

УДК 004.725.4

**В.Я. Воропаева (канд. техн. наук, доц.), Д.А. Жуковская, Е.С. Честа**  
Донецкий национальный технический университет, г. Красноармейск  
кафедра автоматики и телекоммуникаций  
E-mail: voropayeva@meta.ua d\_zhukovska@ukr.net cheesstta@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛЕЙ КЛИЕНТСКОГО ТРАФИКА

*Проанализированы характеристики двух моделей клиентского трафика, основанных на разных схемах VLAN, выявлены достоинства и недостатки каждой из них. Приведена сравнительная характеристика для схем S-VLAN и C-VLAN. Разработана сетевая модель передачи информации по гибридной Multicast-VLAN, которая основана на использовании C-VLAN для одноадресного трафика и S-VLAN для передачи широковещательного трафика. Проведено моделирование мультисервисной сети с использованием программного приложения, обеспечивающего управление производительностью для компьютерных сетей и приложений – OpNet. На основе полученных результатов моделирования даны соответствующие рекомендации.*

**Ключевые слова:** модель, трафик, VLAN, сеть, Multicast, OpNet.

**Общая постановка проблемы.** В настоящее время рынок телекоммуникаций интенсивно развивается во всем мире. Спектр услуг и сервисов, предоставляемых конечным пользователям, постоянно растет. Изменяются технологии и объемы, растет необходимость передачи multicast-трафика (IPTV), предоставления услуг корпоративным клиентам (например, 12/13 VPN или решение проблем безопасности). Постоянно возникают новые технологии отказоустойчивой работы сетей, непрерывно растут потребности в беспроводном доступе, передаче голосового трафика, весьма чувствительного к задержкам, – все эти и многие другие вопросы требуют квалифицированного подхода к построению телекоммуникационной инфраструктуры.

Именно поэтому проблемы модернизации мультисервисных сетей особенно актуальны на сегодняшний день. Следует отметить, что подобные вопросы не имеют типовых решений и должны рассматриваться специалистами отрасли в контексте поставленных задач.

**Постановка задач исследования.** Целью работы является повышение качества обслуживания мультисервисных сетей и расширение возможностей работающего оборудования путем сочетания нескольких моделей передачи чувствительного к задержкам и потерям трафика, как одноадресного, так и широковещательного.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- выполнить анализ существующих моделей клиентского трафика, провести сравнение, выявить достоинства и недостатки;
- разработать имитационную модель передачи информации в мультисервисной сети;
- реализовать модель в среде моделирования OpNet;
- выполнить анализ полученных результатов и дать соответствующие рекомендации.

**Результаты разработки и исследований.** В современных сетях широкополосного доступа (ШПД) выбор наиболее подходящей модели доставки услуг, как правило, имеет далеко идущие последствия и во многом определяет величину капитальных и операционных затрат оператора на развитие сети, а так же, соответственно, ее последующую эксплуатацию. Ethernet относится к классу широкополосных технологий доступа и обеспечивает скорость передачи данных от 10 до 100 Мбит/с [1].

Основным направлением развития большинства современных операторов связи и

поставщиков услуг является переход от предоставления традиционных услуг высокоскоростного доступа к Интернету к новым приложениям. Такой переход требует обеспечить гарантированное выполнение установленных параметров QoS. Таким образом, новые услуги предъявляют определенные функциональные и технические требования к построению сетей связи.

Столкнувшись с ограничениями классической технологии VLAN, разработчики активно изучают новые технические и сетевые решения. Наилучшим вариантом на сегодня считается – виртуализация канальных ресурсов территориально распределенных сетей (WAN). Изучение данного решения началось давным-давно, с появлением технологий Frame Relay и ATM. Они позволяли предоставлять корпоративным пользователям аналог частной сети (выделенный ресурс) на основе сети общего пользования оператора связи (разделяемый ресурс), в чем, собственно говоря, и состоит суть построения виртуальных частных сетей (VPN). Однако сегодня вместо Frame Relay и ATM получили распространение Ethernet и IP. Современные технологии VPN позволяют вне зависимости от расстояния между узлами эмулировать коммутатор Ethernet (L2 VPN) или маршрутизируемую IP-сеть (L3 VPN) [2].

В общем случае виртуальный сегмент локальной сети изолирует доступ абонентов друг к другу, а также служит для снижения трафика в сети. На сетях ШПД существует два способа применения VLAN – сервисный VLAN или S-VLAN, который используется для доставки отдельного сервиса всем подписчикам и клиентский VLAN или C-VLAN, который используется для доставки множества сервисов отдельному подписчику.

В схеме сервисной VLAN (S-VLAN) существует отдельная VLAN для каждой из услуг, например, для доступа в Интернет, IP-телефонии (VoIP), IP-телевидения (IPTV) и видео по запросу (VoD). Пакеты протокола IGMP для управления подпиской на трафик групповой рассылки (multicast), всегда передаются в той же S-VLAN, что и связанный с ними трафик IPTV [3]. На рис. 1 [4] изображена элементарная схема доставки услуг с тремя сервисными VLAN. На схеме отражено разделение каналов связи на отрезке «последней мили» между устройством доступа и CPE, устанавливаемым на стороне подписчика. В зависимости от используемой среды это может быть DSL-модем, Ethernet-коммутатор или PON ONT.

