

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

УДК 614.842.4

*На правах рукописи*

МИНОВ  
Никита Владимирович

**МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ  
ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1–38 80 04 Технология приборостроения

Научный руководитель  
РОЛИЧ Олег Чеславович  
канд. техн. наук, доцент

Минск 2015

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

**Ролич Олег Чеславович,**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

**Бондарик Василий Михайлович,**

кандидат технических наук, доцент, декан факультета непрерывного и дистанционного обучения учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет»

Защита диссертации состоится «22» июня 2015 г. в 9<sup>00</sup> часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 1 уч.корп., ауд. 415, тел.: 293-20-88, e-mail: [kafpiks@bsuir.by](mailto:kafpiks@bsuir.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## **ВВЕДЕНИЕ**

В последнее десятилетие актуальность проблемы обеспечения достоверности и своевременности получения информации о чрезвычайном происшествии в системах пожарной сигнализации значительно возросла.

До начала широкого использования адресно-аналоговых систем пожарной сигнализации и цифровых систем оповещения и эвакуации вопрос обеспечения помехоустойчивости цифровых линий связи не стоял так остро. Коммуникация между приборами системы проводилась, как правило, на низких скоростях (до 56200 бит/с), а информационные послылки имели небольшую длину (до 20 байт). Искажение информационной послылки не было критичным, так как при низкой загруженности канала связи пульт управления всегда имел возможность произвести повторный запрос.

В вышеупомянутых системах объем информации, передаваемой между устройствами системы, значительно возрастает (длина послылки может достигать 200 байт), что приводит к необходимости увеличения пропускной способности канала за счет увеличения скорости передачи данных. При высоких скоростях, дестабилизирующие факторы оказывают большее влияние на искажение сигнала, снижая общую помехоустойчивость системы.

Таким образом, обеспечение помехоустойчивости цифровых линий связи является одной из основных проблем, которые приходится решать инженерам на этапе разработки и проектирования систем передающих и обрабатывающих большие объемы данных.

Несмотря на интенсивное распространение беспроводных систем пожарной сигнализации, наиболее распространенными остаются системы, передающие данные по электрическим проводам, что обуславливает необходимость исследования параметров помехоустойчивости линий связи от таких факторов как параметры электрических проводов и их топология.

Данные факты, а также необходимость выработки практических рекомендаций по разработке и проектированию цифровых линий связи в системах пожарной безопасности поспособствовали выбору темы данной диссертации.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

В связи с тем, что от корректной работы систем пожарной сигнализации часто зависит здоровье людей и/или сохранность дорогостоящего оборудования, цена ошибки при разработке таких систем становится очень высокой. Таким образом, обеспечение отказоустойчивости и устранение ложных срабатываний являются основными задачами, которые приходится решать инженерам на этапах разработки, проектирования и наладки систем пожарной безопасности.

На настоящий момент, в странах СНГ и ЕС для введения в эксплуатацию нового объекта необходимо оборудовать его системой пожаротушения и/или системой оповещения и эвакуации. Именно поэтому, вопрос помехоустойчивости систем пожарной безопасности достаточно широко освещен в научной и технической литературе. Тем не менее, вопросы помехоустойчивости высокоскоростных цифровых линий связи поднимаются довольно редко.

Таким образом, одной из основных проблем для разработчика систем пожарной сигнализации становится обеспечение надежной и достоверной связи между различными блоками системы. Основными факторами, определяющими возможность или невозможность доставки информации и влияющими на достоверность и своевременность получаемой информации, являются: величина и интенсивность помех, параметры линий связи (в том числе и паразитные) и способы кодирования информации. В связи с этим появляется необходимость исследования влияния вышеупомянутых факторов на качество передаваемой информации и выработки рекомендаций по проектированию линий связи в системах пожарной сигнализации.

### **Степень разработанности проблемы**

Теоретические и практические вопросы обеспечения помехоустойчивости проводных цифровых линий связи вне контекста систем пожарной сигнализации рассмотрены в работах Бирюкова И.Н., Локоткова А., Беннета А., Бень Е.И., Денисенко В., Халявко А., Омельячука А.М., Пилинского В.В., Попова В.А., Вильямса Р., и др. Вопросы обеспечения помехоустойчивости систем пожарной сигнализации рассмотрены в работах Макарова С.Б., Пинаева А.И., Никольского М., Баканова В., Неплохова И. и др.

