

## РІШЕННЯ ЗАДАЧІ РОЗБИТТЯ МЕРЕЖІ OSPF НА ОБЛАСТІ

В статті представлено результати дослідження мережі, яка обслуговується протоколом маршрутизації OSPF, на предмет виявлення можливостей застосування вибраного алгоритму автоматичної класифікації для розбиття мережі на внутрішні області. Проведено моделювання об'єктів та серію експериментів на застосування результатів обрахунків алгоритму прикладного аналізу даних «Спектр».

The results of research of network that is served by protocol of routing of OSPF are presented in the article, for the purpose the exposure of possibilities of application of the chosen algorithm of automatic classification for parcelling of network on internal areas. The design of objects and series of experiments is conducted on application of results of accounts of algorithm of the applied analysis of data "Spectrum".

### Вступ

Найуніверсальним і гнучким в налаштуванні протоколом динамічної маршрутизації в корпоративних мережах на сьогоднішній день є відкритий протокол вибору першого найкоротшого шляху (Open Shortest Path First Protocol – OSPF). Протокол орієнтовано на роботу у великих мережах (до 65536 маршрутизаторів) із складною топологією. Він базується на алгоритмі стану каналів зв'язку і має високу стійкість до змін топології мережі і швидку збіжність. При виборі маршруту використовується метрика пропускну спроможності складеної мережі (з метою передачі даних по найшвидкісним каналам зв'язку). Протокол може підтримувати різні вимоги IP-пакетів до якості обслуговування (пропускна спроможність, затримка і надійність) за допомогою побудови окремої таблиці маршрутизації для кожного з цих показників. На практиці, за великої кількості маршрутизаторів та нестабільних підмереж збіжність протоколу нелінійно змінюється. Зазвичай такі проблеми усуваються регулюванням затримки реакції або розбиттям системи на внутрішні області вручну адміністратором. Таке вирішення проблеми не є уніфікованим, вимагає багато часу та творчого підходу.

### Мета

Дослідження мережі, яка обслуговується протоколом маршрутизації OSPF, на предмет виявлення можливостей застосування вибрано-

го алгоритму автоматичної класифікації для розбиття мережі на внутрішні області.

### Огляд існуючих рішень

Область OSPF – це частина автономної системи, яка об'єднує підмережі з прилеглими діапазонами адрес. Однією з головних задач визначення областей OSPF є об'єднання маршрутів, які дозволяють здійснювати маршрутизацію лише даної області, не підключаючи магістральну область[1].

Область визначається як сукупність маршрутів, всередині якої маршрутизатори мають інформацію лише про дану область і про маршрут «за замовчуванням» (до магістралі). Це робить OSPF ефективним протоколом маршрутизації, оскільки для кожного маршрутизатора інформація про інші підмережі не є необхідною. Області нумеруються у форматі 0.0.0.x, де x позначає діапазон підмережі. Магістральна область – це високошвидкісна область, до якої всі інші області OSPF приєднані (всі інші області називаються тупиковими). Трафік різного призначення, що сполучає дві області, завжди буде проходити через магістральну область. Магістральна область позначається як 0.0.0.0.

Тупикова область – це область пов'язана з магістральною областю через (ABR)[3]. При проектуванні топології OSPF необхідно визначити тупикову область та приєднати її до магістральної області і лише в крайньому випадку зв'язувати їх між собою. Перевагою такого об'єднання: буде те, що тупикова область має лише один маршрут для всього трафіку який



**Рис. 1. Автономна система, що розділена на області маршрутизації**

виходить за межі області. Малюнок, наведений нижче, демонструє приклад топології OSPF.

На рисунку зображена магістральна (опорна) область (backbone) – область через яку зв'язуються інші маршрутизатори. Маршрутизатор магістральної мережі (Backbone Router – BR) – підключений до магістральної мережі. Граничний маршрутизатор області підключений до декількох областей. Граничний маршрутизатор виділеної області (Autonomous System Boundary Router – ASBR) – підключений до інших автономних систем. Внутрішній маршрутизатор (Internal Router-IR) – це маршрутизатор, у якого всі підключення знаходяться в середині однієї області. Відповідальний маршрутизатор (Designated Router – DR) – збирає і розсилає маршрутну інформацію в виділеній області. Таким чином в OSPF вибудовується ієрархія маршрутизаторів. Резервний відповідальний маршрутизатор (Backup Designated Router-DR) – резервує DR[5].

