

УДК 621.39

Максимов В.В., к.т.н.; Самойлюк А.О., магістрант (Нац. техн. унів-т України «КПІ»)

АНАЛІТИЧНІ ВИРАЗИ КІЛЬКОСТІ СЛУЖБОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРОТОКОЛУ IS-IS

Максимов В.В., Самойлюк А.О. Аналітичні вирази кількості службової інформації протоколу IS-IS. В статті викладено основні принципи роботи протоколу динамічної маршрутизації IS-IS, розглянуто структури пакетів протоколу та порядок обміну ними. Запропоновано аналітичні вирази для обчислення довжин пакетів протоколу IS-IS та кількості службової інформації протоколу в цілому.

Ключові слова: ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ, МАРШРУТИЗАЦІЯ, IS-IS, СЛУЖБОВА ІНФОРМАЦІЯ

Максимов В.В., Самойлюк А.А. Аналитические выражения количества служебной информации протокола IS-IS. В статье изложены основные принципы работы протокола динамической маршрутизации IS-IS, рассмотрены структуры пакетов протокола и порядок обмена ими. Предложены аналитические выражения для вычисления длин пакетов протокола IS-IS и количества служебной информации протокола в целом.

Ключевые слова: ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ, МАРШРУТИЗАЦИЯ, IS-IS, СЛУЖЕБНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Maxymov V.V., Samoiliuk A.O. Analytical expressions of the amount of IS-IS protocol service traffic. Basic principles of the IS-IS dynamic routing protocol operation, packet structure and packet sharing orders are described in the paper. Analytical expressions for the IS-IS protocol packet length and for the amount of service traffic in general are proposed.

Keywords: TELECOMMUNICATIONS, ROUTING, IS - IS, SERVICE TRAFFIC.

Вступ. Поширення інформатизації у різних сферах життєдіяльності людства призводить не лише до лавинного зростання навантаження в пакетних комп'ютерних мережах, а і стимулює перехід магістральних телекомунікаційних мереж від синхронних технологій із часовим розділенням каналів до комутації пакетів. В зв'язку із цим, зростає інтерес до розробки та оптимізації мережевих протоколів, в тому числі протоколів маршрутизації.

На сьогоднішній день багато уваги приділено протоколу OSPF: існують математичні моделі його службового трафіку [1], проведено аналітичне порівняння протоколу OSPF та IGRP [2], також проведено дослідне порівняння часу збіжності протоколів OSPF та RIP [3]. Проте, аналогічний протоколу OSPF за принципом роботи протокол IS-IS на сьогоднішній день залишається поза увагою, що робить його дослідження актуальною задачею.

Метою даної роботи є розробка математичних моделей кількості службової інформації протоколу IS-IS не лише для його аналізу, а і для об'єктивного порівняння даного протоколу з будь-яким іншим.

Принцип роботи протоколу IS-IS. IS-IS – це протокол динамічної маршрутизації ISO, властивостями якого є використання принципу станів каналів та алгоритму Дейкстри для пошуку найкоротшого шляху. Даний протокол підтримує два рівні маршрутизації: маршрутизація всередині зони IS-IS та маршрутизація між зонам IS-IS.

На першому рівні протокол розпізнає місцеположення ES і IS, а після цього буде таблицю маршрутизації для досягнення кожної системи. В термінології IS-IS: ES – end system, кінцева система; IS – intermediate system, проміжна система, синонім маршрутизатору. У всіх пристроїв в зоні маршрутизації першого рівня однакові адреси зони. На другому рівні маршрутизатори визначають місце розташування зон першого рівня і будують таблицю маршрутизації між зонами. Всі IS в зоні маршрутизації другого рівня використовують адресу зони призначення для того, щоб відправити дані використовуючи найкоротший шлях.

На відміну від протоколу OSPF, протокол IS-IS не використовує протокол IP для розповсюдження власних пакетів. Натомість використовується NSAP-адресація. Адреса даного формату співвідносяться із сервісом і є аналогом комбінації IP адреси та номеру порту TCP. Структуру NSAP-адресації описано в ISO 8348/AD2. Даний стандарт використовує концепцію ієрархічних адресних доменів, де найвищим є глобальний домен, що поділяється на піддомени. Кожен піддомен, в свою чергу, асоціюється із певною установою, в якій є унікальний план розподілу NSAP-адрес.