Основной акцент в исследованиях помехоустойчивости делается на освящении вопросов связанных с аналоговыми и адресными шлейфами пожарной сигнализации. Вопросы помехоустойчивости цифровых линий связи, если и ставятся в научной литературе, то либо имеют отношение к конкретной системе пожарной безопасности, либо рассматривают линию связи при низких скоростях передачи (до 56200 бит/с). Это не позволяет применять полученные данные для систем требующих передачи больших объемов данных, например, адресно-аналоговых систем, или систем использующих мультимедиа (таких как системы оповещения и эвакуации). Появляется необходимость исследования проблем обеспечения помехоустойчивости высокоскоростных линий связи в системах пожарной сигнализации, что позволяет определить цели, задачи, объект и предмет исследования.

### **Цель и задачи исследования**

Целью данной работы является выработка рекомендаций для проектирования и разработки линий связи систем пожарной безопасности на основе изучения и анализа методов обеспечения помехоустойчивости систем по-

жарной сигнализации.

В ходе составления плана исследования были поставлены **следующие задачи:**

– описать возможные воздействия паразитных параметров линий связи на помехоустойчивость систем пожарной сигнализации, рассмотреть методы повышения помехоустойчивости систем пожарной сигнализации;

– произвести компьютерное моделирование распространения сигнала по линии связи, пояснить механизм возникновения ошибок при приеме искаженного сигнала по линии связи *RS-485*;

– получить зависимости пропускной способности канала связи от различных длин линии связи и исследовать влияние эффекта длинных линий на распространение сигнала по электрическим проводам, на основе анализа методов обеспечения помехоустойчивости систем пожарной сигнализации предложить практические рекомендации по проектированию и разработке линий связи *RS-485*.

**Объектом исследования** являются дестабилизирующие факторы (помехи и паразитные параметры линий связи) в цифровых каналах передачи информации и способы кодирования данных.

**Предметом исследования** являются цифровые линии передачи данных в системах пожарной сигнализации.

### **Теоретическая и методологическая основа исследования**

В основу диссертации легли результаты научных исследований в таких областях как теория электрических цепей и теория информации, а также накопленный отечественными и зарубежными инженерами опыт разработки, проектирования и эксплуатации систем пожарной сигнализации.

Для получения теоретических результатов был проведен анализ предыдущих исследований на тему диссертации, результаты которых были обобщены и представлены в текстовом и графическом виде.

Моделирование искажений сигнала при прохождении по линии связи было произведено с помощью системы автоматизированного проектирования *Proteus*.

Экспериментальные данные для определения характера комплексного влияния дестабилизирующих факторов на работу цифровой линии связи были получены путем измерения пропускной способности канала системы пожарной безопасности, смонтированной в промышленном здании с использованием витой пары *UTP*. Аппроксимация полученных зависимостей проводилась с использованием программы *MSExcels*.

**Информационная база** исследования сформирована из ресурсов Интернет, сведений из научных изданий, описания результатов научно-исследовательских работ, материалов научных изданий, конференций и семинаров.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в получении,

аппроксимации и интерпретации экспериментальных данных, раскрывающих характер и степень влияния эффекта длинных линий на передачу данных по кольцевому интерфейсу *RS-485* систем пожарной безопасности.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

– анализ методов обеспечения помехоустойчивости систем пожарной сигнализации, основанный на изучении воздействий паразитных параметров линии связи на передачу сигнала;

– результаты компьютерного моделирования искажений сигнала в линии связи, раскрывающие механизм возникновения ошибок в канале связи *RS-485*;

– практические рекомендации по улучшению помехоустойчивости систем пожарной безопасности, выработанные на основании анализа результатов эмпирического исследования канала связи, в ходе которого получены и аппроксимированы зависимости пропускной способности канала от длины цифровой линии связи, а также, установлена степень влияния эффекта длинных линий на качество передачи сигнала.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что в ней приведены классификация и анализ воздействия дестабилизирующих факторов различной природы, рассмотрен комплекс мер, позволяющих организовать надежную связь между различными частями системы. Также раскрывается механизм возникновения ошибок в линии связи *RS-485*, что позволяет более детально подойти к проектированию линий связи использующих данный интерфейс.

