доступа: <http://www.mka.ru/?p=40083#>.

65. Шахтный подъем: научно-производственное издание / В.Р. Бежок, В.И. Дворников, И.Г. Манец, В.А. Пристром; общ. ред. Б.А. Грядущий, В.А. Корсун. – Донецк: ООО «Юго-Восток, ЛТД», 2007. – 624с.

66. Шмалько А.В. Цифровые сети связи. Основы планирования и построения / А.В. Шмалько. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 284 с.

67. Эйзенбарт В. Промышленные шины для систем автоматизации [Электронный ресурс] / Вольфганг Эйзенбарт // Мир компьютерной автоматизации – Промышленные шины для систем автоматизации. – Режим доступа: <http://www.mka.ru/?p=40169#>.

68. Яковлев А.В. Лекционный материал к курсу «Надежность информационных систем» [Электронный ресурс] /А.В. Яковлев / Владимирский государственный университет, Муромский институт (филиал). – Муром, 2004. – Режим доступа: http://www.skri.sut.ru/files/l_nis.pdf.

69. Ярембаш И.Ф. Производственные процессы в очистных забоях угольных шахт: учебник для вузов / И.Ф. Ярембаш, В.Д. Мороз, И.С. Костюк, В.И. Пилюгин // Донецк: РИА ДонГТУ, 1998. – 184 с.

70. Akyildiz I.F. A survey on wireless multimedia sensor networks / I.F. Akyildiz, T. Melodiaa and R.K. Chowdhurya // Computer Networks, 2007. – 51(4). – P.921–960.

71. Akyildiz I.F. Wireless sensor networks: a survey / I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci // Computer Networks. – 2002 – 38(4).– P. 393 – 422.

72. Akyildiz I.F. Wireless underground sensor networks: research challenges / I.F. Akyildiz, E.P. Stuntebeck // Ad Hoc Networks. – 2006 – 4(6).– P. 669 – 686.

73. Aniss H. Communications network for underground mines based on the IEEE 802.11 and DOCSIS standards / H. Aniss, P.M. Tardif, R. Ouedraogo, P.

Fortier // Proceedings of IEEE 60th Vehicular Technology Conference. – Los Angeles, USA, 2004. – Vol. 5 – P. 3605–3609.

74. Anybus Fieldbus and Ethernet connectivity solutions from HMS Industrial Networks [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании HMS. – Режим доступа: <http://www.anybus.com/>.

75. Austin B.A. Medium frequency body loop antenna for underground use / B.A. Austin // Proceedings of IEEE Colloquium on Electrically Small Antennas. – London, UK, 1990. – Vol. 3, 23 October. – P. 1–5.

76. Bandyopadhyay L.K. Development of an environmental monitoring system for underground coal mines/ L.K. Bandyopadhyay, S.K. Chaulya, M.K. Dutta, A. Narayan, M.Kumar // Proceedings of International Seminar on Coal Science and Technology – Emerging Global Dimensions / Allied Publishers – New Delhi, – 2002.– P.629–635.

77. Bandyopadhyay L.K. Studies on radio frequency propagation characteristics for underground coalmine communications. / L.K. Bandyopadhyay, P.K. Mishra, S. Kumar, D. Selvendran and S.K. Chaulya // Indian Journal of Radio and Space Physics, 2007. – V. 36. – P. 418–422.

78. Bandyopadhyay L.K. Studies on wireless communication systems for underground coal mines / L.K. Bandyopadhyay, S. Kumar, P.K. Mishra, A. Narayan, M.K. Sinha // Proceedings of International Seminar on Coal Science and Technology – Emerging Global Dimensions/ Allied Publishers. – New Delhi, India, 2008. – P.56–64.

79. Boglione L. RFID technology – are you ready for it? / L. Boglione// IEEE Microwave Magazine. – 2007. – 8(6). – P. 30–32.

80. Boutin M. Radio wave characterization and modeling in underground mine tunnels. / M. Boutin, A. Benzakour, C.L. Despins, S.Affes // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2008. – 56(2). – P.540–549

81. Boutin M. Statistical modeling of a radio propagation channel in an underground mine at 2.4 and 5.8 GHz / M. Boutin, S. Affes, C. Despins, T.

Denidni // Proceedings of IEEE Vehicular Technology. – Stockholm, Sweden, 2005. – Vol. 1. – P. 78–81.

82. Chaulya S.K. Modernization of Indian coal mining industry: Vision 2025/ S.K. Chaulya, L.K. Bandyopadhyay, P.K. Mishra // Journal of Scientific & Industrial Research, 2002. – V.67. – P.28–35.

