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

УДК 004.7:004.715

КУЛЕШОВ
Игорь Сергеевич

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Автореферат
на соискание степени магистра
по специальности 7–06–0611–06 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 способы повышение эффективности работы мультисервисной сети связи крупного промышленного предприятия и проведение работы такой сети. Выбор данной темы связан с тем, что в настоящее время в Республике Беларусь ведется строительство новых крупных промышленных объектов, каждый из которых предполагается снабдить своей мультисервисной сетью связи, поэтому проблема выбора эффективного метода построения является актуальной.

Для достижения поставленной цели в диссертации необходимо решить следующие задачи:

1 Провести обзор и анализ принципов построения корпоративных мультисервисных сетей связи.

2 Рассмотреть современные технологии в корпоративных сетях.

3 Спроектировать корпоративную сеть предприятия.

4 Рассчитать основные характеристики сети связи.

5 Исследовать показатели корпоративной сети связи с помощью математической модели.

6 Синтезировать модель корпоративной мультисервисной сети связи.

7 Предложить эффективные методы оптимизации работы мультисервисной сети связи предприятия.

Личный вклад соискателя ученой степени

Содержание диссертации отображает личный вклад автора. Он заключается в научном обосновании способов оптимального построения

корпоративных мультисервисных сетей связи для крупных промышленных предприятий.

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 60-ой и 61-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, г. Минск.

Основные результаты работы сводятся к следующему.

1 Предлагается концепция архитектуры мультисервисной сети связи крупного телекоммуникационного предприятия.

2 Учитывая территориальную распределенную структуру предприятия было предложено использовать технологию виртуальных частных сетей *VPN* и механизм передачи данных *LPNS*.

3 Проведена оптимизация работы проектируемой корпоративной сети по методике сжатия и дедупликации трафика.

4 Проведено имитационное моделирование сети с помощью программного обеспечения *Riverbed Modeler Academic Edition*.

5 Рассмотрен вопрос повышения максимального заполнения полосы пропускания канала связи с помощью модифицированного *High-Spid TCP* по методике, предложенной в литературе [32].

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, пяти глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка.

Общий объем диссертационной работы составляет 96 страниц, 33 рисунка, список использованных библиографических источников (36 наименование на 3 страницах), список публикаций автора по теме диссертации: 2 наименования.

Проверка на уникальность

Проведена экспертиза диссертации Кулешова Игоря Сергеевича «Способы повышения эффективности мультисервисных сетей связи» на корректность использования заимствованных материалов с применением сетевого ресурса «Антиплагиат» (адрес доступа: *https://antiplagiat.ru*) в *on-line* режиме 22 ноября 2025 г. В результате проверки установлена корректность использования заимствованных материалов (оригинальность диссертационной работы составляет 78,91 %).

ВВЕДЕНИЕ

Использование данных самого разного формата стало неотъемлемой составляющей деятельности любого предприятия. Телефонная связь, видеообщение, электронная почта, передача данных через Интернет применяются при взаимодействии организации с внешними контрагентами, в процессе функционирования бизнес-процессов, в рамках выработки управленческих решений руководством предприятия. Все это ведет к разрастанию разнородной сетевой инфраструктуры и увеличению затрат на ее содержание. Выходом из сложившейся ситуации является создание мультисервисной сети.

Мультисервисная сеть – это универсальная многоцелевая среда, предназначенная для передачи речи, изображения и данных с использованием технологии коммутации пакетов (*IP*). В результате единая инфраструктура служит для передачи информации самого разного формата. С технической точки зрения мультисервисная сеть представляет собой совокупность сетевого оборудования, позволяющего наиболее эффективно организовать взаимодействие оконечных устройств корпоративной сети между собой. Подобный подход позволяет значительно сократить количество каналов связи и, как следствие, снизить расходы на создание и поддержку сетевой инфраструктуры.