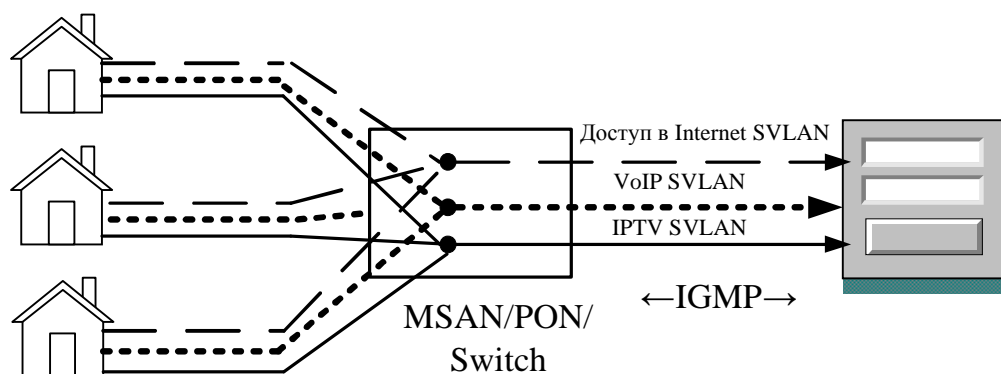


Рисунок 1 – Элементарная схема S-VLAN доставки услуг с тремя сервисными VLAN

В модели клиентской VLAN (C-VLAN), схематично проиллюстрированной на рис. 2, [4] используется индивидуальная VLAN для каждого абонента. Данная модель лежит в основе архитектуры сетей во многих системах передачи данных операторского класса для агрегации соединений по выделенной линии, Metro Ethernet, Frame/ATM, PON. Такая схема работы сети используется многими крупнейшими провайдерами услуг ШПД.

В таблице 1 представлены характеристики исследуемых схем VLAN, показаны основные достоинства и недостатки S-VLAN и C-VLAN.

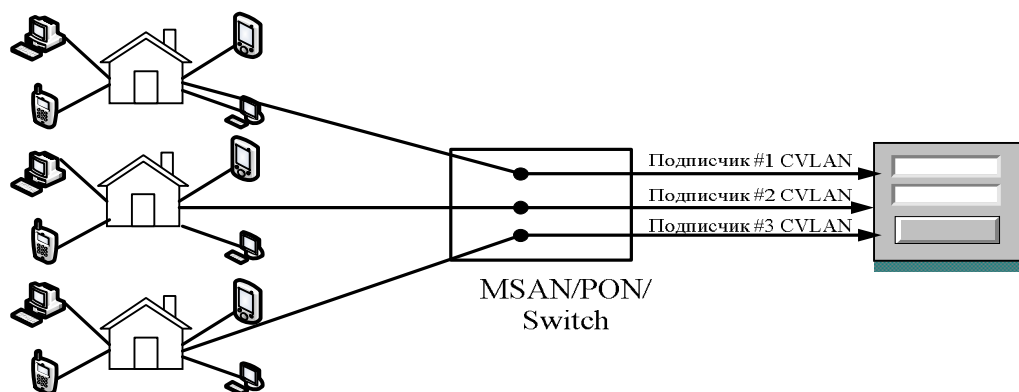


Рисунок 2 – Элементарная схема модели C-VLAN с использованием индивидуальной VLAN для каждого абонента

Таблица 1 – Сравнительная характеристика двух схем VLAN

Модель VLAN	Достоинства	Недостатки
S-VLAN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• хорошо подходит для простых реализаций Triple Play услуг;</li> <li>• RG – устройство, установленное дома у клиента и подсоединенное к линии DSL или оптической линии связи;</li> <li>• устройства модели имеют идентичную конфигурацию.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• плохо подходит для реализации модели Multiplay;</li> <li>• сильно затруднена реализация механизма динамического контроля доступной полосы пропускания при активации услуг;</li> <li>• высокая вычислительная нагрузка на устройство.</li> </ul>
C-VLAN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• модель позволяет пограничному маршрутизатору эффективно управлять полосой пропускания для каждого абонента в отдельности;</li> <li>• дает возможность простой реализации механизма CAC;</li> <li>• хорошо подходит для предоставления услуг Multi-Play;</li> <li>• внедрение новых услуг не требует изменений сетевых настроек устройств доступа;</li> <li>• снижение и унификация требований к устройству уровня доступа;</li> <li>• разделение подписчиков на уровне VLAN;</li> <li>• снижение стоимости устройств.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RG должно быть настроено индивидуально для работы со своим C-VLAN;</li> <li>• применение модели в чистом виде плохо подходит для распространения трафика групповой рассылки;</li> <li>• некоторые платформы доступа (коммутаторы Ethernet, MSAN, PON) не поддерживают необходимое количество VLAN, требуемое данной моделью;</li> <li>• репликация потоков осуществляется на уровне BSR, что требует более широкой полосы пропускания для соединения BSR и MSAN.</li> </ul>

Таким образом, большинство недостатков рассмотренных схем связи устраняются путем грамотного проектирования сети, выбора технологии и подбора соответствующей схемы. Существующие в каждой из схем проблемы могут получать решение за счет использования гибридной схемы VLAN, где для одноадресного (Unicast) трафика

по-прежнему используется C-VLAN, а для передачи широковещательного телевизионного трафика используется выделенный S-VLAN, часто называемый Multicast-VLAN (см. рис. 3), также некоторые аппаратные платформы могут удалять или менять теги VLAN до отправки пакета на порт RG [5].