83. Cocheril Y. Advantages of simple MIMO schemes for robust or high data rate transmission systems in underground tunnels / Y. Cocheril, C. Langlais, M. Berbineau, G. Moniak // Proceedings of IEEE 68th Vehicular Technology Conference. – Calgary, Canada. – 21–24 September 2008. – P.1–5.

84. Code of Federal Regulations - Title 30 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Mineral Resources http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=daba351fe2832dc7a8abf3af973c80ec&c=ecfr&tpl=/ecfrbrowse/Title30/30cfrv1_02.tpl.

85. Delogne P. The INIEX mine communications systems/ P. Delogne // Proceeding of International Conference of Radio: Roads, Tunnels and Mines. – Liege, Belgium, 1974. – Vol. 2. – P.129–136.

86. Glaser J.I. Attenuation and guidance of modes in hollow dielectric waveguides / J.I. Glaser // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. (Corresp.). Vol. MTT-17 –1969. – Mar. – p. 173-174. and M.I.T., Cambridge, Mass., Ph.D). thesis, Dep. Elec. Eng., Low-loss waves in hollow dielectric tubes. – 1967. – Feb.

87. Goddard A.E. Radio propagation measurements in coal mines at UHF and VHF / A.E. Goddard // Proc. Through-the-Earth Electromagnetics Workshop / Colorado School of Mines, Golden, Colo. – 1973. – Aug. 15-17, Available from Nat. Tech. Inform. Service, Alexandria, Va.

88. Held G. Data Over Wireless Networks Bluetooth, WAP and Wireless LANs / G. Held. – New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2001. – 344p.

89. HERN C.D. Practical experience gained with S.E.L. and Funke and Hunter radio systems for locomotives / C.D. HERN // Proceeding of International

Conference of Radio: Roads, Tunnels and Mines. – Liege, Belgium, 1974. – Vol. 2. – P.100–109.

90. Hill D.A. IEEE Transactions on microwave theory and techniques / D.A. Hill, J.R. Wait. – 1976. – v. MTT-24, #4, 476p.

91. Hill D.A. Propagation along a braided coaxial cable located close to a tunnel wall / D.A. Hill, J.R. Wait // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1976. – 24(7). – P.476–480.

92. Kumar V.V. Computerisation of Indian mining industry – quo Vadis? / V.V. Kumar, R. Guha // Proceedings of Third Conference on Computer Application in Mineral Industry (eds. Bandyopadhyay C and Sheorey PR). – Oxford & IBH Publisher, New Delhi, India, 2001. – P.15–22.

93. Kumari S. Performance of RFID devices in underground mines / S. Kumari, V. Jha, B. Mahato, B. Kumar, L.K. Bandyopadhyay, S.K. Chaulya, P.K. Mishra // Proceedings of National Seminar on Policies, Statutes and Legislation in Mines / Central Institute of Mining and Fuel Research. – Dhanbad, India, 20–21 December 2008, P. 244–253.

94. Mahmoud S.F. Calculated channel characteristics of a braided coaxial cable in a mine tunnel / S.F. Mahmoud, J.R. Wait // IEEE Transactions on Communication. – 1976. – V.24. – P.82–87.

95. Mariage Ph. Theoretical and experimental approach of the propagation of light frequency waves in road tunnels // Ph. Mariage, M. Lienard, P. Degauque // IEEE Transaction Antennas and Propagation. – 1994. – 42. – P.75–81.

96. Pahlavan K. Principles of Wireless Networks / K. Pahlavan, P. Krishnamurthy. – New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited, 2006. – 584p.

97. Slaughter R.J. Radio Electron. Eng / R.J. Slaughter. – 1975. – V.45. – #5. – 248p.

98. Stein G. Concept for an architecture of a wireless building automation / G. Stein, K. Kibitzes // Proceedings of Sixth IEEE Africon Conference. – George, South Africa. – 2-4 October 2002. – Vol. 1. – P.139–142.

99. Wait J.R. Analysis of radio frequency transmission in a semicircular mine tunnel containing two axial conductors / J.R. Wait, D.A. Hill // IEEE Transactions on Communication. – 1977. – V. 25. – P.1046–1050.

100. Zhang Y.P. Theory of radio wave propagation in railway tunnels / Y.P. Zhang, Y. Hwang // IEEE Transaction Vehicle Technology. – 2008. – V.47. – P.1027–1032.