

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

дипломної роботи

магістра

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань	<u>17 Електроніка та телекомунікації</u> <small>(шифр і назва галузі знань)</small>
напрямок підготовки (Спеціальність)	<u>172 Телекомунікації та радіотехніка</u> <small>(код і назва спеціальності)</small>
Спеціалізація (Освітня програма)	<u>Телекомунікаційні системи та мережі</u> <small>(код і назва освітньої програми)</small>
освітній рівень	<u>магістр</u> <small>(назва освітнього рівня)</small>
Кваліфікація	<u>2144.2 Інженер в галузі електроніки та телекомунікацій</u> <small>(код і назва кваліфікації)</small>

на Адаптивне управління трафіком пакетних
тему: телекомунікаційних мереж з прогнозуванням його інтенсивності

Виконавець: студент 6 курсу, групи 172М-16

Федоров Дмитро Олександрович
(підпис) (прізвище ім'я по-батькові)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	д.т.н., проф. Корнієнко В.І.		
розділів:			
спеціальний	д.т.н., проф. Корнієнко В.І.		
економічний	к.е.н., доцент Романюк Н.М.		
Рецензент			
Нормоконтроль	к.ф.-м.н., доц. Гусєв О.Ю.		

Дніпро
2018

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»**

**Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій**

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

безпеки інформації та телекомунікацій

_____ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи магістра

**напряму
підготовки
(спеціальності)**

172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва спеціальності)

студенту

172М-16-1

(група)

Федоров Дмитро Олександрович

(прізвище ім'я по-батькові)

Тема дипломної роботи

*Адаптивне управління трафіком пакетних
телекомунікаційних мереж з прогнозуванням його інтенсивності*

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора Державного ВНЗ «НГУ» від _____ № _____

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень *процеси передачі даних через вузлове обладнання
пакетних мереж.*

Предмет досліджень *методи та засоби побудови способу
адаптивного управління трафіком на портах вузлового обладнання
пакетних мереж*

Вихідні дані для проведення роботи *методи управління передачею
в пакетних телекомунікаційних мережах*

3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна *Виявлено причини утворення системних помилок*

адаптивного управління та механізм

перетворення помилок недооцінки ширини смуги порту комутатора, що негативно впливають на рівень втрат пакетів.

Практична цінність Створено

новий спосіб адаптивного перерозподілу пропускної спроможності вузлового обладнання пакетних мереж, що зменшує негативний вплив утворюваних помилок адаптивного регулювання на якість управління цим обладнанням.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Результати повинні відповідати вимогам Закону України «Про телекомунікації»,

Закону України «Про інформацію», Закону України «Про внесення змін до Закону

України «Про телекомунікації» щодо ринку телекомунікаційних послуг пропуску трафіка»

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Огляд джерел за темою та напрям досліджень	20.09.17-06.10.17
Розробка методи досліджень	07.10.17-24.11.17
Результати досліджень	22.11.17-15.12.17
Виконання економічного розділу	14.12.17-29.12.17
Оформлення пояснювальної записки	28.12.17-10.01.18

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект від реалізації результатів роботи очікується позитивним

Соціальний ефект застосування вдосконаленого алгоритму дозволяє покращити якість зв'язку

Завдання видав _____
(підпис)

Корнієнко В.І.
(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв
до виконання _____
(підпис)

Федоров Д.О.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 01.09.17р.

Термін подання дипломної роботи до ДЕК 16.01.18р.

Реферат

Пояснювальна записка: ___ с., ___ рис., ___ табл., ___ додатків, ___ джерел;

Об'єкт дослідження: процеси передачі даних через вузлове обладнання пакетних мереж.

Предмет дослідження: методи та засоби побудови адаптивного управління трафіком на портах вузлового обладнання пакетних мереж.

Мета дипломної роботи: розробка способу управління трафіком на портах вузлового обладнання пакетних мереж, що забезпечує зменшення негативного впливу помилок управління за рахунок прогнозування інтенсивності трафіку.

У роботі наведені: новий спосіб адаптивного перерозподілу пропускної спроможності вузлового обладнання пакетних мереж, що зменшує негативний вплив утворюваних помилок адаптивного регулювання на якість управління цим обладнанням.

В економічному розділі з точки зору економічної доцільності, необхідно забезпечувати раціональне використання ресурсів такого обладнання – зокрема пропускної здатності магістральних пакетних комутаторів, маршрутизаторів та шлюзів, – щоб оброблювати більші обсяги даних у перерахунку на одиницю вартості задіяного обладнання.

Наукова новизна: вперше запропоновано метод зменшення впливу системних помилок на якість адаптивного управління вузловим обладнанням, шляхом включення у технологічний ланцюг адаптивного перерозподілу засобу прогнозування інтенсивності пакетного трафіку.

**ВУЗЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, АДАПТИВНЕ
УПРАВЛІННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ, МЕТОДОМ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ,
ФІЛЬТР**

Реферат

Пояснительная записка: ___ с., ___ рис., ___ табл., ___ додатків, ___ источников;

Объект исследования: процессы передачи данных через узловое оборудование пакетных сетей.

Цель дипломной работы: Аппарат теории адаптивных систем управления, в частности метод динамического программирования Р. Беллмана и метод аналитического конструирования регуляторов, предложенный К. Антоновым. Анализ фрактальных процессов, моделирующие пакетный трафик, осуществлялся на основе результатов теории телетрафика, дискретной математики, математической статистики, теории вероятности и случайных процессов.

В работе приведены: новую информационную технологию адаптивного перераспределения пропускной способности узлового оборудования пакетных сетей, уменьшает негативное влияние создаваемых ошибок адаптивного регулирования на качество управления этим оборудованием.

В экономическом разделе с точки зрения экономической целесообразности, необходимо обеспечивать рациональное использование ресурсов такого оборудования - в частности пропускной способности магистральных пакетных коммутаторов, маршрутизаторов и шлюзов, - чтобы обрабатывать большие объемы данных в пересчете на единицу стоимости задействованного оборудования.

Научная новизна: впервые предложен метод уменьшения влияния системных ошибок на качество адаптивного управления узловым оборудованием, путем включения в технологическую цепочку адаптивного перераспределения средства прогнозирования интенсивности пакетного трафика.

УЗЛОВОЙ ОБОРУДОВАНИЯ, ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ,
АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ, МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ,
ФИЛЬТР

Abstract

Explanatory note: ___ with., ___ fig., ___ table, ___ data, ___ sources;

Object of the study: the processes of data transmission through the node equipment of packet networks.

The purpose of the thesis: The apparatus of the theory of adaptive control systems, in particular R. Bellman's dynamic programming method and the method of analytic construction of regulators, proposed by K. Antonov. The analysis of fractal processes modeling packet traffic was carried out on the basis of the results of teletraffic theory, discrete mathematics, mathematical statistics, probability theory and random processes.

The paper presents: a new information technology for adaptive redistribution of the throughput of packet network equipment, reduces the negative impact of the created adaptive control errors on the quality of management of this equipment.

In the economic section, from the point of view of economic feasibility, it is necessary to ensure the rational use of the resources of such equipment - in particular, the capacity of backbone packet switches, routers and gateways - to handle large amounts of data in terms of the unit cost of the equipment involved.

Scientific novelty: the first proposed method to reduce the effect of system errors on the quality of adaptive control of node equipment, by including in the technological chain of adaptive redistribution means for predicting the intensity of packet traffic.

NODE EQUIPMENT, CAPACITY, ADAPTIVE CONTROL, METHOD OF THE LATEST SQUARES, FILTER

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

СНК - схеми найменших квадратів.

РСНК - рекурсивної схеми найменших квадратів.

ГК- гамма-каротажу.

МНК- методом найменших квадратів.

СРД Статистична Регуляризація Даних

СГПИ- Статистична Угруповання Корисною Інформації

АРД- адаптивної регуляризації даних

СУАР - система управління адаптивним розподілом ресурсів пакетних мереж

ВО - вузлове обладнання

IDC - індекс дисперсії

PDU - протокольний блок даних

КВО - коефіцієнт завантаження вузлового обладнання;

k_1, k_2, \dots, k_N - коефіцієнти завантаження портів вузлового обладнання,

де N – кількість портів у вузловому обладнанні ($k_i = I_i/C_i$ або $k_i = I_i/\Delta F_i$);

СВО - пропускна здатність вузлового обладнання;

C_i - пропускна здатність i -го порту вузлового обладнання;

ΔF_i - ширина смуги пропускання i -го порту вузлового обладнання;

ΔF_{Σ} - сума смуг пропускання портів вузлового обладнання;

ІВО - швидкість (інтенсивність) обробки пакетів у вузловому обладнанні;

$I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_N$ - інтенсивність трафіка на портах вузлового

обладнання, де індекс $i = 1, 2, \dots, N$ позначає номер портів обладнання;

τ – проміжок часу;

τ_c – інтервал вимірювань поточних значень інтенсивності потоку пакетів;

τ_u - інтервал усереднення трафіка;

τ_k - інтервал між початком сусідніх кроків дискретно-адаптивного управління;

τ_d - тривалість кроку управління;

τ_i - тривалість кроку інтегрування рівняння настроювання;

τ_p - тривалість здійснення функції прогнозування величини наступного елемента часового ряду;

I - кількість кроків інтегрування у межах одного кроку управління;

L - сумарна кількість кроків адаптивного управління на протязі одного сеансу вимірювань;

τ_z - тривалість повного заповнення буферної пам'яті на увідному порту;

S - максимально можливе значення інтервалу усереднення в межах одного кроку управління;

() D_{--} помилки адаптивного регулювання, що утворюються в процесі прогнозування внаслідок недооцінки ширини смуги портів комутатору;

() D_{-} помилки адаптивного регулювання, що утворюються в процесі прогнозування внаслідок переоцінки ширини смуги портів комутатору;

I – поточне значення інтенсивності потоку пакетів на k -ому порту комутатора у момент t ;

I_{ϕ} – усереднене значення інтенсивності потоку пакетів на k -ому порту комутатора;

$K(D(-))$

- покроковий коефіцієнт помилок недооцінки смуги порту;

$X(t)$ – випадковий процес безперервного аргументу;

$Z(t)$ – нестационарний випадковий процес безперервного аргументу, що відображає телетрафік;

T – проміжок часу, на якому розглядається процес;

H – параметр Херста;

a – коефіцієнт масштабної інваріантності стосовно безперервного процесу $Z(t)$;

X_k – випадковий процес дискретного аргументу (часу), якщо $t_k = 1, \dots$;

k – поточний номер часового інтервалу усереднення процесу X ;

$\{ \}; 0; 1; 2; \dots$ X_k $k =$ напівскінчений відрізок стаціонарного випадкового процесу X дискретного аргументу (часу) $t_k = 1, \dots$;

$[] M X_t$ – середнє значення (або математичне очікування) процесу X

$s M X M t = - \hat{E} \hat{I}^\circ$ – дисперсія процесу X ;

$R_k M X M X M () = - - () () t_k t +$

$\hat{E} \hat{I}^\circ$ – кореляційна функція процесу X ;

$r_k R_k R R k () () / (0) () / = = \sigma$ – коефіцієнт кореляції процесу X ;

$\{X_k$

(τ)

; $k = 0; 1; 2; \dots$ } - часовий ряд, що моделює пакетний трафік;

б

K - об'єм вибірки часового ряду $\{X_k$

(τ)

; $k=0;1;2; \dots$ }; – кількість пакетів, що надійшли в канал транспортування пакетів

протягом k -го інтервалу часу тривалістю τ ;

$\{I_k$

(τ)

; $k=0;1;2; \dots$ } - часовий ряд, що моделює дискретні зміни

інтенсивності тренду пакетного трафіку;

μ_q – q -й абсолютний (тобто, початковий) статистичний момент

процесу X , що усереднений на інтервалі тривалістю τ ;

q – порядок статистичного моменту процесу X (перший, другий і т.д.);

$(\cdot)_L$ – повільно мінлива функція на нескінченності;

β – параметр функції кореляції самоподібного процесу (визначає кут нахилу графічного відображення залежності коефіцієнту кореляції від інтервалу кореляції);

τ – інтервал кореляції процесу X ;

$x_k(\cdot)$ – реалізація часового ряду як функція від k - поточного

порядкового номеру члена цього часового ряду (моделює пакетний трафік на портах комутатора);

ΔT_c - інтервал стаціонарності потоків пакетів на портах вузлового обладнання ;

+ D - коефіцієнт недооцінки;

- D - коефіцієнт переоцінки;

$K\Delta$ – врахована кількість кроків адаптивного управління;

$E\Delta$ – показник економії ширини смуг портів вузлового обладнання;

$K\Delta$ – врахована кількість кроків адаптивного управління;

N – загальна кількість портів у вузловому обладнанні;

$W_{i,j}$ – встановлена ширина смуги i -го порту вузлового обладнання на j -му кроці адаптивного управління на основі рішення рівняння Белмана;

$W_{p,i,j}$ – встановлена на основі прогнозу ширина смуги i -го порту вузлового обладнання на j -му кроці адаптивного управління;

E_p – параметр помилок прогнозу;

ker_{pqr} - кількість точок, в яких прогнозована ширина смуги порту була недостатньою;

$T\Delta$ – проміжок часу, на якому розглядається процес;

b_t [байт] – об'єм «відра токенів»;

$[байт]$ – поточний рівень токенів у відрі;

m_t [байт] – довжина токenu;

g_t [біт/с] – швидкість заповнення «відра токенів»;

t_t - період подачі токенів у Відро;

$RП$ - поточна швидкість реального потоку пакетів на порту вузлового обладнання;

$RП_{max}$ - максимальне значення поточної швидкості реального потоку пакетів на порту вузлового обладнання;

M [байт] – довжина (розмір) пакета (порція інформації, що витікає із «відра токенів»);

$\Delta RП$ - величина змін швидкості реального потоку;

$\Delta tП$ - тривалість змін швидкості реального потоку;

k_t - поточний рівень токенів у Відрі;

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ	17
1.1 Стан питання	17
1.2 Актуальність теми.....	17
1.3 Аналіз системних помилок адаптивного управління.....	19
1.4 Аналіз можливих шляхів удосконалення технологій управління розподілом ресурсів пакетних мереж.....	26
1.5 Наукова новизна.....	30
Висновки до першого розділу.....	31
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ АДАПТИВНОГО УПР ТРАФІКОМ І ПРОГНОЗУВАННЯ ЙОГО ІНТЕНСИВНОСТІ.....	33
2.1 Розробка нового способу адаптивного управління пакетним трафіком.....	33
2.2 Адаптивний шумопонижувач.....	39
2.3 Адаптивний фільтр Винера.....	41
2.4 Адаптивний алгоритм найменших квадратів Відрой-Хопфа.....	43
2.6 Висновки до другого розділу.....	44
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	45
3.1 Дослідженням якості адаптивного управління.....	45
3.2. Розробка алгоритму адаптивного управління	50
3.3 Вибір показників якості прогнозування	54
3.4 Розробка методу та розрахункової схеми прогнозування	57
3.5 Основи статистичного угруповання інформації.....	63
3.5.1 Передумови методу.....	64

3.6 Статистическая оцінка регуляризації даних.....	72
Висновки до третього розділу	78
ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	79
ВИСНОВК.....	83
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	85
ДОДАТОК А.....	86
ДОДАТОК В.....	87

Введення

Протягом багатьох років в різних радіоелектронних виробках використовуються адаптивні компенсатори сигналів електричного і акустичного відлуння, еквайзери (вирівнювачі) характеристик електричних і акустичних каналів зв'язку, адаптивні антенні і акустичні решітки. Сьогодні можна констатувати той факт, що адаптивні пристрої є невід'ємними елементами обладнання сучасних радіотехнічних систем і систем зв'язку, тактико-технічні характеристики яких часом недосяжні без використання адаптивної обробки сигналів.

Основою більшості адаптивних пристроїв є адаптивний фільтр, тобто фільтр із змінними в процесі роботи параметрами. Визначення цих параметрів багато в чому залежить від критерію роботи адаптивного фільтра. Цим критерієм часто є досягнення мінімуму деякої цільової функції, як правило, квадратичної функції помилки між так званим «потрібним» і вихідним сигналами адаптивного фільтра.

У традиційних методах обробки даних інформація витягується з вхідних сигналів лінійними системами з постійними параметрами алгоритмів перетворення даних. Системи можуть мати як кінцеву, так і нескінченну імпульсну характеристику, але передавальна функція систем не залежить від параметрів вхідних сигналів і їх зміни в часі.

Адаптивні пристрої обробки даних відрізняються наявністю певної зв'язку параметрів передавальної функції з параметрами вхідних, вихідних, очікуваних, прогнозованих і інших додаткових сигналів або з параметрами їх статистичних співвідношень, що дозволяє самонастроюватися на оптимальну обробку сигналів. У найпростішому випадку, адаптивне пристрій містить програмований фільтр обробки даних і блок (алгоритм) адаптації, який на підставі певної програми аналізу вхідних, вихідних та інших додаткових даних виробляє сигнал управління параметрами програмованого фільтра.

Імпульсна характеристика адаптивних систем також може мати як кінцевий, так і нескінченний характер.

Як правило, адаптивні пристрої виконуються вузькоцільовий функціонального призначення під певні типи сигналів. Внутрішня структура адаптивних систем і алгоритм адаптації практично повністю регламентуються функціональним призначенням і певним мінімальним обсягом вихідної апріорної інформації про характер вхідних даних і їх статистичних та інформаційних параметрах. Це породжує різноманіття підходів при розробці систем, істотно ускладнює їх класифікацію та розробку загальних теоретичних положень. Але можна відзначити, що найбільше застосування при розробці систем для адаптивної обробки сигналів знаходять два підходи: на основі схеми найменших квадратів (РНК) і рекурсивної схеми найменших квадратів (РСНК).

Існує ряд додатків адаптивних фільтрів. це:

- пряма ідентифікація невідомої лінійної системи, що базується на визначенні її імпульсного відгуку.
- Компенсація ехосигналів.
- Вирівнювання характеристик електричних каналів зв'язку.
- Адаптивні антенні решітки.
- Лінійне передбачення сигналів.
- шумоочистки сигналів.

На даному сайті демонструються принципи роботи з очищення сигналу від шуму. Користувачеві дана можливість, варіюючи деякі параметри роботи алгоритму, оцінити ефективність їх впливу на кінцевий результат.

У монографії розглядаються основні різновиди адаптивних фільтрів і їх застосування в радіотехнічних системах і системах зв'язку. Дається уявлення

про математичні об'єкти і методи, які використовуються в теорії адаптивної фільтрації сигналів. Розглядаються прийоми отримання обчислювальних процедур, самі процедури і властивості таких алгоритмів адаптивної фільтрації, як алгоритми Ньютона і найшвидшого спуску, алгоритми за критерієм найменшого квадрата, рекурсивні алгоритми за критерієм найменших квадратів і їх швидкі (обчислювально ефективні) версії; рекурсивні алгоритми за критерієм найменших квадратів для багатоканальних фільтрів і їх версії для обробки нестационарних сигналів, а також багатоканальні алгоритми афінних проекцій.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

1.1 Стан питання

Метою роботи є розробка технології адаптивного управління трафіком на портах вузлового обладнання пакетних мереж, що забезпечує зменшення негативного впливу помилок управління за рахунок прогнозування інтенсивності трафіку.

Поставлена мета передбачає вирішення таких завдань:

1. Дослідити утворення та вплив помилок адаптивного управління на якість прийняття управлінських рішень.

2. Розробити метод зменшення системних помилок адаптивного управління вузловим обладнанням.

3. Розробити критерії, що дозволяють враховувати негативний вплив системних помилок адаптивного управління на рівень втрат пакетів в комутаторі та на рівень завантаженості комутатора корисним трафіком.

4. Дослідити та розробити засоби прогнозування та згладження інтенсивності пакетного трафіку.

5. Створити інформаційну технологію адаптивного управління вузловим обладнанням з використанням модифікованого алгоритму згладження типу «відра токенів» та одного із методів короткострокового прогнозування трафіку.

1.2 Актуальність теми.

