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

УДК 004.725.5

НОЖНИКОВ
Роман Александрович

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВНУТРИЗОНОВЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Автореферат
на соискание степени магистра
по специальности 1–45 80 01 Системы и сети инфокоммуникаций

_____

Научный руководитель
Кандидат технических наук,
доцент ХАЦКЕВИЧ
Олег Александрович

_____

Минск 2026

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами

Тема диссертационной работы соответствует пункту 1 приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности Республики Беларусь на 2021–2025 гг., утвержденных Указом Президента Республики Беларусь №156 от 7 мая 2020 г. «Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии, основанные на их производстве». Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Цель и задачи исследования

Целью магистерской диссертации является исследование способов повышения эффективности работы зоновых и местных сетей связи на базе современных технологий.

Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие задачи:

1 Рассмотреть тенденции развития местных и зоновых сетей связи применительно к Республике Беларусь.

2 Рассмотреть методы наращивания производительности внутризоновых сетей связи.

3 Рассмотреть и выбрать архитектуру сетей с коммутацией пакетов.

4 Произвести обзор и анализ современных технологий.

5 Рассмотреть возможности временного мультиплексирования и волнового мультиплексирования.

6 Разработать технические требования к модернизированной сети.

7 Произвести расчет основных технических характеристик модернизированной сети связи.

8 Выбрать оборудования для модернизированной сети.

Личный вклад соискателя ученой степени

Содержание диссертации отображает личный вклад автора. Он заключается в научном обосновании строительства на территории страны мультисервисных сетей связи следующего поколения с использованием архитектуры *NGN* (*Next Generation Networks*) на базе платформы *IMS* (*IP Multimedia Subsystem*). Концепция *IMS* представляет собой решение для

предоставления услуг в сетях, основанных на *IP*-протоколе, вне зависимости от использования абонентом мобильного или стационарного доступа.

Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводились совместно с научным руководителем к.т.н., доцентом О.А. Хацкевичем.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: 61-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, г. Минск.

Опубликование результатов диссертации

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликована 2 печатные работы.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка.

Общий объем диссертационной работы составляет 90 страниц, 24 рисунка, список использованных библиографических источников (41 наименование на 2 страницах), список публикаций автора по теме диссертации: 2 наименования.

Проверка на уникальность

Проведена экспертиза диссертации Ножникова Романа Александровича «Модернизация внутризоновых сетей связи на базе современных технологий» на корректность использования заимствованных материалов с применением сетевого ресурса «Антиплагиат» (адрес доступа: https://antiplagiat.ru) в *on-line* режиме 22 ноября 2024 г. В результате проверки установлена корректность использования заимствованных материалов (оригинальность диссертационной работы составляет 76,44 %).

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы данной работы состоит в том, что в настоящее время Министерство Связи РБ реализует проект развития широкополосного доступа в сетях связи. Основная цель стратегии – строительство на территории страны мультисервисных сетей связи следующего поколения с использованием архитектуры *NGN* (*Next Generation Networks*) на базе платформы *IMS* (*IP Multimedia Subsystem*). Концепция *IMS* представляет собой решение для предоставления услуг в сетях, основанных на *IP*-протоколе, вне зависимости от использования абонентом мобильного или стационарного доступа. Для обеспечения необходимой емкости сети для передачи больших объемов информации необходимо проведение модернизации существующих магистральных и внутризоновых сетей с внедрением новых технологий.

В качестве исследования в работе рассмотрена сеть связи одного из районов Могилевской области.

IMS (*IP Multimedia Subsystem*) – технология передачи мультимедийных данных в электросвязи на основе протокола *IP*.

Возможность передачи мультимедиа даёт возможность оператору предоставлять разнообразные услуги, использование протокола *IP* позволяет построить гибкую сеть с низкими операционными расходами.

В *IMS* выделяются 3 уровня сети: пользовательский уровень или уровень передачи данных уровень управления и уровень приложений.

Внедрение технологии *IMS* позволит обеспечить абонентов сельских сетей связи современными услугами, а также унифицировать оборудование, что упростит обслуживание сети связи.