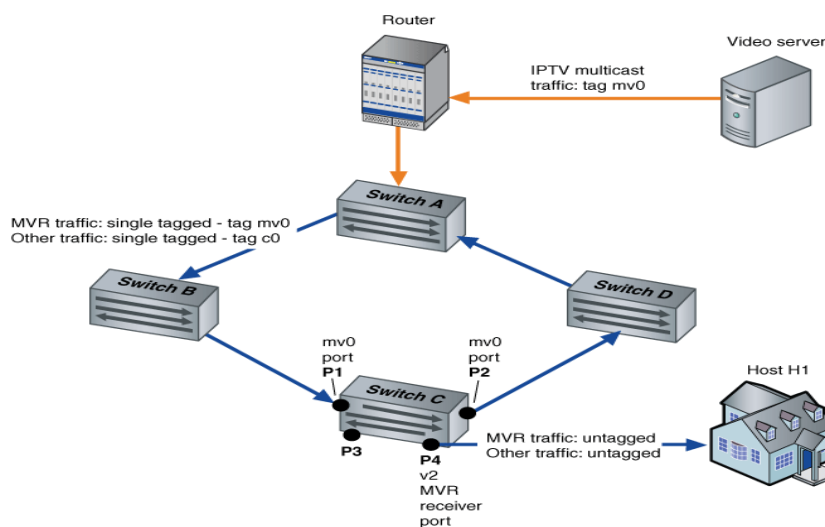


Рисунок 3 – Гибридная схема модели VLAN

Одной из важнейших проблем, которые влияют на качество обслуживания в мульти-сервисных сетях, является распространение трафика групповой рассылки [6]. Путем моделирования с использованием схем C-VLAN (см. рис.1) и Multicast-VLAN (см. рис.3) для одной и той же корпоративной сети в среде OpNet получены следующие результаты передачи информации (см. рис. 4).

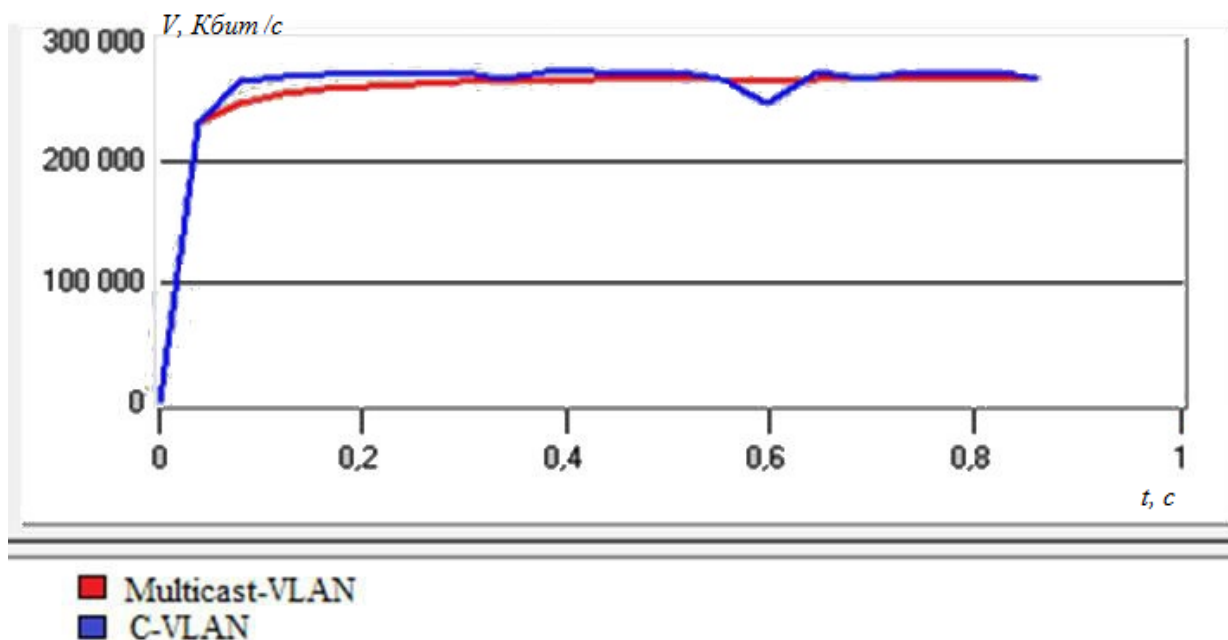


Рисунок 4 – Результаты моделирования различных схем VLAN

Из рис. 4 видно, что использование схемы C-VLAN приводит к пульсации трафика, значение коэффициента пульсаций рассчитываем по следующей формуле:

$$K_{II} = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2 \cdot V_{cp}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где  $V_{\max}$  – зафиксированный максимум значения скорости передачи (составляет 272 Мбит/с);  $V_{\min}$  – зафиксированный минимум значения скорости передачи (составляет 249 Мбит/с);  $V_{cp}$  – среднее значение скорости передачи за время измерения (время измерения – 1 с., среднее значение скорости – 262 Мбит/с).