Так як будь-яка область OSPF – це набір суміжних інтерфейсів (територіальних ліній або каналів локальних мереж), то введення поняття «область» перекриває дві основні задачі в такій мережі – управління інформацією та визначення доменів (областей) маршрутизації.

Розподіл на області призводить до використання двох різних типів маршрутизації OSPF в залежності від того, чи (знаходиться) джерело інформації і одержувач в одній, або в різних областях. У першому випадку має місце внутрішньозонна, у другому – міжзонна маршрутизація[3]. Ця властивість OSPF використовується для обмеження лавинної розсилки оновлень стану всіх каналів. У протоколі маршрутизації з

оголошенням стану зв'язків кожний маршрутизатор підтримує базу даних, що описує топологію автономної системи. Цю базу даних називають базою даних стану зв'язків. Кожний взаємодіючий маршрутизатор має ідентичну базу даних. Кожний окремих елемент цієї бази даних є локальним станом певного маршрутизатора (наприклад, використані інтерфейси і досяжні сусіди). Маршрутизатор розподіляє свій локальний стан у автономній системі шляхом лавинної передачі. Саме межі області визначають об'єм лавинної розсилки та кількість обчислень за алгоритмом Дейкстри, що визначають розмірність таблиці маршрутизації на роутері.

Динамічна маршрутизація, яка реалізована в протоколі OSPF полягає в тому, що таблиця маршрутизації постійно відображає точну та актуальну інформацію про топологію мережі. Усі маршрутизатори паралельно виконують однаковий алгоритм. За допомогою бази даних про стан зв'язків кожний маршрутизатор будує область найкоротших шляхів, виступаючи у якості відповідального (DR). Ця область визначає маршрут до кожного адресата автономної системи. Час, який потрібен для того, щоб зміни які відбулися в топології мережі відобразилися в таблицях маршрутизації всіх мережевих маршрутизаторів, називається тривалістю переходу мережі в сталий стан. У цьому контексті перехід мережі в сталий стан є процес наближення до такого стану, в якому інформація у всіх таблицях маршрутизації узгоджена, а самі таблиці залишаються в незмінному вигляді.

Одним з важливих вимог до протоколу маршрутизації є коротка тривалість переходу в сталий стан, оскільки на той час, який маршрутизатор витрачає на обчислення нового оптимального маршруту, нормальний процес маршрутизації може порушитися.

Таким чином, зменшення та узагальнення маршрутної інформації є головною метою введення областей в OSPF.

### **Експерименти й результати**

Для проведення ряду експериментів було обрано програмне забезпечення Opnet, яке пропонує користувачам графічне середовище для виконання моделювання та аналізу мереж зв'язку. Це п.з. може використовуватися також для налаштування і перевірки протоколів зв'язку, оптимізації та планування мереж.

Для проведення експериментів було обрано однорідну мережу, яка представляє собою окрему автономну область під загальним єдиним керівництвом та маршрутизацією за алгоритмом Дейкстри. В мережі було задіяно 20 маршрутизаторів (Ethernet4\_slip8\_gtwy), 4 свічі (Ethernet 16\_switch), і node\_31 and node\_28 (Ethernet 16\_bridge), а також 8 моделей, що імітують локальну мережу, кожна з яких підтримує 100 персональних комп'ютерів, тому подана мережа маршрутизації OSPF (рисунок 2) об'єднує 800 користувачів.

