

Учреждение образования Белорусский  
государственный университет информатики и  
радиоэлектроники

УДК 004.722+004.715

Рубинштейн  
Роман Юльевич

**Мультисервисные сети на основе технологии MPLS**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра техники и технологии  
по специальности [1-45 81 01](#) Инфокоммуникационные системы и сети

Научный руководитель  
Цветков Виктор Юрьевич  
доктор т.н., доцент

Минск 2020

## ВВЕДЕНИЕ

Последние несколько десятилетий потребности людей в обмене информацией растут исключительно высокими темпами. Быстрая и надежная передача разнородной информации (видео, голоса, данных) необходима для развития экономики и общества в целом.

Для удовлетворения этих потребностей требуются транспортные сети с большой пропускной способностью и надежностью.

Одним из механизмов передачи данных, который широко используется в настоящее время, является протокол MPLS, который, в свою очередь, является масштабируемым и независимым от каких-либо протоколов механизмов передачи данных.

MPLS — новая архитектура построения магистральных сетей, которая значительно расширяет имеющиеся перспективы масштабирования, повышает скорость обработки трафика и предоставляет огромные возможности для организации дополнительных сервисов.

MPLS был разработан, как способ построения высокоскоростных IP сетей, однако область применения MPLS не ограничивается протоколом IP, но и распространяется на различный трафик любого маршрутизируемого сетевого протокола.

Главным требованием, которое предъявляется к современной магистральной сети является высокая пропускная способность, отсутствие задержки при передаче пакетов и масштабируемость. Однако, сегодня требования пользователей к поставщикам услуг включают в себя и доступ к интегрированным сервисам сети, и организацию виртуальных защищенных частных сетей (VPN), а также ряд других интеллектуальных услуг. Поэтому растущий спрос на дополнительные услуги, реализуемые поверх GMPLS, обещает принести провайдерам и операторам высокий уровень дохода.

Для решения возникающих задач и разрабатывается архитектура GMPLS, которая обеспечивает построение магистральных сетей, имеющих практически неограниченные возможности масштабирования, повышенную скорость обработки трафика и высокую гибкость с точки зрения организации дополнительных сервисов. Кроме того, технология MPLS позволяет интегрировать сети IP и ATM, за счет чего поставщики услуг смогут не только сохранить средства, инвестированные в оборудование асинхронной передачи, но и извлечь дополнительную выгоду из совместного использования этих протоколов.

Технология MPLS очень близка к тому, чтобы стать стандартом. И хотя работа в данном направлении еще не завершена, многие крупные компании уже сейчас предлагают решения на базе MPLS.

С точки зрения пользователей несомненными преимуществами MPLS являются существенное повышение качества работы (QoS) и значительно упрощенное построение защиты доступа к VPN (Virtual Private Network). При использовании MPLS отпадает необходимость в дополнительном шифровании и других повышенных мерах предосторожности. К тому же по

сети на основе MPLS могут передаваться любые данные, поскольку содержимое пакета остается неизменным на протяжении всего пути — заменяются лишь метки.

MPLS может оставаться в пределах сети провайдера услуг, предоставляя пользователям немалые преимущества, а может выйти за ее границы и захватить внешний край локальных сетей или использоваться при построении корпоративных глобальных сетей. К тому же чем ближе MPLS к приложениям, тем больше потенциальных преимуществ она способна предоставить.

Появление MPLS открывает большие возможности при создании магистральных IP-сетей. Новая технология может значительно улучшить существующие способы их создания: как с помощью IP-маршрутизаторов, соединенных каналами «точка-точка», так и на базе транспортной сети ATM, поверх которой работают IP-маршрутизаторы.

В обоих случаях применение MPLS дает значительные преимущества. В магистральной сети ATM появляется возможность одновременно предоставлять клиентам как стандартные сервисы ATM, так и широкий спектр услуг IP-сетей наряду с дополнительными сервисами. Данный подход может существенно расширить пакет услуг, предлагаемый провайдерами, заметно повышая их конкурентоспособность на рынке. Совместное же использование IP и ATM, соединенных посредством MPLS, способствует еще большему распространению этой технологии и создает основу для построения крупномасштабных интегрированных сетей с большим набором сервисов.