**Практическая значимость** диссертации заключается в том, что на основе обобщения теоретических и эмпирических данных были выработаны рекомендации по проектированию и разработке линий связи систем пожарной безопасности и определены границы их применения.

**Апробация и внедрение результатов исследования**

Результаты исследования были представлены на 7-й международной студенческой научно-практической конференции БНТУ 2014 г., 12-й белорусско-российской конференции «Технические средства защиты информации» 2014 г. и международной научно-технической конференции приуроченной к 50-летию МРТИ-БГУИР 2014г.

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в пяти **опубликованных** работах общим объемом 10 листов (авторский объем 10 листов).

**Структура диссертационной работы** обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трех глав и заключения, библиографического списка и приложения. Общий объем диссертации – 59 страниц. Работа содержит 2 таблицы, 23 рисунка. Библиографический список включает 58 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы обеспечения помехоустойчивости линий связи систем пожарной безопасности, дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, даны сведения об объекте и предмете исследования, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о публикациях результатов работы, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассмотрены основные принципы построения систем пожарной безопасности, приведен возможный состав системы:

- пульт управления;
- панели индикации;
- извещатели пожарные;
- извещатели пожарные ручные;
- приборы приемно-контрольные;
- объектовое оконечное устройство;
- релейный модуль;
- источники бесперебойного питания;
- пожарные оповещатели (световые, звуковые и речевые);
- изоляторы-повторители и преобразователи цифровой линии связи;
- элементы пожарных шлейфов;
- приборы автоматической системы пожаротушения.

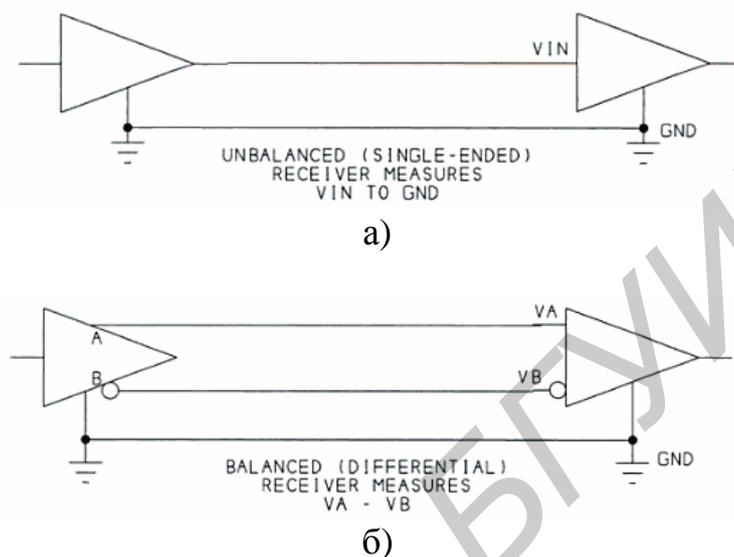
Рассмотрена классификация по различным признакам, а также перечень функций возложенных на системы пожарной сигнализации:

- обнаружение очага возгорания;
- оповещение о чрезвычайной ситуации дежурного персонала или ответственного лица за противопожарное состояние объекта;
- оповещение о чрезвычайной ситуации всего наличного на объекте персонала;
- управление системой автоматического пожаротушения;
- контроль и руководство ликвидацией очага возгорания и эвакуацией людей с опасных зон.

Кратко описан принцип работы и основные достоинства и недостатки различных видов линий связи в системах пожарной сигнализации, среди которых:

- радиоканал;
- *Ethernet*;
- оптоволоконная линия;
- *GSM*;
- телефонная линия;
- пожарный шлейф;
- шина питания.

Более детально рассмотрена линия связи *RS-485*, раскрыт принцип работы, приведены основные технические характеристики. С помощью схемы (рисунок 1) показано отличие дифференциального способа передачи сигнала от недифференциального.



