

Н. І. Ємець, В. Д. Голь, О. М. Бердников

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ МЕРЕЖІ IP/MPLS ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ QoS

Анотація. Розглянуто та проаналізовано можливості, які надає мережа IP/MPLS для імплементації механізмів якості обслуговування QoS. Розглянуто перспективи використання QoS бази мереж, побудованих на технології IP/MPLS залежно від можливостей, які надає багатопрокольна комутація за мітками, виконано огляд особливостей основного протоколу резервування ресурсів для застосування механізмів якості обслуговування та проаналізовано переваги даної мережі. Методи QoS покликані мінімізувати рівень затримок для чутливого до них трафіку, наприклад голосового, і одночасно гарантувати середню швидкість і динамічну передачу пульсацій для трафіку даних.

Ключові слова: багатопрокольна комутація по мітках (MPLS); якість обслуговування (QoS); протокол резервування ресурсів (RSVP); IP-мережа; управління трафіком, пропускна спроможність.

Вступ

В даний час разом з планомірним збільшенням швидкостей передачі даних в телекомунікаціях збільшується частка інтерактивного трафіку, вкрай чутливого до параметрів середовища транспортування. Тому завдання забезпечення якості обслуговування (QoS) стає все більш актуальним. Зокрема, QoS має на увазі рішення наступних завдань:

- визначення пріоритетів і диференціювання трафіку;
- забезпечення інформаційних потоків необхідними мережевими ресурсами;
- підвищення надійності передачі;
- запобігання мережевим перевантажень;
- формування мережевого трафіку для згладжування і створення більш рівномірного потоку.

Ці завдання в сукупності вирішують основну проблему QoS – забезпечення гарантованого та/або диференційованого обслуговування трафіку мережі, за запитами тих чи інших додатків на основі різних механізмів розподілу ресурсів. За допомогою технології QoS можна гарантувати, що у користувачів не виникне проблем при скачуванні файлів, відеодзвінках, розмовах по IP-телефонії, перегляді будь-яких онлайн-документів в локальній або глобальній мережі.

Очевидно, що все більшу частину трафіку в IP-мережах становить інтерактивна інформація, чутлива до затримок і гарантованої доставки. Максимальна затримка не повинна перевищувати декількох десятих часток секунди, причому сюди входить і час обробки інформації на кінцевій станції. Отже, пристрої IP-мережі повинні мати можливість диференційованого обслуговування різних типів мережевого трафіку в залежності від пропонованих ними вимог.

В свою чергу технологія MPLS - це механізм передавання даних, який емулює різні властивості мереж із комутацією каналів поверх мереж із комутацією пакетів [1]. Тому MPLS дозволяє спростити

адміністрування самої мережі, додавши нові функціональні можливості, особливо цікаві для управління QoS. MPLS пропонує механізм ефективної ієрархічної маршрутизації, тобто тунелі, що дозволяють керувати віртуальними приватними мережами. Переваги від об'єднання цих механізмів буде проаналізовано у даній статті.

Постановка задачі

Одним із головних напрямків розвитку сучасних телекомунікацій є удосконалення існуючих і створення систем і мереж зв'язку, які б надавали користувачу весь спектр телекомунікаційних послуг з необхідною якістю. Це може бути досягнуто за рахунок використання мультисервісних мереж зв'язку, побудованих за допомогою перспективних технологій (з розділенням телекомунікаційних функцій і функцій надання послуг). З'явилася необхідність у впровадженні додаткових сервісних послуг з високою якістю й більш ефективними мережевими технологіями, які забезпечують конвергенцію мереж, підтримують як нові послуги так і ті, що існують.

Виходячи з таких завдань на перспективу розвитку транспортної мережі необхідно здійснити аналіз наявних механізмів імплементації якості обслуговування (QoS) для мінімізації рівня затримок для чутливого до них трафіку, наприклад голосового, і одночасно гарантувати середню швидкість і динамічну передачу пульсацій для трафіку даних.

Використання багатопрокольної комутації за мітками дозволить удосконалити сучасної мережу інфраструктури на основі використання оптичних технологій для організації високошвидкісної магістральної мережі і єдиної системи сигналізації, що дасть змогу об'єднувати різні типи середовищ і системи передавання інформації [2].