Технология плотного волнового мультиплексирования *DWDM* предназначена для создания оптических магистральных сетей связи, работающих на гигабитных и терабитных скоростях. Такой скачок производительности обеспечивает принципиально иной, нежели у сетей *SDH*, метод мультиплексирования – информация в оптическом волокне передается одновременно большим количеством световых волн. Каждая волна несет собственную информацию, при этом для оборудования *DWDM* неважно, каким способом она кодируется, и какие протоколы используются для передачи данных – устройства *DWDM* занимаются только объединением различных волн в одном световом пучке, а также их выделением из общего сигнала.

Для достижения поставленной цели в диссертации необходимо решить следующие задачи:

– рассмотреть тенденции развития местных и зоновых сетей связи применительно к Республике Беларусь;

– рассмотреть методы наращивания производительности внутризоновых сетей связи;

– рассмотреть и выбрать архитектуру сетей с коммутацией пакетов;

– произвести обзор и анализ современных технологий;

– рассмотреть возможности временного мультиплексирования и волнового мультиплексирования;

– разработать технические требования к модернизированной сети;

– произвести расчет основных технических характеристик модернизированной сети связи;

– выбрать оборудования для модернизированной сети.

Внедрение технологии *IMS* позволит обеспечить абонентов сельских сетей связи современными услугами, а также унифицировать оборудование, что упростит обслуживание сети связи.

Технология плотного волнового мультиплексирования позволяет максимально использовать уже имеющуюся инфраструктуру за счёт возможности коммутации с технологией *SDH* и обеспечить возможность полного удовлетворения роста потребностей в скорости передачи информации.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Для решения поставленных задач и раскрытия темы диссертации необходимо дать само понятие *IMS* сетей, и определить её роль и особенности иерархии сетей передачи данных. Исходя из этих особенностей, рассмотренных в первой главе диссертации, будет рассмотрена топология сетей нового поколения, на которой базируется *IMS*, а также подробно рассмотрена архитектура ее построения. *IMS* функциональные возможности: взаимодействие с другими сетями, создание услуг и управление ими, роуминг, защиту информации, начисление платы.

Несмотря на довольно широкий спектр услуг, предоставляемый *IMS,* до сих пор наиболее важную роль играет двусторонняя аудио/видео связь. Для этого архитектура *IMS* должна поддерживать сеансы мультимедийной связи в *IP*–сетях, причем такая связь должна быть доступна пользователям как в домашней, так и в гостевой сетях.

Внедрение технологии *IMS* позволит обеспечить абонентов сельских сетей связи современными услугами, а также унифицировать оборудование, что упростит обслуживание сети связи.

Проведенный анализ в первом разделе позволяет сделать следующие выводы:

1 Сети следующего поколения *NGN* являются «надстройкой» над существующими технологиями транспортных сетей и позволяют обеспечить гибкость управления сетевыми услугами за счет решения следующих задач:

– создание единой информационной среды оператора связи;

– формирование распределенных прозрачных и гибких мультисервисных сетей;

– оптимизация управления *IT*-инфраструктурой;

– использование современных сервисов управления вызовами;

– предоставление мультисервисных услуг;

– управление услугами в реальном времени;

– поддержка мобильных пользователей;

– мониторинг качества предоставляемых услуг и работы сетевого оборудования.

2 *IMS* обеспечивает взаимодействие с другими сетями, инвариантность доступа, создание услуг и управление ими, роуминг, защиту информации, начисление платы. *IMS* обеспечивает следующие функциональные возможности: взаимодействие с другими сетями, инвариантность доступа, создание услуг и управление ими, роуминг, защиту информации, начисление

платы. Несмотря на довольно широкий спектр услуг, предоставляемый *IMS*, до сих пор наиболее важную роль играет двусторонняя аудио/видео связь. Для этого архитектура *IMS* должна поддерживать сеансы мультимедийной связи в *IP*–сетях, причем такая связь должна быть доступна пользователям как в домашней, так и в гостевой сетях.

3 Важную роль предоставления услуг по средствам технологии *IMS* является двухстороння аудио/видео связь с поддерживанием сеанса мультимедийной связи в *IP*–сетях.