Используя выражение (1) для расчета коэффициента пульсации получаем значение – 4,39%. Также заметны скачки при передаче, что может привести к задержке трафика реального времени и потерям, что практически исключено при использовании схемы Multicast-VLAN. Путем проведенного моделирования различных моделей VLAN в среде OpNet можно сделать вывод, что использование гибридной схемы модели VLAN позволяет решить проблемы, которые возникают при использовании классической схемы VLAN, а именно решается проблема групповой рассылки трафика и обеспечивается контроль полосы пропускания – путем имитационного моделирования доказано, что скорость передачи информации на всем промежутке моделирования постоянная и составляет 260 Мбит/с, нет скачков, пульсации трафика составляет 0,08% [7]. Итак, именно гибридная схема Multicast-VLAN выбрана для реализации модели передачи информации в среде OpNet [8].

В работе моделируется небольшая сеть, использующая следующее оборудование и технологии: Cisco, video-server, client-server, Ethernet, Ethernet\_advanced, links, links\_advanced, routers, routers\_advanced, vlans, mobile. Сеть состоит из 1 роутера, 4 коммутаторов А, В, С, D, подключенных в кольцо и к роутеру, видео-сервера, подключенного к роутеру, и 4 рабочих станций (2 ПК H1, H2 и 2 мобильных устройства H3, H4), подключенных коммутатору С [9]. На рисунке 5 представлена топология проектируемой сети в программе OpNet.

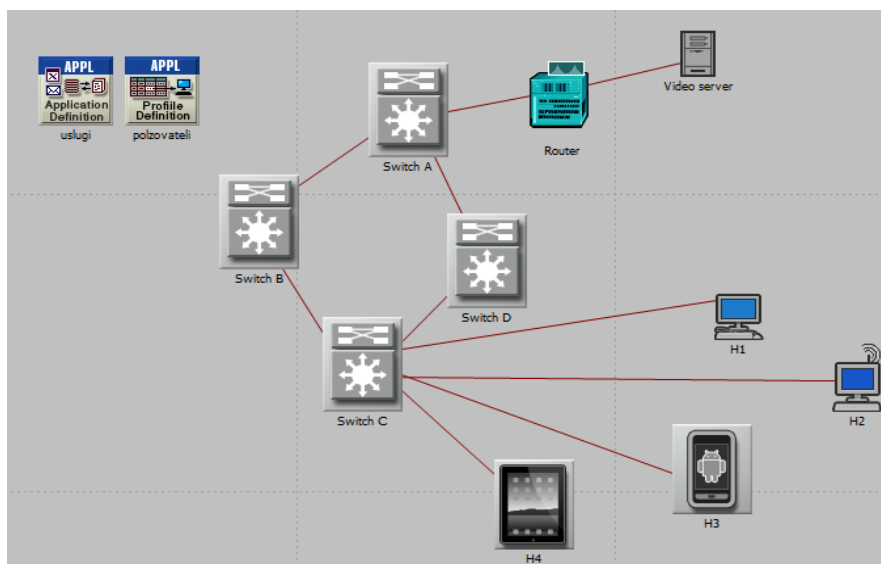


Рисунок 5 – Топология проектируемой сети Multicast-VLAN в программе OpNet

В блоке APPLICATION DEFINITION задаем типы услуг, которые функционируют в сети (http, database, ftp, IPTV multicast); в блоке PROFILE DEFINITION создаем классы пользователей и присваиваем каждому классу соответствующие услуги. Соединяем все устройства линиями связи: между сервером и роутером – 1Гбит Ethernet, между роутером и коммутатором – 100Мбит Ethernet, между коммутаторами и рабочими станциями – 100 Мбит и

10Мбит Ethernet. Цикл моделювання складає 10 секунд. На рисунках 6 – 9 представлені результати моделювання мережі Multicast-VLAN в програмі OpNet.