Для збільшення пропускну спроможності необхідно спростувати вимоги до обробки пакетів із забезпеченням відповідного рівня якості. Тому при

проектуванні мереж важливими є завдання з вибору технології і методів маршрутизації, а також механізмів забезпечення та впровадження якості обслуговування для побудови транспортної мережі.

Правильне застосування, а перед цим вибір релевантного, методу QoS на основі транспортної мережі дозволить передавати одночасно трафік різного типу, наприклад, веб-трафік і голосовий, оскільки різні типи трафіка пред'являють різні вимоги до характеристик QoS.

Тому метою статті є проведення аналізу у області існуючих механізмів управління трафіком для забезпечення якості обслуговування з результатом у вигляді рекомендацій щодо вибору необхідного механізму QoS відповідно до наявних ресурсів мережевого обладнання та запитів користувачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Правильне розуміння аналізу останніх досліджень і публікацій залежить від загального розуміння наявних методів забезпечення механізмів якості обслуговування.

На даний момент можна виділити декілька методів управління трафіком, які застосовуються на різних рівнях мережі OSI та залежно від типу мереж і наявних ресурсів для забезпечення послуг QoS.

Найпростіший метод – динамічна маршрутизація (RIP, OSPF, IGRP, BGP) і т.д.). Оскільки це найпримітивніший метод, він не працює саме з типом трафіку, але є механізм зміни маршруту при зміні значень метрики, тобто якості обслуговування виражається через вибір найкоротшого шляху доставки даних. Також можливий варіант реалізації через використання поля CoS, призначеного для зазначення класу трафіку. До цих методів можна додати ще можливість формування віртуальних мереж на рівнях L2 і L3, а саме протоколи VLAN – вони забезпечують підвищений рівень безпеки, але не здатні резервувати смугу.

Найзручнішим є використання спеціального протоколу резервування ресурсів RSVP, що дозволяє зарезервувати для заданої віртуальної мережі певне значення смуги пропускання.

Розробці вузькоспеціалізованих методів управління потоками даних та забезпечення якості обслуговування трафіка присвячена велика кількість досліджень. Так, в роботі [3] пропонується метод балансування трафіка, заснований на використанні децентралізованої накладеної мережі, що самоорганізується, з прогнозуванням інтенсивності вхідного трафіка, який дозволяє розподіляти надлишкове навантаження за маршрутами, незадіяним у випадку традиційної маршрутизації за найкоротшим шляхом. У статті [5] проведено аналіз механізмів балансування мережевого трафіка. Показано, що рішення, які застосовуються є недостатніми для забезпечення ефективного використання існуючої мережевої інфраструктури.

У статті [2] запропоновано потокову модель багатошляхової маршрутизації з гарантіями якості обслуговування. Отримано в аналітичному вигляді умови забезпечення якості обслуговування одночас-

но за множиною різнорідних показників – швидкості передачі, середньої затримки та ймовірності втрат пакетів, забезпечується мінімальна та рівна для всіх розрахованих шляхів середня затримка, що сприяє мінімізації джитера пакетів, обумовленого реалізацією багатошляхової стратегії маршрутизації.

Кожна розглянута вище робота вирішує вузькоспеціалізоване завдання щодо управління трафіком та якості обслуговування, тому необхідно забезпечити загальний механізм вибору для усіх випадків.

Виклад основного матеріалу

Управління трафіком є проблемою, що є актуальною уже останні кілька років (якщо не брати до уваги складову, пов'язану з керуванням перевантаженням).

Зараз усі провайдери намагаються надати клієнтам додаткові інформаційні послуги: IP-телефонія, відеоконференції, відео-телефонія і т. д. Клієнти ж шукають не просто доступ до мережі Інтернет, а й цікавляться пропускнуою здатністю, безпекою, стабільністю зв'язку. З цієї причини усі, хто надають послуги приділяють підвищену увагу засобам управління трафіком (TE) і QoS.

Якщо ж брати до уваги технології багатопроTOCOLьної комутації по міткам, то вони дозволяють розв'язувати такі завдання:

- прискорене просування пакетів усередині мережі оператора вздовж найкоротших традиційних маршрутів;
- створення віртуальних приватних мереж (VPN);
- вибір і встановлення шляхів зі збалансованим розподілом завантаження ресурсів (*Traffic Engineering, TE*) [1].