Цель работы – определение наиболее эффективного варианта организации передачи данных в мультисервисной сети на базе технологии MPLS.

Задачи:

1. Выполнить обзор технологий построения мультисервисных сетей;
2. Изучить особенности построения мультисервисной сети на основе технологии MPLS;
3. Выполнить расчет показателей качества обслуживания на основании технологии MPLS

Методы исследования – анализ, обобщение полученной информации.

Объектом исследования магистерской диссертации является технология MPLS.

Теоретическая значимость работы и научная новизна исследования заключается в исследовании и анализе механизмов обеспечения доступности сервисов в мультисервисных сетях.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В рамках выполнения магистерской диссертации рассмотрены принципы построения мультисервисных сетей на основе технологии MPLS. В работе представлен обзор технологии мультисервисных сетей, особенности построения мультисервисной сети на основе технологии MPLS, а также рассмотрен расчет показателей качества обслуживания с применением эффекта туннелирования. Рассмотрены особенности оптимизации сетей, которые построены по технологии MPLS.

Личный вклад автора – в результате выполнения практической части работы установлено, что время пребывания пакета в сети передачи данных с организацией туннеля (V1) существенно ниже и увеличивается медленнее, чем время прохождения пакета по сети без организации туннеля (V2). Следовательно, организация туннеля при нагрузке сети  $\rho = 0,8; 0,95$  будет максимально эффективной.

Представленные результаты магистерской диссертации могут быть полезны при проектировании мультисервисных сетей на базе технологии MPLS.

Целью работы является определение варианта наиболее эффективной организации передачи данных в мультисервисной сети на базе технологии MPLS.

В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе рассмотрены и предложены:

- особенности построения мультисервисных сетей на базе технологии MPLS;
- расчет эффекта туннелирования;
- особенности оптимизации сетей.

Объектом исследования является технология MPLS.

Предмет исследования – процесс доставки пакетов на базе MPLS.

По теме диссертации выполнены следующие публикации:

1. Рубинштейн, Р. Ю. Безопасная портативная виртуальная частная сеть с алгоритмом шифрования Rabbit Stream: сб. материалов 56-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (Минск, 23-25 апреля 2020 года) / Минск: БГУИР, 2020. – сборник в печати.

2. Рубинштейн Р. Ю. Новый подход к повышению безопасности MPLS VPN, путем принятия программно-определяемой сетевой парадигмы :сб. материалов 56-й науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (Минск, 23-25 апреля 2020 года) / Минск: БГУИР, 2020 – сборник в печати.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первом разделе работы рассмотрены технологии построения мультисервисных сетей. Изучены основы построения мультисервисных сетей. Показано, что мультисервисная сеть - это единственная пакетная сеть, которая способна передавать голос, видео и данные с использованием единой инфраструктуры.

Архитектура сети предусматривает использование связанных между собой нескольких групп функций, взаимодействие между которыми определяет функциональную архитектуру сети.

Она включает следующие принципы:

- 1) поддержка многочисленных технологий доступа с целью формирования гибкости на сетях доступа
- 2) распределенное управление, необходимое для адаптации к распределенной природе сетей с коммутацией пакетов и поддержки прозрачности расположения при распределенных вычислениях;
- 3) открытое управление, которое требует открытости оборудования контроля сети с целью поддержки возможности создания услуг, обновления и другие виды связи сервисных услуг третьими лицами;
- 4) улучшенную защиту и безопасность как базовый принцип открытой архитектуры для защиты инфраструктуры сети путем использования соответствующих механизмов.

Также показано, что технология MPLS нашла применение у операторов связи, корпоративных заказчиков, у тех, кому было необходимо эксплуатировать сети большого масштаба, обслуживать на магистральном уровне разнородный трафик.

Второй раздел работы посвящен особенностям построения мультисервисных сетей на основе технологии MPLS.