Пакети протоколу IS-IS передаються через Ethernet із застосуванням LLC – верхнього підрівня каналного рівня моделі OSI, що здійснює управління передачею даних та забезпечує перевірку і правильність передачі інформації по з'єднанню.

Для побудови топології мережі та її підтримки протоколом IS-IS застосовуються 4 типи пакетів, кожен із яких має своє призначення та може бути пакетом першого рівня маршрутизації чи другого рівня маршрутизації. Існують наступні типи пакетів: Hello, CSNP, PSNP, LSP. Структури даних пакетів описано в [4].

Пакет IS-IS hello застосовується маршрутизатором IS-IS для повідомлення сусідніх маршрутизаторів про власну присутність та для встановлення сусідських взаємин. На відміну від протоколу OSPF, кожен пакет IS-IS hello підтверджується визначеним маршрутизатором мережі за допомогою відправлення пакету hello у відповідь. Варто зазначити, що в протоколі IS-IS резервний визначений маршрутизатор не обирається. При втраті основного визначеного маршрутизатору в мережі обирається новий визначений маршрутизатор.

Пакет IS-IShello складається із трьох основних полів: загального заголовку IS-IS, заголовку пакету hello та поля змінної довжини:

$$L_{ISIShello} = L_{ISISheader} + L_{HELLOheader} + L_{HELLOvariable}, \text{ де } L_{ISISheader} = 8[\text{байт}], L_{HELLOheader} = 19[\text{байт}].$$

Поле	Кільк. байт
Протоколи, що підтримуються: IP	3
Адреса зони маршрутизації	$L_{NSAP} - 4$
IP адреса інтерфейсу	6
Прапори	5
Перелік сусідів	$2 + N_{\text{сусідів}} \cdot 6$

Рис. 1. Структура поля змінної довжини пакету IS-IS hello

Структуру $L_{variable}$ зображено на рис. 1. Враховуючи довжини заголовків пакету hello та структуру поля змінної довжини, об'єм пакету IS-IShello можливо обчислити за наступним виразом:

$$L_{ISIShello} = 39 + L_{NSAP} + N_{\text{сусідів}} \cdot 6, [\text{байт}]. \quad (1)$$

Важливо зазначити, за замовчання в пакеті hello протоколу IS-IS може бути увімкнено заповнення (padding), що «набиває» повний кадр Ethernet порожніми бітами. Для зниження завантаженості мережі дану функцію можливо вимкнути. Інтервал надсилання пакетів IS-IShello визначається адміністратором мережі.

Пакети LSP – Link state packets, або пакети станів каналів – службові повідомлення протоколу IS-IS, за допомогою яких маршрутизатори дізнаються про зміни в топології мережі. Дані пакети розповсюджуються за допомогою лавинної розсилки, принцип якої аналогічний принципу лавинної розсилки в протоколі OSPF. Довжина пакету IS-ISLSP в загальному вигляді обчислюється наступним чином:

$$L_{ISISLSP} = L_{ISISheader} + L_{LSPheader} + L_{LSPvariable}, [\text{байт}], \text{ де } L_{ISISheader} = 8[\text{байт}], L_{LSPheader} = 19[\text{байт}].$$

Структура поля змінної довжини $L_{LSPvariable}$ відрізняється для повідомлення, що описує маршрутизатор та псевдо вузол. Структури даних полів зображено на рис. 2 та 3. Поняття псевдо вузла розкривається далі.

Таким чином, довжину пакету LSP, що описує маршрутизатор, можливо визначити як

$$L_{ISISLSP-Router} = 39 + L_{NSAP} + L_{\text{hostname}} + N_{\text{сусідніх мереж}} \cdot 23, [\text{байт}]. \quad (2)$$

Довжина пакету, що описує псевдо вузол, в свою чергу, визначається за виразом:

$$L_{ISISLSP-pseudonode} = 36 + 11 \cdot (N_{\text{проміжних систем}} + N_{\text{кінцевих систем}}), [\text{байт}]. \quad (3)$$

Пакети порядкового номеру SNP забезпечують гарантію оновлення даних про стан каналів в кожному маршрутизаторі. Розрізняють повні та часткові пакети порядкового номеру, відповідно: CSNP (Complete Sequence Number PDU) та PSNP (Partial Sequence Number PDU). Пакет CSNP включає в себе усю наявну інформації про стан каналів. Пакет PSNP передає лише частину інформації. Пакети CSNP передаються визначеним маршрутизатором в мережу через певний проміжок часу. Пакети PSNP використовуються для запиту додаткової інформації. Для розрізнення даних пакетів, як і для розрізнення усіх пакетів IS-IS використовується поле «Тип PDU» в заголовку пакету.