Актуальность темы данной работы состоит в том, что в настоящее время в Республике Беларусь большинство крупных предприятий предпочитают самостоятельно строить и эксплуатировать сети связи. Также наблюдается тенденция объединения множества сервисов в одну мультисервисную сеть связи.

В данной работе рассмотрены вопросы проектирования мультисервисной сети связи на примере крупного промышленного предприятия горно-обогатительного комплекса.

Эффективность построения и использования корпоративных мультисервисных систем является приоритетной задачей при проектировании предприятий.

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

Корпоративная мультисервисная сеть охватывает от нескольких десятков пользователей в сети малого предприятия или удаленного офиса компании до нескольких сотен тысяч абонентов в сети крупной корпорации.

Выбор оптимального варианта построения корпоративной мультисервисной сети во многом определяется территориальной спецификой, связанной с необходимостью объединить удаленные филиалы. Использование проверенных на практике архитектурных решений обеспечивает высокую надежность и масштабируемость информационной системы. Кроме того, технологии управления качеством обслуживания, генетически присущие мультисервисным сетям, необходимы не только для передачи голосового и видеотрафика, но и для обеспечения бесперебойной работы чувствительных к временным задержкам бизнес-приложений.

Для достижения поставленной цели в диссертации необходимо решить следующие задачи:

1 Провести обзор и анализ принципов построения корпоративных мультисервисных сетей связи.

2 Рассмотреть современные технологии в корпоративных сетях.

3 Спроектировать корпоративную сеть предприятия.

4 Рассчитать основные характеристики сети связи.

5 Исследовать показатели корпоративной сети связи с помощью математической модели.

6 Синтезировать модель корпоративной мультисервисной сети связи.

7 Предложить методы оптимизации работы мультисервисной сети связи предприятия.

Инвестиции в сетевую инфраструктуру позволяют оптимизировать процесс управления предприятием и снизить риски, связанные с работой критически важных для бизнеса информационных систем.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Тема диссертации: способы повышения эффективности мультисервисных сетей связи.

Для решения поставленных задач и раскрытия темы диссертации рассмотрены вопросы проектирования мультисервисной сети связи на примере проектируемого крупного промышленного предприятия горно-обогатительного комплекса.

Корпоративная сеть связи должна обеспечить: централизованный доступ к сети Интернет, дистанционный режим доступа к серверам и базам данных, передачу данных корпоративных приложений, аудио- и видеоконференцсвязь, видеонаблюдение, единый электронный документооборот.

Для решения поставленных задач в магистерской работе необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- провести анализ принципов построения корпоративных сетей связи;
- определить сервисы, необходимые предприятию;
- разработать алгоритм проектирования сети;
- выполнить расчет требуемой пропускной способности;
- обеспечить резервирование сети и защиту передаваемых данных;
- исследовать потоки данных в сети;
- исследовать сеть с помощью прикладной программы имитационного моделирования.

Вышеперечисленные действия позволяют упростить процесс управления предприятием, сделать работу компании более централизованной, оперативно контролировать все технологические процессы и работу всех подразделений, обеспечить доступ ко всем информационным ресурсам предприятия и оперативную связь в режиме реального времени.

В данной работе будут проведены исследования и рассмотрены способы оптимизации построения корпоративных сетей связи.

Объект исследования – корпоративные мультисервисные сети связи.

Предмет исследования – методы проектирования и построения мультисервисных сетей связи.

На основе полученных результатов будут предложены наилучшие способы и технологии для построения сети.

В первом разделе рассмотрены концепция и особенности построения корпоративных мультисервисных сетей связи.

Мультисервисная сеть, способная предоставить единую платформу передачи голоса, видео и данных, за счет применения интегрированных решений позволяет уменьшить стоимость владения, поддержки сложных, интегрированных прикладных программ и сетевого оборудования.

Концепция мультисервисности охватывает множество аспектов построения сети, позволяя добиться требуемого качества решения задач пользователей, функционирования как отдельных частей, так и сети в целом.