Показано, что MPLS состоит из 3-х уровней логических соединений для организации пользовательского канала. Предполагается, что до начала программирования сервисов все приборы сети объединены между собой в некую топологию через высокоскоростные каналы Ethernet.

Первый логический уровень организации сервиса сети MPLS – создание LSP (Label Switched Path) маршрута коммутируемых меток. Это логическое соединение между двумя узлами сети MPLS. LSP определяет метки и входные/выходные магистральные интерфейсы для доставки трафика от одного узла сети к другому.

Следующий уровень – уровень PW (pseudowire). PW представляет собой логический канал передачи данных поддерживающий определенный тип абонентского сервиса. В зависимости от типа сервиса, PW содержит информацию о приоритетах трафика, требуемой пропускной способности канала. Через эти характеристики PW поддерживает требуемое качество сервиса, задает порядок и приоритет пропуска трафика через LSP и магистральные интерфейсы. Для получения маршрутной информации PW

привязывается к LSP. На этом же уровне описывается метод резервирования пользовательского канала передачи данных.

И, наконец, уровень сервиса. На этом уровне определяется тип трафика и назначаются пользовательские интерфейсы. В соответствии с заявленными приоритетами выбирается РW ля транспортировки данных сервиса.

В третьем разделе работы рассмотрен расчет показателей качества обслуживания сети с использованием эффекта туннелирования.

Расчетные значения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчётные значения  $K_n$

Порядковый номер маршрутизатора	Величина размера пачки $K_n$		
	$\rho = 0,50$	$\rho = 0,80$	$\rho = 0,95$
1	2,00	5,00	20,00
2	3,00	9,00	39,00
3	4,00	13,00	58,00
4	5,00	17,00	77,00
5	6,00	21,00	96,00
6	7,00	25,00	115,00
7	8,00	29,00	134,00
8	9,00	33,00	153,00
9	10,00	37,00	172,00
10	11,00	41,00	191,00
11	12,00	45,00	210,00
12	13,00	49,00	229,00
13	14,00	53,00	248,00

Расчётные значения  $V_2$  для каждого узла при нагрузках  $\rho = 0,50$ ,  $\rho = 0,80$ ,  $\rho = 0,95$  приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчётные значения  $V_2$

Название станции (порядковый номер маршрутизатора $n$ )	$V_2$		
	$\rho = 0,50$	$\rho = 0,80$	$\rho = 0,95$
1	0,00011	0,00024	0,0009
2	0,00018	0,00041	0,00158
3	0,00025	0,0006	0,00232
4	0,00033	0,00079	0,00309
5	0,00041	0,00098	0,00388
6	0,00049	0,00118	0,00467
7	0,00057	0,00138	0,00547
8	0,00065	0,00158	0,00627
9	0,00073	0,00178	0,00707
10	0,00081	0,00198	0,00787
11	0,00089	0,00218	0,00867
12	0,00097	0,00238	0,00947
13	0,00105	0,00258	0,0127

Для более наглядного сравнения значений времени  $V_1$  и  $V_2$  необходимо построить графики зависимостей  $V_1$  и  $V_2$  от  $N$  при положительной разнице.