Вузлове обладнання пакетних мереж є високовартісним. Тому, з точки зору економічної доцільності, необхідно забезпечувати раціональне використання ресурсів такого обладнання – зокрема пропускної здатності магістральних пакетних комутаторів, маршрутизаторів та шлюзів, – щоб оброблювати більші обсяги даних у перерахунку на одиницю вартості задіяного обладнання. Тобто, доцільно збільшувати припустимі рівні коефіцієнта завантаження обладнання, що визначається як відношення швидкості передавання пакетів через це обладнання до його пропускної здатності. Через пульсації трафіку не вдається

забезпечувати високу завантаженість обладнання, оскільки за умов збільшення навантаження ступінь негативного прояву пульсацій також збільшується, зокрема збільшується коефіцієнт втрат пакетів. Робота пакетної мережі може вважатися ефективною, коли кожен її ресурс є суттєво завантаженим, але не перенавантаженим. На практиці, для зменшення негативного впливу пульсацій, використовують обладнання у режимах вимушеної ресурсної надлишковості, коли у вузлах мережі встановлюють набагато більш потужне комутуюче обладнання, ніж те, що потрібне за умов відсутності пульсацій трафіку. При цьому, навіть після застосування сучасних методів інженерії трафіку, коефіцієнт завантаження вузлового обладнання в середньому не перевищує величини 0,5 – 0,55. Отже, потенційно існує резерв його збільшення.

Останнім часом з'явилися публікації, в яких пропонується спосіб збільшення навантажень за рахунок адаптивного перерозподілу пропускної спроможності вузлового обладнання (зокрема, пакетного комутатора) між його портами у реальному часі. Пропускна спроможність обладнання пропонується розподіляти між його портами пропорційно інтенсивностям потоків пакетів, що надходять до цих портів таким чином, щоб динаміка процесу перерозподілу співпадала із динамікою пульсацій трафіку. Але при цьому відсутня інформація щодо можливих помилок регулювання, пов'язаних із адаптивністю та дискретністю процесу перерозподілу. Ці помилки можуть суттєво зменшувати корисний ефект від застосування вищезазначеного способу.

Водночас, технології управління потоками даних на портах вузлового обладнання не використовують засоби зменшення негативного впливу помилок адаптивного перерозподілу на якість управління, зокрема у публікаціях відсутня інформація щодо можливостей застосування в управлінських технологічних ланцюгах засобів прогнозування пакетного трафіку. За певних умов, використання алгоритмів прогнозування може позитивно вплинути на підвищення якості управління. Тому, актуальною науково-технічною задачею є створення інформаційної технології адаптивного управління потоками даних на портах комутуючих пристроїв пакетної мережі з використанням прогнозування

зміни інтенсивностей цих потоків. Впровадження такої технології в експлуатаційну практику може підвищити коефіцієнт використання обладнання пакетних мереж, в першу чергу, магістральних комутаторів і маршрутизаторів, а також, в багатьох випадках, граничних (крайових) комутаторів і маршрутизаторів абонентського доступу.

1.3 Аналіз системних помилок адаптивного управління

Система адаптивного розподілу ресурсів пакетної мережі, поряд з перевагами, що розглянуті у попередньому підрозділі, має ряд недоліків, які пов'язані, в першу чергу, із помилками, що виникають внаслідок дискретного характеру динаміки адаптивного управління. Динаміка змін швидкостей потоків пакетів на певних проміжках часу може перевищувати швидкодію системи управління, через що черги необроблених пакетів можуть переповнювати буферну пам'ять портів і, через це, «зайві пакети» втрачатися. 25 Розглянемо природу виникнення помилок адаптивного управління та фактори, що сприяють їхній появі. Перш за все, підкреслимо, що на практиці на увід АРП (див.рис.1.1) подаються у реальному часі дані, які відображають часові залежності поточних значень інтенсивності потоків на портах ВО, що вимірюються на певним чином обраних проміжках часу. Потоки цих даних називають трендами трафіка [5]. На рис.1.4 лінія П відображає тренд на одному із портів ВО, отриманого як результат усереднення виміряних поточних значень інтенсивності цього потоку на десяти-секундних проміжках часу. Цей тренд формується програмними засобами обробки вхідних черг пакетів, утворюваних на даному порту

обладнання. Верхній графік відображає відрізок зростаючого тренду, а нижній графік – відрізок спадаючого тренду. Представлена форма тренду визначається обраним у даній роботі алгоритмом фізичного згладжування пакетного трафіка. У даному випадку обрано модифікований алгоритм «відра токенів», що детально розглянутий у підрозд.2.3. Цей алгоритм дозволяє перетворити пульсуючі потоки пакетів, що надходять до портів ВО, у згладжені потоки із інтенсивністю сходинкоподібної форми – саме такі, що показані на рис.1.4, де висота сходинки є випадковою величиною, що залежить від реальної динаміки змін тренду, а ширина сходинки – це обраний адміністратором або автоматизованими засобами інженерії трафіку інтервал усереднення t_u . У кінці кожного десяти-секундного інтервалу на основі результатів усереднення автоматично змінюється відповідний параметр алгоритму «відра токенів» (точніше, генератора токенів), що приводить до стрибкоподібних змін інтенсивності згладженого потоку пакетів: на ділянках зростаючого тренду сходинки йдуть вгору, а на ділянках спадаючого тренду сходинки йдуть униз. Зрозуміло, що згладжувальні властивості умовного «відра токенів» діють лише у певних межах: під час надто сильних сплесків трафіку вхідні черги пакетів переповнюються і «зайві» пакети втрачаються.

26 Рис.1.4. Утворення помилок адаптивного управління Адаптивна система управління перерозподілом продуктивності ВО має змінювати смуги пропускання портів ВО синхронно із змінами та пропорційно змінам трендів потоків PDU, що надходять до цих портів. Дискретний характер змін трендів

обумовлює дискретність управління з інтервалом t_k . У загальному випадку $t_k = s t_u$, де: t_u - інтервал усереднення трафіка; $s = [1, 2, \dots, S]$; S - максимально можливе значення інтервалу усереднення в межах одного кроку управління.

На рис.1.4 проілюстровано випадок, коли $s=1$. Тривалість кроку управління t_d має наступне обмеження: $t_d \leq t_k$. Смуга пропускання, що виділена i -му порту ВО, на рис.1.4 позначена лінією ΔF_i . Як бачимо, лінія ΔF_i повторює за формою лінію інтенсивності тренду I_i , проте із певним запізненням. Величина запізнення обумовлена, головним чином, ступенем швидкодії системи управління (оскільки на 0 10 20 30 40 0 10 20 30 40 27 кожному кроці управління потрібен час на обробку даних, що надходять до блоку формування команд БФК, та на роботу виконавчих механізмів блоку БВМ, див.рис.3.1). Окрім того, лінія змінюваної смуги порту ΔF_i проходить дещо вище за лінію тренду I_i . Відстань по висоті між цими лініями обумовлюється прийнятним запасом щодо неперевищення трендом виділеної смуги порту, а відстань між точками А та В на кожному кроці управління визначається швидкістю роботи системи управління. Зокрема, на інтервалі між десятою та двадцятю секундами тривалість кроку управління t_d відображена як проміжок між точками А1 та В1, на інтервалі між двадцятю та тридцятю секундами – як проміжок між точками А2 та В2 і т.д. При цьому помітимо: щоб уникнути неоднозначності у показах блоку ЗДВ (що передає встановлені значення ширини смуг портів до блоку БФК, див. рис.3.1), моменти початку роботи системи керування (точки А1, А2, А3) дещо зміщені вправо відносно

початку сходинок лінії Іі. Розглянемо роботу системи управління на відрізку зростаючого тренду. Як бачимо, у цьому випадку існують часові ділянки, коли лінія ΔF_i розташована нижче, ніж лінія Іі. (На рис.1.4 вони затемнені). На цих ділянках інтенсивність сформованого потоку пакетів перевищує виділену для нього ширину смуги порту. Тобто, внаслідок недооцінки необхідної ширини смуги порту, зробленої на попередньому кроці управління, виник дефіцит смуги на поточному кроці управління. У момент початку такого перевищення починається процес заповнення буферної пам'яті порту, тобто початок утворення черги пакетів. Швидкість заповнення буферу пакетами визначається висотою сходинки, а тривалість заповнення - тривалістю кроку управління тд. Через деякий час за певних умов буфер може переповнитися, що призведе до втрати певної кількості пакетів на даному кроці управління. Такого роду помилки адаптивного регулювання назовемо помилками недооцінки смуги $D(-)$. Як протипага помилкам $D(-)$, уведемо показник помилок переоцінки смуги пропускання порту $D(+)$, що пов'язується із ситуацією надлишкового надання смуги певному порту, коли виділена смуга 2σ перевищує реальну інтенсивність сформованого потоку пакетів на поточному кроці управління. За результатами аналізу роботи системи адаптивного управління на відрізках зростаючого тренду, зроблено наступні висновки: 1) за будь-яких умов на відрізках зростаючого тренду можуть виникнути лише помилки недооцінки смуги $D(-)$; 2) помилки переоцінки смуги $D(+)$ на відрізках зростаючого тренду не виникають за

будь-яких обставин; 3) показник помилок $D(-)$ збільшується пропорційно збільшенню висоти та (або) ширини сходинки у тренді (тобто, пропорційно збільшенню стрибків у тренді та (або) зменшенню швидкодії системи управління); 4) за умов, коли величина стрибків у тренді менша за відстань між лініями I_i та ΔF_i , помилки управління типу $D(-)$ або $D(+)$ взагалі не виникають. Розглянемо роботу системи управління на відрізку спадаючого тренду (див. нижній графік на рис.1.4). Як бачимо, у цьому випадку не існують часові ділянки, коли лінія ΔF_i розташована нижче, ніж лінія I_i . Це свідчить про відсутність помилок типу $D(-)$. На будь-яких ділянках спадаючого тренду інтенсивність сформованого потоку пакетів не перевищує виділену для нього ширину смуги порту. Проте внаслідок запізнення моментів змін ширини смуги порту відносно змін тренду згладженого потоку пакетів виникають ділянки (на рис.1.4 вони затемнені), де різниця у рівнях між лініями I_i та ΔF_i є більшою, ніж прийнятий запас щодо неперевищення трендом виділеної смуги порту. Отже, на цих ділянках виникають помилки переоцінки смуги $D(+)$, що негативно впливають на рівень завантаженості порту. За результатами аналізу роботи системи управління на відрізках спадаючого тренду, зроблено наступні висновки: 1) за будь-яких умов на відрізках спадаючого тренду можуть виникнути лише помилки переоцінки смуги $D(+)$; 2) помилки недооцінки смуги $D(-)$ на відрізках спадаючого тренду не виникають за будь-яких обставин; 29 3) показник помилок $D(+)$ збільшується пропорційно збільшенню висоти та (або) ширини сходинки у

тренді (тобто, пропорційно збільшенню стрибків у тренді та (або) зменшенню швидкодії системи управління); 4) за умов, коли величина стрибків у тренді менша за відстань між кривими I_i та ΔF_i , помилки керування типу $D(-)$ або $D(+)$ практично не виникають. Кількісний аналіз помилок дискретно-адаптивного управління. В якості кількісної міри рівню помилок дискретно-адаптивного управління уведемо так званий покроковий коефіцієнт помилок недооцінки смуги порту $K(D(-))$, який визначимо як відношення кількості втрачених пакетів через переповнення буферної пам'яті порту до загальної кількості пакетів, що надійшли до входу буферу на поточному інтервалі усереднення пакетного трафіку: $K(D(-)) = (V_y - \Delta F_i)(\tau_d - \tau_z) / V_y \tau_k$, (1.1) де V_y - усереднена на інтервалі τ_k швидкість надходження пакетів до буферу; ΔF_i - ширина смуги пропускання, що виділена i -му порту вузлового обладнання на інтервалі τ_k ; τ_k - інтервал між початком сусідніх кроків дискретно-адаптивного управління; τ_d - тривалість кроку управління; τ_z - тривалість повного заповнення буферу. Із видно, що пакети можуть втрачатися тільки через помилки недооцінки смуги порту типу $D(-)$ і тільки у разі переповнення буферної пам'яті. Ємність буферної пам'яті S_B дорівнює $V_y \cdot \tau_z$. Кількість пакетів, що надійшла до буферу на протязі тривалості кроку управління, позначимо як S_y і визначимо, що $S_y = V_y \cdot \tau_d$. Тоді якщо $S_y \leq S_B$, то переповнення буферу не виникне і $K(D(-)) = 0$. Якщо ж $S_y > S_B$, то $0 < K(D(-)) \leq 1$, то переповнення буферу відбудеться і виникнуть втрати пакетів. На рис.1.5 кількість цих втрат буде пропорційною площі прямокутника $c d' d$,

тобто різниці між площею $abcd$ та площею $abc'd'$. $30 \text{ t[сек]} \Delta Fi$ [пакет/сек] Ii [пакет/сек] 1 5 10 15 Відрізок зростаючого трафіку 20 $Ii \Delta Fi$ $B1 B2 D (-) D (-)$ $A1 A2 a b c d c' d' \Delta Fi Ii$ Рис.1.5. Пояснення виникнення втрат пакетів через помилки недооцінки смуги Цю різницю можливо зменшити, якщо підвищити динамічні характеристики системи дискретного управління, але усунути її майже неможливо, оскільки реальна динаміка змін тренду на інтервалі усереднення трафіка t_u є випадковою величиною, що характеризується довгостроковою залежністю коефіцієнту кореляції трафіку від інтервалу кореляції (див. розділ 2.1). Тому інтерес являє не тільки відносна кількість втрачених пакетів (тобто, коефіцієнт $K(D(-))$) на поточному інтервалі усереднення t_u , але і інтенсивність подій перевищення швидкості потоку встановленої ширини смуги порту $V_u \text{ пор}$, що розглядається на квазістаціонарних ділянках тренду. Ця інтенсивність залежить від ймовірності перевищення на будь-якому із інтервалів усереднення поточної інтенсивності потоку ширини смуги порту $V_u \text{ пор}$, тобто $P(V_u \geq V_u \text{ пор})$.

1.4 Аналіз можливих шляхів удосконалення технологій управління розподілом ресурсів пакетних мереж

Аналіз можливих шляхів удосконалення технологій управління розподілом ресурсів пакетних мереж. Реальний пакетний трафік, що надходить до інтернет-вузлів низового рівня, характеризується досить частими, великими та «гострими» піками пульсацій, які, зрозуміло, негативно впливають на можливість встановлення високих рівнів завантаженості обладнання пакетної мережі. Тому в експлуатаційній практиці отримали широке застосування різноманітні методи підвищення завантаженості обладнання пакетним трафіком. Методи підвищення завантаженості обладнання пакетним трафіком. Як правило, при розрахунках навантаження на елементи обладнання пакетних мереж застосовують відомі формули теорії телетрафіку, що не у повній мірі враховують пульсуючий характер реального трафіку. На практиці поточні значення інтенсивності потоків PDU в окремі проміжки часу можуть суттєво перевищувати пропускну спроможність каналів або портів обладнання, що призводить до перенавантажень обладнання трафіком. Для упередження цієї ситуації розроблено чимало методик локального управління потоками, згідно з якими накладається обмеження або на загальну кількість пакетів, що можуть зберігатися у буферній пам'яті вузлу комутації, або ж на розмір буферної пам'яті, яка виділяється різним класам пакетів. Розмір пам'яті, що виділяється під кожен клас пакетів, визначається за умови достатності для збереження черги пакетів середньостатистичної довжини. Але, виходячи з того, що довжина черг змінюється в залежності від рівнів навантажень на елементи мережі, встановити необхідне значення розміру буферної пам'яті досить проблематично. На практиці має місце ситуація, за якої в разі заповнення виділеного об'єму пам'яті на якомусь із портів ВО подальше приймання пакетів у буферну пам'ять блокується, а усі «зайві» пакети, що не помістилися у пам'яті, знищуються. Все це призводить до необхідності

повторного передавання пакетів, що суттєво знижує продуктивність обладнання мережі. Один із методів запобігання перенавантаженню у пакетній мережі описано. Згідно цього методу в обладнанні завчасно встановлюють параметри обробки потоків PDU таким чином, щоб пакетам, параметри котрих співпадають із завчасно встановленими, надавався вищий пріоритет в обробці, а пакетам, параметри котрих знаходяться поза встановлених меж, присвоювався нижчий пріоритет. У процесі роботи обладнання пакети запам'ятовуються у буферній пам'яті, а їх обробка та передавання одержувачу здійснюється згідно пріоритетності. За такої ситуації у разі повного заповнення буферної пам'яті пакети, що не потрапили до цієї пам'яті, підлягають знищенню. Подібний метод передавання потоків PDU, згідно якого здійснюють розділення трафіка на пріоритетний та непріоритетний, і відповідно до цього передають PDU до місця призначення, описаний . Окрім вищезазначеного недоліку, обидва методи об'єднують спільний недолік - низька продуктивність комутаційних пристроїв мережі в умовах пульсуючого трафіку. Низька продуктивність є наслідком вимушеного недозавантаження комутаційного обладнання пакетним трафіком. Інакше у разі збільшення навантаження неприпустимо часто будуть виникати ситуації, коли потоки PDU переповнюють буферну пам'ять портів ВО, що призводить до збільшення коефіцієнту втрат пакетів. Метод управління потоками в умовах, коли інтенсивність трафіку зазнає періодичних змін, розглянуто. У порівнянні з вищеописаними методами, цей метод є більш продуктивним, тому що дозволяє знизити кількість повторних передач пакетів даних, викликаних переповненням пам'яті, шляхом адаптації часових інтервалів передавання підтверджень факту отримання відповідних пакетів даних при одночасній мінімізації обмежень на передавання пріоритетного трафіку. Метод надає можливість визначати поточні параметри навантажень, які надходять до вузлу комутації, інтенсивність обслуговування пакетів у вузлі, ступінь заповнення пам'яті та 33 приймати рішення щодо допуску пакетів до пам'яті вузлу. Але, як і всі описані вище

методи управління потоками, його важко віднести до ряду високоефективних, тому що йому також властиві недоліки, обумовлені властивостями алгоритму пріорітезації пакетів. Методи управління пакетним трафіком, що просувається через радіоканал, висвітленію Методи динамічного управління потоками інформації у мережах зв'язку представлені , а управління мережами NGN (тобто, четвертої генерації). Розглянуто метод управління пульсуючими потоками пакетів на портах комутаційного пристрою, який приймає пакети, оброблює їх згідно попередньо встановлених параметрів обробки та передає до місця призначення. Цей метод використовує так званий алгоритм відра маркерів [10,стор.708], що дозволяє оцінювати та обмежувати середню швидкість і величину пульсації потоку пакетів. Він заснований на порівнюванні потоку пакетів з деяким еталонним потоком, що представлений маркерами, які заповнюють умовне відро маркерів. Характерною ознакою цього методу є те, що він допускає пульсацію трафіку у визначених межах і не здатен передавати дані на вихід зі швидкістю, що перевищує пропускну здатність вихідного інтерфейсу. За типових умов використання (що припускають можливість виникнення проміжків часу у процесі обробки пакетів, коли інтенсивності потоків перевищують інстальовані значення пропускних здатностей портів) цей спосіб, завдяки застосуванню алгоритмів пріорітезації та згладжування трафіку, забезпечує досягнення коефіцієнту корисного навантаження на обладнання до рівня, який не перевищує 0,55. Підсумовуючи викладений матеріал, можна констатувати, що всі вищеописані методи підвищення завантаженості обладнання не забезпечують можливості динамічної переінсталяції параметрів портів ВО в умовах швидко пульсуючого трафіку із значним розмахом i , отже, не спроможні змінювати параметри настроювання портів цього обладнання синхронно з пульсаціями трафіку. Через це на практиці, щоб запобігти перенавантаженням за умов 34 пульсацій трафіку, доводиться використовувати обладнання, що здатне витримувати лише короткотривалі пікові навантаження, а саме обладнання

встановлювати в режим недозавантаженої експлуатації. Вплив динамічних характеристик системи перерозподілу ресурсів розглянуто. Ця система адаптує у реальному часі смуги пропускання портів ВО під динаміку змін інтенсивності потоків пакетів, що надходять до цих портів. Але за двох умов: по-перше, сумарна смуга усіх портів у будь-який поточний момент часу має не перевищувати пропускну здатність ВО; по-друге, швидкодія системи адаптивного управління та інші її характеристики мають забезпечувати узгодженість динаміки процесу розподілу продуктивності ВО між його портами із динамікою змін трендів трафіка на цих портах. Вплив цих умов на ефективність адаптивного управління не досліджено. На практиці первісні потоки пакетів, що просуваються каналами зв'язку до портів ВО мають, як показано далі в роботі, нестационарний мало прогнозований характер, що не сприяє безпомилковій роботі системи адаптивного регулювання. Помилки регулювання у разі неприйняття дій щодо їхнього знешкодження можуть суттєво знизити корисний ефект від застосування адаптивного способу управління розподілом ресурсів ВО. Якщо швидкодія системи адаптивного управління не є достатньою для відстежування поточних змін інтенсивності трафіку на портах ВО, то шляхом збільшення інтервалу його усереднення можливо сповільнити динаміку змін інтенсивності трафіку, тим самим обрати більш згладжений тренд для здійснення процесу управління. Для зменшення системних помилок адаптивного управління можливо застосувати відповідні засоби короткострокового прогнозування. У будь-якому випадку для створення умов для ефективного застосування адаптивного управління слід шукати на шляхах відповідного формування пакетного трафіку на портах ВО, зокрема його усереднення, згладжування, перетворення у квазістационарні потоки пакетів з обмеженою дисперсією, 35 підвищення ступеню самоподібності, а також розробки методів зменшення системних помилок адаптивного управління, що були досліджені вище

1.5 Наукова новизна

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше виявлено причини утворення системних помилок адаптивного управління та механізм перетворення помилок недооцінки ширини смуги порту комутатора, що негативно впливають на рівень втрат пакетів, у помилки переоцінки смуги порту, що несуттєво впливають на якість роботи обладнання.