Архитектура современной сети состоит из ядра, инфраструктуры доступа и периферии (границы сети). На разных уровнях сети должны приниматься различные решения.

Метод сегментирования сетей с помощью технологии VLAN является наиболее предпочтительным в силу производственных соображений, а также по причине того, что топология сетей связи постоянно динамически изменяется.

Сегментирование выполняется логически по исполняемым функциям, используемым приложениям или по принадлежности пользователей к определенному отделу, вне зависимости от физического расположения их компьютеров.

Эффективная оптимизация сети позволяет увеличить производительность, повысить доступность ресурсов, улучшить безопасность и обеспечить более эффективное использование ресурсов. Она также помогает снизить операционные расходы и улучшить общее пользовательское удовлетворение.

Рассмотрены технологии построения корпоративных мультисервисных сетей.

Так, для организации сети использована технология Ethernet, позволяющая в кратчайшие сроки осуществить запуск и наладку сети. Технология Ethernet позволяет легко осуществлять масштабирование сети без влияния на работу действующего персонала. Следует отметить, что Ethernet является мировым стандартом для организации LAN сетей.

Для защищённого соединения территориально разнесённых филиалов организации целесообразно использовать технологию VPN MPLS. От других технологий построения виртуальных частных сетей, таких как VPN на базе ATM или Frame Relay, технологию VPN MPLS выгодно отличает хорошая масштабируемость, возможность автоматического конфигурирования и естественная интеграция с другими сервисами протокола IP.

При передаче конфиденциальной информации важно обеспечить высокий уровень надёжности шифрования. Наиболее известным

представителем техники шифрования для организации защитного канала в сетях VPN является технология IPSec. Основное назначение сервиса IPSec состоит в обеспечении безопасной ПД по IP-сетям с использованием любой технологии канального уровня (PPP, Ethernet, ATM и т.д.). Применение протокола IPSec гарантирует целостность, аутентичность и конфиденциальность данных.

Таким образом, применение VPN MPLS на основе Ethernet сетей с шифрованием данных по протоколу IPSec позволяет спроектировать современную корпоративную сеть и создать фундамент для дальнейшего моделирования сети, целью которого является дальнейшая оптимизация.

Во второй главе описана структура предприятия и место в ней проектируемого горно-обогатительного комбината.

Определен перечень сервисов:

- локально-вычислительная сеть;
- IP-телефония;
- видеонаблюдение;
- видеоконференцсвязь;
- автоматизированная система управления предприятием;
- автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии;
- система контроля и управления доступом;
- система пожарной сигнализации.

Проектируемая корпоративная мультисервисная сеть связи строится по многоуровневой архитектуре. Архитектура сети предполагает строение трех уровней:

1 Уровень ядра представлен коммутатором уровня ядра, а также линиями связи к коммутаторам уровня распределения. Линии связи выполнены по технологии Gigabit Ethernet.

2 Уровень распределения представлен коммутатором уровня распределения, а также линиями связи к коммутаторам уровня доступа. Линии связи выполнены по технологии Fast Ethernet.

3 Уровень доступа представлен коммутатором уровня доступа, а также линиями связи к терминальному оборудованию пользователей. Линии связи выполнены по технологии Fast Ethernet.

Обоснована структура сети. Центральные коммутаторы устанавливаются в четырех зданиях, в которых сконцентрирована основная пользовательская нагрузка. Выход к сетям оператора связи РУП «Белтелеком» осуществляется через коммутатор уровня ядра.

Для обеспечения надежности и отказоустойчивости в сети применяется резервные подключения между телекоммуникационным оборудованием уровня ядра и распределения, так как при выходе из строя одного канала большая часть сети будет изолирована. Протокол RSTP позволяет отслеживать логическую топологию сети и отключать порты, через которые в сети может образоваться «кольцо». Кроме того, в топологии сети предусматривают установку дублирующих центральных коммутаторов. В сети используется дублирование коммутатора уровня ядра и коммутаторов уровня распределения в каждом здании. Это позволит исключить остановку производства в случае выхода из строя любого коммутатора.