*а – передача данных по одному проводу; б – передача данных по двум проводам*

**Рисунок 1 – Схематичное изображение способов передачи данных**

Показано современное состояние исследуемой проблемы, приведен обзор и критический анализ публикаций на тему исследования, выявлены основные недостатки и предложены пути совершенствования современных подходов к исследуемой проблеме. Дается обоснование актуальности темы исследования.

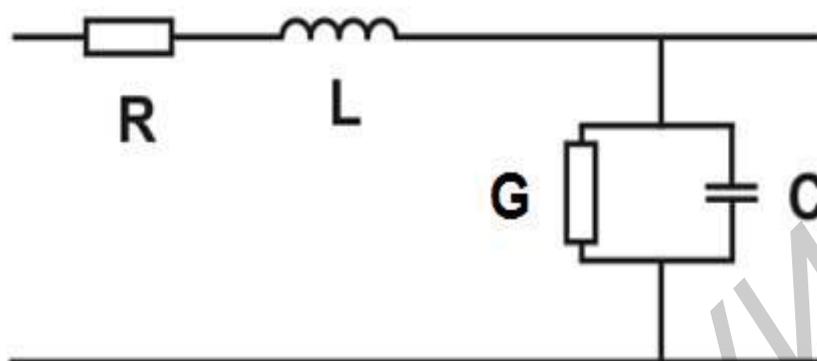
Во **второй главе** приведена классификация и описан принцип действия электромагнитных помех. Представлены некоторые методы борьбы с помехами.

Описаны основные стратегии применения математических способов обеспечения достоверности информации:

- при обнаружении ошибки в блоке данных осуществляется запрос повторной передачи поврежденного блока;
- при обнаружении ошибки поврежденный блок отбрасывается, Такая стратегия часто применяется в системах передачи мультимедиа информации, когда на повторную передачу нет времени;
- при обнаружении ошибки для ее исправления применяется корректирующий код.

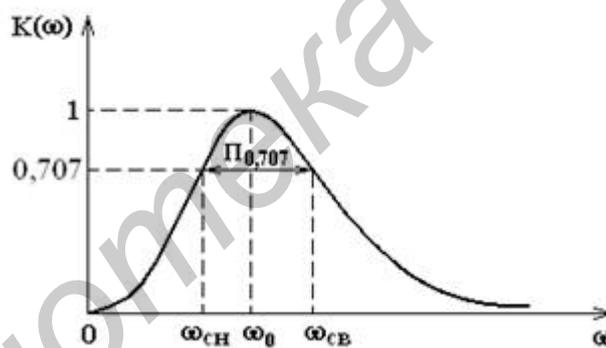
Приведены принцип действия и основные особенности и недостатки циклического избыточного кода и кода Хэмминга. Приведен анализ целесообразности применения данных кодов для различных ситуаций.

На основе эквивалентной электрической схемы витой пары проводов (рисунок 2) и ее АЧХ (рисунок 3), приведен анализ влияния основных паразитных параметров проводов на прохождения сигнала по линии связи.



$L$  – индуктивность;  $R$  – активное сопротивление;  $C$  – емкость,  
 $G$  – сопротивление изоляции

