
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 519.16:621.395

С.П. ГЛАВАЦКИЙ

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ IPV6

Проведено исследование степени внедрения протокола IPv6 в сеть интернет и сравнительный анализ основных параметров производительности с IPv4. В результате исследования так же были проанализированы проблемы внедрения IPv6 и взаимодействия с IPv4. Полученные данные позволяют сравнить производительность протоколов IPv4 и IPv6 и показывают большую производительность на участке абонентского доступа протокола IPv4. Сравнение было произведено для пакетов разной длины, что позволяет оценить производительность для разного типа трафика.

Ключевые слова: TCP, UDP, IPv4, IPv6, внедрение IPv6, iperf, производительность сети.

С.П. ГЛАВАЦКИЙ

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ І ПРОДУКТИВНОСТІ IPV6

Проведено дослідження ступеня впровадження протоколу IPv6 до мережі інтернет і порівняльний аналіз основних параметрів продуктивності порівняльно до IPv4. В результаті дослідження так само були проаналізовані проблеми впровадження IPv6 і взаємодії з IPv4. Отримані дані дозволяють порівняти продуктивність протоколів IPv4 і IPv6 і показують більшу продуктивність на ділянці абонентського доступу протоколу IPv4. Порівняння було вироблено для пакетів різної довжини, що дозволяє оцінити продуктивність для різного типу трафіку.

Ключові слова: TCP, UDP, IPv4, IPv6, впровадження IPv6, iperf, продуктивність мережі.

S.P. GLAVATSKIY

O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications

STUDY OF IPV6 IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE

A study of the implementation degree of IPv6 in the Internet and a comparative analysis of the key performance parameters to an IPv4 network. The study also analyzed the challenges of IPv6 implementation and interoperability with IPv4. The data allow us to compare the performance of IPv4 and IPv6 protocols and to show better performance in the area of user access of the IPv4 protocol. A comparison was made for packets of different length, which allows to evaluate the performance of different types of traffic.

Keywords: TCP, UDP, IPv4, IPv6, implementation of IPv6, iperf, network performance.

Постановка проблеми

Для взаимодействия сетевых узлов в сети Интернет широко используется протокол IPv4. Стремительный рост Интернет привел к проблеме исчерпания адресов IPv4 [1, 2]. С момента создания IPv6 прошло уже 20 лет, однако степень внедрения и использования IPv6 в сети Интернет в Украине и мире пока незначительна. За время использования протокола IPv4 в нем так же были выявлены и другие недостатки связанные со слабой расширяемостью протокола, проблемами безопасности, отсутствие механизмов качества обслуживания и относительно высокие накладные расходы обработки пакетов маршрутизатором. Для решения этих недостатков был разработан протокол IPv6, однако отсутствие централизованной методики внедрения актуализирует исследование внедрения IPv6.

Анализ последних исследований и публикаций

Современные исследования показывают различные преимущества IPv6 перед IPv4. К наиболее интересным можно отнести исследование Полторака В.П. [4], которое доказывает преимущество IPv6 при формировании таблиц маршрутизации. Исследования Снегурова А.В. и Чакряна В.Х. [5] показывают недостаточную защищенность IPv6 без применения специальных защитных технологий. Однако, несмотря на множество работ в данном направлении, исследований производительности сети абонентского доступа, для IPv6 не было обнаружено. Стоит отметить, что новых работ по исследованию внедрения IPv6 в текущем году также не найдено.

Формирование цели исследований

Целью настоящей работы является исследование степени внедрения IPv6 в сеть Интернет, анализ способов взаимодействия с IPv4 и сравнительный анализ основных параметров производительности сети абонентской линии для протоколов IPv4 и IPv6.

Для анализа параметров производительности сети используем методику, которая описана в рекомендации RFC2544 [3]. Методика RFC-2544 рекомендует проводить измерения разных размеров кадра: для Ethernet трафика кадры размером 64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1518 октетов, для каждого размера кадра необходим отдельный запуск серийного тестирования. Разный размер кадров необходим для имитации разных типов трафика.