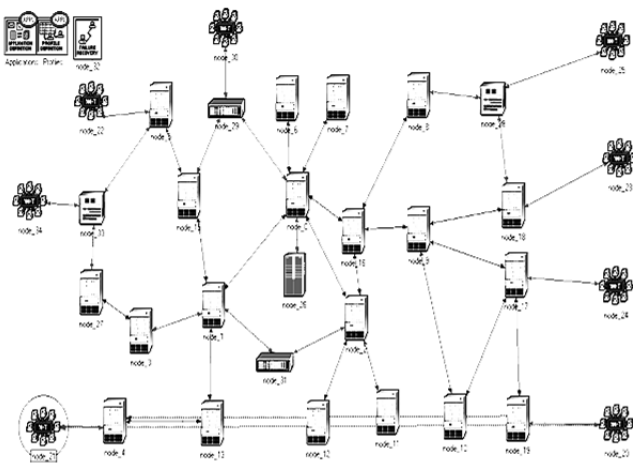


Рис. 2. Загальний вигляд OSPF моделі

У протоколі OSPF для визначення того, який із маршрутів до одержувача є найкоротшим, застосовується вартість, як метрика маршрутизації[6]. Значення вартості присвоюється інтерфейсам (каналам), тому дане значення можна розглянути як «плату» за проходження цього каналу до шляху одержувача. Розрахунок вартості в протоколі OSPF, здійснюється наступним чином: вартість інтерфейсу пропорційна пропускній спроможності цього інтерфейсу. Тобто формула розрахунку вартості набуває такого вигляду:

$$\text{Вартість} = \frac{\text{еталонна пропускна здатність}}{\text{пропускна здатність інтерфейсу}}$$

Еталонна пропускна здатність має за замовчуванням (згідно документу RFC) значення 100 000 000, або  $10^8$ , а пропускна здатність інтерфейсу залежить від типу інтерфейсу. Тому чим вище пропускна здатність (швидкість каналу), тим нижче вартість каналу за протоколом OSPF. Наприклад вартість каналу Ethernet на 10 Мбіт/с дорівнює  $10^8/10$

$=10$  а вартість лінії T1 складає  $10^8/1\ 544\ 000 = 64$ . У специфікації OSPF формула обчислення вартості визначена наступним чином: Вартість = 100 000 000 / пропускна здатність (біт/с).

В мережі налаштовано інтерфейси двох типів 40 (Мбіт/с) та 100 (Мбіт/с), таким чином було змодельовано процес обміну сервісною інформацією, та визначення оптимального маршруту.

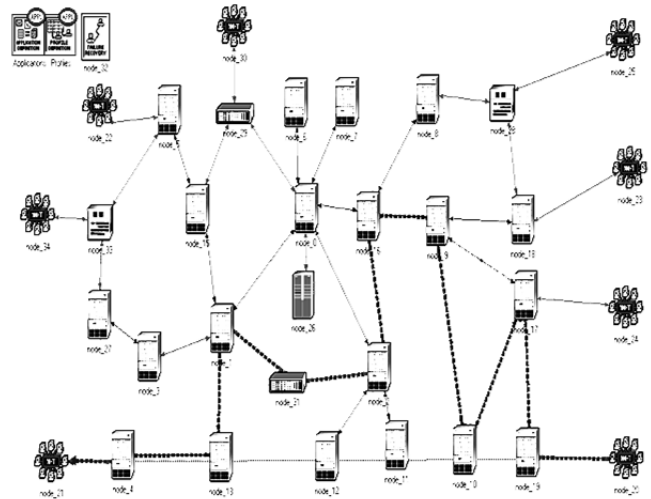
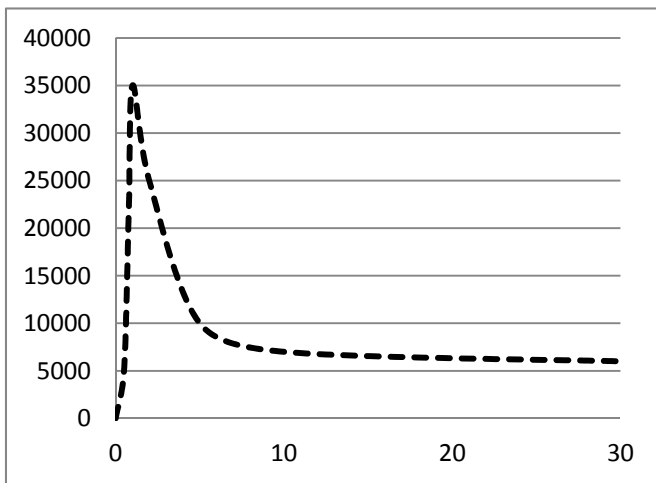