2. Вперше запропоновано метод зменшення впливу системних помилок на якість адаптивного управління вузловим обладнанням, шляхом включення у технологічний ланцюг адаптивного перерозподілу засобу прогнозування інтенсивності пакетного трафіку.

3. Вперше запропоновано критерії, що дозволяють враховувати негативний вплив системних помилок адаптивного управління на рівень втрат пакетів в комутаторі та на рівень завантаженості комутатора корисним трафіком.

4. Набув подальшого удосконалення метод згладжування пакетного трафіку для вирішення задач короткострокового прогнозування інтенсивності передачі даних.

5. Розроблено нову інформаційну технологію адаптивного управління перерозподілом пропускної здатності вузлового обладнання пакетних мереж між його портами, що у порівнянні із відомими способами забезпечує більш високі показники якості управлінських рішень.

Висновки до першого розділу 1

Досліджено звісні методи підвищення завантаженості обладнання пакетним трафіком. Показано, що використання методу адаптивного управління розподілом ресурсів пакетних мереж забезпечує більш високий рівень завантаження обладнання корисним трафіком у порівнянні із можливостями статичного методу управління, не порушуючи при цьому норм на припустимі рівні втрат пакетів. Досліджувалось дискретно- адаптивне управління розподілом ширини смуг портів вузлового обладнання, на увіди котрих подавалися усереднені тренди пакетного трафіка, що згладжувалися за методом «відра токенів». Виявлено, що робота такої системи управління супроводжується виникненням системних помилок: типу $D(-)$ - недооцінки смуги пропускання портів, що призводять, за певних умов, до підвищення рівню втрат пакетів; типу $D(+)$ - переоцінки смуги пропускання портів, що призводять, до зниження завантаження обладнання корисним трафіком.

0 5 10 15 40 2. В якості кількісної міри рівню системних помилок дискретно- адаптивного управління вперше уведено так званий покроковий коефіцієнт помилок недооцінки смуги порту $K(D(-))$ - відношення кількості втрачених пакетів через переповнення буферної пам'яті порту до загальної кількості пакетів, що надійшли до входу буферу на поточному інтервалі усереднення пакетного трафіку. Виявлено умови виникнення втрат пакетів через помилки недооцінки смуги порту типу $D(-)$, а також параметри, що впливають на рівень цих втрат. Показано, що системні помилки типу $D(-)$ не завжди призводять до втрат пакетів. Ці втрати залежать також від інтенсивності подій перевищення швидкості потоків встановлених смуг пропускання портів обладнання, що розглядаються на квазістаціонарних ділянках тренду.

3. Аналіз можливих шляхів удосконалення технологій управління розподілом ресурсів пакетних мереж показав, що найбільш ефективною з точки зору підвищення завантаженості мережного обладнання є технологія дискретно-аналогового управління. Однак ця технологія потребує удосконалення у двох

напрямах: зменшення системних помилок недооцінки $D(-)$, що пов'язані із втратами пакетів, та модифікації алгоритмів згладжування трафіку для формування квазістаціонарних відрізків трендів. 4. Показано, що використання механізму прогнозування у контурі дискретно-адаптивного управління забезпечує можливість не тільки зменшення помилок недооцінки $D(-)$, але і перетворення цих помилок у помилки переоцінки $D(+)$. При вирішенні більшості експлуатаційних завдань більш важливою є задача зменшення помилок типу $D(-)$. Так що технологія управління розподілом ресурсів пакетних мереж має використовувати дискретно-адаптивний принцип управління із уведенням у контур адаптивного управління певним чином обраного механізму прогнозування пакетного трафіка. Таким чином удосконалена технологія розподілу ресурсів пакетної мережі дозволить зменшити, а за певних умов і усунути системні помилки дискретно-адаптивного управління, що призводять до втрат пакетів.

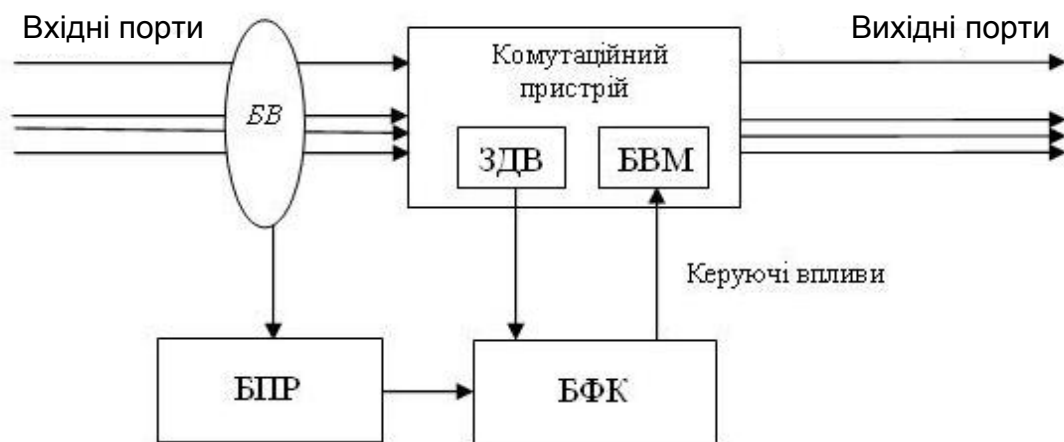
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ АДАПТИВНОГО УПР ТРАФІКОМ І ПРОГНОЗУВАННЯ ЙОГО ІНТЕНСИВНОСТІ

2.1 Розробка нової технології адаптивного управління пакетним трафіком

Роботу присвячено розробці нової технології адаптивного управління пакетним трафіком. У порівнянні з існуючим прототипом було розроблено два додаткових елементи. По-перше, дороблена структурна схема адаптивної системи управління смугами портів комутатора. До схеми додано блок прогнозування трендів інтенсивності пакетного трафіку. По-друге, модифіковано алгоритм згладжування, відомий під назвою «відра токенів», що дозволяє оцінити та обмежити середню швидкість і величину пульсацій потоків пакетів на портах комутатора. Модифікація цього алгоритму забезпечила перетворення нестационарних випадкових, майже непрогнозованих потоків пакетів у прогнозовані квазістационарні потоки, що відображаються послідовностями часових проміжків, на кожному із котрих інтенсивність потоку має визначене кінцеве середнє.

На рис.1 показано, яким чином засіб прогнозування інтегрується у склад системи адаптивного перерозподілу. Потоки пакетів, що на рис.1 зображені стрілками, перш ніж потрапити на вхідні порти комутаційного пристрою (ПК), проходять через блок вимірювання (БВ), котрий послідовно, крок за кроком, у реальному часі із наперед заданим часовим інтервалом, вимірює поточні значення параметрів цих потоків, а результати вимірювань надсилає на вхід блоку прогнозування (БПР). Перш за все, вимірюються на одnoseкундних часових інтервалах поточні значення інтенсивності потоку пакетів I_1, I_2, \dots, I_N , де N – кількість портів у ПК. У свою чергу, блок БПР послідовно, крок за кроком, приймає від блоку БВ результати вимірювань значень параметрів потоків пакетів, здійснює їхню обробку таким чином, щоб сформувати послідовності вибірок даних (часових рядів), що задовольняють встановленим вимогам у рамках задіяного методу прогнозування. Блок БПР безпосередньо реалізує

задану процедуру прогнозування, а результати прогнозованих оцінок значень параметрів трафіку, зроблених на момент прийняття управлінських рішень, передає на вхід блоку формування команд управління (БФК). Зазначимо, що блок БПР здійснює прогнозування не за поточними значеннями пульсацій пакетного трафіку, а за їх усередненими значеннями $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_N$. На кожному кроці прогнозування, на основі кількох останніх точок апроксимації тренда інтенсивності потоку пакетів кусково-сталю, визначається найближча майбутня точка цього тренда.

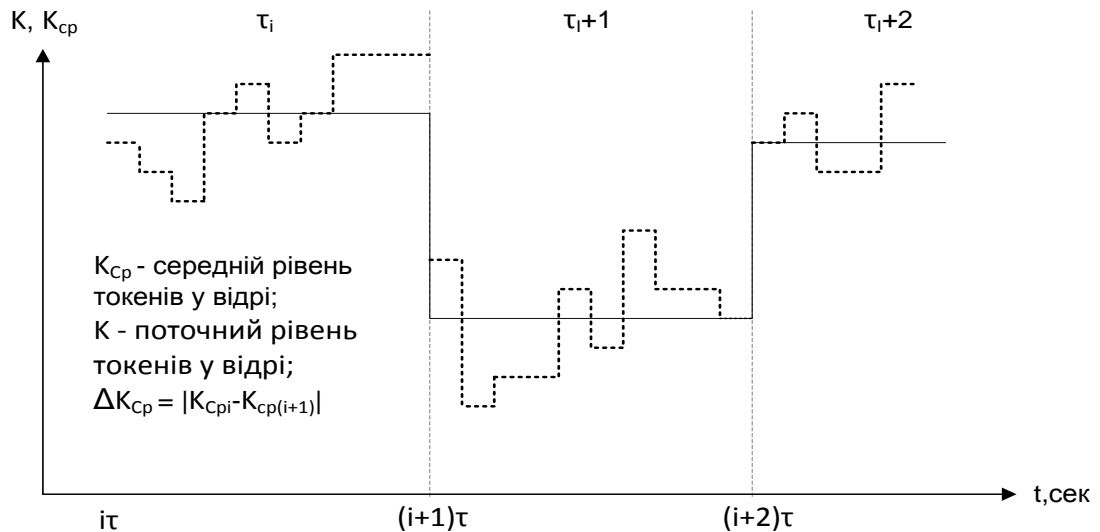


Мал.1 Структурна схема системи адаптивного управління смугами пропускання портів комутатора, що використовує засіб прогнозування тренда інтенсивності трафіку

У той же час, в момент початку кожного кроку управління, від задавальника параметрів портів (ЗДВ) на інший вхід БФК передаються встановлені на попередньому кроці управління значення ширини смуг пропускання портів. На основі цієї інформації та отриманих поточних прогнозуючих оцінок параметрів потоків, БФК виробляє потік керуючих впливів (у формі відповідних команд управління), що подаються на вхід блоку виконавчих механізмів (БВМ). Ці виконавчі механізми, згідно з отриманими командами від БФК, здійснюють відповідні зміни параметрів портів ПК (тобто, збільшують або зменшують смуги пропускання портів) у блоці ЗДВ. Алгоритм управління вибирають, виходячи із

технічних умов застосування обладнання. У будь-якому випадку швидкодію системи регулювання кореспондують із динамікою змін у тренді.

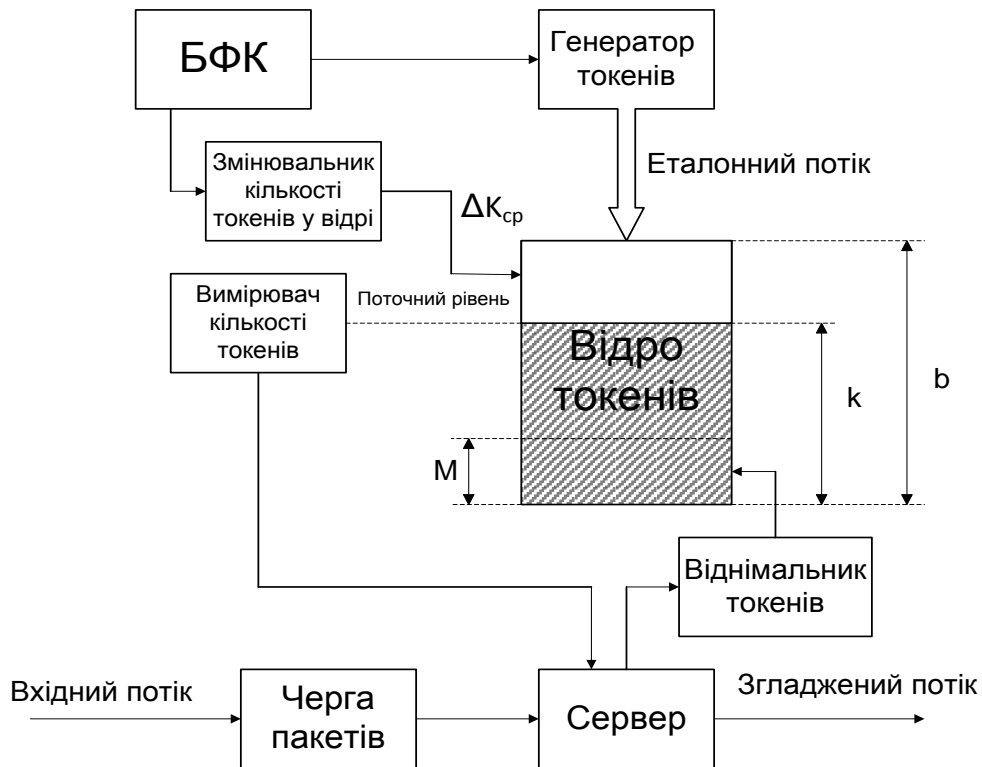
Запропоновано модифікацію алгоритму «відра токенів», що надало йому нову властивість – здатність формування апроксимації тренда потоку кусково-сталого (рис.2). Ширина сходинок – це інтервал усереднення τ_i .



Мал.2 Характер змін рівня токенів у «відрі»

Принцип дії запропонованої модифікації алгоритму «відра токенів» показано. Робота алгоритму базується на порівнянні параметрів вхідного пульсуючого потоку із параметрами синтезованого цим алгоритмом еталонного потоку. Еталонний потік – це утворений генератором токенів потік, що «втікає» в умовне «відро». Токен – це абстрактний об’єкт – носій порції інформації, що використовується для побудови еталонного потоку. Генератор токенів періодично із постійним інтервалом τ спрямовує черговий токен у «відро», що має обмежений об’єм b байт. Усі токени мають однакову довжину m байт, а період подачі токенів обирається таким чином, щоб «відро» заповнювалося токенами із швидкістю r біт/с, де $r = \delta m / \tau$. Алгоритм роботи «відра токенів» побудовано таким чином, що параметр r задає інтенсивність (тобто, середню швидкість) згладженого потоку пакетів, а об’єм «відра» b задає максимально дозволений розмір пульсацій цього потоку. Якщо «відро» заповнюється до країв (тобто, коли сумарний обсяг токенів у «відрі» стає рівним b байт), то надходження токенів до «відра» тимчасово припиняється. У той же час, після

проходження кожного окремого пакета через сервер із «відра», «витікає» порція інформації розміром M байт, що переноситься цим пакетом. Тобто, віднімальник токенів із поточної кількості токенів, що знаходяться у «відрі», віднімає ту кількість інформації, що переносить один пакет. Таким чином, в залежності від «поведінки» потоку, що просувається через сервер, рівень токенів у «відрі» k коливається.



Мал.3 Модифікація схеми «відра токенів»

Якщо алгоритм «відра токенів» включити у контур адаптивного управління смугою пропускання порту комутатора, то необхідно забезпечити синхронність змін ширини смуги цього порту із змінами середньої швидкості згладженого потоку. Для цього керуючі сигнали із виходу БФК слід подати на генератор токенів. Ці сигнали мають керувати змінами довжини токенів, відповідно до змін смуги пропускання порту. Щоб робота модифікованого механізму «відра токенів» у складі адаптивної системи управління була коректною, необхідно також забезпечити стрибкоподібні зміни рівню заповнення «відра» в межах інтервалів τ , де τ – період генерації токенів. Зокрема, у ці моменти часу необхідно змінювати середній рівень токенів у «відрі» пропорційно змінам ширини смуги

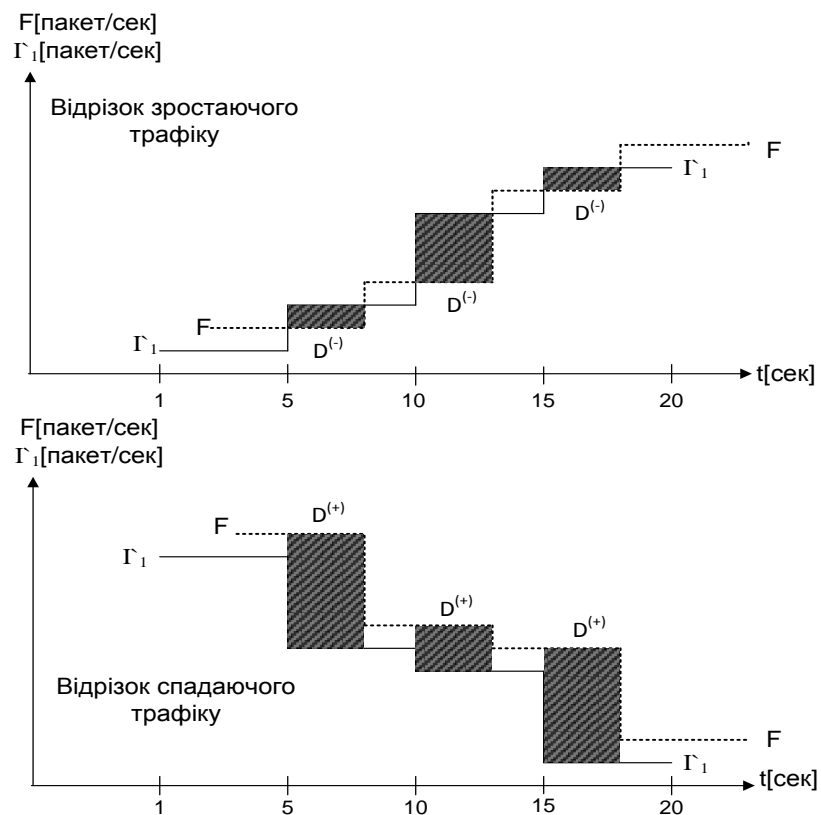
порту, що здійснює адаптивний механізм перерозподілу. Величина зміни визначається виразом:

$$\Delta k_{cp} = |k_{cpi} - k_{cp(i+1)}|,$$

де k_{cpi} , $k_{cp(i+1)}$ – середні рівні заповнення «відра токенів» в межах інтервалу усереднення; Δk_{cp} – абсолютне значення величини стрибка у тренді зміни рівня токенів у «відрі».

