

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра обчислювальної техніки**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

Сергій СТИРЕНКО

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерні системи та мережі»

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

**на тему: «Метод резервування та відновлення пакетів даних в глобальних
мережах та програмні засоби його моделювання»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ІО-361

Дмитро СОКОЛОВ

Керівник:

Доц. каф. ОТ, к. т. н.

Олександр МАРКОВСЬКИЙ

Консультант з нормоконтролю:

Професор, доктор технічних наук

Валерій СІМОНЕНКО

Рецензент:

Декан ФПМ, доктор технічних наук, професор

Іван ДИЧКА

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Факультет
інформатики та обчислювальної техніки Кафедра обчислювальної
техніки**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) Спеціальність –
123 «Комп’ютерна інженерія» Освітньо-професійна програма
«Комп’ютерні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Сергій СТИРЕНКО

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Дмитру СОКОЛОВУ

1. Тема проекту «Метод резервування та відновлення пакетів даних в глобальних мережах та програмні засоби його моделювання», керівник проекту Марковський Олександр Петрович, доцент, к. т. н., затвержені наказом по університету від «07» травня 2020 р. №1081-с
2. Термін подання студентом проекту 02.06.2020
3. Вихідні дані до проекту технічна документація
4. Зміст пояснювальної записки

Технології забезпечення надійності передачі даних в глобальних мережах та виправлення помилок передачі даних в каналах із спектральною модуляцією. Розробка методу і технології резервування і відновлення втрачених пакетів даних. Розробка програмних засобів моделювання методу резервування та відновлення даних.

5. Перелік графічного матеріалу

Схема електрична структурна АПК відновлення пакетів даних в глобальних мережах, Блок контролю схема електрична принципова, схема алгоритму процедури відновлення блоку даних.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Валерій СИМОНЕНКО		

7. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	<i>Затвердження теми роботи</i>		
2.	<i>Вивчення літератури</i>	20.12.2019-14.01.2020	
3.	<i>Створення та узгодження технічного завдання</i>	15.01.2020-26.01.2020	
4.	<i>Розробка методу формування резервних пакетів</i>	27.01.2020-14.02.2020	
5.	<i>Розробка програмної моделі</i>	15.02.2020-30.04.2020	
6.	<i>Відлагодження програми та виправлення помилок</i>	01.05.2020-15.05.2020	
7.	<i>Оформлення документації дипломного проєкту</i>	16.05.2020-06.06.2020	
8.	<i>Захист програмного продукту</i>	18.05.2020	
9.	<i>Передзахист</i>	24.05.2020	
10.	<i>Захист</i>		

Студент

Дмитро СОКОЛОВ

Керівник

Олександр
МАРКОВСЬКИЙ

Анотація

Ціллю представлених в дипломному проекті досліджень є забезпечення надійності зберігання даних користувачів на віддалених серверах на основі хмарних технологій за рахунок резервування інформації та її відновлення при втраті.

Формування резервних блоків пропонується здійснювати на основі лінійних перетворень, що дозволяє спростити та прискорити процес реконструювання втрачених даних. Для підвищення ефективності запропоновані та досліджені математичні моделі, які дозволяють використовувати мінімальну кількість резервних блоків для відновлення фіксованої кількості втрачених інформаційних блоків. Сформульовані умови гарантування відновлення всіх інформаційних блоків, за умови, що загальна кількість втрачених блоків не перевищує трьох.

Розроблено організацію резервування даних із використанням лінійних перетворень за допомогою мінімальної кількості резервних блоків за умови, що кількість втрачених блоків (основних і резервних) не перевищує трьох.

Результати досліджень можуть бути використані для підвищення надійності довготривалого зберігання даних користувачів в хмарних сховищах.

Ключові слова: «хмари», віддалені носії, відновлення блоків даних, лінійні перетворення, резервування даних.

Abstract

The goal of presented by diploma project research is to point out the problem of ensuring the reliability of user data storage on remote servers based on cloud technologies by backing up information and recovering it in case of loss.

The formation of backup blocks is proposed to be carried out on the basis of linear transformations, which simplifies and accelerates the process of reconstruction of lost data. To increase the efficiency mathematical models are proposed and researched, which allow to use the minimum number of backup blocks to recover a fixed number of lost information blocks. The conditions for guaranteeing the recovery of all information blocks are formulated, provided that the total number of lost blocks does not exceed three.