Рис. 3. Розрахований оптимальний маршрут за умови варіації інтерфейсів

На рисунку 3 найкоротший маршрут передачі даних проходить через 8 маршрутизаторів (Ethernet4\_slip8\_gtwy), 1свіч (Ethernet 16\_bridge), від однієї мережі користувачів (100Base T\_LAN) до іншої (10BaseT\_LAN). Цей маршрут розраховується за пропускною здатністю інтерфейсів, від pod\_20 and pod\_19 також pod\_2 and pod\_31, pod\_31 and pod\_1, pod\_4 and pod\_21 яка становить 100 (Мбіт/с), а інтерфейси pod\_19 and pod\_17, pod\_17 and pod\_9, pod\_9 and pod\_16, pod\_16 and pod\_2, pod\_1 and pod\_13, pod\_13 and pod\_4 становлять пропускну здатність 40 (Мбіт/с). На наступному рисунку при змінні пропускної здатності між pod\_17 and pod\_9 (яку зменшено було в 5 разів) маршрут перенаправлено через pod\_10; пропускна здатність між pod\_17 and pod\_10, pod\_10 and pod\_9 становила по 40 (Мбіт/с). Оптимальний маршрут позначено штриховою лінією. За даної конфігурації мережі, маємо наступні показники: кількість відправленого трафіку (рисунок 4) та кількість втрачених пакетів під час передачі даних.



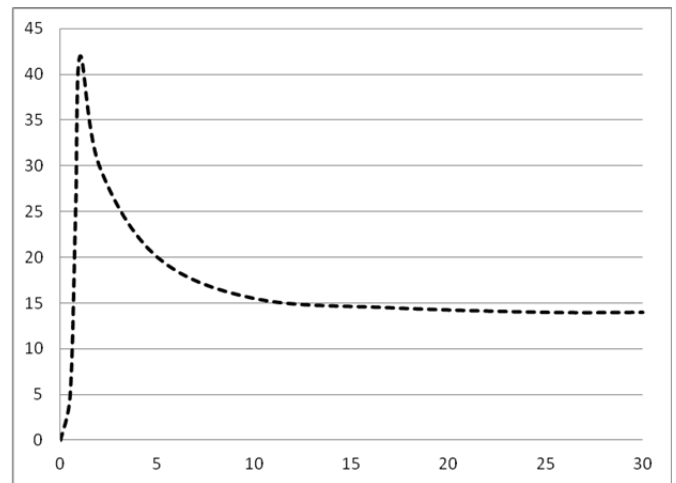
**Рис. 4. Time\_average  
(in IP.Traffic Dropped(packets/sec))**

Подальший експеримент полягає у визначенні загального об'єму трафіку при інших рівних умовах у мережі із виділеними внутрішніми областями. Для аналізу можливості виділення внутрішніх областей запропоновано спеціальний алгоритм автоматичної класифікації об'єктів з курсу прикладного аналізу даних, а саме евристичний алгоритм «Спектр», що призначений для агрегування елементів довільної природи, заданих лише матрицею їх зв'язків між собою, і в ідейному плані спирається на гіпотезу компактності. Алгоритм «Спектр» буде послідовність ділянок, кожній з яких належить елемент тільки з одного блоку, про що свідчать великі і близькі один до одного значення на відповідних пологих ділянках послідовності. Коли елементи чергового блоку вичерпуються, алгоритм знаходить найближчий до цього блоку елемент наступного блоку, тому в спектрі зв'язків на кордонах блоків мають місце різкі зменшення величин.