Результат взаємодії двох вищезазначених елементів, у складі контуру системи адаптивного управління, забезпечив можливість переходу від задачі прогнозування за даними вихідного потоку з суттєвою варіабельністю тренда до задачі екстраполяції в середньому, що при жорстких вимогах до швидкодії засобів прогнозування має суттєве значення.

Виконано аналіз похибок адаптивного управління перерозподілом пропускної здатності ПК. Механізм утворення похибок для випадку, коли прогнозування не здійснюється.



Мал.4 Утворення помилок адаптивного управління

Лінія Γ_1 відображає апроксимацію тренда потоку кусково сталою, отриману як результат усереднення виміряних поточних значень інтенсивності цього

потоків на п'ятисекундних інтервалах. Як бачимо, тренд має сходинкоподібну форму, де висота сходинки є випадковою величиною, що залежить від динаміки змін тренда, а ширина сходинки – це обраний адміністратором інтервал усереднення. Форма тренда визначається обраним механізмом згладжування первісного трафіку. У даному випадку обрано модифікований механізм «відра токенів». У кінці кожного інтервалу, на основі результатів усереднення, автоматично змінюється відповідний параметр механізму «відра токенів» (точніше, генератора токенів), що приводить до стрибкоподібних змін інтенсивності потоку пакетів: на ділянках зростаючого тренда сходинки йдуть вгору, а на ділянках спадаючого тренда сходинки йдуть вниз. Адаптивний механізм управління змінює смугу пропускання порту синхронно із змінами та пропорційно змінам тренда. Дискретний характер змін тренда обумовлює дискретність управління. Смуга пропускання, що виділена порту, позначена лінією F . Як бачимо, лінія F повторює за формою лінію Γ_1 , проте із певним запізненням. На відрізках зростаючого тренда існують часові ділянки, коли лінія F розташована нижче, ніж лінія Γ_1 . На цих ділянках інтенсивність згладженого потоку пакетів перевищує виділену для нього ширину смуги порту. Таким чином, виникає дефіцит смуги, що призводить до втрати певної кількості пакетів на цьому кроці керування. Такого роду помилки адаптивного регулювання назвемо помилками недооцінки смуги $D^{(-)}$. Як противага помилкам $D^{(-)}$, уведено показник помилок переоцінки смуги пропускання порту $D^{(+)}$, що пов'язується із ситуацією надлишкового надання смуги певному порту. За результатами аналізу роботи механізму управління на відрізках зростаючого тренда, зроблено наступні висновки:

- 1) за будь-яких умов на відрізках тренда зростання можуть виникнути лише помилки недооцінки смуги $D^{(-)}$;
- 2) помилки переоцінки смуги $D^{(+)}$ на відрізках зростаючого тренда не виникають за будь-яких обставин;

3) показник помилок $D^{(-)}$ збільшується пропорційно збільшенню висоти та (або) ширини сходинки у тренді (тобто, пропорційно збільшенню стрибків у тренді та (або) зменшенню швидкодії механізму керування);

4) за умов, коли величина стрибків у тренді менша за відстань між лініями Γ_1 та F , помилки керування типу $D^{(-)}$ або $D^{(+)}$ взагалі не виникають.

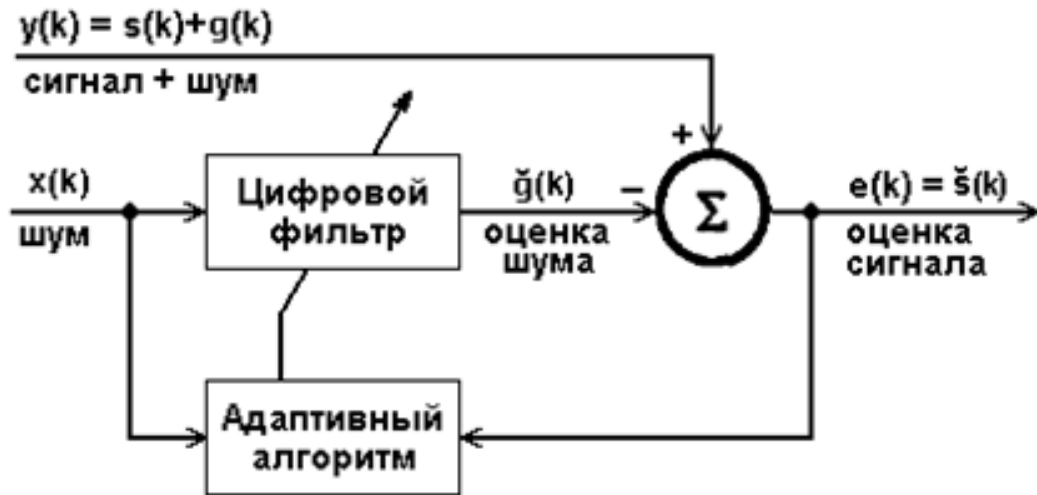
Подібним чином було розглянуто роботу механізму управління і на відрізках спаду інтенсивності трафіку.

Слід підкреслити, що помилки недооцінки типу $D^{(-)}$ у механізмі керування є явно небажаними, оскільки вони призводять до втрат пакетів. У той же час помилками переоцінки типу $D^{(+)}$ при вирішенні більшості експлуатаційних завдань можливо знехтувати, оскільки вони лише несуттєво погіршують рівень завантаженості порту. Обидва типи помилок носять системний характер, пов'язаний з інерційністю процесу керування. Ці помилки неможливо повністю усунути. Проте їх можливо зменшити і, навіть, перетворити один тип помилок в інший. У контексті адаптивного керування інтерес являє можливість перетворення помилок типу $D^{(-)}$ в помилки типу $D^{(+)}$. Така можливість виникає, якщо у контур системи керування перерозподілом смуг портів комутатора включити механізм прогнозування тренда.

Те, яким чином здійснюється зменшення кількості помилок типу $D^{(-)}$ та (або) їхнє перетворення у помилки типу $D^{(+)}$ присвячена основна частина другого розділу.

2.2 Адаптивний шумопонижувач

Фільтр складається з блоку цифрового фільтра з регульованими коефіцієнтами і адаптивного алгоритму для настройки і зміни коефіцієнтів фільтра.



Мал.5 Блок-схема фільтра

На фільтр одночасно подаються вхідні сигнали $y(k)$ і $x(k)$. Сигнал $y(k)$ містить корисний сигнал $s(k)$ і некорреліровани з ним забруднює сигнал $g(k)$. Сигнал $x(k)$ будь-якого джерела шуму, корельований з $g(k)$, який використовується для формування оцінки сигналу $\hat{g}(k)$. Корисний сигнал оцінюється по різниці:

$$\check{s}(k) = y(k) - \hat{g}(k) = s(k) + g(k) - \hat{g}(k).$$

Зводимо рівняння в квадрат і отримуємо:

$$\check{s}^2(k) = s^2(k) + (g(k) - \hat{g}(k))^2 + 2s(k)(g(k) - \hat{g}(k)).$$

Обчислимо математичне сподівання лівої і правої частини цього рівняння:

$$M[\check{s}^2(k)] = M[s^2(k)] + M[(g(k) - \hat{g}(k))^2] + 2M[s(k)(g(k) - \hat{g}(k))]$$

Останній доданок у виразі дорівнює нулю, оскільки сигнал $s(k)$ не корелює з сигналами $g(k)$ і $\hat{g}(k)$.

$$M[\check{s}^2(k)] = M[s^2(k)] + M[(g(k) - \hat{g}(k))^2].$$

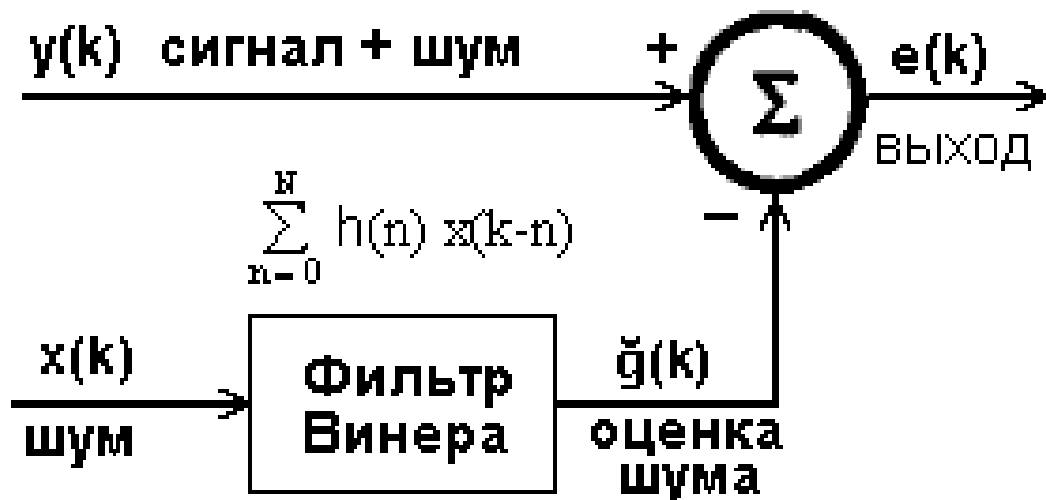
У цьому виразі $M[s^2(k)] = W(s(k))$ - потужність сигналу $s(k)$, $M[\check{s}^2(k)] = W(\check{s}(k))$ - оцінка потужності сигналу $s(k)$ і загальна вихідна потужність, M

$[(g(k) - \check{g}(k))^2] = W(g)$ - залишкова потужність шуму, який може міститися в вихідному сигналі. Під час налаштування адаптивного фільтра до оптимального стану мінімізується потужність залишкового шуму, а, отже, і потужність вихідного сигналу:

$$\min W(\check{s}(k)) = W(s(k)) + \min W(g).$$

На потужність корисного сигналу налаштування не будуть впливати, оскільки сигнал НЕ коррелирован з шумом. Ефект мінімізації загальної вихідної потужності буде виражатися в максимізації вихідного відношення сигнал / шум. Якщо настройка фільтра забезпечує рівність $\check{g}(k) = g(k)$, то при цьому $\check{s}(k) = s(k)$. Якщо сигнал не містить шуму, адаптивний алгоритм повинен встановлювати нульові значення всім коефіцієнтам цифрового фільтра.

2.3 Адаптивний фільтр Виннера



Мал. 6 Адаптивный фильтр Винера

Вхідний сигнал $y(k)$ фільтра, наведеного на рис. , Включає компоненту, корелювали з з другим сигналом $x(k)$, і корисну компоненту, некорреліровани з $x(k)$. Фільтр формує з $x(t)$ сигнал $\check{g}(k)$ - оптимальну

оцінку тієї частини $y(k)$, яка корелірована з $x(k)$, і віднімає її з сигналу $y(k)$. Вихідний сигнал:

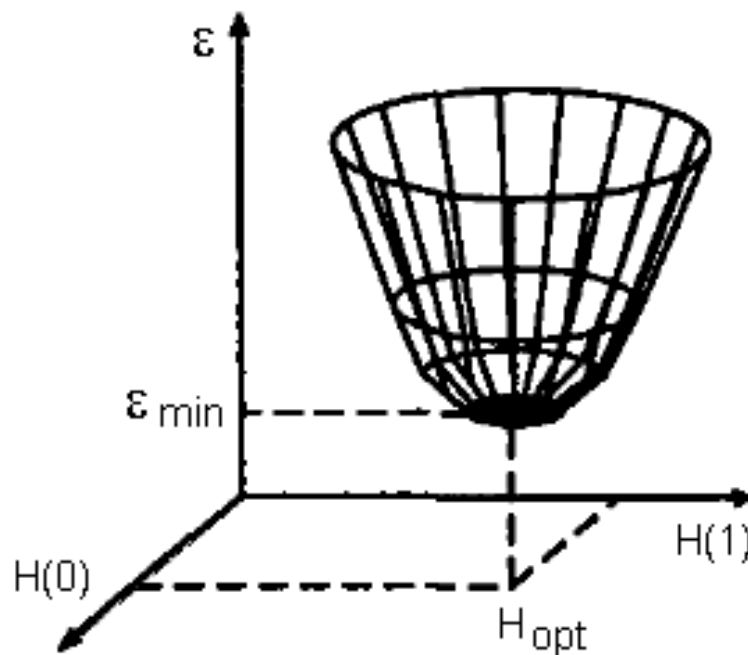
$$e(k) = y(k) - \hat{y}(k) = y(k) - \mathbf{H}^T \mathbf{X}_k = y(k) - \mathbf{h}^T \mathbf{x}(k-n),$$

де \mathbf{H}^T і \mathbf{X}_k - вектори вагових коефіцієнтів фільтра та його вхідного сигналу.

Аналогічно до попереднього методу, зводимо в квадрат ліву і праву частини рівняння, знаходимо математичні очікування обох частин і отримуємо рівняння оптимізації вихідного сигналу

$$2\mathbf{P}\mathbf{H} + \mathbf{H}^T \mathbf{R} \mathbf{H},$$

де $2 = \mathbf{M}[y^2(k)]$ - дисперсія $y(k)$, $\mathbf{P} = \mathbf{M}[y(k)\mathbf{X}_k]$ - вектор взаємної кореляції, $\mathbf{R} = \mathbf{M}[\mathbf{X}_k \mathbf{X}_k^T]$ - автокореляційна матриця.



Мал. 7

У стаціонарній середовищі графік залежності від коефіцієнтів \mathbf{H} є чашеобразною поверхню адаптації. Градієнт поверхні:

$$d / d\mathbf{H} = -2\mathbf{P} + 2\mathbf{R}\mathbf{H}.$$

Кожному набору коефіцієнтів $h(n)$ на цій поверхні відповідає певна точка. У точці мінімуму градієнт дорівнює нулю і вектор вагових коефіцієнтів фільтра є оптимальним:

$$\text{Нopt} = R^{-1}P$$

Ця формула називається рівнянням Вінера-Хопфа. Завданням алгоритму автоматичної настройки є підбір таких вагових коефіцієнтів фільтра, які забезпечують роботу в оптимальній точці поверхні адаптації.

Однак практичне застосування фільтра ускладнюється використанням кореляційних матриць R і P , апріорі невідомих, і які можуть змінюватися з часом для нестационарних сигналів.

2.4 Адаптивний алгоритм найменших квадратів Уїдрой-Хопфа

Адаптивний алгоритм найменших квадратів Уїдрой-Хопфа. По суті, це модифікація фільтра Вінера, в якій замість обчислення коефіцієнтів за один крок використовується алгоритм послідовного спуску в оптимальну точку при обробці кожної вибірки:

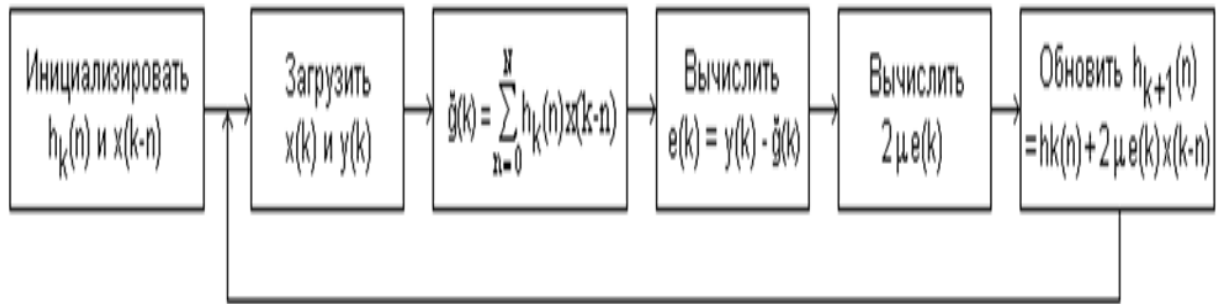
$$H_{k+1} = H_k - \mu e_k X_k,$$

$$e_k = y_k - HT X_k.$$

Умова збіжності до оптимуму:

$$0 < \mu < 1 / \lambda_{\max},$$

де μ - параметр швидкості спуску, λ_{\max} - максимальне власне значення ковариационной матриці даних.



Мал. 8 Алгоритм адаптації методом найменших квадратів.

На практиці точка максимальної оптимальності флюктуує близько теоретично можливою. Якщо вхідний сигнал нестационарний, то зміна статистик сигналу повинно відбуватися досить повільно, щоб коефіцієнти фільтра встигали стежити за цими змінами.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Дослідженням якості адаптивного управління

Експериментальним дослідженням якості адаптивного управління пакетним трафіком. Отримано представницькі вибірки зразків пакетного трафіку, що репрезентують характер трафіку у вузлах нижнього рівня мережі Інтернет. Інструментальний засіб збору даних про трафік – комп'ютерна програма TraffMeter. Аналіз залежностей обчислених значень коефіцієнта автокореляції від проміжку кореляції на усій множині отриманих вибірок, а також результат оцінювання параметра Хьорста за індексом дисперсії для отриманих вибірок трафіку, дозволило переконатися, що даному трафіку притаманна властивість асимптотичної самоподібності на рівні других статистичних моментів. Показано, що статистичні характеристики корпоративного трафіку у мережних сегментах низового рівня суттєво різняться в залежності від ступеня навантаження на вузлове обладнання. Тому доцільно розглядати роботу системи адаптивного управління портами комутатора у режимах повного та неповного навантаження.

Розроблено програмне забезпечення, що забезпечує можливість вирішення задач прогнозування тренда. Програмне забезпечення має двошарову структуру: хост (Host), що знаходиться на сервері та забезпечує надання інформації про трафік у вигляді відповідей на запити клієнтів, та клієнт (Client), що встановлюється на клієнтських машинах та служить для керування і візуального відображення процесу прогнозування. Програмне забезпечення включає в себе як основні класи, що реалізують розрахункові схеми, так і допоміжні класи-утиліти. В роботі надано опис функціональних можливостей кожного з основних класів та їх функцій, а також організації розрахункового процесу та вимог до вхідних даних.

Виконана оцінка впливу засобів прогнозування на якість адаптивного управління комутатором. В якості критеріїв якості обрано два показника: показник помилок у прийнятті управлінських рішень E_r , та показник економії

ширини смуги порту E_c . Моделювалась ситуація неповного (вечірній трафік) та повного (денний трафік) завантаження фрагмента пакетної мережі в умовах застосування одної із двох процедур прогнозування, – за методом Бокса-Дженкінса та за методом, заснованим на обчисленні похідних.

Результати прогнозування за методом Бокса-Дженкінса в умовах неповного завантаження представлені на рис.5. Часові залежності параметра помилки прогнозу та параметра економії смуги пропускання порту комутатора, отримані за результатами прогнозу згідно з цим методом, показані на рис.6.