Определены исходные данные и разработан алгоритм проектирования сети. Алгоритм предусматривает все действия по созданию и расчету проектируемой сети, учитывает требования к сети, а также позволяет исследовать оптимальные потоки данных в сети, оценить влияние временных задержек, исследовать сеть на предмет нагрузки на арендных канал связи.

Проведены расчеты требуемой пропускной способности в сегментах сети и их количество, Расчет полосы пропускания каналов уровня ядра, расчет количества используемых устройств и длин кабельных систем. Определены тип и вид используемого оборудования.

Организация взаимодействия между устройствами сети является сложной задачей. В третьем разделе для решения сложных задач рассмотрен известный универсальный прием - декомпозиция, то есть разбиение одной сложной задачи на несколько более простых задач-модулей. Декомпозиция состоит в четком определении функций каждого модуля, а также порядка их взаимодействия. Наиболее удобным способом такого описания является графоаналитический. В этом случае архитектура исследуемой сети может быть представлена в виде дерева связности. Дерево однозначно описывает сеть ПД с точки зрения существующих связей между элементами сети.

Математический способ описания дерева связности соответствует вектору связности пропускных способностей.

$$V_{\text{связн.пр}} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline M & 1 & 2 & \dots & 4 & 5 & \dots & 153 \\ \hline b & 2GE & GE & \dots & GE & FE & \dots & FE \\ \hline \end{array} \quad (4.1)$$

где GE – интерфейс Gigabit Ethernet, FE – интерфейс Fast Ethernet.

Элементы приведенного вектора – b_n – предельные пропускные способности, устанавливаемые между сетью *IP* и *n*-м узлом, где $M = \overline{1,\ 153}$.

Элементами сети являются узлы коммутации (УК), такие как коммутаторы, маршрутизаторы и соединительные линии.

Анализируя данные вектора $V_{\text{связн.пр}}$ и древа-связности можно отметить следующее:

– между узлами сети одного уровня в явном виде отсутствуют физические соединения;

– объединение пакетов данных и их маршрутизация осуществляется непосредственно в подсети ПД (сеть IP), как между вершинами графа одного уровня, так и между узлами сети разных уровней;

– в силу асимметрии ПД от узла к узлу выполняется следующее неравенство:

$$b_k \le \sum_{j=1}^{m} b_j,$$

где b_k – пропускная способность уровня с более высоким рангом;

b_j – пропускная способность уровня с более низким рангом;

m – число узлов низкого ранга.

Данное выражение характеризует недостижимость одновременной ПД всех узлов одного уровня с предельно-допустимой пропускной способностью. Поэтому следующим этапом декомпозиции является определение оптимальных потоков ПД для заданных узлов при известных величинах b_n.

Общая методика расчета оптимизации потоков ПД при стохастическом характере поступления данных и их детерминированной обработке в каналах связи и узлах коммутации предопределяет использование моделей теории массового обслуживания для анализа и проектирования сети ПД.

По итогам расчета параметрического моделирования основных процессов, осуществляемых в КС крупного промышленного предприятия ГОК были определены:

– оптимальная производительность потоков ПД;

– влияние временных задержек на работоспособность КС;

– архитектура безопасной сети на основе специальных средств и механизмов защиты распределения, хранения и обработки информации.

Суммарный трафик, передаваемый по сети, меньше суммарной пропускной способности сети.

Максимальное число активных пользователей, обслуживаемых с минимальной задержкой τ в сети очередей за временной период T = 8 часов,

существенно превосходит количество пользователей проектируемой корпоративной сети связи.

Использование в качестве метрики для оценки информационной безопасности КС уравнений множественной регрессии с учетом архитектурных особенностей КС позволяет анализировать эффективность возможных комбинаций оснащения КС средствами защиты информации.