Ця особливість спектру зв'язків і використовується для виявлення структури елементів, що агрегуються:

-якщо число виділених блоків обумовлено заздалегідь і рівняється  $K$ , то для виділених меж цих блоків в спектрі відбираються  $k-1$  найменших зв'язків: відповідні цим зв'язкам елементи задають у послідовності «В» лівіше кордону (початку) шуканих блоків (зрозуміло, що першу ліву межу задає елемент  $X_1$ );

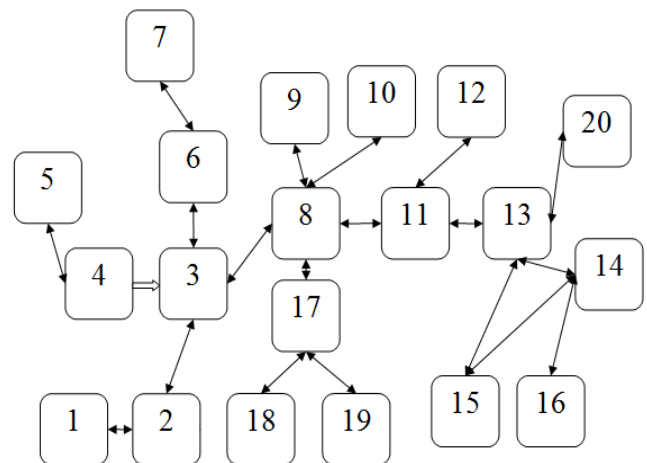
-якщо число блоків заздалегідь не обговорюється і повино бути знайдено в результаті роботи алгоритму, то або задаються абсолютним порогом, зменшення величини



**Рис. 5. Time\_average  
(in OSPF.Traffic Sent (bits/sec))**

зв'язку нижче якого трактується як перехід до наступного блоку, або відносним порогом, перевищення якого відносним приростом величини зв'язку при переході від  $i-1$  до  $i$ -того елементу послідовності «В», у якості нового блоку.

Вхідні дані для роботи алгоритму «Спектр»: із структури мережі та вартості інтерфейсів, побудуємо граф зв'язності:



**Рис. 6. Вихідні дані (граф, що представляє множину роутерів з протоколом OSPF та налаштованими інтерфейсами двох типів)**

де розрахункова вартість двох типів інтерфейсів:

$$\begin{aligned} \longrightarrow & 10^8 \div 4 \times 10^7 = 2,5 \text{ (40 (Мбіт/с))} \\ \Longrightarrow & 10^8 \div 10^8 = 1 \text{ (100 (Мбіт/с))} \end{aligned}$$

По вказаних вхідних даних отримаємо матрицю близькості (зв'язків).

Отримаємо спектр зв'язків, що має явно виражений спадаючий характер.

Табл. 1. Матриця зв'язків

Об	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-	2,5	5	6	8,5	7,5	10	7,5	10	10	10	12,5	12,5	15	15	17,5	10	12,5	12,5	15
2		-	2,5	3,5	6	5	7,5	5	7,5	7,5	7,5	10	10	12,5	12,5	15	12,5	10	10	12,5
3			-	1	3,5	2,5	5	2,5	5	5	5	7,5	7,5	10	10	12,5	5	7,5	7,5	10
4				-	2,5	3,5	6	3,5	6	6	6	8,5	8,5	11	11	13,5	6	8,5	8,5	11
5					-	6	8,5	6	8,5	8,5	8,5	11	11	13,5	13,5	16	8,5	11	11	13,5
6						-	2,5	5	7,5	7,5	7,5	10	10	12,5	12,5	15	7,5	10	10	12,5
7							-	7,5	10	10	10	12,5	12,5	15	15	17,5	10	12,5	12,5	15
8								-	2,5	2,5	2,5	5	5	7,5	7,5	10	2,5	5	5	7,5
9									-	5	5	7,5	7,5	10	10	12,5	5	7,5	7,5	10
10										-	5	7,5	7,5	10	10	12,5	5	7,5	7,5	10
11											-	2,5	2,5	5	5	7,5	5	7,5	7,5	5
12												-	5	7,5	7,5	10	7,5	10	10	7,5
13													-	2,5	2,5	5	7,5	10	10	7,5
14														-	2,5	2,5	10	12,5	12,5	5
15															-	5	10	12,5	12,5	5
16																-	12,5	15	15	7,5
17																	-	2,5	2,5	10
18																		-	5	12,5
19																			-	12,5
20																				-