Во второй главе «Обзор современных технологий по модернизации внутризоновых сетей связи» рассмотрены методы повышения производительности и гибкости сети, увеличения скорости передачи и увеличения ёмкости. Сравним разные методы наращивания производительности:

– дополнительная прокладка волоконно–оптического кабеля;

– переход к аппаратуре временного мультиплексирования TDM;

– применение технологий волнового мультиплексирования (WDM).

Первый способ до недавнего времени являлся стандартным для многих операторов связи, испытывающих необходимость в увеличении пропускной способности каналов связи. Как правило, прокладка нового кабеля оправдывается только при небольших расстояниях и если она не сопряжена с трудностями. Но даже в таком случае оператор вряд ли сможет предоставить новые сервисы и утилизировать полосу пропускания в достаточной степени. Это может показаться неожиданным, но установленное сегодня оборудование TDM использует менее 1 % возможностей оптического волокна. В большинстве случаев такое решение оказывается непрактичным или даже невозможным.

Второй способ – технология TDM предусматривает объединение нескольких входных низкоскоростных каналов в один составной высокоскоростной канал. Входные каналы по очереди модулируют высокочастотную несущую в течение выделенных им коротких промежутков времени (тайм–слотов), которые периодически повторяются.

Третий вариант – технология *WDM*, позволяющая заметно повысить эффективность использования суммарной пропускной способности оптических волокон.

WDM это вид технологии передачи в волоконно–оптической связи. Исходя из факта, что по волокну можно передавать одновременно несколько несущих с разной длиной волны, эта технология делит пригодные для передачи по волокну длины волн на несколько диапазонов. В каждом

диапазоне передаётся оптический сигнал на заданной длине волны и эти каналы независимы. Оптическое и волновое мультиплексирование по сути является оптическим и частотным уплотнением волокна (*OFDM*), но в оптическом диапазоне используют длину волны вместо частоты для описания процессов мониторинга и контроля. С развитием электронно–оптической техники, плотность уплотнения волокна будет сильно возрастать. В отличии от *DWDM* (*Dense Wavelength Division Multiplexing*/ Плотное волновое мультиплексирование) *WDM* с низкой плотностью называется *CWDM* (*Coarse Wave Division Multiplexing*/ Грубое волновое мультиплексирование).

По второму разделу можно сделать следующие выводы:

1 Модернизация местных зоновых сетей связи должна быть направлена на повышение объема передачи данных и увеличения количества абонентов. Модернизация должна учитывать перспективы развития сети связи и изменения в области технологии.

2 Модернизацию можно проводить на базе уже существующих сетей технологии *SDH*, *IMS*. Этот подход до недавнего времени являлся стандартным, однако оправдывался только при небольшом расстоянии и небольшом количестве абонентов.

3 Технология сложного волнового мультиплексирования (*Duxe Wave Division Multiplexing, DWDM*), позволяет создать магистральные линии нового поколения с гигабитными и терабитными скоростями. Технология *DWDM* позволяет увеличить пропускную способность линии связи без прокладки новых кабелей.

4 Понизить стоимость модернизации местных и зоновых сетей связи можно с помощью использования технологии *CDWM* (Глубокое мультиплексирование с разделением по длине волны). Такую технологию можно использовать на сетях городов области.

В третьем разделе рассмотрены вопросы модернизации внутризоновой сети Могилевской области и местной сети г. Бобруйска.

В Республике Беларусь применяется районированный способ построения телефонной сети. При таком способе город поделен на телефонные районы. Каждый район обслуживает своя районная АТС.

Были определены следующие основные направления предстоящей модернизации сетей: постепенная замена координатных станций и поэтапное повышение уровня цифровизации телефонных сетей; установка на местных сетях коммутационных систем большой ёмкости; постепенный переход от аналогово–цифровой к преимущественно цифровой сети общего пользования; создание интеллектуальной сети республики; применение на местной сети

систем сигнализаций в соответствии с последними достижениями и рекомендациями Международного союза электросвязи; внедрение новых принципов управления и системы технического обслуживания (создание центров технического обслуживания, центров управления сетью).