Результаты расчета основных характеристик подтвердили эффективность работы корпоративной сети, внедренной в промышленном предприятии ГОК.

Раздел 4 посвящен исследованию способов оптимизации сети и исследованию уровня загрузки арендного канала связи. По проведенным исследованиям делаем выводы.

Проектируемая корпоративная мультисервисная сеть связи может быть реконфигурирована для исключения излишних затрат, связанных с прокладкой кабелей связи между коммутаторами. Это достигается объединением коммутаторов уровня доступа друг с другом по топологии «шина» вместо подключения каждого из них к коммутатору более высокого уровня. Данное решение позволяет существенно сэкономить финансовые затраты на построение сети с сохранением ее производительности, а также сохраняет способность сети расширяться и масштабироваться, если в будущем полосы пропускания будет недостаточно и/или сеть будет переведена на более скоростную технологию Ethernet, то любой коммутатор может быть подключен к коммутатору уровня распределения отдельной линией связи.

Второй способ оптимизации – использование методов сжатия и дедупликации трафика, передаваемого по арендному каналу связи.

Оптимизатор сегментирует данные и дедуплицирует их. Данные разбиваются на блоки, каждый из которых получает короткое название – ссылка на блок.

Ссылки и блоки данных сохраняются в локальном хранилище – так называемом словаре. Далее любые данные, проходящие через оптимизаторы, будут проверяться на наличие дуплицированных данных. Если будет обнаружено соответствие с блоком, находящимся в словаре, то этот блок данных будет заменен короткой ссылкой. Известный блок не передается.

Словарь постоянно обновляется и, благодаря специальному алгоритму, в словаре остаются самые востребованные и актуальные блоки данных.

Наиболее объективный метод для исследования качества сети связи –метод имитационного моделирования. Он предполагает разработку модели и

моделирование поведения вычислительной системы. Модели имитационного метода моделирования представляют собой компьютерную программу, которая шаг за шагом воспроизводит события, происходящие в реальной системе.

Преимуществом имитационных моделей является возможность форсирования модельного времени в исследуемой системе. В результате занесколько минут можно воспроизвести работу сети в течение нескольких дней, что дает возможность оценить работу сети в широком диапазоне варьируемых параметров. Результатом работы имитационной модели являются собранные в ходе наблюдения за протекающими событиями статистические данные о наиболее важных характеристиках сети.

Моделируется два сценария работы корпоративной мультисервисной сети связи промышленного предприятия ГОК.

В первом сценарии рассмотрена и проанализирована работа существующей на предприятии, сети связи без внесения каких-либо изменений.

Во втором сценарии исследована работа оптимизированной сети связи.

Моделируется взаимодействие локальной сети горно-обогатительного комбината с арендным каналом. При этом учитывается интенсивность передаваемых сообщений, уровень их сжатия и дедупликации, вероятность ошибки при передаче.

Сравнение работы модели первого и второго сценариев проводится по нескольким параметрам:

– загрузка каналов связи между зданиями;

– загрузка WAN-соединения (Wide Area Network – глобальная компьютерная сеть);

– время отклика сервера электронной почты;

– время отклика веб-страницы;

– время отклика приложения базы данных;

– время отклика FTP-сервера.

Время симуляции работы виртуальной модели корпоративной мультисервисной сети 30 минут.

Имитационная программа позволяет оценить нагрузку на арендный канал связи и его оптимальную величину. Согласно исследования, при определенной интенсивности поступления сообщений и заданных уровнях сжатия и дедупликации трафика, доле сообщений, предназначенных для передачи по каналу связи, и вероятности ошибки при передаче, оптимальная величина арендного канала связи равна 50 Мбит/с.

При этом загрузка канала связи составляет около 70%.