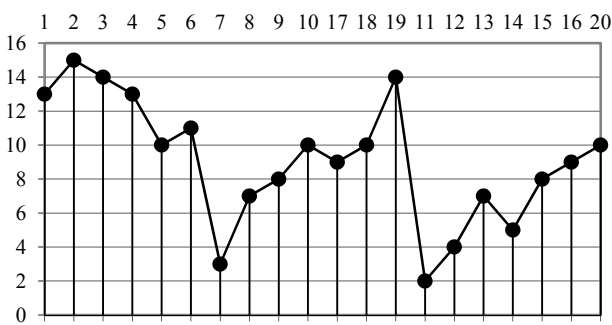


Рис. 7. Спектр близькості елементів по множинам

Програмне забезпечення, що реалізує вказаний алгоритм, взято із курсу “Прикладний аналіз”[2] Малуков М.М.

Результуюча матриця B(I), C(I).

I	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
B(I)	5	4	2	6	7	1	2	18	19	17	8	9	10	11	15	16	12	13	14	20
C(I)	-	8	7	6,2	6,1	1,2	1,6	2,7	3,2	3,5	2	2,4	2,9	2,6	3	3,2	3,6	3,6	3,8	3,2

Отримане розбиття пов'язано з тим, що в даному випадку алгоритм «Спектр» забезпечує не глобальний, а локальний екстремум якості розбиття елементів вихідної множини. Дійсно, за визначенням алгоритм «Спектр» агрегує елементи з найбільшими зв'язками, так що до кінця роботи алгоритма в числі не вибраних неминує залишаються тільки слабозв'язані елементи. Виразимо отримані матриці на конфігурації досліджуваної мережі:

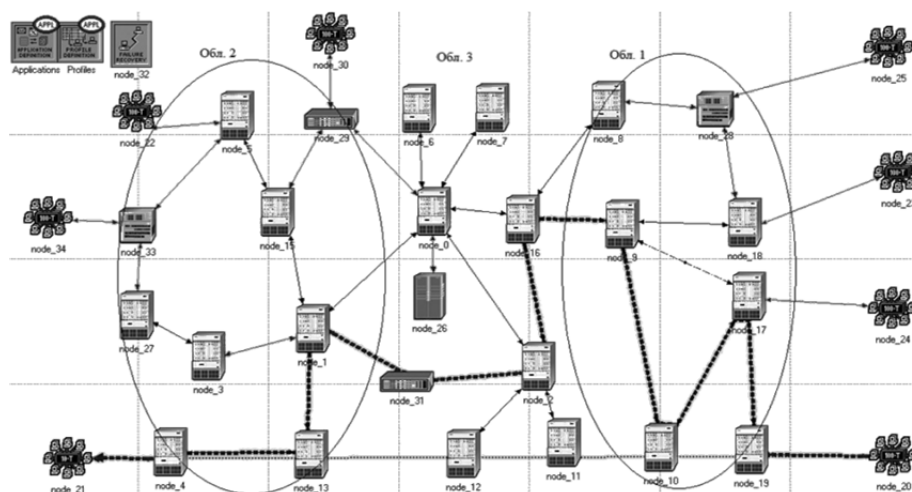
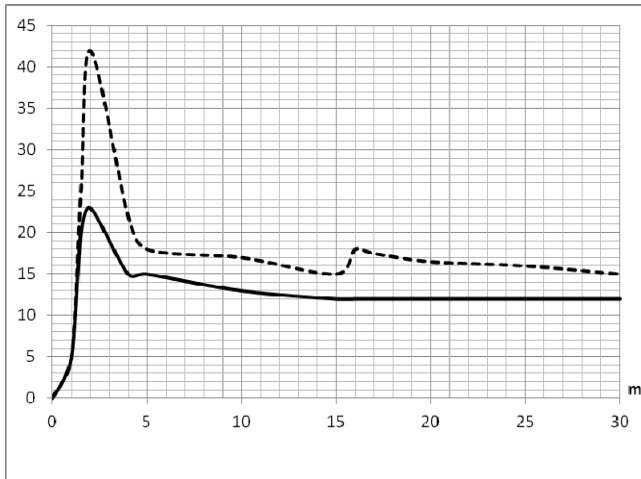
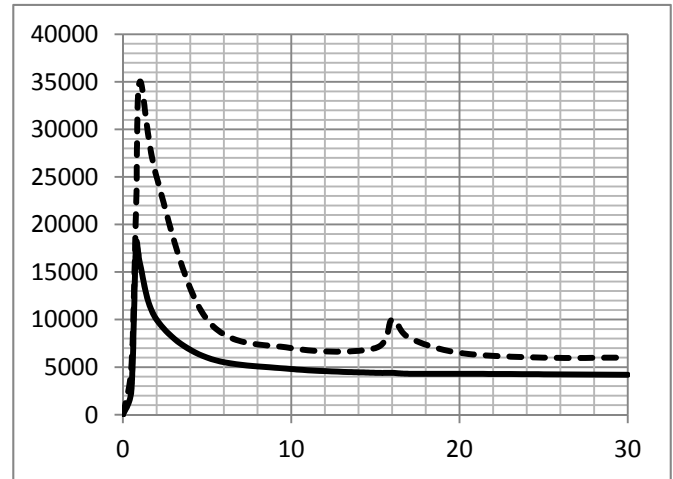