Изложение основного материала исследования

С момента создания IPv6 прошло уже много времени, однако степень внедрения и использования IPv6 в сети Интернет пока незначительно. Для проведения исследования о степени внедрения IPv6 в украинском и мировом сегменте сети Интернет были использованы статистические данные специализированных ресурсов по внедрению IPv6 фирм CISCO [4] и Google [5]. Данные ресурсы собирают статистические данные пользователей, посетивших их ресурсы и заслуживают доверия. Так согласно данным фирмы Google, количество пользователей сети Интернет, обладающих IPv6-адресами в мире составляет, на момент написания статьи, около 11-13%, в Украине же – 0,23%. Динамика темпов роста использования пользователями IPv6 в мире показана на рис. 1 [5].

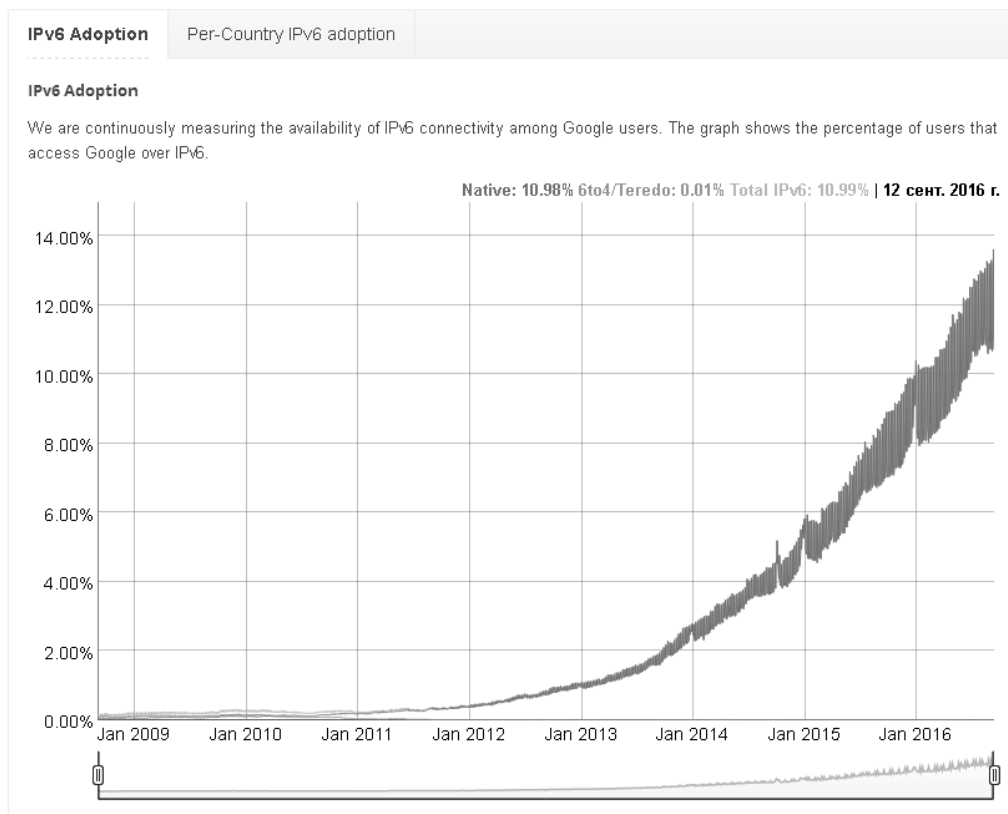


Рис. 1. Динамика темпов роста использования IPv6 в мире

Фирма CISCO для анализа степени внедрения и использования IPv6 адресов использует более расширенные параметры, такие как:

- Prefixes – Количество анонсированных и доступных по всему миру префиксов IPv6;
- Transit AS – Количество транзитных сетей поддерживающих IPv6;
- Content – Среднее количество посещаемых сайтов, адаптированных к IPv6;
- Top500 – Количество сайтов с поддержкой IPv6 из рейтинга Alexa top 500;
- Users – Количество пользователей IPv6;
- Relative Index – Усредненная оценка внедрения IPv6, от 0 до 10.