Маючи цілу низку переваг, ця технологія доповнює IP-мережі своїми перевагами, а також сприяє впровадженню протоколу IP, як універсального транспорту для всіх видів додатків. У разі застосування MPLS як базового механізму комутації можна спростити розвиток операторських мереж IP, об'єднати різні технології доступу, підвищити масштабованість маршрутизації IP і зробити мережі IP повністю придатними для передавання голосу і відео.

Порівнюючи з IP, основною перевагою MPLS є комутація за мітками і поділ керуючої складової трафіку з транспортною. Комутація за мітками дає змогу створювати сервіси, які важко або неможливо реалізувати на базі IP. Окрім того, порівняно з іншими типами мереж MPLS мережа має нижчу надлишковість (співвідношення корисної і службової інформації).

MPLS розглядається як ефективна й економічна основа для мультисервісного транспорту, а сучасні комутуючі маршрутизатори LSR здатні одночасно (і з однаковою продуктивністю) обробляти трафік [4].

Будь-яка мережа, у тому числі й мережа із MPLS, містить у собі розподіл ресурсів пропускнуої спроможності між набором заданих шляхів з кому-

тацією по мітках **LSP** (Label Switched Path) і перетворення їх у фізичну мережу трактів з обмеженням продуктивності.

Сьогодні методи забезпечення QoS займають одне з найважливіших місць в арсеналі технологій мереж з комутацією пакетів, так як без їх застосування неможлива робота сучасних мультимедійних додатків. Ці методи оперують параметрами, які характеризують швидкість передачі даних, затримку передачі і втрату пакетів.

Для прикладу, на рис. 1 зображено вплив методів QoS на пропускну здатність каналу та його можливості. Звідси ми можемо бачити, що залежно від потреб користувача було вирішено значний відсоток

пропускну смуги каналу надати таким сервісам як потокове відео (відповідно і аудіо) та онлайн ігри, оскільки такі види даних потребують відносно високих швидкостей, ніж, до прикладу, перегляд веб-сторінок.

QoS представляє собою зібрання технологій, які дозволяють додаткам запитувати і отримувати передбачуваний рівень послуг з точки зору пропускну здатності, контролювати втрати пакетів, затримки під час їх передачі, а також загальної затримки доставки даних.

Зокрема, механізми якості обслуговування мають на увазі поліпшення параметрів для досягнення передбачуваності послуг, що надаються.

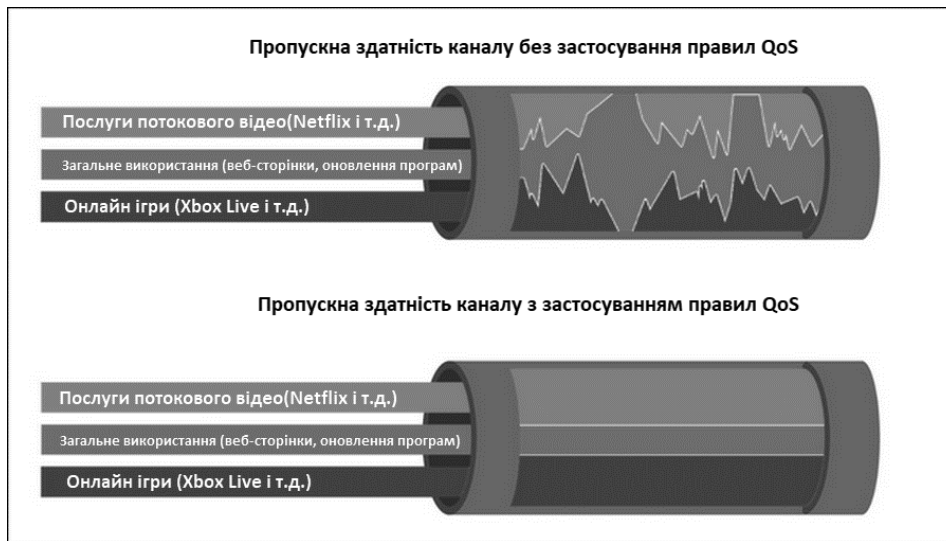


Рис. 1. Застосування правил QoS до пропускну здатності каналу

На даний момент можна виділити декілька методів управління трафіком, які застосовуються на різних рівнях мережі OSI та залежно від типу мереж і наявних ресурсів для забезпечення послуг QoS. Управління трафіком згодом дозволяє нам відносно цього трафіку застосовувати велику кількість механізмів QoS. Перший, і найпростіший метод для забезпечення мінімального QoS – динамічна маршрутизація (RIP, OSPF, IGRP, BGP) і т.д.). Як зрозуміло з назви, ці протоколи покликані будувати таблиці маршрутизації самі, автоматично, виходячи з поточної конфігурації мережі.