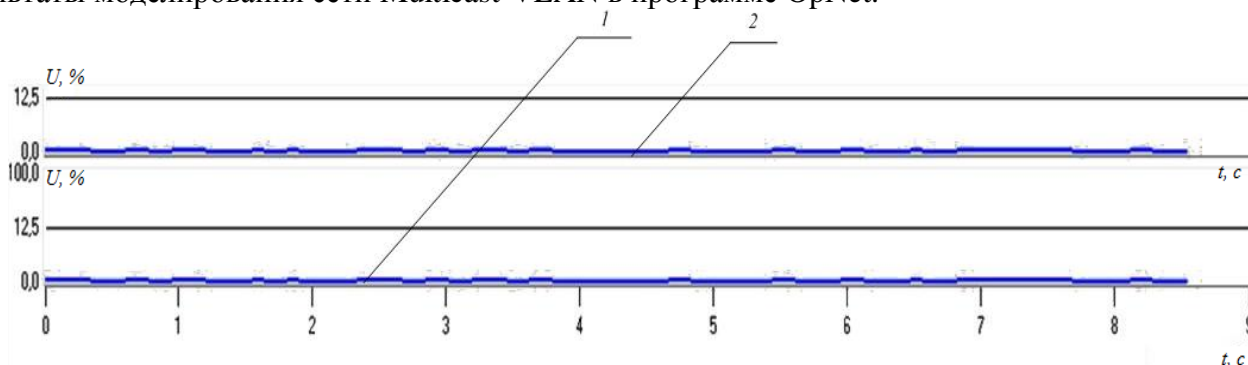


Рисунок 6 – Графік утилізації каналу між роутером і коммутатором А: 1 – від роутера до коммутатора А, 2 – від коммутатора А до роутера

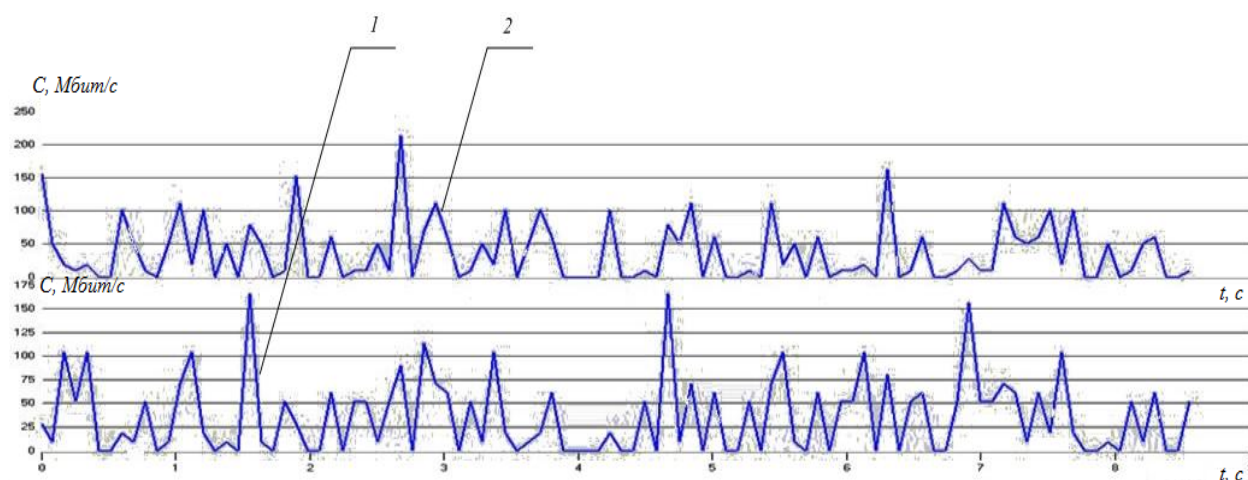


Рисунок 7 – Графік пропускної спроможності між роутером і коммутатором А: 1 – від роутера до коммутатора А; 2 – від коммутатора А до роутера

Результати моделювання свідчать про те, що основний канал мережі (між роутером і коммутатором А) має максимальний коефіцієнт утилізації (див. рис. 6), не перевищує 1, а це означає, що мережа не схильна до перевантажень; максимальна пропускна спроможність досягає 210 Мбіт/с (див. рис. 7).

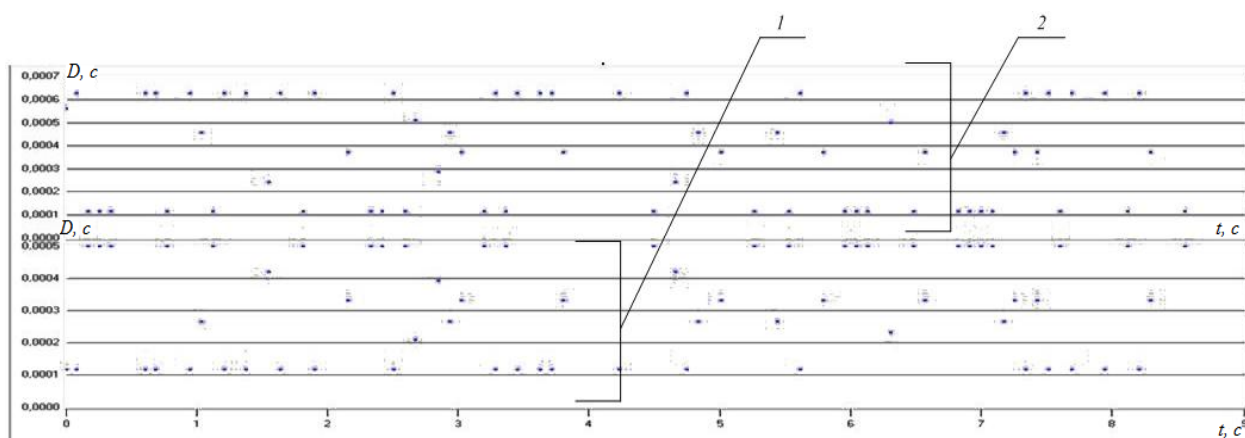


Рисунок 8 – Діаграма затримки між роутером і коммутатором А: 1 – від роутера до коммутатора А; 2 – від коммутатора А до роутера

Из рис. 8, который представлен в виде точечной диаграммы (точками указано значение задержки передачи информации в секундах от времени моделирования) можно сделать вывод, что чувствительный к задержкам трафик (поток видео, голосовой трафик и т.д.) конечному пользователю доставляется с минимальной задержкой; вероятность ошибочно переданной информации тоже в пределах минимально допустимой нормы.