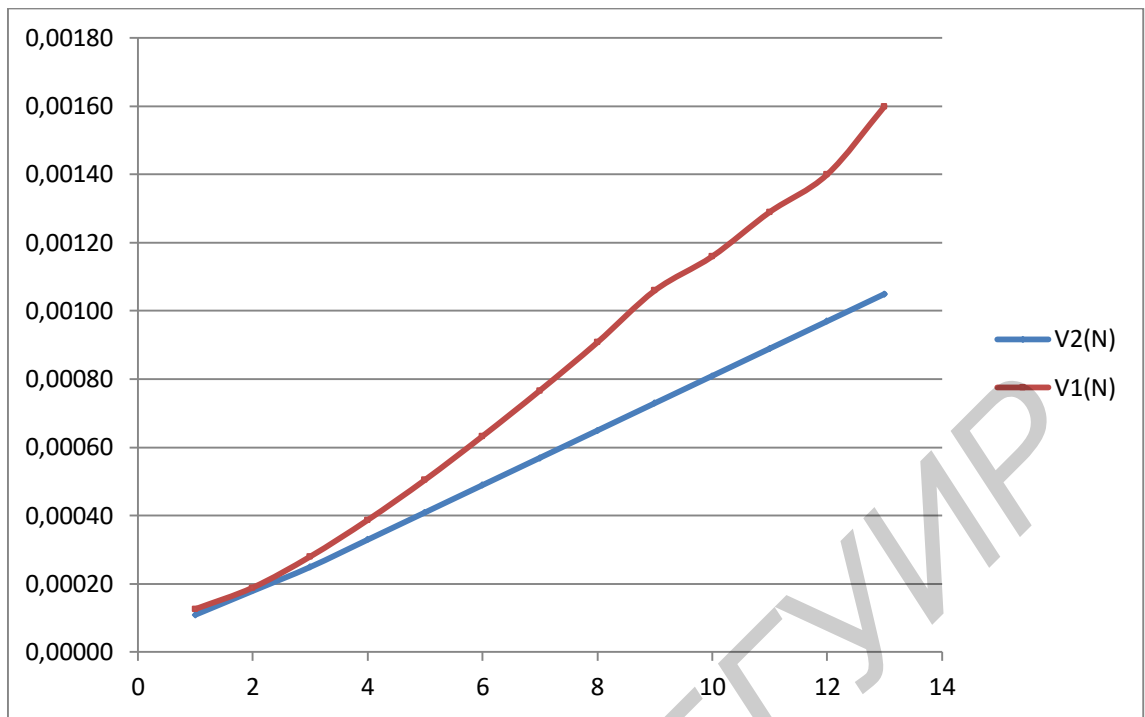


Рисунок 1 – График зависимости  $V_1$  и  $V_2$  от  $N$  при  $\rho=0,50$

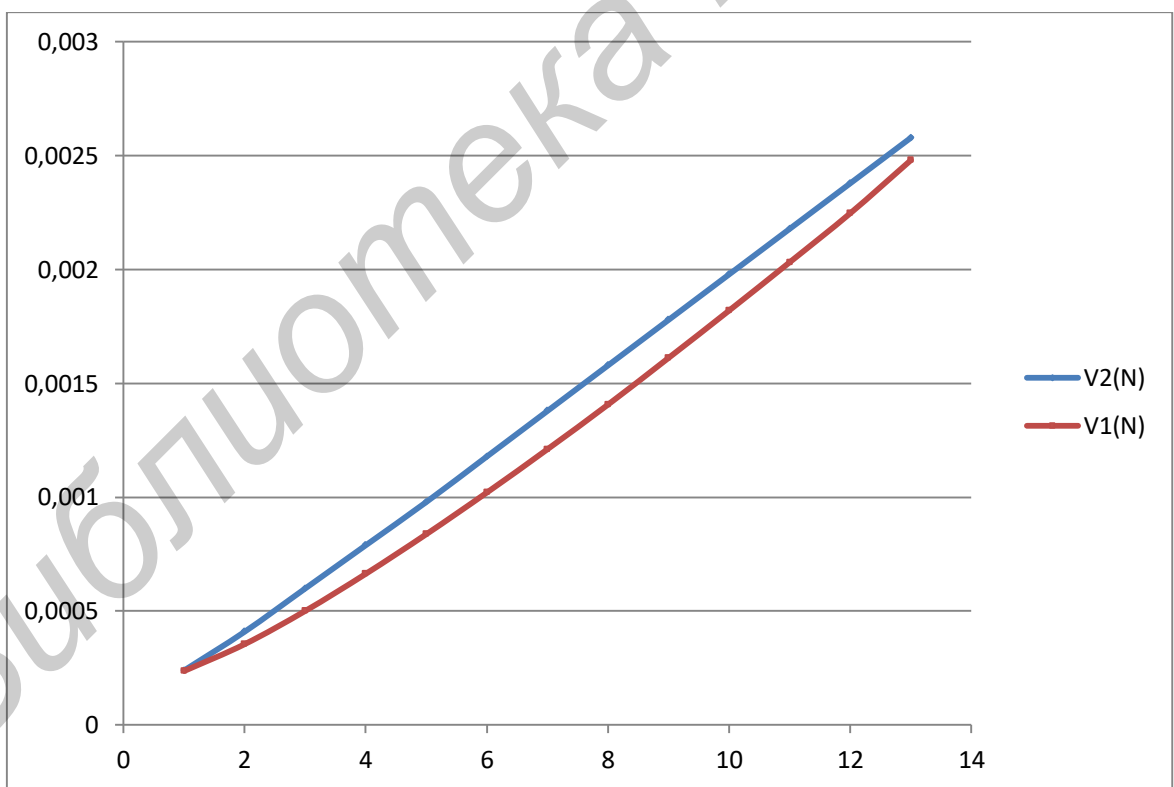


Рисунок 2 – График зависимости  $V_1$  и  $V_2$  от  $N$  при  $\rho=0,80$



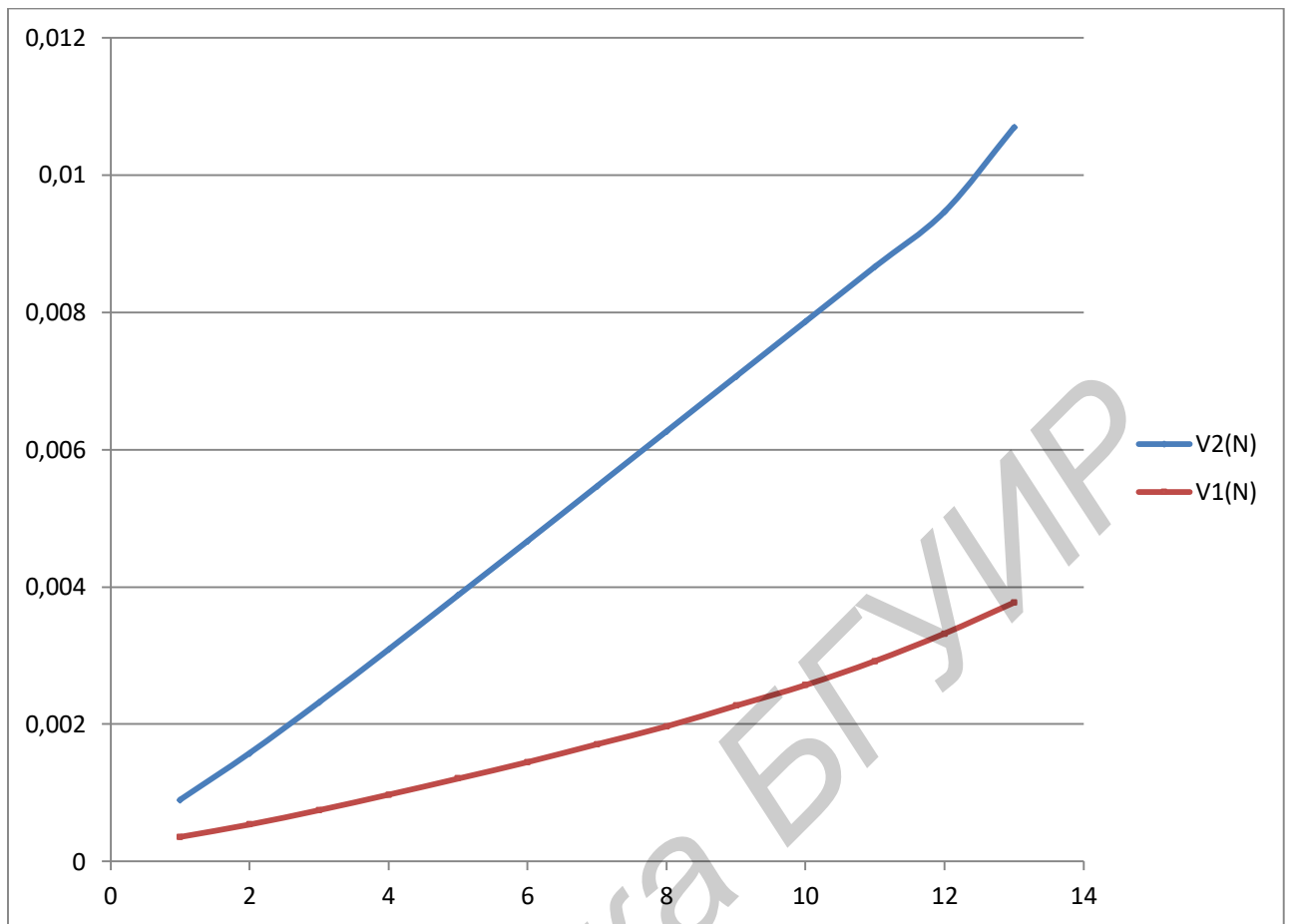


Рисунок 3 – График зависимости  $V_1$  и  $V_2$  от  $N$  при  $\rho=0,95$

Данные зависимости непосредственно показывают, что время пребывания пакета в сети передачи данных с организацией туннеля ( $V_1$ ) существенно ниже и увеличивается медленнее, чем время прохождения пакета по сети без организации туннеля ( $V_2$ ).

Следовательно, организация туннеля при нагрузке сети  $\rho = 0,8; 0,95$  будет максимально эффективной.

Также можем сделать вывод, что эффективность применения технологии MPLS при различных нагрузках зависит от количества узлов. Чем больше узлов (маршрутизаторов), тем быстрее обслуживается нагрузка.

На основании расчета эффекта туннелирования, представим выигрыш по времени с помощью применения рассматриваемой технологии при различном количестве узлов. Предположим, что количество узлов может изменяться от 1 до 9.

Результаты анализа представлены в виде таблицы 3.

Таблица 3 - Выигрыш по времени при изменении количества узлов

Количество узлов	$\rho = 0,50$	$\rho = 0,80$	$\rho = 0,95$
n	0,5	0,8	0,95
1	-8,6	3,9	60,2
2	-2	14,6	65,8
3	-8,1	16,5	67,7
4	-15,5	16,2	68,5
5	-22,4	15,3	68,9
6	-28,7	14	68,9
7	-34,5	12,6	68,8
8	-39,7	11,3	68,6
9	-44,5	10	68,4