Крім того, що такі протоколи зручно використовувати у великих мережах, є і інші аспекти, наприклад, відмовостійкість. Маючи мережу зі статичною маршрутизацією, вам вкрай складно буде організувати резервні канали – нікому відстежувати доступність того чи іншого сегмента, тому завдяки динамічній маршрутизації це можливо зробити автоматично. Беручи до уваги стандартні уявлення про механізми QoS, тут немає засобів резервування смуги для певного виду трафіку, але є механізм зміни маршруту при зміні значень метрики або через вихід з ладу вузла або обриву каналу. Але протокол BGP, який використовується для прокладки шляхів між автономними системами не здатний будь-яким чином враховувати рівень TOS / QoS

(байти типу сервісу). Нова версія багато протокольного розширення MP-BGP спеціально створена для спільної роботи з MPLS при формуванні віртуальних мереж, але і він байдужий до TOS / QoS.

Аналіз можливостей мережі IP/MPLS для застосування механізмів QoS слід розпочати з розгляду структури заголовку MPLS, оскільки саме на його основі розпочинаються методи забезпечення механізмів якості обслуговування. Заголовок MPLS складається з декількох полів (рис. 2):

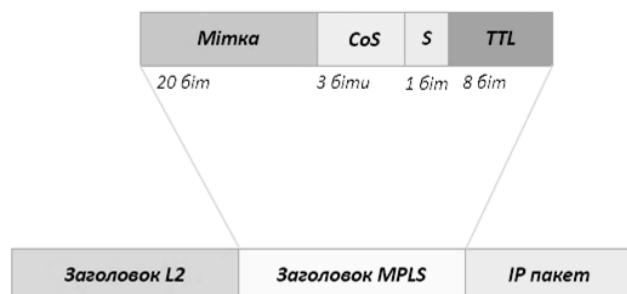


Рис. 2. Структура заголовку MPLS

- мітка (20 біт) – використовується для вибору відповідного шляху комутації по мітках;
- час життя (**TTL**) – це поле, що займає 8 біт, дублює аналогічне поле IP-пакета. Це необхідно для

того, щоб пристрої LSR могли відкидати пакети, які «заблукали» тільки на підставі інформації, що міститься в заголовку MPLS, не звертаючись до заголовку IP;

– клас послуги (**Class of Service, CoS**) – поле CoS, що займає 3 біти, спочатку було зарезервовано для розвитку технології, але останнім часом використовується в основному для вказівки класу трафіку, що вимагає певного рівня QoS;

– ознака дна стека міток – ця ознака (**S**) займає 1 біт. Саме така частина заголовку MPLS, як поле CoS, цікавить нас найбільше, оскільки саме вона дозволяє впроваджувати механізми якості обслуговування.

На вході в вузол пакет класифікується на основі інтерфейсу, **MF** (MultiField, один із способів проведення класифікації, аналізуються поля заголовків пакета – IP-адреса, порти, MAC-адреси) або його маркування. В свою чергу маркування – це значення полів **DSCP** (Differentiated Services Code Point, точка коду диференційованих послуг) в IPv4, Traffic Class в IPv6 і в MPLS або 802.1p в 802.1q.

Виділяють 8 класів сервісу, які агрегують в собі різні категорії трафіку. Кожному класу призначається свій PNB, що задовольняє вимогам класу. **Per-Hop Behavior** – це дії маршрутизатора з пакетом, а

саме кожен вузол на шляху трафіку самостійно приймає рішення про те, як вести себе відносно пакета, що прийшов, на основі його заголовків.

Згідно з рекомендаціями IETF, виділяються наступні класи сервісів, це CS1, CS0, AF11, AF12, AF13, AF21, CS2, AF22, AF23, CS3, AF31, AF32, AF33, CS4, AF41, AF42, AF43, CS5, EF, CS6, CS7 в порядку зростання важливості трафіку. Кожному класу ставиться у відповідність PNB, яких існує 3 – Default Forwarding, Assured Forwarding, Expedited Forwarding в порядку зростання строгості.