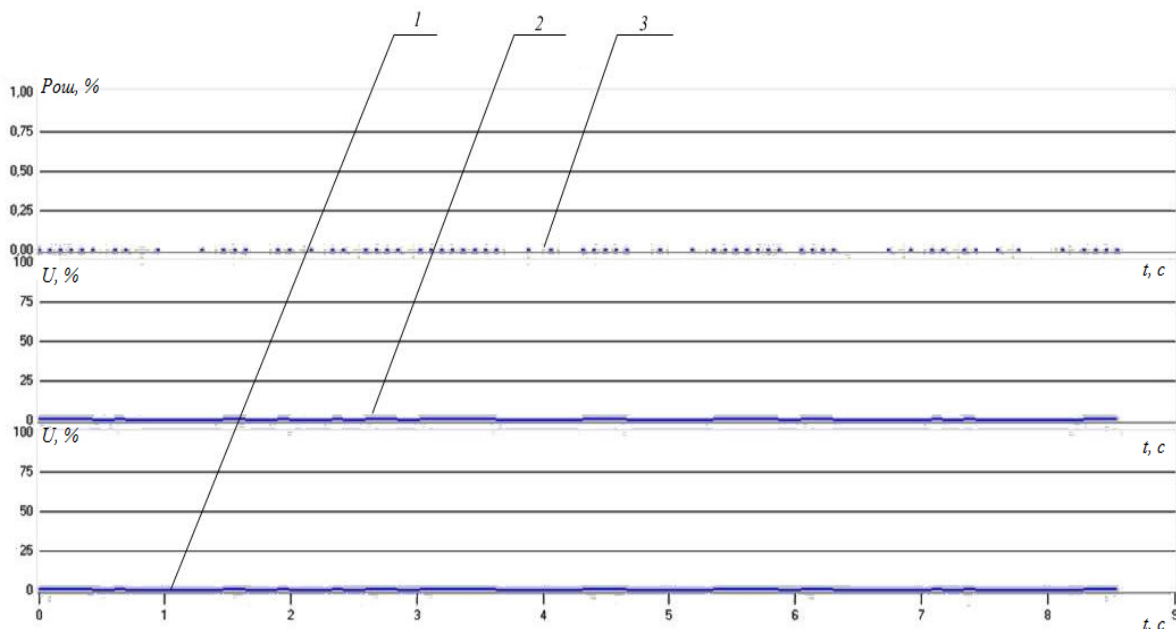


Рисунок 9 – График вероятности ошибочно принятой информации и утилизации канала от роутера к видео-серверу: 1 – утилизация канала от роутера к видео-серверу; 2 – утилизация канала от видео-сервера к роутеру, 3 – ошибка принятия информации от роутера к видео-серверу

Из рис.9 видно, что значение ошибочно принятой информации находится в пределах от 1% до 5%, что гарантирует высокую точность работы сети при передаче чувствительного потокового видео, канал между роутером и видео-сервером минимально загружен, что гарантирует отсутствие перегрузок и задержку.

Таким образом, исходя из полученных результатов моделирования, можно сделать вывод, что использование схемы гибридной Multicast-VLAN больше подходит для сетей, где особо важно разнообразие и качество предоставляемых услуг, сетей с высоким уровнем проникновения

### Выводы.

1. Приведена сравнительная характеристика двух исследуемых моделей трафика, показаны основные достоинства и недостатки схем S-VLAN и C-VLAN для мультисервисных телекоммуникационных сетей.

2. Разработана имитационная модель передачи информации по гибридной Multicast-VLAN в среде OpNet, которая основана на использовании схемы C-VLAN для одноадресного трафика и схемы S-VLAN для передачи широковещательного телевизионного трафика, которая обеспечивают высокий уровень качества обслуживания сети (вероятность ошибочно принятой информации составляет меньше 5%) и выполняет более строгие требования предъявляемые при передачи различных видов трафика.

3. Путем проведения моделирования получены результаты, которые показали, что правильно подобранные сегменты и технологии сети могут решить проблемы, возникающие при использовании стандартных моделей передачи трафика в мультисервисной сети: сохраняется

указанное значение пропускной способности – 200 Мбит/с, коэффициент утилизации всех каналов не превышает 1, максимальная задержка передачи – 0,00065 с.