Был принят эволюционный вариант, предполагающий формировать элементы сети NGN, развивая на первоначальном этапе параллельно телефонию и сеть передачи данных. Тем самым осуществлялся поступательный переход к NGN и услугам, позволяющим оказывать в перспективе наряду с традиционными такие услуги, как *IPTV, VoD* (видео по запросу), *VoIP* (*IP*–телефон).

По третьему разделу можно сделать следующие выводы:

1 Модернизация местной сети связи должна производится на основе уже существующих радиально–узловых топологий. Также переход к сети *NGN/IMS* должен осуществляться эволюционно, совместно с развитием телефонии и услугами передачи данных.

2 Сеть *IMS* должна обслуживать абонентов технологии *xPON*, *DSLAM*, *MSAN*. Для установления мультисервисных вызовов через модернизированную сеть необходимо использовать протокол *SIP*. При проектировании сети *DWDM* топология сети «кольцо» сохранена.

3 С экономической точки зрения внедрение *DWDM* в местных сетях сопровождается высокой стоимостью соответствующей аппаратуры, особенно передающих устройств, и сложностью коммутации трафика. Однако, исследования показывают, что решения на базе технологии плотного волнового мультиплексирования могут оказаться экономически эффективными и в сетях гораздо меньшего масштаба. Для этого в них должны применяться недорогие мультиплексоры ввода/вывода, устанавливаемые в местах сопряжения местных и опорных сетей.

4 В настоящее время технология *DWDM* является наиболее перспективной, так как полностью позволяет параллельное использование с *SDH* для повышения эффективности последней.

Заключающий четвёртый раздел содержит расчеты основных параметров и анализ результатов. Дана комплексная оценка показателей эффективности работы сети и сделаны следующие выводы:

1 Расчёт планируемого объёма передачи данных показал, что проектируемая сеть связи полностью справится с запланированной нагрузкой, и в дальнейшем возможно многократное увеличение нагрузки.

2 Расчет участков регенерации сети показал, что установка дополнительных регенераторов не требуется.

3 Одним из основных преимуществ технологии *DWDM* является возможность такой организации сети, при которой достигается высокая надежность ее функционирования, обусловленная не только надежностью оборудования и надежностью среды передачи, но и возможностью сохранения или работоспособности сети даже в случае отказа одного из ее элементов или среды передачи.

4 Выбрано оборудование компании «*Huawei*». Основными преимуществами являются цена, гарантийное обслуживание и совместимость с другими поставщиками оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модернизация местных зоновых сетей связи должны быть направлена на повышение объема передачи данных и увеличения количества абонентов. Модернизация должна учитывать перспективы развития сети связи и изменения в области технологии. Модернизацию можно проводить на базе уже существующих сетей технологии *SDH*, *IMS*. Этот подход до недавнего времени являлся стандартным, однако оправдывался только при небольшом расстоянии и небольшом количестве абонентов.

Технология сложного волнового мультиплексирования (*Duxe Wave Division Multiplexing*, *DWDM*), позволяет создать магистральные линии нового поколения с гигабитными и терабитными скоростями. Технология *DWDM* позволяет увеличить пропускную способность линии связи без прокладки новых кабелей.

Понизить стоимость модернизации местных и зоновых сетей связи можно с помощью использования технологии *CDWM* (Глубокое мультиплексирование с разделением по длине волны). Такую технологию можно использовать на сетях городов области.

Рассмотрены существующие городская сеть г. Бобруйска и областная внутризоновая сети связи. Спроектирована схема модернизации внутризоновой сеть связи Могилевской области. Модернизация местной сети связи должна производится на основе уже существующих радиально–узловых топологий. Также переход к сети *NGN/IMS* должен осуществляться эволюционно, совместно с развитием телефонии и услугами передачи данных.

Сеть *IMS* должна обслуживать абонентов технологии *xPON*, *DSLAM*, *MSAN*. Для установления мультисервисных вызовов через модернизированную сеть необходимо использовать протокол *SIP*. При проектировании сети *DWDM* топология сети «кольцо» сохранена.

Произведенный расчет показал, что предложенный вариант модернизации в дальнейшем позволит значительно увеличить нагрузку на сеть. В качестве основного оборудования было предложено выбрать *OptiX OSN* 8800 компании *Huawei Technologies*. Для управления и мониторинга сети была выбрана система *OptiX iManager T*2000.