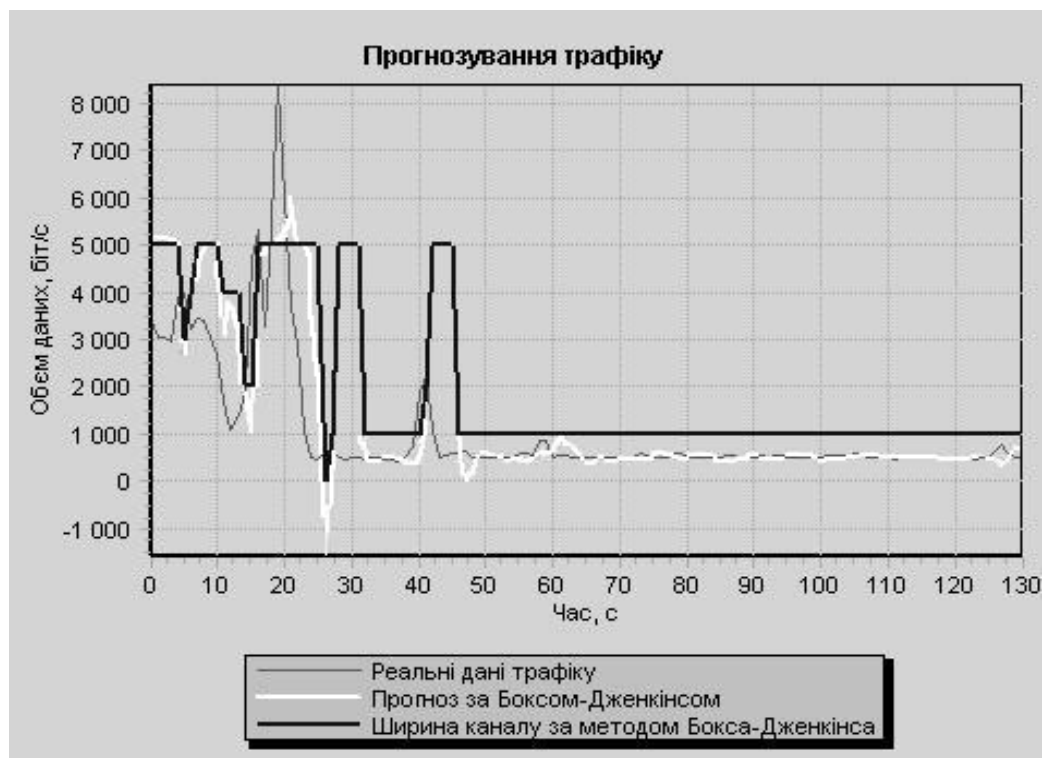


Рис. 9 Неповне завантаження мережі. Реальні та прогнозні дані, що отримані за методом Бокса-Дженкінса

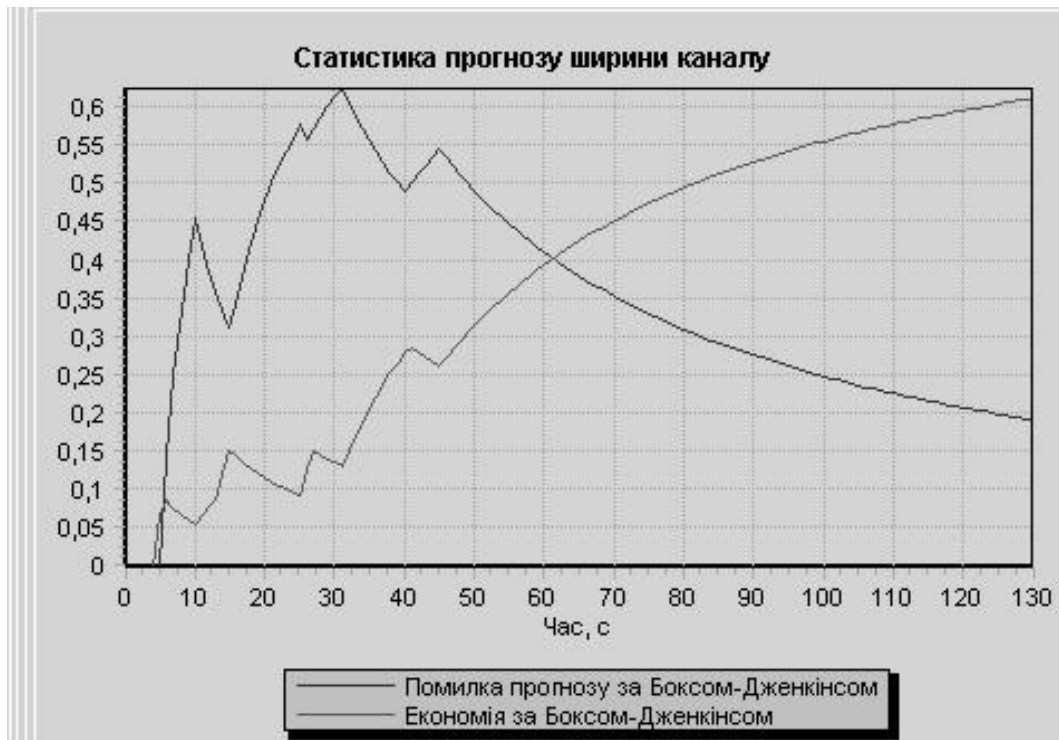


Рис. 10 Часові залежності параметра помилок та параметра економії смуги порту при використанні методу Бокса-Дженкінса в умовах неповного завантаження мережі

Обчислення показали, що в умовах неповного завантаження на вибраній двохвилинній вибірці, показник помилок для методу Бокса-Дженкінса дорівнює 25%, а показник економії смуги пропускання порту – 60%. Щодо середніх значень цих показників, узятих на одногодинному інтервалі усереднення, то маємо наступні результати: усереднене значення показника помилок дорівнює 18%, що свідчить про достатньо великі втрати пакетів навіть на типових даних, а усереднене на цьому ж інтервалі значення показника економії смуги – 61%, що слід вважати досить пристойним результатом у порівнянні з відомими методами інженерії трафіку. На вибраній вечірній двохвилинній вибірці показник похибок управління для засобу, заснованому на похідних, дорівнює 14%, а показник економії смуги пропускання порту – 66%. Щодо середніх значень цих показників, узятих на одногодинному інтервалі усереднення, то маємо наступні

результати: усереднене значення показника помилок дорівнює 10%, що свідчить про більшу ефективність використання цього засобу у порівнянні з ефективністю методу Бокса-Дженкінса. Усереднене значення показника економії смуги – 66%, що краще, ніж для попереднього методу.

Результати прогнозу в умовах повного завантаження за методом прогнозування, заснованого на обчисленні похідних, представлені на рис.7 та рис.8. У цьому випадку середнє значення показника похибки на вибраній одногодній вибірці приблизно дорівнює 30%, що є трохи краще, ніж у метода Бокса-Дженкінса.

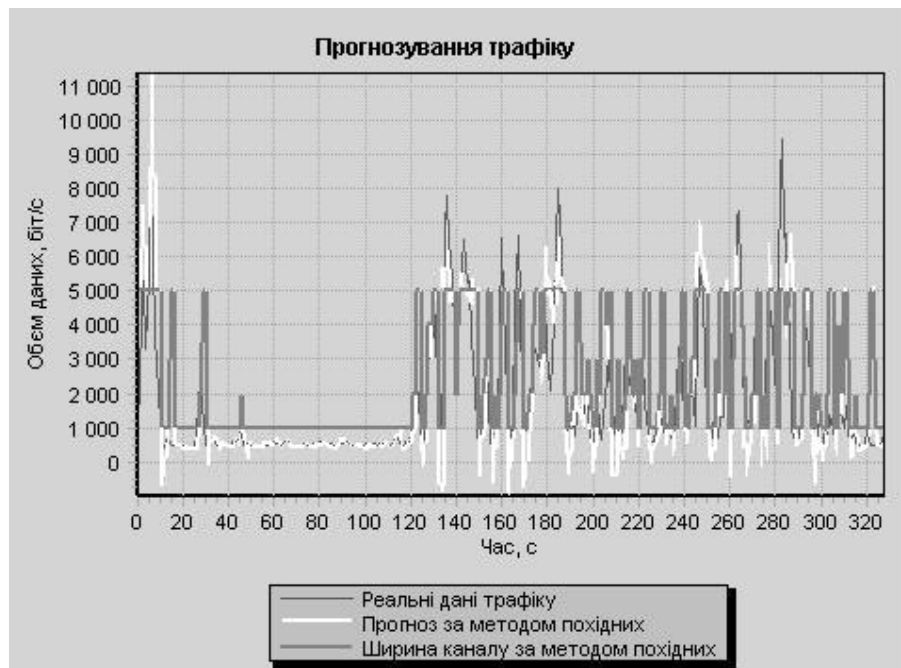


Рис. 11 Повне завантаження мережі. Реальні та прогнозні дані, отримані за методом прогнозування з використанням похідних



Рис. 12 Часові залежності параметра помилок та параметра економії смуги порту при прогнозуванні з використанням похідних в умовах повного завантаження мережі

Середнє значення показника економії – 50%. Щодо показників помилки та економії на п'ятихвилинній вибірці, то згідно рис.8 маємо наступні результати: 0,3 та 0,5 відповідно.

Слід уточнити фізичну інтерпретацію отриманих результатів. Отриманий відносно великий відсоток показника помилок зовсім не означає, що система управління продукує у цьому випадку велику кількість помилок адаптивного регулювання. Значення показника помилок, наприклад, на рівні 11% лише свідчить, що у трохи більше ніж у кожному одному з десяти актів прийняття управлінських рішень блоком БФК (рис.1) прогнозоване значення смуги пропускання порту виявилось меншим за значення ширини смуги, що є необхідне для безперешкодного просування поточного трафіку через цей порт. Саме у цьому сенсі слід порівнювати ефективність застосування обраних для

досліджень засобів прогнозування. Показник помилок фактично являє собою показник недооцінки смуги порту. Прийнята схема моделювання дозволяє отримувати лише відносні порівняльні оцінки ступеня впливу задіяних засобів прогнозування на якість адаптивного управління. З цієї точки зору засіб прогнозування, заснований на обчисленні похідних, майже у два рази кращий, ніж засіб прогнозування Бокса-Дженкінса.

Для порівняння швидкодії обчислювальних схем, що реалізують розглянуті методи прогнозування, було проведено декілька експериментів з різними значеннями кількості кроків прогнозування та різними значеннями кількості повторів. Кількість повторів – це кількість разів, за яких прогнозується наступний елемент (в якості результату береться середній час прогнозу). Час роботи механізмів вимірювався у тіках (мс/10000) – мінімальних одиницях машинного часу. Результати у графічній та табличній формах представлено у пояснювальній записці до дисертаційної роботи.

Порівнявши швидкісні характеристики задіяних у цих експериментах алгоритмів прогнозування, було зроблено висновок, що засіб прогнозування, заснований на обчисленні похідних, приблизно на 10% працює швидше, ніж засіб реалізації алгоритму Бокса-Дженкінса

3.2. Розробка алгоритму адаптивного управління

Розробка алгоритму адаптивного управління з урахуванням вищезазначеного, задачу адаптивного управління смугами портів ВО вирішимо на основі даних спостереження за поточними значеннями інтенсивності потоків пакетів на його портах у реальному часі шляхом її зведення до звісної задачі динамічного вирівнювання коефіцієнтів 72 завантаження портів $1, 2, \dots, n$ k_1, k_2, \dots, k_n , де N – кількість портів у ВО. Для вирівнювання значень коефіцієнтів в процесі адаптивного управління використаємо один із різновидів методу динамічного програмування – метод аналітичного конструювання регуляторів, що запропонований у [44] і

удосконалений у роботах Цей метод дозволяє враховувати тривалість перехідних процесів у динамічно керованих системах, що є суттєвим з оглядом на умови функціонування ВО. Коефіцієнти завантаження портів зв'яжемо із зворотними коефіцієнтами $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ наступними співвідношеннями:

$$k_i = I_i / \Delta F_i = 1 / \eta_i, i = 1, 2, 3, \dots, N,$$

де $\Delta F_1, \Delta F_2, \dots, \Delta F_i, \dots, \Delta F_N$ - ширина смуг пропускання (пропускні здатності) портів ВО; $I_1, I_2, \dots, I_i, \dots, I_N$ - інтенсивність трафіка на портах ВО. Згідно [47] сума ширини смуг усіх портів ВО має дорівнювати його пропускній здатності:

Особливості конструювання регуляторів в системах адаптивного управління найбільш повно висвітлено у [48-50]. У нашому випадку рішення задачі аналітичного конструювання регуляторів в системі розподілу пропускної здатності ВО доцільно здійснювати методом динамічного програмування, що передбачає необхідність побудови функції Белмана. У [3] розглянуто найпростіший приклад регулювання значень пропускних здатностей трьох портів ВО, тобто $\Delta F_1, \Delta F_2, \Delta F_3$, де пропускні здатності цих портів позначені відповідно як перемінні n_1, n_2, n_3 . Процес адаптивного управління відображено на формальному рівні. Зокрема, побудована функція цих перемінних, яка задовольняє наступним умовам: вона є позитивно визначеною і дорівнює нулю тільки у випадку, якщо всі три перемінні рівні між собою. 73 Уведено у розгляд вектори прямих та зворотних коефіцієнтів завантаження портів: $C' = \Delta F_1 + \Delta F_2 + \Delta F_3 + \dots + \Delta F_N$.

Кількість стовпців у матриці має дорівнювати кількості портів ВО, а число рядків - максимально можливому числу пар портів, причому усі пари різні, але містять порти з однаковими номерами. Така розбивка на пари дозволяє встановити регулюючі зв'язки між будь-якими двома портами ВО. Напрямок передавання типу «з» відображається знаком «мінус». Напрямок

передавання типу «у» відображається знаком «плюс». Так що фізичний зміст запису у першому рядку матриці (3.5) є наступним: між третім і першим портами реалізується зв'язок, що полягає у передаванні частки пропускної здатності ВО із третього порту в перший, що відбито знаками одиничних елементів у матриці. Другий рядок відповідно відображає передачу частки пропускної здатності ВО із першого порту в другий. Третій рядок відповідає передачі цього ресурсу з другого порту в третій. Зрозуміло, що між трьома портами можна утворити лише три різні пари зв'язків. Добуток вектора (3.4) і матриці (3.5), що представлено у вигляді

$$N^T C = (n_1, n_2, n_3) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} = (n_1 - n_2, n_2 - n_3, n_3 - n_1),$$

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & 0 & 0 \\ 0 & p_{22} & 0 \\ 0 & 0 & p_{33} \end{pmatrix},$$

що виявилась діагональною і позитивно визначеною.

За допомогою цієї матриці у [3] побудовано наступну квадратичну форму:

$$\begin{aligned} N^T C P C^T N &= (n_1 - n_2, n_2 - n_3, n_3 - n_1) \cdot \begin{pmatrix} p_{11} & 0 & 0 \\ 0 & p_{22} & 0 \\ 0 & 0 & p_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} n_1 - n_2 \\ n_2 - n_3 \\ n_3 - n_1 \end{pmatrix} = \\ &= p_{11}(n_1 - n_2)^2 + p_{22}(n_2 - n_3)^2 + p_{33}(n_3 - n_1)^2. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Як бачимо, ця матриця являє собою зважену суму квадратів відмінків різних перемінних. Вона також є позитивно визначеною і дорівнює нулю у разі, коли усі перемінні дорівнюють нулю. Функція (3.8) придатна для аналітичного конструювання регуляторів смуг портів, а її вигляд є зручним для пошуку функції Белмана. 75 Задачу адаптивного розподілу пропускну здатності ВО між його портами поставимо як задачу вирівнювання коефіцієнтів завантаження портів з використанням методу динамічного програмування Белмана. Для цього потрібно конкретизувати рівняння настроювання, задати функціонал, що має бути оптимізованим, задати вид функції Белмана і записати відповідне їм рівняння Белмана. Це дозволить звести задачу аналітичного конструювання регуляторів до рішення рівняння Рікаті [46]. Задачу вирівнювання значень перемінних n_1, n_2, n_3 слід вирішувати за умови збереження їхньої суми, тобто ця сума в процесі управління повинна не змінюватися і дорівнювати пропускну здатності ВО. Якщо ці перемінні утворюють вектор N , то поведження компонентів підкорюється рівнянню настроювання, вид якого конкретизуємо наступним чином:

$$N = Cu$$

У виразі u - вектор керуючих впливів, що знаходиться як лінійна функція компонентів вектора N , а C - матриця регулюючих зв'язків, зміст якої зазначений вище. Зрозуміло, що приведені рівняння настроювання при будь-якому довільному векторному управлінні забезпечує збереження суми компонент вектора N . В роботі [3] вищезазначене твердження доведено на прикладі систем авторегулювання другого порядку за допомогою теореми про сталість (рос. – устійчивость). Для формального представлення адаптивної системи управління розподілом пропускну здатності ВО істотне значення має формування виду функціоналу, що має бути оптимізованим згідно обраного критерію. В роботі [3] таке формування виконано з урахуванням швидкості перехідних процесів регулятора, але без урахування

негативних наслідків виникнення системних помилок управління. Зокрема, рівняння настроювання для вектора керованих перемінних задано як (3.9), де $(N - 1)$ -мірний вектор керованих перемінних (пропускних здатностей портів), $(1) C m - \times$ - прямокутна (у загальному виді не квадратна) матриця зв'язків, u m -мірний вектор управління, компоненти котрого визначаються регуляторами. А функціонал, що підлягає оптимізації, задано у вигляді

$$I = \int_0^{\infty} (N^T C P C^T N + \alpha N^T C Q C^T N + u^T R u) dt,$$

де P - $m \times m$ -мірна квадратна симетрична не негативно визначена матриця зв'язків, α – позитивна константа – множник при функції Белмана у функціоналі, що отримав назву «показник загасання функції Белмана», R - $m \times m$ -мірна симетрична позитивно визначена матриця вагових коефіцієнтів при керуваннях, Q - $m \times m$ -мірна позитивно визначена симетрична матриця квадратичної форми – функції Белмана, T - символ операції транспонування матриці. Компоненти вектора керуючих впливів u залежать від t . Як бачимо, побудова оптимізаційного функціоналу здійснюється подібно тому, як будується функціонал в задачі аналітичного конструювання регуляторів Перший член підінтегрального виразу у функціоналі згідно являє собою зважену суму квадратів відмінків (через коефіцієнти матриці P) керованих змінних. Чим ця сума більше, тим більше значення функціоналу. Тому мінімізація функціоналу приводить до вирівнювання змінних, що є керованими. З фізичної точки зору це означає, що у разі збільшення інтенсивності потоку на i -му порту ВО цьому порту має призначатися більша частка пропускної здатності ВО, але за рахунок зменшення частки інших портів у такій мірі, щоб коефіцієнти завантаження усіх портів були майже однаковими. Другий член функціоналу є функція Белмана, яка уведена у функціонал у вигляді складової із заданим показником загасання. Цей член визначає швидкість перехідного процесу вирівнювання коефіцієнтів

завантаження портів ВО. Із відомо, що на оптимальних траєкторіях функція мінімального значення функціоналу – функція Белмана – убуває із 77 швидкістю підінтегрального виразу функціоналу . Функція Белмана на оптимальних траєкторіях в цьому випадку убуває із швидкістю не меншій за здобуток її самої та показника загасання α . Тому шляхом вибору значення цього показника є можливим забезпечити за умов адаптивного управління необхідну швидкодію системи регулювання. Третій член функціоналу повністю співпадає із відповідним членом при звичайній постановці задачі аналітичного конструювання регуляторів. Його уведення дозволяє обмежити управління та одночасно сприяє формальному замиканню процедури визначення оптимального управління. Систему настроювання призначимо у вигляді

$$\begin{pmatrix} \dot{n}_1 \\ \dot{n}_2 \end{pmatrix} = \frac{c}{4} \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix},$$

а функцію Белмана будемо шукати у виді квадратичної форми

$$V = N^T C Q C^T N .$$

За цих умов було синтезовано рівняння Белмана у наступному вигляді:

$$0 = \min_u (u^T R u) + N^T C P C^T N + \alpha N^T C Q C^T N + \dot{N}^T \frac{\partial V}{\partial N} + \frac{\partial V}{\partial N^T} \dot{N}.$$

Шляхом підстановки у рівняння Белмана рівняння настроювання та після ланцюга математичних перетворень (що, головним чином, пов'язані із рішенням так званого рівняння Рікаті) було отримано остаточний вираз для регуляторів системи адаптивного розподілу ресурсу ВО:

$$u = -R^{-1}C^T CQC^T N, \quad u^T = -N^T CQC^T CR^{-1}.$$

Підставляючи знайдене керування у рівняння настроювання, одержано наступне математичне представлення адаптивної системи управління портами ВО:

Як бачимо, представлення не враховує можливість виникнення системних помилок адаптивного управління та їхній негативний вплив на якість управління. Вибір показників якості прогнозування з огляду на прийняту у даній роботі модель тренду потоків пакетів, що подаються на порти ВО (див. підрозділ 2.1), задачу прогнозування пульсацій зведемо до задачі прогнозування «поведінки» дискретного часового ряду. Вибір методу прогнозування обумовлює необхідність оцінювання якості прогнозування за показниками, що адекватні умовам застосування вибраного методу. Слід розрізняти помилки прогнозування від помилок адаптивного управління: прогнозний механізм може доволі часто помилятися, але якщо при цьому вибрано правильно ширину смуг портів, то помилок в роботі адаптивного механізму управління не буде. У даному випадку мова йде про прогнозування як складову задачі динамічного управління ресурсами ВО. Існує кілька підходів до вибору показників якості прогнозування [51,52]. У найпростішому випадку прагнуть зменшити абсолютну помилку прогнозу $e(k)$ на кожному k -ому кроці адаптивного управління:

$$e(k) = \left| \sum I_k(\tau) - \Delta F \sum \right|,$$

де $\sum I_k(\tau)$ - сума інтенсивностей потоків на портах ВО на поточному k -ому кроці адаптивного управління, $\Delta F \sum$ - сума виділених смуг пропускання портів вузлового обладнання на попередньому $(k-1)$ -ому кроці адаптивного управління. Фактично $e(k)$ є нев'язкою між реальним увідним трафіком ВО і розрахованим значенням прогнозу цього трафіку. 79 У якості показника якості, з урахуванням (3.16), можливо використати так зване «відношення сигнал/шум» (або різні його модифікації, зокрема зворотне відношення цього параметра, що вимірюється у децибелах й ін.):

де $x(k)$ - k -ий член ряду (2.4), а M - знак усереднення по виборці $k=0;1;2; \dots, K$; K - об'єм вибірки часового ряду. Однак така оцінка якості прогнозування, як легко помітити, залежить від величини середнього значення ряду $x(k)$, що не дозволяє порівнювати якість прогнозу рядів з різним середнім. Щоб уникнути цього недоліку використовують модифіковану оцінку яка не залежить від середнього значення прогнозованої ділянки ряду й відбиває ступінь поліпшення прогнозу трафіка у порівнянні із прогнозуванням за середнім значенням. Іншими словами, якщо оцінка $1 - SNR$, то якість прогнозу така ж, як і у випадку прогнозу за середнім значенням прогнозованої ділянки ряду. При $1 - SNR$ якість прогнозу покращується. Завдяки такій властивості, оцінка $-1 - SNR$ дозволяє порівнювати якість прогнозу різних часових рядів між собою. Однак у даному випадку поряд з абсолютною погрішністю прогнозу $e(k)$ доцільно розглядати окремо помилки недооцінки ряду $() () () \acute{O} () \grave{I} \grave{I} < ^3 = + ,0 0 , 0$ якщо $e k e k$ якщо $e k e k$, (3.19) які в задачах адаптивного управління ВО пов'язані з кількістю втрат пакетів, і помилки переоцінки ряду $() () () \acute{O} () \grave{I} \grave{I} ^3 < = - ,0 0 , 0$ якщо $e k e k$ якщо $e k e k$, (3.20) 80 які, у свою чергу, відображають частку недовикористаної пропускну здатності обладнання. У цьому випадку в якості показника якості прогнозу можливо розглядати коефіцієнт недооцінки ресурсу (коефіцієнт втрат) Ці коефіцієнти, хоч і залежать від середнього значення прогнозованої ділянки ряду, однак мають чітку фізичну

інтерпретацію: при заданому способі оцінки необхідної ширини смуги порту коефіцієнт недооцінки $+ D$ виражає відношення кількості загубленої інформації до загальної кількості інформації, яку потрібно було обробити. Відповідно, коефіцієнт переоцінки $- D$ відбиває кількість невикористаної пропускної здатності порту до загальної кількості інформації, яку можливо було пропустити через цей порт. Очевидно, чим ближче прогностичні оцінки до дійсних значень $x(k)$, тим ближче до нуля коефіцієнти $+ D$ й $- D$. Вищенаведені коефіцієнти оцінювання якості прогнозу пов'язані із необхідністю обчислення кількості загубленої інформації, що в умовах високої динаміки адаптивного управління слід вважати фактором, що може негативно вплинути на швидкість роботи механізму прогнозування. Тому використаємо більш адекватні поставленій меті показники якості прогнозування, які безпосередньо спрямовані на підвищення ефективності функціонування механізмів адаптивного управління смугами портів ВО. Саме за цими показниками будемо оцінювати якість обраних алгоритмів прогнозування. Показник економії ширини смуг портів вузлового обладнання:

де $K\Delta$ – врахована кількість кроків адаптивного управління, N – загальна кількість портів, $W_{i,j}$ – встановлена ширина смуги i -го порту вузлового обладнання на j -му кроці адаптивного управління на основі рішення рівняння Белмана (без використання механізму прогнозування); $W_{p,i,j}$ – встановлена на основі прогнозу ширина смуги i -го порту вузлового обладнання на j -му кроці адаптивного управління. Якщо під час адаптивного управління прогнозування не здійснюється, то для всіляких i та j чисельник у виразі (3.23) буде дорівнювати нулю і, отже, у відносних одиницях показник економії смуг портів ВО $E\Delta = 0$. Якщо прогнозування виявляється у середньому вдалим (з точки зору економії смуги), то $0 \leq E\Delta \leq 1$. Фізично показник економії $E\Delta$ відображає ступінь підвищення завантаженості ВО завдяки застосуванню блоку прогнозування в системі перерозподілу пропускної здатності обладнання відносно рівня завантаженості в умовах

відсутності прогнозування. Вважається, що завдяки використанню механізму прогнозування «економиться» смуга пропускання вузлового обладнання. Однак «надлишкова» економія смуг пропускання портів може призвести до збільшення втрат пакетів. Тому необхідно контролювати якість прогнозування щодо характеристик втрат пакетів. Параметр помилки прогнозу: $\Delta \text{error} = 100\% \cdot \frac{k_{\text{error}}}{K} = \times$, (3.24) де K – врахована кількість кроків адаптивного управління; k_{error} – кількість точок, в яких прогнозована ширина смуги порту була недостатньою. E_{r} відображає долю помилок, що виникають під час застосування того чи іншого алгоритму прогнозування. 82

Уведені вище два показники (3.23) та (3.24) дозволяють надати вичерпну характеристику ступеню придатності методу прогнозування для використання у складі системи адаптивного управління смугами портів ВО. Кількість врахованих кроків адаптивного управління K визначається, виходячи із часового проміжку T_{Δ} , на якому з тих чи інших причин зручно здійснювати оцінку якості прогнозування: $T_{\Delta} = K \cdot t_k$, (3.25) де t_k - інтервал між початком сусідніх кроків дискретно-адаптивного управління.

3.4. Розробка методу та розрахункової схеми прогнозування

3.4.1. Вимоги до засобу прогнозування

Із результатів наведеного вище аналізу характеристик пакетного трафіка витікають наступні вимоги до засобу прогнозування його тренду: 1) оскільки пакетний трафік являє собою нестационарний випадковий процес, що моделюється як самоподібний процес, характеристики котрого визначені лише на рівні перших двох статистичних моментів, то отриманих знань щодо «поведінки» цього трафіку у реальному часі явно недостатньо, щоб здійснити формальну постановку задачі оптимального вибору методу для прогнозування тренду потоку пакетів, що просуваються через порти комутатора. За цих обставин доводиться користуватися суб'єктивними міркуваннями щодо доцільності вибору того чи іншого методу прогнозування; 2) обраний метод прогнозування має реалізовувати один із алгоритмів короткострокового прогнозування часових рядів; 3) прогноз повинен постійно коригуватися у реальному часі синхронно із змінами

інтенсивності потоків пакетів на портах ВО з урахуванням отриманих нових даних. Тому обчислювальна схема прогнозу має бути побудована як ітеративний процес; 83 4) оскільки засіб прогнозування вбудовується у контур адаптивного управління, що функціонує в режимі реального часу з відносно високими динамічними характеристиками, то цей механізм має бути високошвидкісним, що, в свою чергу, висуває підвищені вимоги до простоти програмної реалізації засобу (алгоритм прогнозування має бути не громіздким в розрахунках і використовувати мінімальну кількість точок для прогнозу і т. ін.); 5) умови застосування засобу прогнозування у складі системи адаптивного управління дозволяють не висувати підвищені вимоги до показників точності прогнозу, проте висуваються вимоги щодо збільшення впливу механізму прогнозування на якість адаптивного управління, зокрема на зменшення кількості системних помилок дискретно-адаптивного управління. Прийняття рішення щодо застосування того чи іншого засобу прогнозування має здійснюватися з урахуванням наведених вище вимог. Можливі ситуації, коли в залежності від змін у реальному часі параметрів тренду трафіка, під час адаптивного управління доцільно користуватися різними методами прогнозування, зокрема застосовувати той метод, у якого за даних поточних умов визначиться найменше значення параметру помилок прогнозу E_p . Результати аналізу вказують на можливість застосування у складі ланцюгу адаптивного управління чимало звісних методів короткострокового прогнозування [55-66]. Проте вибір оптимального із них для визначених в роботі умов застосування - завдання окремого наукового дослідження. У даній роботі із міркувань, що наведено нижче, розглянуто лише два найпростіших методи прогнозування: метод прогнозування, що заснований на обчисленні похідних, та метод прогнозування з використанням експоненціального згладжування. 84 3.4.2. Постановка задачі прогнозування. Припустимо у нашому розпорядженні знаходяться дані щодо N членів часового ряду, що дає в момент t прогнози для усіх майбутніх часів упередження $l = 1, 2, \dots$, назовемо прогнозуючою

функцією для моменту t . Потрібно здійснити прогноз цього часового ряду з упередженням l , тобто знайти оцінку значення члену ряду z_{t+l} . Іншими словами, необхідно знайти таку прогнозуючу функцію, у котрій середнє значення квадрата відхилення $z_{t+l} - z^*_{t+l}$ істинного від прогнозного значення є найменшим для кожного упередження l . Окрім того, бажано вказати точність прогнозу. Зокрема, точність прогнозу визначається імовірнісними межами по обидва боки від прогнозного значення, тобто це значення буде лежати із заданою ймовірністю у визначених межах.

3.4.3. Метод прогнозування, що заснований на похідних.

Даний метод є нескладним у реалізації та у розрахунках, характеризується високим ступенем швидкодії, але часто недостатньо точний. У нашому випадку точність прогнозу не має визначального значення. Для здійснення прогнозу на кожному кроці адаптивного управління достатньо використовувати лише три останні точки часового ряду, що моделює тренд пакетного трафіка. Отже, цей метод є придатним для застосування при сильно осцилюючих даних.

Алгоритм реалізації методу, що заснований на обчисленні похідних, полягає у наступному:

- 1) На поточному кроці адаптивного управління обираємо дві останні точки прогнозу x_{-1} та x_0 і знаходимо першу похідну (f'_0) щодо виділеної ширини смуги порту для останнього кроку.
- 2) Обираємо дві передостанні точки прогнозу x_{-2} та x_{-1} і знаходимо першу похідну щодо виділеної ширини смуги порту для передостаннього кроку (f'_{-1}).
- 3) За знайденими першими похідними знаходимо другу похідну (f''_0) для останнього кроку управління.
- 4) Величина приросту прогнозного значення залежить від величини першої похідної f'_0 , а його напрямок від величини другої похідної f''_0 , і, отже, прогнозне значення ширини смуги порту на поточному кроці адаптивного управління визначиться де $x_{\text{прогнозне}}$ - прогнозне значення ширини смуги порту, x_0 - поточне значення ширини смуги порту, $\text{prognozConstan } t$ – певна константа, яка характеризує випуклість апроксимуючої функції.

На наступному кроці адаптивного управління процедура знаходження прогнозного значення ширини смуги

порту повторюється знову. Обчислювальна схема прогнозування тренду трафіка, яка використана у даній роботі, з використанням похідних на будь-якому із портів ВО полягає у наступному: 1) «обнулюються» усі розрахункові параметри обчислювальної схеми прогнозування; 2) перевіряється достатність вихідних даних для здійснення прогнозу (у даному випадку має бути у розпорядженні останні три точки часового ряду, що відтворює тренд трафіка). Якщо останні три точки часового ряду недоступні для прогнозування, то необхідно зачекати, поки із серверу надійде до клієнта (див. структуру середовища моделювання, що розглянуто у наступному розділі) достатня кількість вихідних даних. Інакше – перехід на крок 3; 86 3) обираються дві передостанні точки часового ряду і на базі цих даних вираховується значення першої похідної у попередній по відношенню до моменту прогнозу точці $(t-1) f'(t)$; 4) обираються дві останні точки часового ряду і на базі цих даних вираховується значення першої похідної $(t) f'(t)$; 5) за знайденими першими похідними для точки прогнозу вираховується друга похідна функції, що відтворює тренд пакетного трафіка $(t) f''(t)$; 6) на основі вирахованих значень перших двох похідних та задавшись значенням константи, що характеризує випуклість апроксимуючої функції, визначається прогнозне значення інтенсивності тренду трафіка відповідно до виразу (3.26), яка у подальшому використовується для прийняття управлінських рішень системою адаптивного управління; 7) Перехід на крок 1. Як бачимо, обчислювальна схема прогнозування тренду трафіка з використанням похідних досить проста та зручна для програмування і не потребує значної кількості вихідних даних, що дозволяє сподіватись на її високу швидкодію.

3.4.3. Метод прогнозування з використанням експоненціального згладжування. Цей метод прогнозування за своїми властивостями є схожим на попередньо розглянутий метод. Згідно цього методу [57] часовий ряд згладжується шляхом зваженого ковзного середнього з експоненціальними вагами, що дозволяє здійснювати короткострокове прогнозування. Звісно, що функція x_t в момент t може бути описана поліномом $0! p_0 + 1! p_1 t + 2! p_2 t^2 + \dots + \hat{A} t^k$

e , (3.27) де p_i - похідна від x_t i -ого порядку, $t e$ - помилка відхилення суми ряду від фактичного значення x_t .

3.5 Основи статистичного угруповання інформації

При побудові систем адаптивної фільтрації даних велике значення мають статистичні характеристики оброблюваних сигналів і шумів, їх стаціонарність, і наявність будь-якої додаткової інформації, корелятивною з основною. Можливість використання додаткової інформації при побудові адаптивних систем розглянемо на конкретному прикладі - системі адаптивної фільтрації даних безперервних ядерногеофізических вимірювань.

3.5.1 Передумови методу

Передумови методу. Фізичною величиною, яка реєструється в процесі ядерно-фізичних вимірювань в геофізики, зазвичай є частота імпульсних сигналів на виході детекторів іонізуючого випромінювання в інтегральному або диференціальному режимі амплітудної селекції. Значення вимірюваної величини, як статистично розподіленої за своєю природою, можуть бути визначені тільки шляхом усереднення кількості актів реєстрації іонізуючих частинок по інтервалах часу. Зареєстроване кількість імпульсів визначає статистичну похибку одиничного вимірювання, а часовий інтервал усереднення, що забезпечує нормативну похибка - їх продуктивність. Для методів з безперервною реєстрацією інформації в часі (або в просторі) тимчасове вікно вимірювань визначає також тимчасову (або просторову, з урахуванням швидкості переміщення детектора) роздільну здатність інтерпретації результатів вимірювань, при цьому ефективність реєстрації інформації зазвичай обмежена умовами вимірів і / або технічними засобами

їх виконання. Типовий приклад - каротаж свердловин, де можливості збільшення інтенсивності потоків інформації обмежені параметрами ефективності реєстрації та чутливості детекторів випромінювання, які залежать від їх типу і розмірів. Розміри детекторів, природно, істотно залежать від розмірів свердловинних приладів, які, в свою чергу, обмежені діаметрами свердловин.

Нижче розглядається можливість підвищення точності і продуктивності безперервних ядерно-фізичних вимірювань, для наочності, з урахуванням умов вимірювань у варіанті свердловинного гамма-випробування, хоча в такій же мірі вона може бути використана в авто- і аерогаммас'емке, при радіометричному збагаченні руд, в рентгенорадіометр і інших методах ядерної геофізики. Передбачається, що реєстрація даних проводиться в цифровій формі з накопиченням відліку по постійним інтервалах дискретизації даних (за часом і простором, за умови постійної швидкості переміщення детектора).

У загальному випадку корисна (цільова) інформація може бути присутнім в декількох енергетичних інтервалах спектра випромінювання. Робочими інтервалами вимірювань зазвичай счітаються ділянки спектра, де корисна інформація присутня в "чистому" вигляді або в суміші з перешкодами (фоном), значення яких може бути враховано при обробці результатів ізмірєній. Так, наприклад, при гамма-випробуванні порід на вміст природних радіонуклідів (ПРН) реєструється випромінювання з енергією понад 250-300 кеВ, представлене в основному первинними і одноразово розсіяними квантами, щільність потоку яких пропорціональна масовій частці ПРН в породах. Щільність потоку випромінювання в нізкоенергетическом інтервалі спектра (20-250 кеВ, в основному багаторазово розсіяне випромінювання) також залежить від масової частки ПРН, але ця залежність є параметрично пов'язаної з ефективним атомним номером ізлучающе-поглинающего середовища в області детектора, варіації

якого по стовбуру свердловини можуть призводити до великої похибки інтерпретації результатів вимірювань. Тим часом щільність потоку інформації (щодо масової частки ПРН) в інтервалі 20-250 кеВ багато вище, ніж в інтервалі більше 250 кеВ, особливо при реєстрації випромінювання сцинтиляційними детекторами малих обсягів, які мають підвищену чутливість саме до низькоенергетичної частини спектра ізлучення.

Завдання статистичної угруповання інформації в потоках сигналів в загальній і найбільш простій формі може бути сформульована таким чином. Корисна інформація присутня в двох статистично незалежних потоках сигналів (в двох неперекриваючихся інтервалах спектра випромінювання). У першому потоці сигналів, умовно основному, корисна інформація присутня в "чистому" вигляді: щільність потоку сигналів пропорційна однею фізичною величиною. У другому потоці, умовно-додатковому, на корисну інформацію накладено вплив дестабілізуючих факторів, значення яких невідомо. При відсутності дестабілізуючих факторів коефіцієнт кореляції середніх значень щільності потоків в цих двох потоках сигналів постійний і близький до 1. Для зниження статистичної похибки вимірювань потрібно здійснити витяг корисної інформації з додаткового потоку сигналів і її підсумовування з основним потоком.

Позначимо потоки, а так само і частоти основного і додаткового потоків сигналів індексами n і m (імпульсів в секунду), зв'язок потоків по частотах індексом $x = m / n$. Визначенню підлягає частота потоку n . Значення x може змінюватися за рахунок впливу дестабілізуючих чинників на потік m і в загальному випадку являє собою випадкову величину, розподілену за певним законом з щільністю ймовірностей $P(x)$, математичним очікуванням, і дисперсією Dx .

На основі теореми Байєса, щільність ймовірностей розподілу частоти n за вимірюваним за одиничний інтервал t числу відліків сигналу N визначається виразом:

$$P(N) = \int_0^{\infty} P(n) P_n(N) P(n) dn,$$

$$P_n(N) = \frac{(nT)^N e^{-nT}}{N!},$$

$$P(N) = \int_0^{\infty} P_n(N) P(n) dn,$$

де: $P(n)$ - апіорна щільність ймовірностей частоти n , $P_n(N)$ - апостеріорне розподілення ймовірностей числових відліків N (закон Пуассона). Беручи в подальшому в якості шуканої величини значення відліків $z = nT$ по інтервалах Δz (експозиція цифрових вліків або ковзне тимчасове вікно аналогових даних) і підставляючи отримуємо:

$$P(N) = \int_0^{\infty} P(z) z^N e^{-z} \Delta z P(z) z^N e^{-z} dz.$$

При невідомому розподілі значень z апіорна щільність розподілу $P(z)$ приймається рівномірної від 0 до Δz , при цьому з виразу (11.2.4) слідує загальновідомі вираження:

$$z = Dz = N + 1 \Delta z,$$

$$\Delta z^2 = Dz \Delta z^2 = 1 \Delta z (N + 1) \Delta z.$$

Значеннями одиниць в виразах нехтуємо, що не тільки коректно в умовах "хорошою" статистики, але і необхідно в режимі послідовних безперервних вимірювань для виключення зміщення середніх значень.