Поле	Кількість байт
Протоколи, що підтримуються: IP	3
Адреса зони маршрутизації	$L_{NSAP} - 4$
Ім'я маршрутизатору	$2 + L_{hostname}$
IP адреса відправника	6
Адреси та маски під'єднаних до маршрутизатору мереж та їх метрики	$2 + 12 \cdot N_{\text{сусідніх мереж}}$
Адреси досяжних псевдо вузлів та метрики до них	$3 + 11 \cdot N_{\text{сусідніх мереж}}$

Рис. 2. Поле змінної довжини пакету IS-ISLSP, що описує маршрутизатор

Поле	Кількість байт
Адреси досяжних проміжних систем та метрики до них	$3 + 11 \cdot N_{\text{проміжних систем}}$
Сусідні кінцеві системи	$6 + 11 \cdot N_{\text{кінцевих систем}}$

Рис. 3. Поле змінної довжини пакету IS-IS LSP, що описує псевдо вузол

Поле	Кільк. байт
Час життя LSP	2
LSP ID	8
Порядковий номер	4
Контрольна сума	2

Рис. 4. Структура поля змінної довжини пакету IS-ISCSNP та PSNP

Довжини пакетів CSNP та PSNP відмінні, проте, в загальному вигляді мають наступний вигляд:

$$L_{ISISsp} = L_{ISISheader} + L_{SNPheader} + L_{SNPvariable}, [\text{байт}],$$

де $L_{ISISheader} = 8[\text{байт}]$ і $L_{SNPheader} = 27[\text{байт}]$ для CSNP; $L_{SNPheader} = 11[\text{байт}]$ для PSNP.

Довжина $L_{SNPvariable}$ визначається структурою, що зображена на рис. 4.

Спираючись на структури пакетів CSNP та PSNP можливо отримати наступний вираз для визначення їх довжин:

$$L_{ISIS\ CSNP} = 35 + 16 \cdot (N_{\text{мережIP}} + N_{\text{маршрутизаторів}}), [\text{байт}], \quad [4]$$

$$L_{ISIS\ PSNP} = 19 + 16 \cdot (N_{\text{мережIP}} + N_{\text{маршрутизаторів}}), [\text{байт}]. \quad [5]$$

Порядок обміну пакетами IS-IS. Обмін пакетами IS-IS відбувається під час трьох процесів: знаходження сусідів, підтримка бази даних маршрутизаторів, оновлення бази даних маршрутизаторів. Як і в протоколі OSPF, дані процеси відбуваються як періодично, так і не періодично. А саме: знаходження сусідів та підтримка бази даних маршрутизаторів генерує періодичні повідомлення. Оновлення баз даних відбувається за допомогою процедури водонаповнення аперіодично, наприклад при підключенні або втраті маршрутизатору.

Важливу роль в протоколі IS-IS відіграють терміни “визначений маршрутизатор” та “псевдо вузол”. В локальній мережі один з маршрутизаторів обере себе визначеним на основі пріоритету інтерфейсу. Визначений маршрутизатор створює псевдо вузол, із яким всі маршрутизатори в локальній мережі, враховуючи сам визначений маршрутизатор, стають суміжними. Таке рішення робить не потрібним встановлення суміжності кожного маршрутизатору із кожним. Резервний визначений маршрутизатор не обирається.

Знаходження сусідів для встановлення суміжності в протоколі IS-IS відбувається за допомогою повідомлень hello. Для надсилання пакетів hello в ISO/IEC 10589 встановлені наступні умови. Маршрутизатор має надіслати повідомлення hello не пізніше ніж через 1 сек. після надсилання попереднього повідомлення hello тим самим маршрутизатором але:

а) не раніше ніж збіжить встановлений таймеру hello інтервалу; або:

б) зміст нового пакету hello відрізнятиметься від попередньо надісланого;

в) маршрутизатор на основі отриманих hello повідомлень визначає себе визначеним або перестає бути визначеним.