За счет изменения конфигурации сети, уровня сжатия и дедупликации передаваемых сообщений, вероятности ошибки при передаче удалось добиться обеспечения скорости передачи для абонентов до 100 Мбит/с. Скорость передачи по каналам связи между зданиями также увеличена и составляет свыше 10 Гбит/с. Это в свою очередь позволило уменьшить загрузку *WAN*-соединения с 85% до 37%, а загрузку каналов связи между зданиями с 70% до 32%.

По данным сравнительного анализа результатов моделирования можно сказать, что предложенная модель оптимизации мультисервисной сети связи отвечает всем сформулированным в техническом задании параметрам. Данная конфигурация сети передачи данных обеспечивает высокий уровень производительности, гибкости, а также даёт возможность расширения её в будущем.

Программа имитационного моделирования предназначена для персонала проектных и эксплуатационных IT-служб предприятия. Она позволяет произвести расчет количества трафика, передаваемого в сети и определить необходимую минимальную скорость арендного канала, необходима для нормальной работы сети.

Оптимизация протокола TCP/IP за счет его модификации High-SpeedTCP уменьшает объем передаваемой служебной информации, т.е. фактически позволяет увеличить эффективную пропускную способность канала связи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрены вопросы проектирования мультисервисной сети связи на примере крупного промышленного предприятия горно-обогатительного комплекса.

Целью работы является оптимизация мультисервисных сетей связи.

Эффективность построения и использования корпоративных мультисервисных систем является приоритетной задачей при проектировании предприятий.

Научная новизна магистерской диссертации заключается в том, что результаты исследования позволяют производить проектирование мультисервисных сетей связи с большей эффективностью, а также исследовать и оптимизировать уже существующие сети.

Практическая ценность полученных результатов заключается в возможности применения данного решения при проектировании горно-обогатительного комбината и других корпоративных мультисервисных сетей связи крупных промышленных предприятий.

Результаты работы апробированы на 61-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА» в апреле 2025 года и опубликованы в сборнике материалов этой конференции в разделе «ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ».

Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшей оптимизации мультисервисных сетей связи крупных промышленных предприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Мультисервисные сети. [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://compress.ru/article.aspx?id=9404 – Дата доступа: 12. 03.2025

[2] Принципы проектирования мультисервисных сетей. Примеры построения мультисервисных сетей. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://siblec.ru/telekommunikatsii/multiservisnye-seti-svyazi/11-printsipy-proektirovaniya-multiservisnykh-setej-primery-postroeniya-multiservisnykh-setej – Дата доступа: 12. 03.2025

[3] Особенности построения мультисервисных сетей [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://siblec.ru/telekommunikatsii/modelirovanie-setej-i-sistem-svyazi/2-arkhitektura-i-osobennosti-postroeniya-multiservisnykh-setej-svyazi – Дата доступа: 12. 03.2025

[4] Дымарский, Я. С. Задачи и методы оптимизации сетей связи: учебное пособие/ Я. С Дымарский.– СПб.: СПбГУТ, 2005 – 87 с.

[5] Трехуровневая иерархическая модель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://network.xsp.ru/5_7.php – Дата доступа: 12. 03.2025

[6] Что такое сервисный шлюз BRAS. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.pvsm.ru/news/386857. – Дата доступа: 12. 03.2025

[7] Модель OSI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/articles/876628/. – Дата доступа: 12. 03.2025

[8] Модель взаимодействия открытых систем. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://doka-guide.vercel.app/tools/network-models/. – Дата доступа: 12. 03.2025

[9] Технология Ethernet. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://yandex.by/search/? – Дата доступа: 20. 03.2025.

[10] Технология MPLS L3VPN. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.opennet.ru/docs/RUS/mpls/mplsvpn.html – Дата доступа: 20. 03.2025.

[11] Стек протоколов TCP/IP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://citforum.ru/nets/ip/glava_2.shtml – Дата доступа: 20. 03.2025.

[12] Описание протокола IPSec27. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://aws.amazon.com/ru/what-is/ipsec/ – Дата доступа: 20. 03.2025.