**Рисунок 2 – Эквивалентная схема пары проводов**

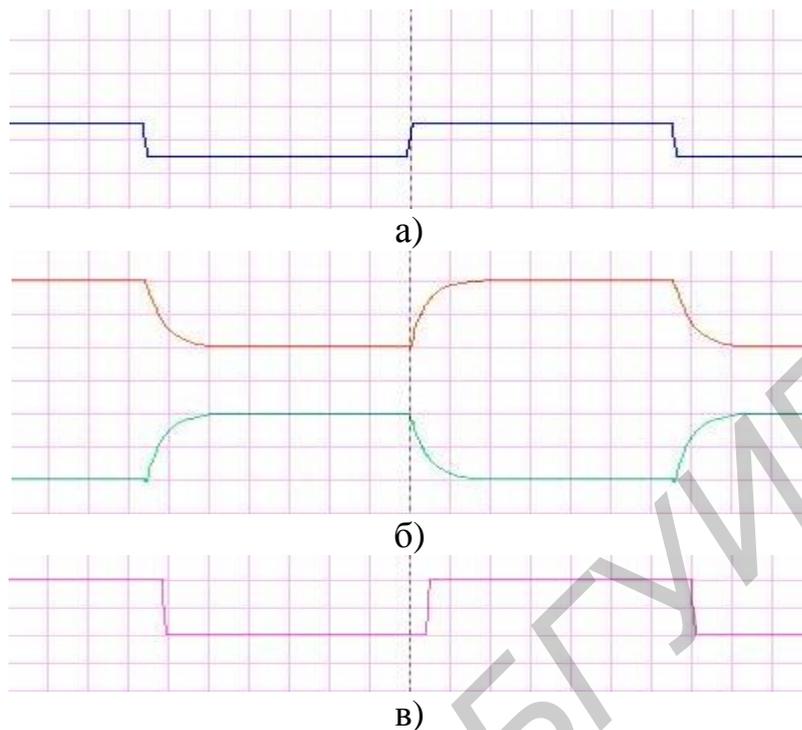


$K(\omega)$  – коэффициент передачи сигнала;  $\omega$  – частота сигнала, Гц;  $\omega_{сн}$  – нижняя частота среза;  $\omega_{св}$  – верхняя частота среза;  $\Pi$  – полоса пропускания

**Рисунок 3 – АЧХ RLC-фильтра**

Приведено описание эффектов возникающих в линии связи в результате наличия особенностей технологии монтажа электрических проводов, таких как эффект разветвленной топологии сети и эффект длинных линий. Описано распространенные ошибки, возникающие на стадии монтажа сигнальных проводов.

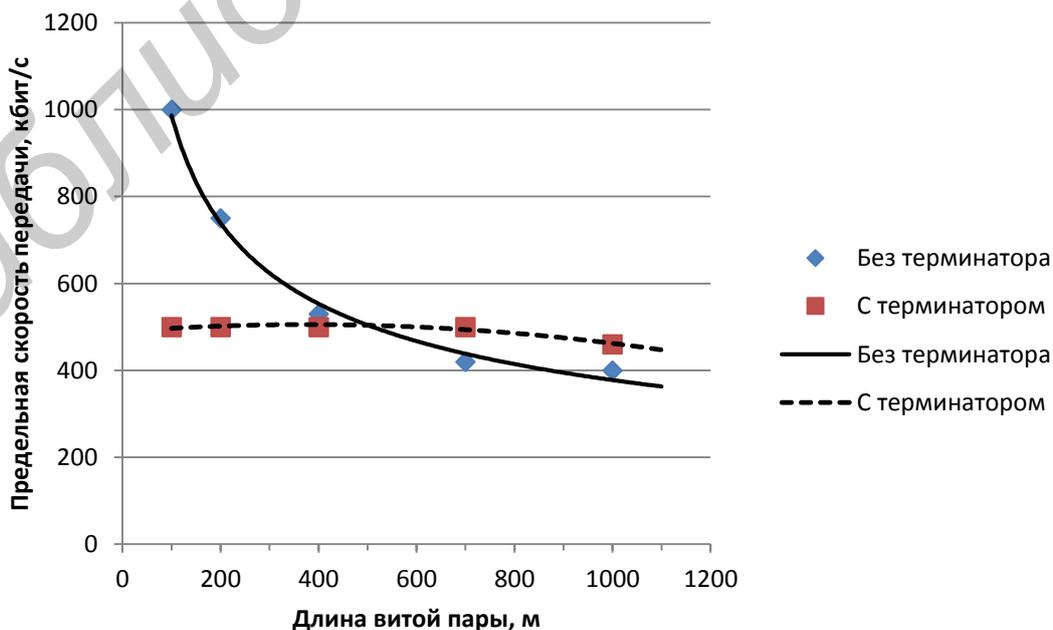
В **третьей главе** приведены результаты моделирования прохождения сигнала по линии связи (рисунок 4), на основе которых раскрыт механизм возникновения ошибок в линии связи RS-485.