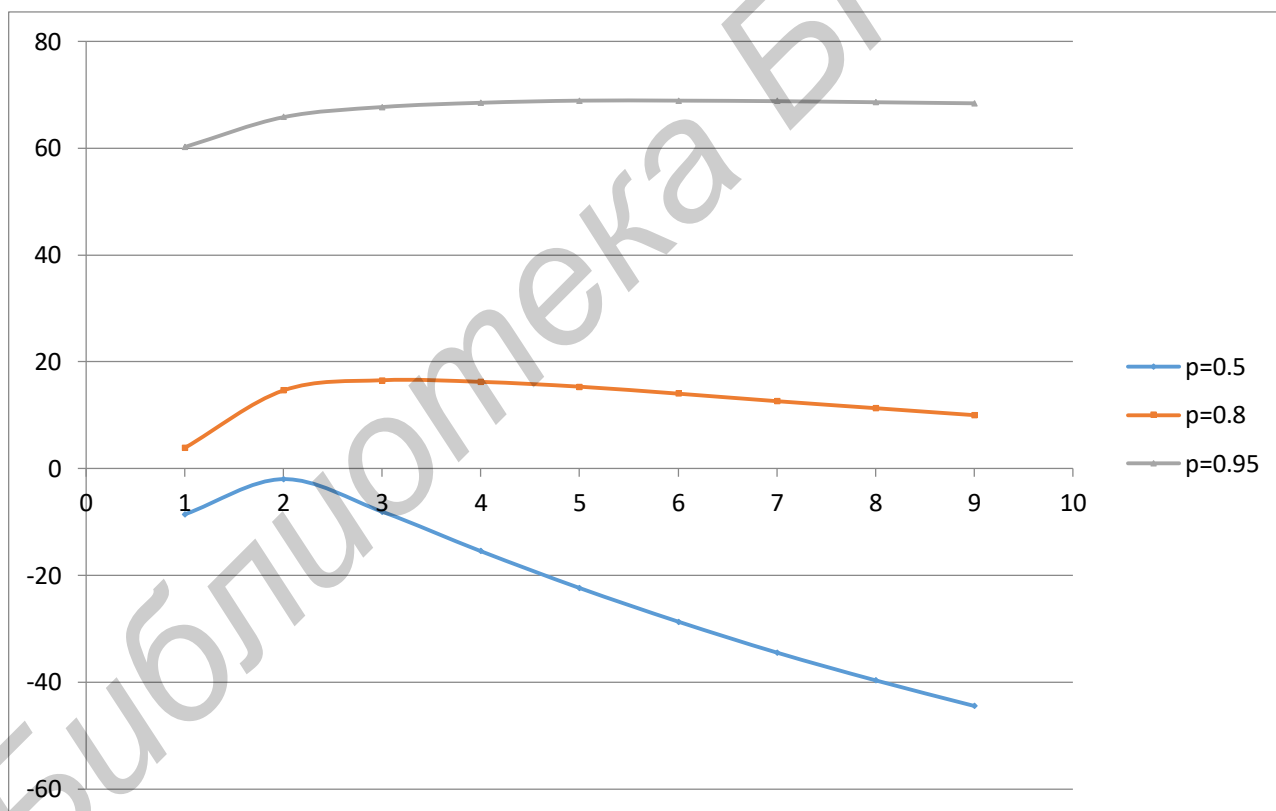


Рисунок 4 – Зависимость выигрыша по времени (в %) в зависимости от количества узлов

Установлено, что с увеличением нагрузки при неизменном количестве узлов время пребывания пакета в туннеле возрастает. Это может объясняться тем, что возрастает нагрузка, которая обслуживается каждым узлом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы определен наиболее эффективный вариант организации передачи данных в мультисервисной сети на базе технологии MPLS.

Рассмотрено широкое использование самых современных достижений техники связи, ресурсо- и энергосберегающих технологий, а также оптимальных решений современного планирования.

Показано, что на сегодняшний день MPLS является самой универсальной и развитой технологией передачи данных, позволяющей удовлетворить любые требования к скорости, надежности и универсальности систем связи для использования, как в распределенных транспортных сетях, так и в корпоративных сетях промышленных предприятий.

Обладая гибкостью и мощностью пакетной сети, MPLS вобрала в себя лучшие характеристики сетей типа SDH. Надежность, высокое качество, резервирование, простота в управлении. Сеть MPLS предлагает пользователям весь набор услуг, традиционных как для IP-сетей, так и для SDH.

Решения для мультисервисных сетей поддерживают все необходимые для доставки различных услуг транспортные службы на основе Ethernet (E-Line, E-LAN, как выделенные, так и виртуальные) и на основе MPLS (PWE3, VPLS, N-VPLS, L3 VPN).

Решения IP/MPLS также обеспечивают необходимый уровень качества услуг, надежность доставки и высокий уровень доступности сети.

В работе произведен расчет нагрузки мультисервисной сети. Проведен анализ скорости передачи при использовании туннеля и без его использования. Показано, что суммарная нагрузка на оборудование каждого узла, создаваемая абонентским трафиком, не превышает мощности (производительности) проектируемых маршрутизаторов.

С помощью проведенных расчетов также показано, что время пребывания пакета в сети передачи данных с организацией туннеля (V1) существенно ниже и увеличивается медленнее, чем время прохождения пакета по сети без организации туннеля (V2). Следовательно, организация туннеля при нагрузке сети  $\rho = 0,8; 0,95$  будет максимально эффективной.

Также в последнем разделе рассмотрены вопросы, которые касаются задач оптимизации сетей, использующих технологию MPLS-IP.

Произведен расчет показателей надежности мультисервисной сети. Полученные результаты полностью соответствуют действующим нормам.