Сведем полученные данные для Украины, России, США и Бельгии в табл. 1.

Таблиця 1

Данные фирмы CISCO о степени внедрения IPv6

Параметры	Страна			
	Украина	Россия	США	Бельгия
Prefixes	44.27%	33.98%	35.62%	38.26%
Transit AS	39.91%	49.15%	65.8%	82.7%
Content	56.31%	53.81%	49.38%	53.04%
Top500	68	48	87	103
Users	0.23%	1.35%	28.7%	45.1%
Relative Index	1.6	2.7	7.8	10

На основании данных табл. 1 можно сделать следующие выводы:

- около 40% магистральной инфраструктуры Украины готово к внедрению IPv6;
- уровень использования IPv6 адресов в Украине и в мире является низким;
- наиболее популярные интернет-ресурсы уже переведены на IPv6;
- мировым лидером по внедрению пользователям IPv6 есть Бельгия.

Низкая степень внедрения IPv6, по мнению автора, связана с тем, что до сих пор не разработан централизованный способ внедрения IPv6. Большинство существующих сегодня сетей, да и весь современный Интернет в целом основаны на протоколе IPv4, а "взаимопонимание" старой и новой технологий невозможно без использования специальных технологий. Переход к IPv6, по сути, означает построение новой инфраструктуры сети Интернет. Это – весьма длительный процесс, требующий значительных временных затрат и масштабных финансовых вложений. А поскольку полноценное внедрение IPv6 не может произойти одновременно, необходимо обеспечить надежное взаимодействие новой технологии с IPv4 и DNS, которая также лежит в основе сети Интернет. Производители программного обеспечения и сетевого оборудования последние пять лет активно внедряют протокол IPv6 в свои продукты. Однако используется большое количество устаревшего сетевого оборудования, вследствие чего использование IPv6 без инструментов взаимодействия с IPv4 становится невозможным. Стоит отметить, что использование метода NAT так же уменьшает потребность в IPv4. К основным причинам низкого использования протокола IPv6 в Украине и мире можно отнести следующие факторы:

- внедрение IPv6 и организация взаимодействия с IPv4 на уровне провайдера требует дополнительных финансовых вложений;
- использование IPv6 без службы DNS затруднено;
- существует большое количество оборудования без поддержки IPv6;
- многие интернет-сайты не переведены на IPv6.

Многие существующие провайдеры приобрели IPv4 адреса с учетом роста на будущее, вследствие чего только новым провайдерам целесообразно использовать IPv6. Стоит отметить, что использование метода NAT уменьшает потребность в IPv4.

Производители программного обеспечения и сетевого оборудования, последние 5 лет активно внедряют протокол IPv6 в свои продукты. Однако используется большое количество устаревшего сетевого оборудования, вследствие чего использование IPv6 без инструментов взаимодействия с IPv4 становится невозможным.

Взаимодействие IPv6 и IPv4

После того, как адресное пространство в IPv4 закончится, два стека протоколов – IPv6 и IPv4 – будут использоваться параллельно, с постепенным увеличением доли трафика IPv6, в сравнении с IPv4. Такая ситуация станет возможной из-за наличия огромного количества устройств, в том числе устаревших, не поддерживающих IPv6 и требующих специального преобразования для работы с устройствами, использующими только IPv6.

На сегодняшний день известно три основных способа обеспечения взаимодействия IPv6 и IPv4: двойной стек, туннелирование и трансляция протоколов.

Двойной стек

Термин «двойной стек» означает, что хост или роутер используют и IPv4, и IPv6 одновременно. Для хоста это выглядит следующим образом – у него есть свои собственные IPv4 адрес и IPv6 адрес, так что он может посылать IPv4 пакеты другим IPv4 хостам и IPv6 пакеты другим IPv6 хостам. Для роутера это выглядит немного иначе – помимо обычных IPv4 адресации и протоколов маршрутизации необходимо также сконфигурировать IPv6 адресацию и протоколы маршрутизации, после чего роутер имеет возможность принимать и пересылать и IPv4, и IPv6 пакеты от хостов.