*а – исходный цифровой сигнал; б – дифференциальный сигнал драйвера RS-485;  
в – цифровой сигнал, полученный на приемной стороне линии*

**Рисунок 4 – Искажение сигнала при передаче**

Приведены исходные данные и результаты эксперимента по определению характера влияния эффекта длинных линий на прохождения сигнала по каналу связи. Полученные зависимости аппроксимированы и представлены в графическом виде (рисунок 5), представлен анализ полученных результатов.



**Рисунок 5 – Полученные после аппроксимации зависимости**

Приведены рекомендации по проектированию и разработке линий связи систем пожарной безопасности, выработанные в ходе обобщения теоретических выводов и экспериментальных данных.

В приложении приведена печатная версия презентации к диссертации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа посвящена исследованию влияния дестабилизирующих факторов на работу цифровых линий связи систем пожарной сигнализации. Наибольшее внимание уделено особенностям работы проводного интерфейса *RS-485*, как одному из самых распространенных промышленных сетевых интерфейсов.

В ходе разработки плана диссертации был поставлен ряд задач, которые были выполнены со следующими результатами.

1) Кратко описаны принципы построения систем пожарной безопасности, приведена их классификация по различным признакам, перечислены модули, которые могут входить в состав систем. Проведен анализ различных видов коммуникационных линий систем пожарной безопасности, приводятся их основные достоинства и недостатки. Особое внимание уделено принципам работы интерфейса *RS-485*. Проведен критический анализ и классификация научных публикаций по теме исследования, выявлены основные недостатки существующих подходов и пути их совершенствования, обоснована актуальность темы исследования.

2) Приведена классификация электромагнитных помех, описан принцип действия различных видов помех. Приведена классификация помехоустойчивых кодов, описаны принципы реализации *CRC* кода и кода Хэмминга, проведен краткий анализ основных областей применения, достоинств и недостатков данных кодов. Описаны принципы действия паразитных параметров электрических проводов, на основе эквивалентной электрической схема витой пары проводов приведен анализ влияния различных составляющих паразитных параметров. Обоснована необходимость объединения нулевых проводов питания всех устройств системы, вводится понятие волнового сопротивления провода, описывается влияние эффекта длинных линий. Проведен анализ методов обеспечения помехоустойчивости систем пожарной сигнализации. Раскрывается влияние топологии сети.

3) В качестве результатов моделирования приведены искаженные формы сигналов во временной области. Продемонстрирован вклад различных паразитных параметров линии связи в искажения сигнала. Приведены результаты измерений пропускной способности канала связи при различной длине линии с подключением и без подключения терминального резистора, полученные данные аппроксимированы и представлены графически, сделаны выводы относительно влияния эффекта длинных линий на качество передачи

сигнала. Измерения проводились для кольцевого интерфейса *RS-485* и область применения результатов эксперимента ограничена областью применения данного интерфейса.

В ходе анализа результатов работы были выработаны практические рекомендации по проектированию и разработке линий связи систем пожарной безопасности. Определены границы применения рекомендаций, обозначены пути доработки и расширения границ применения полученных рекомендаций.

### Список опубликованных работ

1. Минов, Н.В. Особенности применения интерфейса *RS-485* в системах пожарной автоматики / Н.В. Минов // Сборник материалов международной научно-технической конференции приуроченной к 50-летию МРТИ-БГУИР часть 1. – Минск : БГУИР, 2014. – С. 102–103.

2. Минов, Н.В. Методы обеспечения помехоустойчивости систем пожарной сигнализации / Н.В. Минов // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем. Сборник материалов 50-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск : БГУИР, 2014. – С. 34.

3. Минов, Н.В. Применение CRC кодов для определения целостности блоков данных / Н.В. Минов // Сборник материалов 7-й международной студенческой научно-технической конференции БНТУ. – Минск, 2014. – С. 58.

4. Минов, Н.В. Оценка криптостойкости алгоритмов шифрования / Н.В. Минов // Технические средства защиты информации. Тезисы докладов 12-й Белорусско-российской научно-технической конференции. – Минск : БРУИР, 2014. – С. 29

5. Минов, Н.В. Эффект длинных линий в канале связи *RS-485* / Н.В. Минов // Интеграция мировых научных процессов как основа общественного прогресса. Материалы международных научно-практических конференций «Общества Науки и Творчества» за апрель 2015 года – Казань, 2015. – С. 281–286.