Зважаючи на порядок обміну пакетами hello, встановлений протоколом IS-IS, можливо зробити наступні висновки. В локальній мережі звичайні маршрутизатори надсилатимуть повідомлення hello періодично через проміжок, встановлений адміністратором – hello інтервал. Визначений маршрутизатор буде підтверджувати свій статус надсиланням пакету hello одразу після отримання повідомлень hello від інших маршрутизаторів. Отже, за

проміжок часу, рівний hello інтервалу, в локальну мережу надійде $2(N-1)$ пакетів hello, де N – кількість маршрутизаторів в локальній мережі.

Окрім знаходження сусідів періодично відбувається процес підтримки бази даних. Для цього визначений маршрутизатор надсилає в мережу пакети CSNP із описом всіх LSP, наявних в базі даних кожні 3 секунди. Дана періодичність також є параметром і може бути встановлена адміністратором. Якщо маршрутизатору потрібен оновлений LSP, він буде надсилати пакет PSNP до визначеного маршрутизатору і отримає пакет LSP у відповідь. Цей механізм може працювати в обох напрямках: якщо маршрутизатор бачить, що у нього є нова версія LSP, або має LSP, що визначений маршрутизатор не розсилає в своєму пакеті CSNP, маршрутизатор буде посилати нові або відсутні LSP визначеному. Таким чином, періодично в локальній мережі протоколом IS-IS будуть надсилатись пакети hello та CSNP.

Важливо зазначити, що розмір пакету hello залежить від кількості маршрутизаторів в локальній мережі. Розмір пакету CSNP визначається кількістю маршрутизаторів та локальних мереж в зоні маршрутизації. Отже, періодично, протокол IS-IS генеруватиме наступну кількість службової інформації:

$$C_{ISISperiodical} = \frac{2(N-1) \cdot (L_{ISIShello} + L_{кан} + L_{llc})}{T_{hello}} + \frac{L_{CSNP+L_{кан}+L_{llc}}}{T_{CSNP}} \left[\frac{\text{байт}}{\text{с}} \right]$$

де N – кількість маршрутизаторів в локальній мережі; $L_{ISIShello}$ – довжина пакету hello; L_{CSNP} – довжина пакету CSNP; T_{hello} та T_{CSNP} – періодичність відправлення відповідних пакетів; $L_{кан}$ та L_{llc} – довжини заголовку канального рівня та протоколу LLC; $L_{кан} = 14$ байт; $L_{llc} = 5$ байт.

Для розрахунку дерева найкоротших шляхів та передачі інформації маршрутизатори IS-IS використовують базу даних станів каналів, в якій зберігаються всі дійсні пакети LSP. Цими LSP описується топологія області маршрутизації.

Маршрутизатор, що віднайшов новий канал зв'язку або втратив існуючий, надішле свій LSP повторно для інформування інших маршрутизаторів про зміни. Цей процес називається «водонаповненням», за допомогою якого нові LSP, розповсюджуються по всій мережі. Таким чином, при підключенні нового маршрутизатору, слід надіслати усі наявні LSP новому маршрутизатору та надіслати LSP із оновленнями за допомогою водонаповнення.

Для обчислення кількості службової інформації при підключенні нового маршрутизатору, розглянемо приклад, зображений на рис. 5. В даному прикладі маршрутизатор R2, якому відомо N_2 маршрутизаторів та L_2 мереж (псевдо вузлів), підключається до маршрутизатору R1. Маршрутизатору R1 відомо N_1 інших маршрутизаторів та L_1 псевдо вузлів.

При підключенні нового маршрутизатору послідовно відбудуться наступні дії:

1. Новий та існуючий маршрутизатор обмінюються пакетами hello, та встановлять суміжність один з одним. Даний обмін пакетами відноситься до періодичного.

2. Обидва маршрутизатори відправлять пакети LSP із оновленнями. Визначений маршрутизатор оновить LSP псевдо вузла. Новий маршрутизатор оновить свій LSP.

3. Визначений маршрутизатор надішле періодичний пакет CSNP, в якому опише свою базу новому маршрутизатору.

4. Новий маршрутизатор R2 надішле відсутні в пакеті CSNP LSP. До них відносяться N_2-1 пакетів LSP, що описують маршрутизатор та L_2 пакетів, що описують псевдо вузол.