Практическая ценность данной работы заключается в том, что можно произвести модернизацию связи с учетом перспективности нагрузки и наименьшими затратами. Предложенный вариант значительно увеличивает производительность сети, упростит администрирования сети, сократит персонал.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Букрина, Е. В. Сети связи и системы коммутации : Учебное пособие. – Екатеринбург : УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2007. – 186 с.

[2] Recommendation ITU-T Y.2011. General principles and general reference model for next generation networks. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2021-200609/ – Дата доступа: 12. 10.2024

[3] Сети следующего поколения NGN / Под ред. А. В. Рослякова. – М. : Эко-Трендз, 2001. – 282 с.

[4] Принципы построения и функционирования сетей NGN // NGN Laboratory [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ngn-lab.ru/principy-postroeniya-ifunkcionirova / – Дата доступа: 12. 10.2024

[5] Гольдштейн, Б.С. Протокол SIP: справочник / Б.С. Гольдштейн, А.А. Зарубин, В.В. Саморезов. – СПб. : 2015. – 390 с.

[6] Гольдштейн, Б.С. Протокол SIP: учеб. пособие./ Б.С. Гольдштейн, В.Ю. Гойхман, Д.Н. Онучина. – СПб. : СПбГУТ, 2009. – 240 с.

[7] Гольдштейн, А.Б. SOFTSWITCH. / А.Б. Гольдштейн, Б.С. Гольдштейн. – СПб. : 2010. – 283 с.

[8] Архитектура IMS. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://intuit.ru/studies/courses/1150/157/lecture/28726?page=2 – Дата доступа: 14. 10.2024.

[9] Преимущества сетей нового поколения IMS Белтелеком. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://providers.by/2013/03/provajdery-minska/beltelecom/beltelekom-rasskazal-o-preimushhestvax-setej-novogo-pokoleniya-ims/?ysclid=m21zzqhqwp56267799 – Дата доступа: 14. 10.2024.

[10] IMS телефония - IP телефония Белтелеком. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://voiplab.by/wiki/new-voip-technology/51-ims-telefoniya-ip-telefoniya-beltelekom – Дата доступа: 14. 10.2024.

[11] Способы повышения производительности ЛВС. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://studfile.net/preview/5762364/page:6/ – Дата доступа: 14. 10.2024.

[12] TDM (мультиплексирование с временным разделением). [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://vasexperts.ru/resources/glossary/tdm-multipleksirovanie-s-vremennym-razdeleniem/ – Дата доступа: 14. 10.2024.

[13] Технология WDM. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://componentltd.ru/technical_information/articles/tekhnologiya-wdm/ – Дата доступа: 14. 10.2024.

[14] Технология DWDM. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://dwdm-sfp.ru/blog/chto-takoe-dwdm – Дата доступа: 14. 10.2024.

[15] CWDM — спектральное уплотнение оптических каналов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/113314/ – Дата доступа: 14. 10.2024.

[16] Бирюков, Н. Л. Транспортные сети и системы электросвязи. Системы мультиплексирования : учебник для студентов вузов по специальности «Телекоммуникации» / Н. Л. Бирюков, В. К. Стеклов; под ред. В. К. Стеклова. – Киев : Віпол, 2013. – 352 с.

[17] Зеленин, А.С. Проектирование инфокоммуникационных сетей. Курсовое проектирование: учеб.-метод. пособие / А. С. Зеленин, Н. В. Тарченко, В. Н. Урядов. – Минск : БГУИР, 2018. – 84 с.

[18] Букрина Е.В. Сети связи и системы коммутации: Учебное пособие / Е.В. Букрина. – Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2007 – 186 с.

[19] Мищенко, В. Н. Электронный учебно–методический комплекс по дисциплине «Направляющие системы телекоммуникаций» для студентов специальности I–45 01 01 Многоканальные системы телекоммуникаций / В.Н. Мищенко. – Минск : БГУИР, 2010. – 147 с.

[20] Гольдштейн Б. С. Сигнализация в сетях связи. Том 1 – 4-е издание – СПб. : БХВ – Петербург, 2014 – 448 с.