### Список использованной литературы

1. Пакетные оптические транспортные сети: инновационные решения компании Alcatel-Lucent [Электронный ресурс]: «infoCOM.UZ». – Режим доступа: <http://infocom.uz/2009/03/16/paketnyie-opticheskie-transportnyie-seti-innovatsionnyie-resheniya-kompanii-alcatel-lucent>. – Дата доступа: апрель 2016. – Загл. с экрана.
2. Виртуализируя WAN, или современная VPNология [Электронный ресурс]: «Журнал сетевых решений/LAN». – Режим доступа: <http://www.osp.ru/lan/2013/06/13036072>. – Дата доступа: апрель 2016. – Загл. с экрана.
3. Особенности построения сетей доступа на базе технологии Ethernet для реализации различных сервисных моделей предоставления услуг [Электронный ресурс]: Ассоциация «Открытая наука». – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-postroeniya-setey-dostupa-na-baze-tehnologii-ethernet-dlya-realizatsii-razlichnyh-servisnyh-modeley-predostavleniya-uslug>. – Дата доступа: апрель 2016. – Загл. с экрана.
4. Модели доставки IPTV/Multiplay услуг в современных сетях широкополосного доступа [Электронный ресурс]: «Инженерный вестник». – Режим доступа: <http://www.linkc.ru/article.php?id=231.#top>. – Дата доступа: апрель 2016. – Загл. с экрана.
5. Типы VLAN [Электронный ресурс]: «ЦИТ Форум». – Режим доступа: <http://citforum.ru/nets/autotracker/glava4.shtml>. – Дата доступа: апрель 2016. – Загл. с экрана.
6. Несмеянов, О.В. Исследование характеристик видеокодеков и способов передачи мультимедийного трафика в мультисервисных сетях / О.В. Несмеянов, В.В. Червинский // Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць XIV науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 22-24 квітня 2014 р. – Донецьк, ДонНТУ, 2014. – С. 27 – 31.
7. VLAN на пользователя: архитектура и альтернативы [Электронный ресурс]: ООО «НАГ». – Режим доступа: <http://nag.ru/articles/article/16999/vlan-na-polzovatelya-arhitektura-i-alternativyi.html>. – Дата доступа: апрель 2016. – Загл. с экрана.
8. Тарасов, В.Н. Проектирование и моделирование сетей ЭВМ в системе OPNET Modeler. Лабораторный практикум / В.Н. Тарасов, Н.Ф. Бахарева, А.Л. Коннов и др. – Оренбург: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 258 с.
9. Коммутаторы L3 уровня доступа [Электронный ресурс]: Dlink – Режим доступа: <http://www.dlink.ru/ru/faq/65/165.html>. – Дата доступа: апрель 2016. – Загл. с экрана.
10. Демидов, А.С. Анализ динамики загруженности корневых маршрутизаторов информационных систем при внедрении мультимедийных услуг / А.С. Демидов, А.В. Косиор, В.Я. Воропаева // Збірник тез IV Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми телекомунікацій» м. Київ, 20 – 23 квітня 2010 р. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – С. 141.

### References

1. Packet optical transport network: Innovative solutions company Alcatel-Lucent (2009), “infoCOM.UZ”, available at: <http://infocom.uz/2009/03/16/paketnyie-opticheskie-transportnyie-seti-innovatsionnyie-resheniya-kompanii-alcatel-lucent> (Accessed April 2016).
2. By virtualizing WAN, or modern VPNologiya (2013), “Network Solutions Magazine / LAN”, available at: <http://www.osp.ru/lan/2013/06/13036072> (Accessed April 2016).
3. Features of the construction of access networks based on Ethernet technology for the realization of various service delivery models (2013), Association “Open Science”, available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-postroeniya-setey-dostupa-na-baze-tehnologii-ethernet-dlya-realizatsii-razlichnyh-servisnyh-modeley-predostavleniya-uslug> (Accessed April



- 2016).
4. Delivery Models IPTV / Multiplay services in today's networks, broadband access (2014), "Engineering Gazette", available at: <http://www.linkc.ru/article.php?id=231.#top> (Accessed April 2016).
  5. Types VLAN (2009), "ITC Forum", available at: <http://citforum.ru/nets/autotracker/glava4.shtml> (Accessed April 2016).
  6. Nesmejanov, O.V. and Chervinskij V.V. (2014), "Investigation of characteristics of video codecs and modes of transmission of multimedia traffic in multiservice networks", *Zbirnik naukovih prac' XIV naukovo-tehnichnoï konferencii aspirantiv ta studentiv* [Proceedings of XIV scientific conference and students], *Avtomatizacija tehnologichnih ob'ektiv ta procesiv. Poshuk molodih* [Automation of technological objects and processes. Search young], DVNZ "DonN-TU", Donetsk, Ukraine, 22-24 April 2014, pp. 27-31.
  7. VLAN on the user: architecture and alternatives (2009), "NAG", available at: <http://nag.ru/articles/article/16999/vlan-na-polzovatelya-arhitektura-i-alternativyi.html> (Accessed April 2016).
  8. Tarasov, V.N., Bahareva, N.F., Konnov, A.L. and Ushakov, Ju.A. (2012), *Proektirovanie i modelirovanie setej JeVM v sisteme OPNET Modeler. Laboratornyj praktikum* [Design and modeling of computer networks in OPNET Modeler system. Laboratory workshop], MGTU im. N.Je. Bauman, Orenburg, Russia.
  9. L3 Switches access level (2010), "Dlink", available at: <http://www.dlink.ru/ru/faq/65/165.html> (Accessed April 2016).
  10. Demidov, A.S., Kosior, A.V. and Voropaeva, V.Y. (2010), "Analysis of the dynamics of core routers utilization of information systems in the implementation of multimedia services", *Zbirnik tez. K.: NTUU "KPI"* [Abstracts. K.: NTU "KPI"], *IV mizhnarodna naukovo-tehnichna konferencija "Problemi telekomunikacij"* [IV International Scientific Conference "Problems of Telecommunications"], Kiev, Ukraine, 2010, p. 141.