З них можна вибрати комбінацію з 8, які реально можна закодувати в поля CoS. Найбільш поширена комбінація: CS0, AF1, AF2, AF3, AF4, EF, CS6, CS7 з 3 градаціями кольору для AF (це модель поведінки з гарантованою пересилкою, тут присутні гарантії ширини смуги пропускання, але можливі плаваючі затримки у невеликій кількості).

Співтовариство IETF розробило настанови щодо налаштування класів обслуговування RFC 4594, що спрощує роботу мережевого адміністратора, оскільки визначили основні категорії програм і класи сервісу, що їх агрегують. Після аналізу документу, для того щоб вкластись у 8 можливих варіантів, було запропоновано рішення QoS для різних мереж (табл. 1).

Таблиця 1 – Рішення QoS для різних мереж

Назва класу обслуговування	Назва DSCP	Значення DSCP	Приклади додатків
Управління мережею	CS6, CS7	110000, 110000	Маршрутизація мережі
Телефонія	EF	101110	Носій IP телефонії
Мультимедійні конференції	AF41, AF42, AF43	100010, 100100, 100110	H.323/V2 відео конференції
Потокове мультимедіа	AF31, AF32, AF33	011010, 011100, 011110	Стрімінг відео та аудіо за потреби
Дані, що потребують низької затримки	AF21, AF22, AF23	010010, 010100, 010110	Транзакції клієнт/сервер, веб-замовлення
Високопродуктивні дані	AF11, AF12, AF13	001010, 001100, 001110	Додатки для зберігання та пересилання даних
Стандартний	DF (CS0)	000000	Недиференційовані додатки

Формування віртуальних мереж на рівнях L2 і L3, а саме протоколи VLAN – забезпечують підвищений рівень безпеки, але не здатні резервувати смугу. На каналному рівні маркування пакетів відбувається відповідно до стандарту 802.1p. Поле CoS займає 3 біти в 4-байтовому заголовку 802.1Q, який містить **p-тег**, який визначає пріоритет і ідентифікатор VLAN.

Всього може бути встановлено до 8 класів обслуговування даних, описаних у стандарті 802.1D. Виходячи з усього цього, необхідною умовою маркування CoS є тегування трафіку за технологією VLAN. Таке маркування QoS можливо тільки в межах локальної мережі, так як при проходженні пакетів крізь маршрутизатор VLAN теги видаляються.

Одним із відносно нових інструментів також є використання пріоритетів в рамках протоколу IPv6,

хоча і не набув широкого використання. Протокол надає можливість присвоєння потокам міток, а це полегшує, наприклад, поділ аудіо- і відеоданих.

MPLS – це технологія, яка визначає напрямок розвитку майбутніх IP-мереж з урахуванням Інтернету. Технологія комутації міток – це універсальне рішення проблем QoS, з якими стикаються сучасні пакетні мережі, рішення, яке забезпечує швидкість передачі, масштабованість, оптимізацію розподілу трафіку та ефективну маршрутизацію в пакетних мережах [6].

Управління трафіком MPLS дає нам низку переваг – виключається необхідність ручної конфігурації мережевих пристроїв, щоб задати певні маршрути (замість цього, можна покластися на можливість управління трафіком, що надаються MPLS); проводиться оцінка смуги каналу і значення трафіку

при прокладанні маршруту через опорну мережу; має механізми динамічної адаптації, які дозволяють зробити опорну мережу стійкою до відмов навіть в умовах, коли кілька шляхів були розраховані в режимі off-line.