Двойной стек может стать разумным планом миграции отдельного предприятия на IPv6 для коммуникации внутри предприятия. Роутеры достаточно просто настроить на использование двойного стека, и большинство операционных систем сегодня поддерживают протокол IPv6. В отдельных случаях

может потребоваться обновление аппаратного и/или программного обеспечения, но это не является критичным моментом, так как этот механизм позволяет медленную миграцию и дает время, чтобы разобраться со всеми тонкостями работы IPv6.

Туннелированные

Другой механизм поддержки IPv4-IPv6 взаимодействия – туннелированные, которое чаще всего используется, когда две сети с одной технологией необходимо соединить через транзитную сеть, где используется другая технология. Пограничное устройство (как правило, шлюз или маршрутизатор), которое располагается на границе исходной и транзитной сети, инкапсулирует IPv6 пакеты, посланные хостом, в IPv4 пакеты. Извлечение пакетов транспортируемого протокола из несущих пакетов выполняет второе пограничное устройство, которое находится на границе между транзитной сетью и сетью назначения. Пограничные устройства указывают в несущих пакетах свои адреса, а не адреса узлов в сети назначения [8]. Концепция такого туннелирования очень похожа на VPN туннель.

Трансляция

Два рассмотренных выше механизма взаимодействия двух протоколов – двойной стек и туннелирование – рассчитывают, что хост поддерживает, по меньшей мере, протокол IPv6 или даже оба протокола. Как бы то ни было в отдельных случаях хосту, который работает только с IPv6, нужна коммуникация с хостом, который работает только с IPv4. Для этого и существует третий механизм – механизм, который преобразует заголовки IPv6 пакетов в заголовки IPv4 и обратно.

В качестве транслирующего элемента могут выступать программный или аппаратный шлюз, мост, коммутатор или маршрутизатор.

Наиболее известный метод трансляции – NAT64, позволяющий IPv6-устройствам работать с IPv4-устройствами. Однако в данной схеме есть одна особенность – необходимость дополнительной поддержки системы доменных имен DNS, одного из наиболее критических приложений Интернета. Ведь при обращении к какому-либо веб-сайту или отсылке электронной почты DNS берет на себя задачу трансляции имени в цифровой адрес протокола IP (неважно – IPv4 или IPv6). Специально для механизма трансляции был разработан DNS64, который замещает адрес IPv4 в ответе DNS на синтезированный адрес IPv6, понятный и клиенту, и транслятору протоколов NAT64 [9].

Всевозможные виды туннелей и механизмы трансляции – отличное решение для многочисленных небольших сетей, и даже вполне жизнеспособный способ организации взаимодействия крупных сетей. Но нельзя забывать, что сложно рассчитывать на высокое качество и надежность туннелей – за одним туннелем может скрываться длинный маршрут IPv4, проходящий через несколько сетей с их специфическими проблемами. Наиболее качественным решением, без сомнения, остается реальное подключение к провайдеру по IPv6.

Описание метода анализа

Для реализации сравнительного анализа производительности версий протокола IP была реализована сеть 100BaseT из 2-х современных персональных компьютера под управлением ОС Linux Mint 17, подключенных друг к другу посредством витой пары 5-й категории. Длина сети 1 метр. Построенная схема отображает сеть уровня доступа. Схема исследуемой сети отображена на рис. 2.