[13] Шерстнева, О. Г. Проектирование корпоративных мультисервисных сетей: Учебное пособие. О.Г. Шерстнева. – Новосибирск: ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2012. – 112 с.

[14] Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Том 3. – Мультисервисные сети/В. В. Величко, Е. А. Субботин, В. П. Шувалов, А. Я. Ярославцев; под ред. В. П. Шувалова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 592 с.

[15] Расчёт длины кабельных трасс. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://studref.com/704216/informatika/raschyot_dliny_kabelnyh_trass – Дата доступа: 04. 04.2025.

[16] Расчет необходимого количества оборудования. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://studopedia.ru/4_65708_raschet-neobhodimogo-kolichestva-oborudovaniya.html– Дата доступа: 04. 04.2025.

[17] Вишневский, В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003. – 512 с.

[18] Клейнрок, Л. Коммуникационные сети: Пер. с англ. В.В. Дубницкого, М.И. Ланина / Под ред. А.А. Первозванского. М.: Наука, 1970. – 255 с.

[19] Клейнрок, Л. Вычислительные системы с очередями: Пер. с англ. М.: Мир, 1979. – 586с.

[20] Методические указания. «Теория вероятностей и математическая статистика». / Сост. А.В. Аксенчик, А.И. Волковец, В.В. Лобоцкий, В.П. Лозицкий. Мн.: БГУИР, 1999. – 62 с.

[21] Саитов, И.А., Трегубов, Р.Б., Королев, А.В. / Методика оптимизации характеристик сетей передачи данных малой и средней связности // Телекоммуникации. – 2006. – №11. – с. 14–19

[22] Лившиц Б. С. Теория телетрафика / Лившиц Б. С., Пшеничников А. П., Харкевич А. Д. Учебник для вузов. М.: Связь, 1979. – 224 с.

[23] Широков, В.Л. / Влияние временных задержек на производительность мультисервисных коммуникационных сетей // Вычислительные сети/NW. – 2008. – №2. – с. 9 – 11

[24] Столингс, В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. – М.: Питер. – 2003. – 783 с.

[25] Алгулиев, Р.М., Рагимов, Э.Р. / Синтез архитектуры защищенной корпоративной сети // Телекоммуникации. – 2006. – №2. – с. 19–23

[26] Домарев, В.В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты. – М.: ООО ТИД ДС. – 2001. – 688 с.

[27] Алгулиев, Р.М., Рагимов, Э.Р. / Об одном методе оценке информационной безопасности корпоративных сетей в стадии их проектирования // Информационные технологии. – 2005. – №7. – с. 8–15

[28] Дедупликация данных. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://backupsolution.ru/deduplication/ – Дата доступа: 04. 04.2025.

[29] Дедупликация передаваемых данных. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://lektsia.com/17xb344.html/ – Дата доступа: 04. 04.2025.

[30] Riverbed Modeler Academic Edition 17.5. [Электронный ресурс] – Режим доступаhttps://www.advanceduninstaller.com/Riverbed-Modeler-Academic-Edition-application.htm/ – Дата доступа: 04. 04.2025.

[31] Проектирование и моделирование сетей связи в системе Riverbed Modeler: учебное пособие/ В. Н. Тарасов [и др.]. – Самара: ПГУТИ, 2016. – 260 с.

[32] Оптимизация работы протокола TCP. [Электронный ресурс] – Режим https://citforum.ru/nets/tcp/optimize01.shtml / – Дата доступа: 04. 04.2025.

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

[34] 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.

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

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

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1] Ковалько, О. А., Кулешов, И. С. Выбор протокола маршрутизации для организации VPN = The choice of the routing protocol for the VPN organization / О. А. Ковалько, И. С. Кулешов // 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. 148–151.

[2] Ковалько, О. А. Роль VPN-технологий в повышении безопасности корпоративной сети предприятия = The role of VPN technologies in increasing the security of the enterprise's corporate networ / О. А. Ковалько, И. С. Кулешов // 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. 87–91.