[21] Ломовицкий, В. В. Основы построения систем и сетей передачи информации : учеб. пособие для вузов / В. В. Ломовицкий [и др.]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2015. – 382 с.

[22] Хелд, Г. Технологии передачи данных. 7–е изд. / Г. Хелд. – СПб. : БХВ, 2013. – 720 с.

[23] Битнер, В.И. Лекции по дисциплине «Сети следующего поколения» / В.И.Битнер, – СПб. : НТЦ ПРОТЕЙ, 2008. – 252 с.

[24] Могилевская область. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://president.gov.by/ru/belarus/regions/mogilyovskaya/ – Дата доступа: 18.10.2024.

[25] Состояние и перспективы развития связи в Республике Беларуси. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://manager.by/sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya/ – Дата доступа: 18. 10.2024.

[26] Волоконно-оптическая техника: современное состояние и перспективы / Под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. – М. : Техносфера, 2010. – 607 с.

[27] Ломовицкий, В. В. Основы построения систем и сетей передачи информации : учеб. пособие для вузов / В. В. Ломовицкий [и др.]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2015. – 382 с.

[28] Хелд, Г. Технологии передачи данных. 7–е изд. / Г. Хелд. – СПб. : БХВ, 2013. – 720 с.

[29] Ткаченко, В. В. IMS завтра/ В.В Ткаченко// Сети и бизнес.- 2010. - №4. - С. 14 - 16.

[30] Урядов, В. Н. Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Компоненты волоконно–оптических систем передачи» для студентов специальности I–450101 Многоканальные системы телекоммуникаций./ В. Н. Урядов, – Минск : БГУИР, 2008. – 98 с.

[31] Росляков, А.В. Сети доступа: учебное пособие для вузов./ А.В. Росляков. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 57 с.

[32] Тарченко, Н. В. Курсовое проектирование цифровых сетей телекоммуникаций на основе оборудования SDH : учебно - метод. пособие по дисциплине «Проектирование цифровых систем передачи» для студентов специальности I-45 01 01 «Многокан. системы телекоммуникаций» днев. и заоч. форм обучения / Н. В. Тарченко. – Минск : БГУИР, 2007. – 84 с.

[33] Основы построения телекоммуникационных систем и сетей : Учебник для вузов / В. В. Крухмалев, В. Н. Гордиенко, А. Д. Моченов и др.; Под ред. В. Н. Гордиенко и В. В. Крухмалева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 510 с.

[34] Кучерявый, Е. А.. Управление трафиком и качество обслуживания в сети ИНТЕРНЕТ. – СПб.: Наука и Техника, 2004 – 336 с.

[35] Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. – Мн, : Дизайн ПРО, 1998. – 336 с. /Г.

[36] Технологии в сетях. Официальный сайт ЧУПП «ТелеМикс»/. – Режим доступа : http://telemiks.by/MOP_E116B.html/ – Дата доступа: 20.10.2024.

[37] Современные технологии для модернизации сети. – Режим доступа : http://naviny.by rubrics/computer/2012/01/11/ic_news – Дата доступа: 20.10.2024.

[38] Интерактивное телевидение ZALA – Режим доступа : http://zala.by/– Дата доступа: 20.10.2024.

[39] Huawei Technologies – Режим доступа : http://www.huawei.com/ru/. – Дата доступа: 20.10.2024.

[40] Промсвязь – Режим доступа : http://promsvyaz.by/. – Дата доступа: 20.10.2024.

[41] Белтелекабель – Режим доступа : http://www.beltelecabel.by/ – Дата доступа: 20.10.2024.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1] Ножников, Р. А. Модернизация внутризоновых сетей связи на базе современных технологий = Modernization of intrazone communication networks based on modern technologies / Р. А. Ножников, Е. А. Ножников // Информационная безопасность : сборник материалов 60-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 151–156.

[2] Ножников, Е. А. Модернизация сети сбора и передачи данных предприятия связи = Modernization of the communications company’s data collection and transmission network / Е. А. Ножников, Р. А. Ножников // Информационная безопасность : сборник материалов 61-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 21–25 апреля 2025 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2025. – С. 101–103.