5. Новий маршрутизатор R2 надішле запит на LSP, які відсутні в його базі даних. До них відносяться N_1 LSP маршрутизаторів та L_1-1 LSP псевдо вузлів, відомих маршрутизатору R1. Псевдо вузол мережі, до якої приєднався новий маршрутизатор вже відомий йому.

6. Визначений маршрутизатор R1 надішле запитані LSP, кожне окремим пакетом.

Після даного обміну пакетами бази даних маршрутизаторів R1 та R2 будуть оновлені.

Для оновлення баз даних інших маршрутизаторів буде розпочата лавинна розсилка, за допомогою якої будуть надіслані LSP, яких не вистачає.

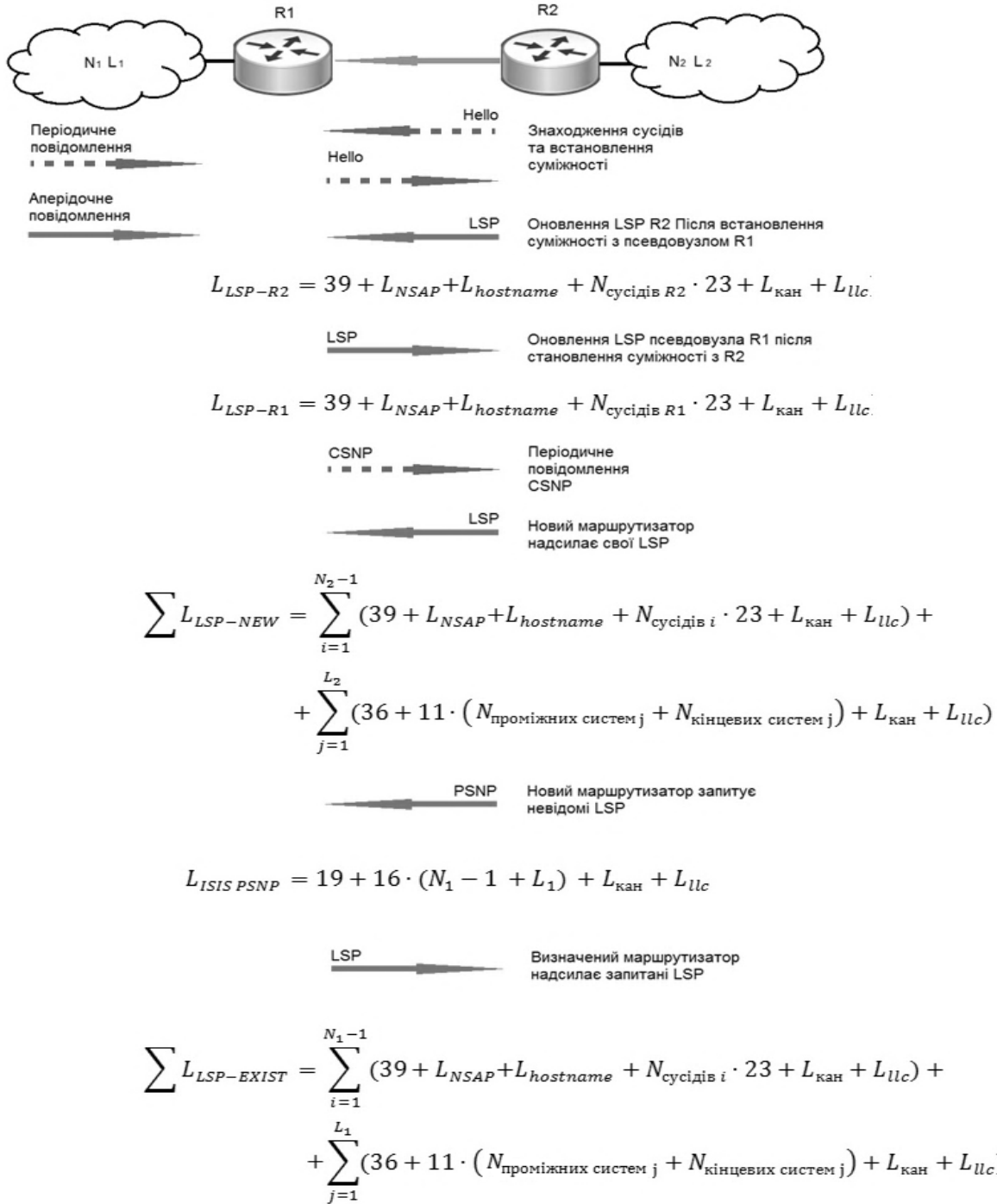


Рис. 5. Порядок обміну пакетами протоколу IS-IS при підключенні нового маршрутизатору