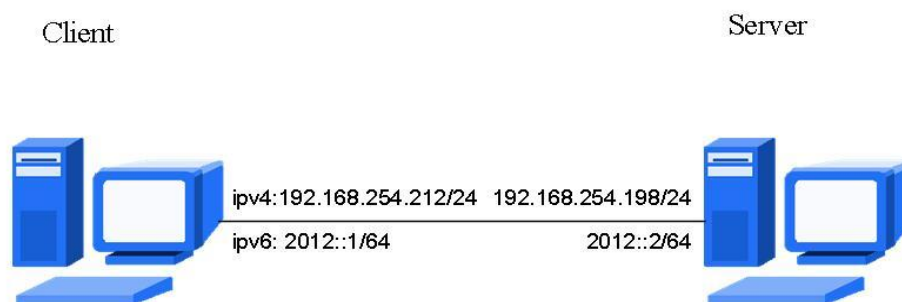


Рис. 2. Схема исследуемой сети

В качестве программного обеспечения для определения основных показателей производительности сети будем использовать программы ping и iperf версии 2.0.2. Перед проведением исследований присвоим тестовым компьютерам адреса IPv4 и IPv6 на одном физическом интерфейсе. На компьютере Client введем:

```
ifconfig eth0 192.168.254.212/24
ifconfig eth0 add 2012::1/64 up
```

На компьютере Server:

```
ifconfig eth0 192.168.254.198/24
ifconfig eth0 add 2012::2/64 up
```

Производительность сети будем оценивать по следующим параметрам:

- скорость передачи данных;
- задержка передачи данных;
- время отклика.

Скорость передачи данных

С целью измерения скорости передачи данных будем использовать программу iperf, которая работает по клиент-серверной архитектуре. Клиент генерирует различные типы трафика (в нашем случае TCP и UDP) и посылает на сервер.

Для получения скоростей передачи данных TCP/IPv4 на компьютере "Server" запустим iperf с параметром "s". На компьютере "Client" запустим iperf -c 192.168.254.198 -M 1500 -f K -t 10 -i 10

Для получения скоростей передачи данных TCP/IPv6 на компьютере "Server" запустим "iperf -s -V". На компьютере "Client" запустим

```
iperf -c 2012::2 -M 9000 -f K -t 10 -i 10 -V
```

Измерения будем проводить путем изменения параметра "M", который характеризует максимальный размер TCP сегмента MSS. Для этого установим максимальный MTU на сетевых интерфейсах компьютера следующей командой:

```
ifconfig eth0 mtu 9000
```

В качестве базовой методики тестирования используем методику RFC-2544[3], которая подразумевает произведение измерений разными значениями кадров от 64 до 1518 байт. Полученные результаты сведены в табл. 2 и отображены на рис. 3.

Таблица 2

Зависимость скорости передачи пакетов TCP от размера пакета

		Размер пакета, бит									
Протокол		64	128	256	512	1024	1280	1518	3000	6000	9000
TCP/IPv4, Мб/с		54,8	74,3	86,1	92,7	95,8	97,1	97,5	98,1	98,5	99,0
TCP/IPv6, Мб/с		51,2	72,5	84,9	91,1	93,2	95,5	96,1	97,4	98,1	98,8

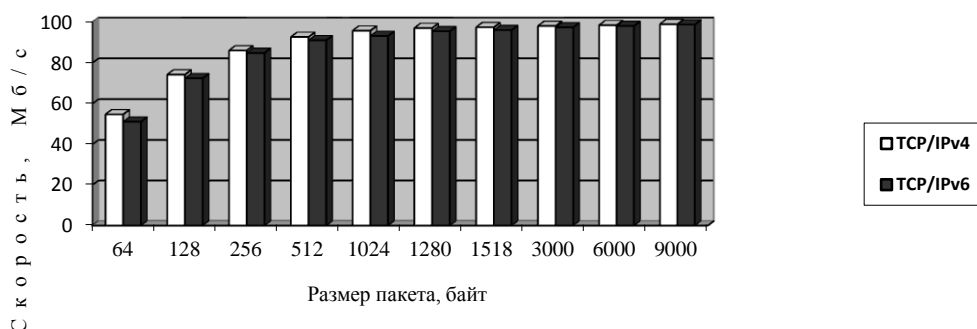


Рис. 3. Зависимость скорости передачи пакетов TCP от размера пакета

Аналогичным методом проведем тестирование пропускной способности сети при передаче 100 Мбайт данных по протоколам UDP/IPv4 и UDP/IPv6. Для этого на сервере "Server" запустим "iperf -V -s -u -B". На компьютере "Client" для тестирования IPv4 запустим команду

```
iperf -u -t 10 -i 1 -V -c 192.168.254.198 -b 100M -M 1500
```

Для измерения скорости передачи IPv6 на компьютере "Client" для команду:

```
iperf -u -t 10 -i 1 -V -c 2012::2 -b 100M -M 1500
```

Полученные данные для UDP пакетов разной длины сведем в табл. 3 и для наглядности отобразим на рис. 4.