Як впливає з теорії гамма-каротажу (ГК) і досить добре підтверджено практикою гамма-випробування, просторова роздільна здатність гамма-каротажних вимірів при інтерпретації результатів ГК на вміст природних радіоактивних елементів в породах по стовбуру свердловин в середньому становить 10 см, а в свердловинах малого діаметра може навіть

підвищуватися до 5-7 см. Проте реалізація такої роздільної здатності можлива тільки в умовах досить "хорошою" статистики. Коефіцієнт посилення дисперсії перешкод цифрових фільтрів деконволюції, які використовуються при інтерпретації ГК, в середньому близько 12 і змінюється від 4 до 25 в залежності від щільності порід, діаметра свердловин, діаметра свердловинних приладів тощо. Звідси випливає, що для досягнення роздільної здатності в 10 см при нормативній похибки диференціальної інтерпретації не більше 10-20% статистична похибка вимірювань не повинна перевищувати 3-7%. А це, в свою чергу, визначає обсяг відліку за одиничну експозицію не менше 200-1000 імпульсів. При гамма-каротажу останнє можливо тільки для порід з відносно високим вмістом ПРН (більш 0.001% еквівалентного урану), при використанні детекторів великих розмірів (з ефективністю реєстрації більше 10 імп / сек на 1 мкР / год) і при низькій швидкості каротажу (не більше 100-300 м / год). В тій чи іншій мірі ця проблема характерна для всіх методів ядерної геофізики, і особливо гостро коштувати в спектрометричних модифікаціях вимірювань.

Разом з тим слід зазначити, що процес безперервних вимірювань має певну фізичну базу як для застосування методів регуляризації результатів інтерпретації даних, так і для регуляризації безпосередньо самих статистичних даних (масивів відліків N) при їх обробці.

Найпростішим способом підготовки цифрових даних для інтерпретації є їх низькочастотна фільтрація методом найменших квадратів (МНК) або ваговими функціями (Лапласа-Гаусса, Кайзера-Бесселя і ін.). Однак будь-які методи низькочастотної фільтрації даних знижують просторову роздільну здатність інтерпретації, так як крім зниження статистичних флуктуацій приводять до певної деформації частотних складових корисної частини сигналу, спектр якого за умовами деконволюції повинен мати речові значення аж до частоти Найквіста. Певною мірою ліквідувати цей негативний фактор дозволяє метод адаптивної регуляризації даних (АРД).

Вирази отримані в припущенні повної невідомості апріорного розподілу $P(z)$ для відліків в кожній поточної експозиції \square . Тим часом, при обробці даних безперервних вимірювань, і тим більше каротажних даних, які зазвичай є многопараметровою, для кожного поточного відліку при обробці даних може проводитися певна оцінка розподілу $P(z)$. Як мінімум, можна виділити два способи оцінки розподілу $P(z)$.

Спосіб 1. За масивів даних паралельних вимірювань будь-яких інших інформаційних параметрів, значення яких досить чітко корреліровані з оброблюваним масивом даних або в цілому по простору вимірювань, або в певному ковзному інтервалі порівняння даних. До таких масивів відносяться, наприклад, попередні каротажні вимірювання в процесі буріння свердловин, вимірювання іншим приладом, з іншою швидкістю каротажу, в іншому спектральному інтервалі випромінювання, і навіть іншим методом каротажу. При гамма-випробуванні оцінка розподілу $P(z)$ може проводитися за паралельним вимірюванням інтенсивності потоку m в низькочастотному інтервалі спектра гірських порід.

Спосіб 2. При одиничній діаграмі ГК оцінка розподілу $P(z)$ в кожній поточній точці обробки даних може виконуватися по найближчих околицях даної точки, захоплюючим більш широкий просторовий інтервал в порівнянні з інтервалом відліків.

Використання апріорних даних. Припустимо, що крім основного масиву даних N , що підлягає обробці (підготовці до інтерпретації), ми маємо в своєму розпорядженні додатковим масивом даних M , значення якого в певній мірі корельовані з масивом N . При відсутності додаткових масивів спосіб 2 дозволяє отримати масив M обробкою масиву N цифровим фільтром МНК (або будь-яким іншим ваговим фільтром) зі змінним тимчасовим вікном $T \square 3 \square (M(k) = m(k) \square \text{згладженого сигналу } (k) = n(k) \textcircled{3} h$, де h - оператор симетричного цифрового фільтра). Відзначимо також, що 2-й

спосіб завжди може використовуватися для регуляризації даних незалежно від наявності даних для 1-го методу.

Масив M дозволяють дати оцінку статистичних характеристик розподілу $P(z)$. Так, якщо для тих же інтервалів часу Δt в масиві M в діліки $M = m_k \Delta t$ (або приведені до них відліки будь-якого іншого параметра), то можна записати:

$$P_M(z) =$$

де $P(x)$ - апіорна щільність розподілу значень $x_k = m_k / n_k$, які в загальному випадку також можуть бути випадковими. При рівномірному розподілі $P(x)$ від 0 до Δt для в діліки M равовероятно будь-яке значення z , тобто ефект від вимірювань в потоці m відсутня. Однак по вихідним умовам завдання в потоці m обов'язкова присутність корисної інформації, а, отже, і суще-ствование, як мінімум, визначених кордонів розподілу $P(x)$ від $x_{\min} > 0$ до $x_{\max} \ll \Delta t$, Δt середнього значення по простору вимірювань. При цьому з виразу (11.2.7) впливає, що найбільш ймовірне значення z_a , "апіорне" для відліків $z = n \Delta t$ в потоці m за вимірюваннями в потоці m (отсчетах M), має дорівнювати:

$$z_a = (M + 1) \Delta t / M$$

При статистичної незалежності величин x і M відносна середня квадратична помилка визначення значень z_a за відліком в масиві M :

$$\Delta z_a^2 = \Delta M^2 + \Delta k^2.$$

Звідси дисперсія розподілу значень z_a :

$$D z_a = (D M + M^2 \Delta x^2) \Delta t^2 = D(M) \Delta t^2,$$

$$D(M) = D M + M^2 \Delta x^2 = D M + D x m,$$

$$D M = M + 1 \Delta t / M, D x m = M^2 \Delta k^2,$$

де значення дисперсії DM визначається статистикою відліків в масиві M при $x = \text{const}$, значення Dx_m являє собою дисперсію значень M за рахунок флуктуацій величини x , а сума $D(M)$ визначає повну дисперсію відліків M .

Вплив $P(x)$ на форму розподілу $PM(z)$ позначається в його "розтягуванні" по координаті z щодо модального значення, при цьому рішення інтеграла (11.2.7) в першому наближенні може бути представлено в наступному вигляді:

$$PM(z) \approx b e^{-bz}.$$

Для даного розподілу:

$$Za = a \approx b,$$

$$Dza = a \approx b^2, \quad (11.2.14)$$

З урахуванням виразів:

$$a = MDM \approx (Dza)^2 = MDM \approx D(M),$$

$$b = DM \approx (Dza) = DM \approx D(M).$$

Значення 'a' в вираженні приймається цілочисельним. Вираз може бути прийнято для розподілу в якості апіорного розподілу ймовірностей $P(z)$, при цьому:

$$PN(z) = (b + 1) e^{-z} (b + 1).$$

Звідси, математичне очікування і дисперсія z :

$$z = (N + a) \approx (b + 1),$$

$$Dz = (N + a) \approx (b + 1)^2$$

С використанням виразів

$$z = \alpha N + (1-\alpha) M$$

де α ($1-\alpha$)- вагові коефіцієнти довіри отсчетам N і M :

$$\alpha = D(M) / (DN^2 + D(M)).$$

Дисперсія і відносна середня квадратична похибка відліків z :

$$Dz = D(M), \quad (11.2.22)$$

$$\alpha^2 z^2 = 1 / (N + MD(M)).$$

Ефективність методу. Порівняння виразів дозволяє дати оцінку ефекту використання додаткової інформації з статистично незалежного від N потоку M (довільна додаткова інформація).

1. При $\alpha = \text{const}$ маємо $\alpha^2 z^2 = 0$, $Dx_m = 0$ дисперсія в д.л. в масиві M визначається тільки статистикою потоку:

$$D(M) = DM = M, \quad z = (N + M) \alpha^2,$$

$$\alpha^2 z^2 = 1 / (N + M) < \alpha^2 N^2 = 1 / N,$$

$$\alpha = \alpha^2 z^2 = [N + M^2 D(M)] / N \alpha^2 + M / N,$$

що відповідає визначенню z по двох незалежних вимірювань і ефект використання додаткової інформації максимальний. Так, при $M = N$, $\alpha^2 z^2 = 1/2$ похибка вимірювань зменшується в ~ 1.4 рази.

2. У загальному випадку $Dx_m = 0$, при цьому $D(M) > DM$ позитивний ефект знижується. У межі: $\alpha_x = D(M) / (DN^2 + D(M)) = 1$, $z = N$, $\alpha^2 z^2 = 1/N$ позитивний ефект повністю вироджується. У всіх інших випадках $\alpha > 1 / z < 1/N$. Звідси випливає, що при наявності корелятивної інформації в масиві M позитивний ефект, в тій чи іншій мірі, завжди має місце.

3. Позитивний ефект тим більше, чим більше значення $x = m / n$, менше флуктуації x (величина $\square x$), \square менше значення \square для $N = n$. Позитивний ефект збільшується саме в тих випадках, коли особливо гостро відчувається брак інформації: при малих значеннях щільності потоку випромінювання i / або експозиції вимірювань.

Аналогічний ефект матиме місце і при формуванні відліків M по околицях поточних точок обробки даних шляхом визначення їх середнього значення (низькочастотне згладжування масиву n). Попереднє низькочастотне згладжування може застосовуватися і для статистично незалежного додаткового масиву m , що буде підвищувати достовірність прогнозних відліків і збільшувати глибину регуляризації, якщо це згладжування при регуляризації за формулами не позначається на зміні форми основного сигналу. Останнє визначається співвідношенням частотних спектрів основного сигналу і оператора згладжування.

Можливі два способи реалізації рівняння безпосередньо в процесі вимірювань методом статистичної угруповання корисної інформації (СГПІ) в реальному масштабі часу, або методом статистичної регуляризації даних (СРД), зареєстрованих у вигляді тимчасового (просторового) розподілу в паралельних масивах відліків.

Статистическая оценка регуляризации данных по прямоугольным импульсам проводилась по 50-ти циклам рандомизации исходных массивов N и M . В качестве примера на рисунках 11.3.5 и 6 приведены результаты обработки статистики массивов N и Z . Кроме статистики циклов рандомизации проводилась суммарная обработка всех циклов по общей статистике фона и вершины импульсов. Результаты обработки для тех же установок фильтров приведены в таблице 3.

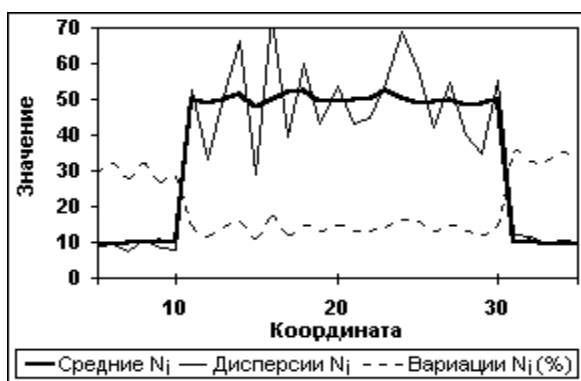


Рис. Статистика сигнала N

(Измерения по 50-ти циклам).

Счет D_m по несглаженному M)

Таблица 3.

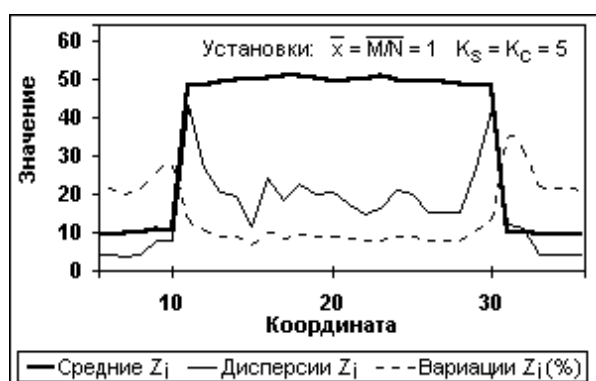


Рис. Статистика сигнала Z

(50 циклов.

Статистика значений фона и вершины импульсов (50 циклов).

Массивы и условия обработки	Фон		Сигнал	
	Сред. отсчет	Дисперсия	Сред. отсчет	Дисперсия
Основной входной массив N	9,96	9,97	50,1	52,0
Дополнительный входной массив M	9,89	9,49	50,2	47,4
Массив Z, счет D_m по несглаженному M	9,87	5,47	49,7	22,3
	9,84	4,76	49,9	18,6
Массив Z, счет D_m по сглаженному M	11,5	17,9	48,5	29,2
Массив N, сглаженный весовым окном				

Результаты моделирования подтверждают преимущество СРД перед простыми методами сглаживания. В числовой форме это наглядно

проявляется в снижении дисперсии отсчетов выходного массива Z при практическом сохранении средних значений массива N и для фоновых отсчетов, и для амплитудных значений сигнала. При простом сглаживании "развал" фронтов сигнала (подавление высокочастотных составляющих спектра сигнала), как и должно быть при использовании низкочастотных фильтров, вызывает снижение по отношению к исходному массиву средних значений в максимумах и повышение фоновых значений сигнала, которое тем больше, чем больше окно весовой функции. Этот эффект особенно отчетливо проявляется в интервале окна фильтра по обе стороны от резких изменений сигнала.

При отсутствии дополнительных массивов M , коррелированных с регуляризируемым массивом N , формирование прогнозных значений M_i может производиться по ближайшим окрестностям текущих значений N_i в скользящем окне K_s . При строго корректном подходе текущая точка N_i не должна включаться в число счета прогнозных значений M_i , но, как показало моделирование, это практически не влияет на результаты регуляризации. При прогнозировании M_i по всем точкам окна K_s массив M формируется любым методом сглаживания из массива N , и все особенности работы СРД по сглаженным массивам M , рассмотренные выше, остаются без изменений при условии счета значений D_m в окне K_s по массиву M . Для исключения выбросов по обе стороны от скачков полезного сигнала счет D_m как дисперсии прогнозных значений M_i необходимо выполнять непосредственно по массиву N .

Фундаментальной особенностью СРД является возможность последовательной многократной фильтрации данных, при которой может осуществляться преимущественное повышение степени регуляризации данных с минимальными искажениями формы полезного сигнала. Для выполнения последнего размер окна K_s счета x_i и D_m устанавливается минимальным (3-5 точек), а глубина регуляризации данных (степень подавления шумов) устанавливается количеством последовательных операций фильтрации (до 3-5 проходов). Пример регуляризации модельного массива N в три прохода приведен на рис

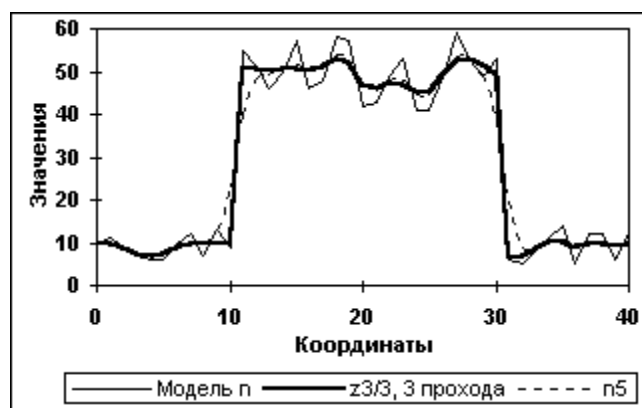


Рис. СРД одиночного массива N (3 прохода. Счет D_m по массиву n)

Для сравнения пунктиром на рисунке приведено сглаживание массива 5-ти точечным фильтром Лапласа-Гаусса, который имеет коэффициент подавления шумов, эквивалентный 3-х проходному СРД (см. рис. 11.3.9).

На рисунках 11.3.8 и 11.3.9 приведены результаты статистической обработки 3-х проходной СРД для 25 циклов моделирования в сравнении с 1-м проходом и с 5-ти точечным фильтром Лапласа-Гаусса (кривая n5).

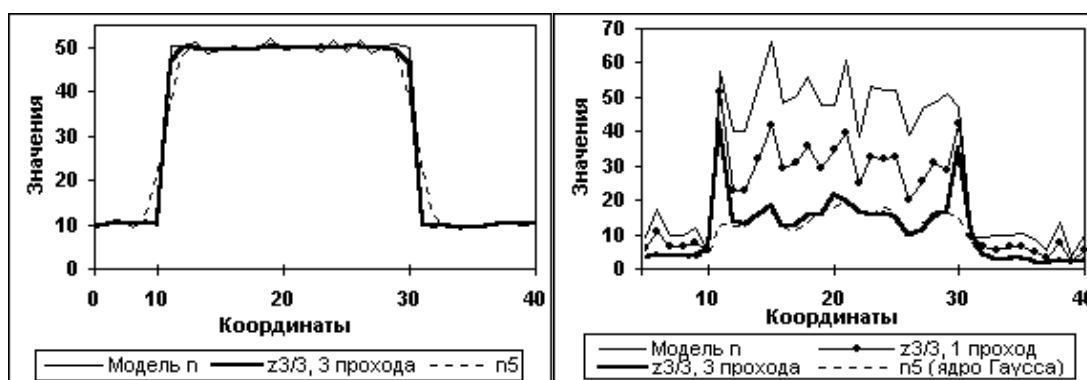


Рис. Статистика средних значений

Рис. Статистика дисперсий

(25 циклов. Счет D_m по массиву n)

(25 циклов.

Счет D_m по массиву n)

Количество проходов может ограничиваться в автоматическом режиме, например, по среднеквадратическому значению корректирующих отсчетов $\Delta z_i = N_i - z_i$ в каждом проходе по сравнению с предыдущим проходом, которое сначала резко уменьшается за счет сглаживания флюктуаций, а затем, в зависимости от динамики сигнальной функции, стабилизируется или даже начинает увеличиваться за счет искажения самого сигнала.

Частотное представление работы СРД хорошо видно на рис. 11.3.10, где приведены модули спектров рандомизированного сигнала в виде меандра (средние значения в минимуме - 20, в максимуме - 100, 25 периодов по 40 отсчетов, всего 1000 отсчетов) и результатов его обработки СРД (окно $K_c=3$, окно $K_s=3$).

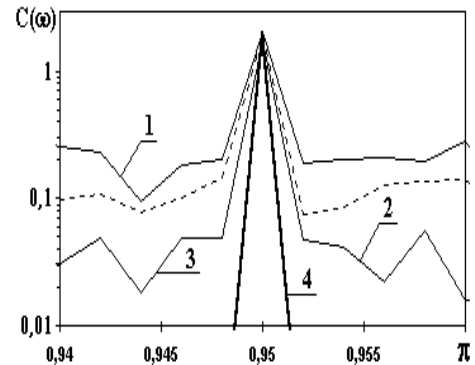
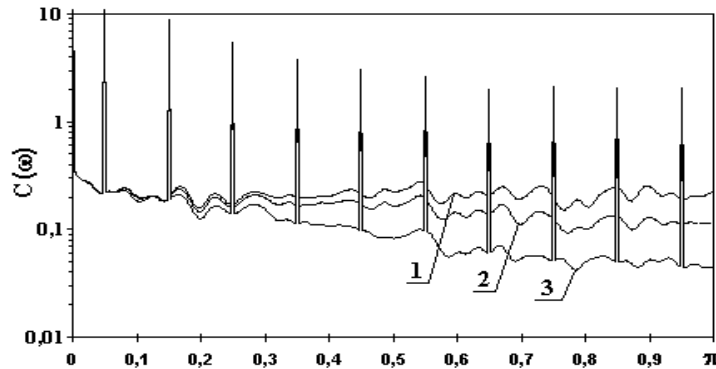


Рис. Модули спектров модельных сигналов.

Рис.

Участок спектра.

(1– входной массив N , 2– выходной массив Z , один цикл СРД,

3– выходной массив Z , три цикла СРД), 4 – массив нерандомизированного меандра).