Спираючись на обмін пакетами, описаний вище, можливо отримати вирази для оцінки кількості службової інформації для підключення нового маршрутизатору.

$$C_{Router} = L_{PSNP} + \sum_{i=1}^{N_2+L_2} L_{iLSPR1} + \sum_{i=1}^{N_1+L_1} L_{iLSPR2} + (L_{\text{кан}} + L_{LLC}) \cdot (N_1 + N_2 + L_1 + L_2 + 1) \quad (7)$$

де L_{PSNP} – довжина пакету PSNP, обчислена за виразом (5); L_{iLSPR1} та L_{iLSPR2} – довжини всіх пакетів LSA, обчислених за виразами (2) та (3); $L_{\text{кан}}$ та L_{llc} – довжини заголовку каналного рівня та протоколу LLC; $L_{\text{кан}} = 14$ байт; $L_{llc} = 5$ байт.

Процедура водонаповнення в протоколі IS-IS, на відміну від протоколу OSPF, відбувається без підтвердження отриманих оновлень та полягає лише в лавинній розсилці оновлених або нових пакетів LSP. Таким чином, знайшовши N змінених маршрутизаторів або псевдо вузлів, маршрутизатор розішле N повідомлень LSP, що можливо виразити наступним чином:

$$C_{flooding} = \sum_{i=1}^N L_{iLSP} + (L_{кан} + L_{LLC}) \cdot N [\text{байт}], \quad (8)$$

де L_{iLSP} довжини всіх пакетів LSP, обчислених за виразами (2) та (3); $L_{кан}$ та L_{llc} – довжини заголовку каналного рівня та протоколу LLC; $L_{кан} = 14$ байт; $L_{llc} = 5$ байт.

Висновок. IS-IS як і протокол OSPF, є протоколом динамічної маршрутизації, що застосовує принцип станів каналів та алгоритм Дейкстри для пошуку найкоротших шляхів. Проте, протокол IS-IS містить багато відмінностей, серед яких інший принцип адресації, представлення мережі, тощо.

Для забезпечення маршрутизації, протокол IS-IS застосовує як періодичні, так і аперіодичні службові повідомлення. Аналогічно із протоколом OSPF, для знаходження сусідів застосовуються пакети hello, проте, принцип їх розсилки є відмінним. Також, періодично розсилається оновлення усієї бази даних за допомогою пакетів CSNP. У порівнянні з протоколом OSPF, порядок обміну службовими повідомленнями при лавинній розсилці та підключенні нового маршрутизатору є простішим.

В статті описано структури пакетів IS-IS для випадку одно зонової маршрутизації в ширококомовній мережі та отримано аналітичні вирази, що дозволяють оцінити кількість службової інформації протоколу IS-IS, витраченої для його функціонування.

Отримані вирази можуть бути застосовані для порівняння кількості службової інформації протоколу IS-IS із кількістю службової інформації протоколу OSPF або будь-якого іншого протоколу маршрутизації.

Література

1. Галькевич А. В. Определение показателей эффективности протокола динамической маршрутизации OSPF / А.В. Галькевич [Електронний ресурс] // Режим доступу : http://www.rusnauka.com/26_NII_2009/Informatica/51675.doc.htm
2. Макеев С.А. Оптимизация конфигурируемых параметров маршрутизатора / С.А. Макеев, Т.И. Алиев // Научно-технический вестник СПб ГИТМО (ТУ). Информация и управление в технических системах. – 2003. – Вып. 10. С. 91–94.
3. Convergence Behavior of RIP and OSPF Network Protocols. Hubert Pun. B.A.Sc., University of British Columbia, 2001.
4. ISO/IEC 10589. Intermediate System to Intermediate System intra-domain routing information exchange protocol for use in conjunction with the protocol for providing the connectionless-mode network service (ISO 8473), 2002.