Таблица 3

Зависимость скорости передачи пакетов UDP от размера пакета

		Размер пакета, бит									
Протокол		64	128	256	512	1024	1280	1518	3000	6000	9000
UDP/IPv4, Мб		57,1	76,6	88,3	94,5	97,1	98,2	98,5	99,1	99,5	99,9
UDP/IPv6, Мб		53,4	74,3	85,7	92,2	95,4	96,6	96,8	98,2	98,4	99,0

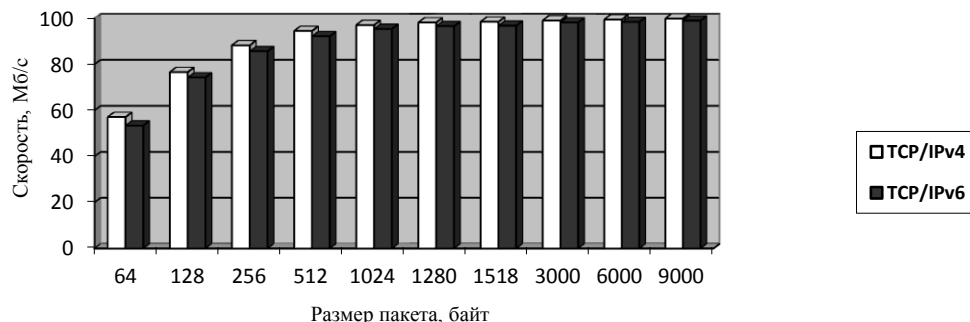


Рис. 4. Зависимость скорости передачи пакетов UDP от размера пакета

Одним из критериев, присущих в UDP трафике, является джиттер, который показывает минимальный и максимальный разброс времени прохождения пакета от среднего времени прохождения пакета [10]. В отличие от естественной задержки при передаче в сети, джиттер появляется не из-за самого факта задержки, а по причине флуктуации времени задержки от пакета к пакету. Програма iperf при измерении пропускной способности UDP трафика, так же отображает значение параметра джиттера. Полученные данные сведем в табл. 4.

Таблица 4

Сравнение времени джиттера для IPv4 и IPv6

		Размер пакета, бит									
Протокол		64	128	256	512	1024	1280	1518	3000	6000	9000
UDP/IPv4,мс		0,05	0,07	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,18	0,21
UDP/IPv6,мс		0,07	0,08	0,12	0,14	0,16	0,17	0,18	0,20	0,22	0,28

Время отклика

Для исследования зависимости времени отклика от размера пакета в IPv4 воспользуемся программой ping, которая позволяет самостоятельно задавать размер пакета, если он не превышает MTU. Для протокола IPv6 существует своя аналогичная версия программы ping – ping6. Для измерения времени отклика по протоколу IPv4 введем на компьютере клиенте команду

```
ping -s 1500 192.168.254.198
```

Для измерения времени отклика по протоколу IPv6 введем на компьютере клиенте команду

```
ping6 -s 1500 2012::2
```

Параметр “s” отвечает за размер пакета. Полученные данные сведем в табл. 5.