Відповідно до методів управління трафіком варто виділити основний спосіб управління і конфігурування QoS, а саме протокол резервування ресурсів RSVP. Якщо мережеві умови дозволяють, то, використовуючи протокол RSVP (де QoS задається в специфікації потоку (*flowspec*), можна зарезервувати для заданої віртуальної мережі певне значення смуги пропускання. Слід мати на увазі, що протокол RSVP пристосований в основному для резервування певного значення смуги пропускання, а не довільного QoS для існуючого віртуального з'єднання. Якщо віртуальне з'єднання розірвано, слідом переривається і все резервування. Варто зазначити, що RSVP може працювати як з TCP- так і з UDP-сесіями поверх IPv4 і IPv6. Сама ж сесія резервування ініціюється одержувачем даних. Протокол RSVP визначає режим резервування (спосіб об'єднання декількох заявок для одного і того ж інтерфейсу), формування резервування і його підтримки в умовах відсутності підтримки даного протоколу в одному або декількох вузлах віртуального шляху, пересилання QoS-запитів іншим маршрутизаторів і т.д., але рішення приймаються маршрутизатором локально без знання умов в решті частини шляху. З цієї причини тут не може йти мова про мінімізацію затримки, забезпеченні надійності або безпеки, хоча в перспективі це може стати можливим.

Через те, що ініціатором резервування в RSVP завжди є клієнт можуть виникнути проблеми при спробі централізованого управління QoS за допомо-

гою RSVP. Отже, реалізація управління QoS передбачає організацію ефективної системи моніторингу базових параметрів, що характеризують необхідний рівень QoS. Для цього потрібно контролювати рівень інформаційних потоків в усіх фрагментах VPN, постійно вимірювати значення RTT (час затримки) і його дисперсії, контролювати рівень ймовірності втрати пакетів у всіх фрагментах віртуального шляху.

Основною відмінністю між CR-LDP і RSVP є протокол передачі, який використовується цими двома, і напрямок резервування ресурсів у прямому або зворотному напрямку виконання.

Таким чином, упровадження MPLS дає змогу підвищити рівень сервісу, надати затребувані послуги на базі IP (із гарантованим рівнем якості) і послуги конвергентних мереж для корпоративних клієнтів, наприклад передавання голосу поверх IP (VoIP).

Висновки

Таким чином, у сфері майбутніх телекомунікацій MPLS відведено роль провідної технології. Її розглядають як фундамент для інфраструктури мереж наступного покоління і надання нових послуг, яка уможливить ефективніше передавання великих обсягів трафіку в магістральних мережах.

Результатом аналізу можливостей мережі IP/MPLS для застосування механізмів QoS стала таблиця з рекомендаціями, щодо застосування варіантів класифікації трафіку відповідно до типів трафіку.

А ідея, що лежить в основі всіх методів підтримки характеристик QoS, полягає в нерівномірному, тонкому перерозподілі наявної пропускної спроможності між трафіком різного типу відповідно до вимог додатків.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Захватов М. А. Вопросы безопасности в MPLS сетях. *Документальная электросвязь*. 2016. №13. С. 76-78.
2. Лемешко А. В., Евсеева О. Ю. Тензорная модель многопутевой маршрутизации с гарантией качества обслуживания одновременно по множеству разнородных показателей. *Проблемы телекоммуникаций*. 2012. № 4 (9). С. 42-46.
3. Дорт-Гольц А. Разработка и исследование метода балансировки трафика в пакетных сетях связи: дисс. канд. ... техн. наук, спец. 05.12.13. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, 2014. 168 с.
4. Rosen E. RFC 2702. Multiprotocol Label Switching Architecture. September 2016. 42 p.
5. 6. Кротов В.Д., Ткаченко А.Л., Науменко О.Г. Аналіз методів управління трафіком при забезпеченні QoS в мобільних радіомережах тактичної ланки управління. *Збірник наукових праць ВІПТ*. № 1. 2019. С. 49-56.
6. Гольдштейн А. Б., Гольдштейн Б. С. MPLS технология и протоколы. СПб.: БХВ, 2005. 304 с.

Received (Надійшла) 12.10.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.11.2021

Analysis of IP / MPLS network possibilities for application of QoS mechanisms

N. Yemets, V. Gol, O. Berdnykov

Abstract. This article discusses and analyzes the opportunities provided by the IP / MPLS network for the implementation of QoS quality of service mechanisms. Prospects for the use of QoS-based networks based on IP / MPLS technology depending on the capabilities provided by multi-protocol label switching, review the features of the basic protocol of resource reservation for the application of quality of service mechanisms and analyze the benefits of this network. QoS methods are designed to minimize the level of delays for sensitive traffic, such as voice, and at the same time guarantee the average speed and dynamic transmission of ripples for data traffic.

Keywords: multiprotocol label switching (MPLS); quality of service (QoS); resource reservation protocol (RSVP); IP network; traffic engineering, bandwidth.