Поступила в редакцію:  
30.04.2016

Рецензент:  
д-р техн. наук, доц. Вовна О.В.

**В.Я. Воропаєва, Д.О. Жуковська, Є.С. Честа**  
*ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»*  
*Дослідження характеристик моделей клієнтської трафіку*

*Проаналізовано характеристики двох моделей клієнтського трафіку, заснованих на схемах VLAN, виявлені переваги і недоліки кожної з них. Наведена порівняльна характеристика для схем S-VLAN і C-VLAN. Розроблена мережева модель передачі інформації по гібридній Multicast-VLAN, яка заснована на використанні C-VLAN для одноадресного трафіку і S-VLAN для передачі широкомовного трафіку. Проведено моделювання мультисервісної мережі з використанням програмного забезпечення, що забезпечує управління продуктивністю для комп'ютерних мереж і додатків - OpNet. На основі отриманих результатів моделювання дані відповідні рекомендації.*

**Ключові слова:** модель, трафік, VLAN, мережа, Multicast, OpNet.

**V.Y. Voropaeva, D.A. Zhukovska, E.S. Chesta**  
*Donetsk National Technical University*  
*Research of model specifications of client traffic*

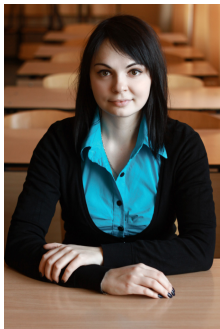
*In this paper the characteristics of the two customer traffic models based on VLAN schemes were analyzed. The comparative characteristics of the two traffic patterns are given, the main advantages and disadvantages of scheme S-VLAN, which uses a separate VLAN for each type of service and*

manages multicast traffic, and C-VLAN, which uses an individual VLAN for each user and is used for broadband data transmission for multiservice telecommunications networks, are shown. Through the analysis of different VLAN models it was proved that the use of VLAN hybrid circuit model allows us to solve problems that arise when using the classical VLAN scheme. A simulation model for a hybrid transmission Multicast-VLAN information OpNet environment that is based on the C-VLAN schemes for unicast traffic and S-VLAN for transmission circuit television broadcast traffic is considered. The model provides a high level of network reliability and meets the more stringent requirements for the transmission of different types of traffic: voice traffic, highly sensitive to delays, the need for wireless access. As for the functionality the resulting scheme is similar to the C-VLAN, user-oriented, but is devoid of drawbacks (traffic distribution of multicast, the implementation of the mechanism of dynamic control of available bandwidth during service activation) by combining with S-VLAN scheme, focused on the provision of various services communication. The simulation of multi-service network was carried out using software that provides performance management for computer networks and applications – OpNET, in which we investigated the dynamics of transmission of information, depending on time. The results showed that the use of C-VLAN traffic scheme leads to pulsations, there are noticeable surges in transmission which can lead to real-time traffic delay and loss that is almost eliminated when using Multicast-VLAN Circuits (chart and has jumps without steady state). It is proved that the use of hybrid schemes Multicast-VLAN is more suitable for networks, where the variety and quality of services is very important, networks with high penetration of VoD services.

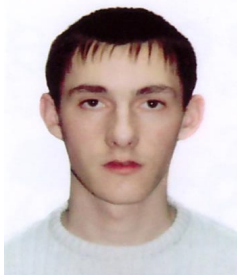
**Keywords:** model, traffic, VLAN, network, Multicast, OpNet.



**Воропаева Виктория Яковлевна**, Украина, закончила Донецкий национальный технический университет, канд. техн. наук, доцент, проректор по научно-педагогической работе ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (пл. Шибанкова, 2, г. Красноармейск, Донецкая обл., Украина). Основное направление научной деятельности – современная теория телетрафика, оптимизация телекоммуникационных и информационно-коммуникационных систем и сетей.



**Жуковская Дарья Александровна**, Украина, окончила Донецкий национальный технический университет, аспирант кафедры автоматики и телекоммуникаций. ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (пл. Шибанкова, 2, г. Красноармейск, 85300, Украина). Основное направление научной деятельности – оптимальное управление трафиком в геерогенных телекоммуникационных сетях.



**Честа Евгений Станиславович**, Украина, Донецкий национальный университет, магистр кафедры автоматики и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (пл. Шибанкова, 2, г. Красноармейск, 85300, Украина). Основное направление научной деятельности – внедрение технологии IP-over-DWDM на опорной транспортной сети IP/MPLS.