Модуль спектра основного полезного сигнала (в данном случае чистого меандра) представляет собой последовательность отдельных частотных гармоник по всему диапазону спектра. В спектре рандомизированного меандра эти частотные гармоники суммируются со спектром шума, статистически равномерно распределенным по всему частотному диапазону (спектр шума на рисунке для наглядности сглажен). СРД осуществляет подавление шумовых составляющих сигнала, практически не затрагивая частотных гармоник меандра и не изменяя их по амплитуде. Последнее можно видеть на рис. 11.3.11, где представлен отрезок спектра сигналов в высокочастотной части главного диапазона в области одной гармоники меандра (частотные составляющие шума не сглажены). При 3-х цикловом СРД высокочастотные составляющие шумов подавляются практически на порядок.

Пример практического использования СРД приведен на рис. 11.3.12 при опробовании участка скважины, пересекающей пласты каменной соли, на содержание сильвинита по гамма-излучению Калия-40. По данным геологического опробования пласты сильвинита в толще вмещающих пород (галита) имеют достаточно резкие границы и однородны по содержанию сильвинита в пределах пластов. Исходная диаграмма ГК (детектор $CsJ(Tl)$ со свинцовым фильтром толщиной 2 мм) и результаты фильтрации исходного

массива данных ГК с использованием СРД и низкочастотного фильтра с весовым окном Лапласа-Гаусса приведены на рис. 11.3.12.

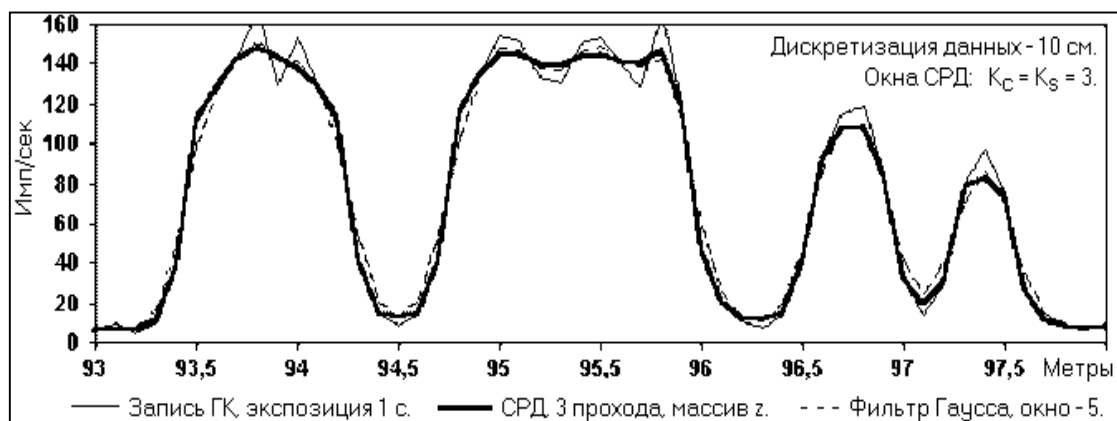


Рис. Диаграммы ГК.

Результаты интерпретации диаграмм ГК симметричным деконволюционным цифровым фильтром (окно 13 точек) приведены на рис. 11.3.13. Как видно на рисунке, деконволюция по несглаженной диаграмме ГК дает существенные вариации содержания сильвинита в пределах пластов. Применение низкочастотной фильтрации диаграммы ГК снимает флюктуации содержания в пределах пластов, но существенно сглаживает границы пластов. Использование СРД позволяет устранить этот недостаток.

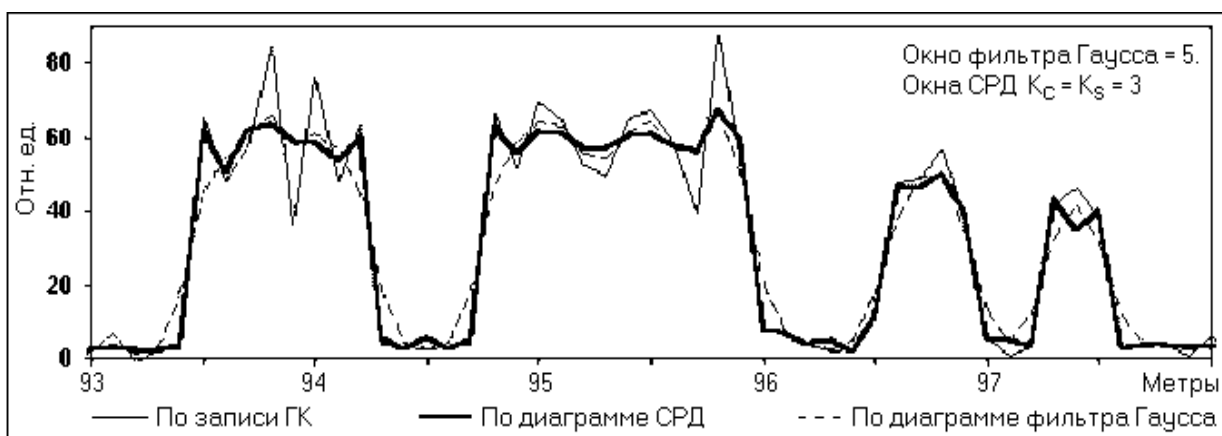


Рис. Результаты интерпретации диаграмм ГК.

В заключение отметим, что СРД может использоваться для регуляризации не только ядернофизических данных, но и любых других числовых массивов непрерывных измерений, если радиус их корреляции не менее 3-5 отсчетов. В качестве примера на рис. 11.3.14 приведена диаграмма акустического каротажа, зарегистрированная с шагом дискретизации данных 20 см, сглаживание которой проведено СРД без потери пространственного разрешения.

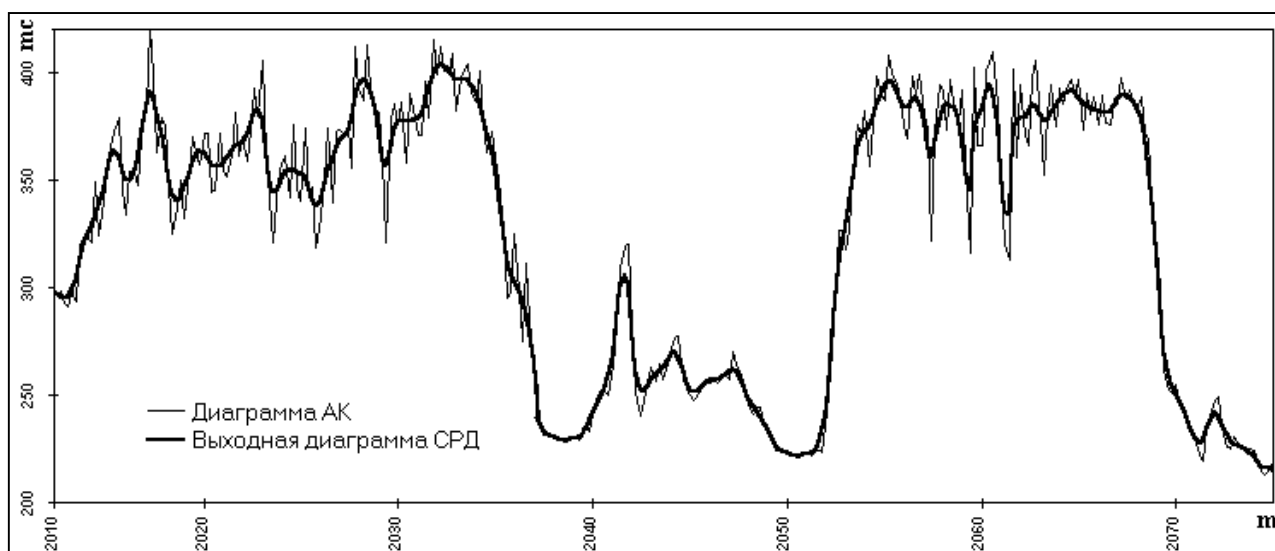
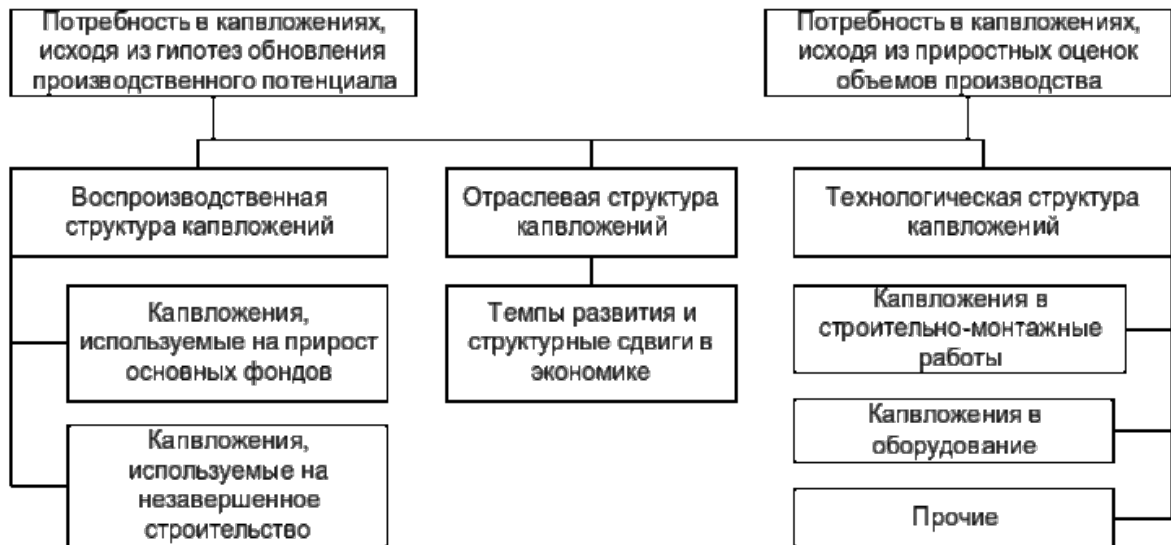


Рис. Диаграмма акустического каротажа и результат ее обработки СРД
(5 циклов, $K_c = K_s = 3$, физическое окно 0.6 м).

ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Під загальною ефективністю капітальних вкладень мається на увазі економічний показник, що визначає доцільність капіталовкладень під час дослідження або планування майбутнього проекту. При цьому порівнюється ефект від можливих інвестицій в сфері матеріального і нематеріального виробництва, а також проводиться порівняння отриманої інформації з діючими нормативами.



Одиниці виміру капіталовкладень

При розрахунку капітальних вкладень у виробництво будь-якого типу ефект вимірюється в наведених нижче одиницях:

- у вартісній оцінці (обсяги додаткового доходу, обсяги реалізації послуг або продукції);
- в поточних параметрах (виробничих ная потужність, місткість об'єктів, пропускна здатність і ін.);
- в відносних параметрах (наприклад, визначення ступеня комфортності проживання);
- в параметрах охоплення типами послуг (кількість місць в кінозалі, площа житла та ін.).

Існує два коефіцієнта, за допомогою яких визначається ефективність капіталовкладень:

- загальний;
- порівняльний.

У першому випадку мається на увазі співвідношення планованих результатів до витрат для їх отримання. Що характерно, ефективність слід розраховувати на кожному з етапів планування. Результатом проведення таких розрахунків є визначення періоду окупності інвестицій.

Є формула, за якою розраховується ефективність капіталовкладень. Вона виглядає наступним чином:

$$П/К=Э$$

В цьому випадку:

- П - це прибуток за визначений термін;
- К - капіталовкладення;
- Е - ефективність інвестицій.

Варто зауважити, що якщо розраховуються досить великі інвестиції в промисловій галузі, то формула може виглядати дещо по-іншому. Точніше, вона буде виглядати так

$$(Ц-С)/К=Э$$

В даному випадку:

- Ц - це ціна виробленого товару за рік;
- С - собівартість вироблених товарів;
- К - капіталовкладення;
- Е - ефективність діяльності фірми.

У торговельній сфері показник визначається за іншою формулою:

$$(Н-И)/К=Э$$

У цій формулі:

- Н - обсяги надбавок;
- І - оборотні витрати;
- К - капіталовкладення;

- E - ефективність.

Що стосується терміну окупності, то формула, яку можна використовувати для його визначення, залежить виключно від сфери діяльності підприємства.

Можливих варіантів є кілька.

Для сфери торгівлі:

$$K/(H-I)=T$$

$$K/(Ц-C)=T$$

Стандартна формула, застосовна для більшості випадків

$$K/\Pi=T$$

Якщо ж інвестиційний проект неефективний навіть при наявності всіх заходів державної підтримки, то він повинен бути відкинтий через недоцільність



Рис. 6.1. Состав аналитических коэффициентов финансово-экономической деятельности предприятия

Розрахунок експлуатаційних витрат з обслуговування

Експлуатаційні витрати з утримання, обслуговування та експлуатації складаються з видатків на заробітну плату, соціальне страхування, матеріали, електроенергію, амортизацію і ремонт устаткування та інших витрат.

Експлуатаційні витрати:

$$EPC = P_{\text{фот}} + P_c / C + P_m + P_e / E + P_a + P_{\text{проч}}$$

де: Рфот - витрати на заробітну плату (фонд заробітної плати)

РС / С - витрати на соціальне страхування;

РМ - витрати на матеріали

ВЕ / Е - витрати на електроенергію.

РА - витрати (відрахування) на амортизацію.

РПРОЧ - інші витрати.

Розрахунок витрат на заробітну плату.

Визначаються по контингенту і середньомісячній заробітній платі кожної категорії працівників. У середньомісячну заробітну плату включаються оклади (місячна тарифна ставка), премії та доплати.

Розрахунок витрат на електроенергію (ВЕ / Е)

Плануються за кількістю устаткування і питомої витрати цих ресурсів. Норма місячного витрати електроенергії на 10 номерів складає для АТСК 30 квітучої. Ціна одного кВтг електроенергії становить 0.99 грн / кВт*г
Розрахунок витрат на електроенергію

Розрахунок витрат (відрахувань) на амортизацію (РА)

Величини відрахувань на амортизацію та ремонт обладнання , а також

розрахунок цих відрахувань для кожної моделі.

Норми і розрахунок відрахувань на амортизацію та ремонт обладнання для

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано та досліджено питання утворення системних помилок адаптивного регулювання пропускну здатності вузлового обладнання пакетних мереж. Виявлено причини утворення цих помилок. Визначено ступінь їхнього впливу на якість управлінських рішень при обробці даних трафіку. Запропоновано спосіб перетворення помилок недооцінки ширини смуги порту комутатора, негативно впливаючих на рівень втрат пакетів, у помилки переоцінки смуги порту, що несуттєво впливають на якість роботи комутатора.

2. Запропоновано метод зменшення негативного впливу системних помилок на якість управління шляхом включення у технологічний ланцюг адаптивного перерозподілу засобу прогнозування інтенсивності пакетного трафіку. Показано, що ефективність процедури прогнозування, заснованої на обчисленні похідних, вище у порівнянні з процедурою прогнозування, що реалізує алгоритм Бокса-Дженкінса. При цьому можна говорити і про менший рівень втрат пакетованих даних при застосуванні першої із процедур, і про більший коефіцієнт використання вузлового обладнання.

3. Запропоновано критерії, що дозволяють враховувати негативний вплив системних помилок адаптивного управління на рівень втрат пакетів в комутаторі та на рівень завантаженості комутатора корисним трафіком. Із застосуванням цих критеріїв експериментальними дослідженнями на реальних даних доведено можливість та доцільність реалізації запропонованої інформаційної технології у програмному забезпеченні, що функціонує у режимі реального часу.

4. Набув подальшого удосконалення метод згладжування інтенсивності пакетного трафіку для вирішення задач короткострокового прогнозування інтенсивності передачі даних. Запропоновано модифікацію алгоритму «відра токенів» із залученням наближення тренда інтенсивності потоку даних Кусково-сталою, що дозволяє розглядати процес обслуговування даних як квазістаціонарний та такий, що є прогнозованим у короткочасовій перспективі.

5. Розроблено спосіб адаптивного управління вузловим обладнанням пакетних мереж, котрий у порівнянні з відомими способами управління забезпечує можливість підвищення якості управлінських рішень. На базі цього способу розроблено інформаційну технологію адаптивного управління пропускнуою здатністю вузлового обладнання між його портами, що забезпечує більш високі показники якості управлінських рішень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Муранов О.С. Дослідження можливостей прогнозування самоподібного трафіка у пакетних мережах / Муранов О.С. // Моделювання та інформаційні технології : Зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. – К. : ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова НАН України, 2007. – № 44. – С. 98-106.
2. Муранов О.С. Удосконалення механізму згладжування пакетного трафіку типу «відро токенів» / Муранов О.С. // Проблеми інформатизації та управління : Зб. наук. праць. – К. : НАУ, 2009. – № 2 (26). – С.125-130.
3. Муранов О.С. Експериментальні дослідження механізмів прогнозування пульсацій пакетного трафіку / Муранов О.С. // Защита информации : Сб. научн. трудов Национального авиационного университета. – К. : НАУ, 2008. – Специальный выпуск. – С.137-142.
4. Муранов О.С. Метод динамічного перерозподілу продуктивності пакетного комутатора між його портами з використанням механізму прогнозування пульсацій трафіку / О.С. Муранов, В.М. Чуприн, В.Г. Потапов // Проблеми інформатизації та управління : Зб. наук. праць. – К. : НАУ, 2008. – № 2 (24). – С.136-144.
5. Муранов О.С. Дослідження впливу механізму прогнозування трафіку на якість системи адаптивного керування комутатором / О.С. Муранов, Ю.А. Кочергін, В.М. Чуприн // Проблеми інформатизації та управління : Зб. наук. праць НАУ. – К. : НАУ, 2009. – Випуск 1 (25). – С.137-143.
6. Алгоритм прогнозування пульсацій пакетного трафіку за процедурою Бокса-Дженкінса : зб. наук. праць за матеріалами міжнар. наук.-тех. конф. [«Комп'ютерні системи та мережні технології»], (Київ, 17-19 березня 2008 р.) / М-во освіти і науки України, Національний авіаційний університет. — К.: НАУ, 2008. — 69-74 с.
7. Програмне середовище для моделювання адаптивних систем управління смугами пропускання пакетного комутатора : Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції аспірантів і студентів [«Інженерія програмного забезпечення 2009»], (Київ, 14-16 вересня 2009 р.) / М-во освіти і науки України, Національний авіаційний університет [та ін.]. — К. : НАУ, 2009. — 40-42 с.
8. Механізми керування ресурсами пакетних мереж : Тези науково-практичної конференції, [«Захист в інформаційно-комунікаційних системах»], (Київ, 24-25 травня 2007 р.) / М-во освіти і науки України, Національний авіаційний університет [та ін.]. — К. : НАУ, 2007. — 25-26 с.
9. Імовірнісні характеристики пакетного трафіку : збірка тез науково-практичної конференції молодих учених та аспірантів, [«Інтегровані інформаційні технології та системи»] (Київ, 29-31 жовтня 2007 р.) / М-во освіти і науки України, Національний авіаційний університет [та ін.]. — К. : НАУ, 2007. — 77-79 с.
10. Пат. 43630 Україна, МПК⁹ Н 04 L 12/00, Н 04 В 7/005. Вузол керування комутаційним пристроєм / Муранов О.С., Кочергін Ю.А., Ткаліч О.П.;

ДОДАТОК А. Перелік матеріалів дипломної роботи

- 1 Титульна сторінка.doc
 - 2 Завдання.doc
 - 3 Реферат.doc
 - 4 Список умовних скорочень.doc
 - 5 Зміст.doc
 - 6 Вступ.doc
 - 7 Розділ 1.doc
 - 8 Розділ 2.doc
 - 9 Розділ 3.doc
 - 10 Висновки.doc
 - 11 Список літератури.doc
 - 12 Додаток А.doc
 - 13 Додаток В.doc
 - 14 Додаток Г.doc
- Презентація.pptx

ДОДАТОК В. Відгуки керівників розділів

В.1 Відгук керівника економічного розділу

Керівник розділу

_____ (підпис)

_____ (ініціали, прізвище)