Таблица 5

Сравнение времени отклика для IPv4 и IPv6

		Размер пакета, бит									
Протокол		64	128	256	512	1024	1280	1518	3000	6000	9000
Ping/IPv4,мс		0,24	0,25	0,25	0,26	0,35	0,39	0,45	0,72	1,27	1,86
Ping/IPv6,мс		0,24	0,24	0,25	0,25	0,33	0,37	0,42	0,71	1,26	1,85

Задержка передачи

Также важным фактором, влияющих на производительность сети, является задержка передачи данных. Фактор определяется исходя из задержки, возникающей из-за загрузки на линии связи. Этот фактор присущ только сетям с коммутацией пакетов. Время между отправкой запроса и получением ответа (RTT, от англ. Round Trip Time) позволяет определять двусторонние задержки (RTT) по маршруту и частоту потери пакетов. Если представим, что время отклика равно t тогда задержка передачи определяется по формуле:

$$RTT = 2 \times t_{отклика} \tag{1}$$

Выводы

Таким образом на основании проведенных исследований можно утверждать, что протокол IPv4 обладает большей пропускной способностью для TCP и UDP трафика, по сравнению с IPv6. Это объясняется тем, что размер заголовков в IPv6 больше, чем в IPv4. С этим же и связано немного меньшее

время джиттера и задержки передачи в IPv4. Время отклика IPv6 при малых размерах пакетов примерно равно времени отклика IPv4, при больших размерах пакетов время отклика IPv6 немного меньше. Это объясняется тем, что IPv6 пакеты быстрее обрабатываются компьютером.

Результаты исследования показывают экспоненциальную зависимость пропускной способности от размера пакета. Дальнейшие работы предполагают исследования размеров пакетов в современной сети и размеры пакетов популярных сетевых сервисов.

В заключение можно сказать, что поставленные цели и задачи исследования достигнуты. Проведенные практические исследования параметров производительности IPv4 и IPv6 и теоретические исследования степени внедрения в сети интернет IPv6, позволяют сделать следующие выводы:

- степень использования пользователями IPv6 адресов в мире, на момент написания статьи составляет около 11-13% и растет;
- степень использования пользователями IPv6 адресов в Украине составляет 0,23%;
- более 50% наиболее посещаемых в Украине интернет ресурсов переведены на IPv6;
- протоколы IPv4 и IPv6 несовместимы, однако существуют способы организации взаимодействия;
- IPv4 обладает большей пропускной способностью на участке абонентской линии;
- зависимость размера пакета от скорости передачи имеет экспоненциальный характер;
- время джиттера и задержки передачи в IPv4 меньше.

Список использованной литературы

1. Главацкий С.П. Исследование количества свободных IP адресов V4 /С.П. Главацкий// Сучасна наука: теорія і практика : матеріали міжнар. наук. практ. конф. 27-28 листопада 2015 р., м. Запоріжжя / ГО «Інститут освітньої та молодіжної політики»; Науково-навчальний центр прикладної інформатики НАН України. – Запоріжжя : ГО «ІОМП», 2015. – С. 147–149.
2. Электронная библиотека [электронный документ] Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Исчерпание_IPv4-адресов.
3. RFC 2544: Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2544.txt>.
4. Полторак В. П., Волков В. Е. Исследование влияния замещения протокола IPv4 протоколом IPv6 на формирование таблицы маршрутизации протоколом OSPF в ядре сети провайдер // Казань. Молодой ученый. – 2014. – №7. – С. 57-61.
Режим доступа: <http://moluch.ru/archive/66/11079>
5. Снегуров А. В. Механизмы обеспечения безопасности стека протоколов IPv6 / А. В. Снегуров, В. Х. Чакрян // Системи обробки інформації. - 2015. - Вип. 1. - С. 154-161. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2015_1_36.
6. Cisco IPv6 Lab: IPv6 Deployment. URL: <http://6lab.cisco.com/stats/index.php>
7. Google statistics IPv6 Режим доступа: <http://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>
8. Электронная библиотека [электронный документ] Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Туннелирование_\(компьютерные_сети\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Туннелирование_(компьютерные_сети)).
9. Субботина Е. В. МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕХОДА С IPV 4 НА IPV6 // Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. XX междунар. студ. науч.-практ. конф. № 5(20). - С. 54-59. - Режим доступа: [http://sibac.info/archive/technic/5\(20\).pdf](http://sibac.info/archive/technic/5(20).pdf)
10. Электронная библиотека [электронный документ] Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Джиттер>