Рис. 8. Виділення внутрішніх областей



**Рис. 9. Рис. Time\_average  
(in IP.Traffic Dropped(packets/sec))**



**Рис. 10. Time\_average  
(in OSPF.Traffic Sent (bits/sec))**

Криві 1, 3 – відображають поведінку системи до початку експерименту. На 15-ій хвилині було спровоковано несправність вузла Nod\_18, що призвело до появи додаткової сервісної інформації, тобто загальна кількість пакетів та втрачених пакетів збільшилась. Для мережі з виділеними областями (криві 2, 4 рис. 9-10) загальна кількість пакетів значно менша так як в цій ситуації ми не враховуємо внутрішній сервісний трафік. В описаній ситуації зовнішні області не реагують на зникнення Nod\_18, так як він інкапсульований до виділеної області №3.

Таким чином було опробовано та досліджено застосування алгоритму прикладного аналізу даних для вирішення задачі виділення внутрішніх областей в мережі побудованої на базі протоколу OSPF. Теоретичні положення протоколу підтвердились даними експерименту, що підтвердило можливість використання запропонованого методу автоматичної класифікації. Інформаційна модель мережі та всі аналітичні розрахунки проведено в середовищі Ornet. В подальшому необхідно порівняння методів автоматичної класифікації та їх реалізація в стек протоколу

### Список літератури

1. Том М. Томас II Структура и реализация сетей на основе протокола OSPF. Руководство Cisco – OSPF Network Design Solutions. – 2-е изд. – М.: «Вильямс», 2004. – С. 816. – ISBN 1-58705-032-3. С 83-94.
2. Лекции по прикладному анализу данных / Задача классификации и ее постановка / Алгоритм автоматической классификации «СПЕКТР» / Малюков Н.Н., [Электронный ресурс], режим доступа до журналу, <http://prand.ru/content/algorithm-avtomaticheskoi-klassifikatsii-spektr-chast-4>
3. Протоколы маршрутизации / Семенов Ю.А., [Электронный ресурс], режим доступа до журналу, [http://book.itер.ru/4/44/rut\\_4411.htm](http://book.itер.ru/4/44/rut_4411.htm) .
4. «Маршрутизаторы Cisco. Руководство по конфигурированию». – 2-е издание, – Дэвид Хьюкаби, Стив Мак-Квери, Эндрю Уайтейкер. – 736 стр., – ISBN 978-5-8459-1755-3, – «ВИЛЬЯМС», 2012. С 100-125.
5. J. Moy. Ascend Communications, Inc. April 1998. OSPF Version 2, [Электронный ресурс], режим доступа до журналу, <http://www.ietf.org/rfc/rfc2328.txt>.  
Полторац В.П. Моделивання процесу маршрутизації в IP мережах з використанням методу динамічного програмування / К.С.Дорошенко, О.С.Квітко, В.П.Полторац // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2010. – №2 (53). – С. 154-160: ил.6. – Табл. 2. – Библиогр.