The organization of data redundancy with the use of linear transformations with the help of the minimum number of reserve blocks is developed, provided that the number of lost blocks (main and reserve) does not exceed three.

The results of research can be used to increase the reliability of long-term storage of user data in cloud storage.

Keywords: clouds, remote storage devices, data block recovery, linear transformations, data backup.

Аннотация

Целью выполненных в рамках дипломного проекта исследований является обеспечение надежности хранения данных пользователей на удаленных серверах на основе облачных технологий за счет резервирования информации и ее восстановление при потере.

Формирование резервных блоков предлагается осуществлять на основе линейных преобразований, позволяет упростить и ускорить процесс реконструкции утраченных данных. Для повышения эффективности предложены и исследованы математические модели, которые позволяют использовать минимальное количество резервных блоков для восстановления фиксированного количества потерянных информационных блоков. Сформулированные условия обеспечения восстановления всех информационных блоков, при условии, что общее количество потерянных блоков не превышает трех.

Разработано организацию резервирования данных с использованием линейных преобразований с помощью минимального количества резервных блоков при условии, что количество утраченных блоков не превышает трех.

Результаты исследований могут быть использованы для повышения надежности хранения данных пользователей в облачных хранилищах.

Ключевые слова: «облака», отдаленные носители, восстановление блоков данных, линейные преобразования, резервирования данных.

Технічне завдання

ЗМІСТ

1. НАЙМЕНУВАННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ	2
2. ПІДСТАВИ ДЛЯ РОЗРОБКИ	2
3. МЕТА ТА ПРИЗНАЧЕННЯ РОЗРОБКИ.....	2
4. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ.....	3
5. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ.....	3
5.1. Вимоги до продукту, що розробляється	3
5.2. Вимоги до програмного забезпечення	4
5.3. Вимоги до апаратної частини	4
6. ЕТАПИ РОЗРОБКИ	4

					ІАЛЦ 468243.002 ТЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Технічне завдання					
Розробив		Соколов Д.В.						Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Марковський О.П.							1	5
Н. Контр.		Сімоненко В.П.						НТУУ «КПІ» ФІОТ		
Затвердив								гр. ІО-зб1		

1. НАЙМЕНУВАННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Технічне завдання поширюється на розробку нового методу резервування та відновлення пакетів даних в глобальних мережах та програмні засоби його моделювання

Область застосування – системи моніторингу стану об'єктів та комп'ютерного управління ними в реальному часі в яких для обміну даними використовуються глобальні мережі.

2. ПІДСТАВИ ДЛЯ РОЗРОБКИ

Підставою для розробки є завдання на виконання роботи кваліфікаційно-освітнього рівня “бакалавр комп'ютерної інженерії”, затверджене кафедрою обчислювальної техніки Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”.

3. МЕТА ТА ПРИЗНАЧЕННЯ РОЗРОБКИ

Мета проекту полягає в підвищенні надійності та оперативності доставки інформації в глобальних мережах за рахунок використання більш ефективного методу резервування та відновлення втрачених чи спізнілих пакетів, який відрізняється більшою швидкістю відновлення втрачених пакетів. Розробка призначена для підвищення рівня надійності та оперативності передачі пакетів даних в системи моніторингу стану об'єктів та комп'ютерного управління ними в реальному часі в яких для обміну даними використовуються глобальні мережі.

					ІАЛЦ 468243.002 ТЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

4. ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

- 4.1 Стіренко С.Г. Забезпечення безперервного відтворення потокового відео в однорангових мережах з використанням erasures кодів / С.Г. Стіренко, А.В., Габінет, Ю.В. Костенко // Вісник НТУУ "КПІ". Інформатика, управління та обчислювальна техніка: збірник наукових праць. – К.: "Век+", 2015. – № 62. – С. 105–110.
- 4.2 Johnny M. A Multi-Level Encoding and Decoding Strategy for Binary Erasure Channel / M. Johnny, M.R.Aref // IEEE Transaction on Information Theory.- 2019.- Vol. 65.- No. 7.- P. 4143-4151.
- 4.3 Czap L. Secure Network Coding with Erasures and Feedback./ L. Czap, C. Fragouli, V. Phabhakaran, S. Diggavi // IEEE Transaction on Information Theory.- 2015.- Vol. 61.- No. 4.- P. 1667-1686.
- 4.4 Gluesing-Luessen H. Symbol Erasure Correction in Random Network with Spread Codes / H. Gluesing-Luessen, A.L. Horlemann-Trautmann // IEEE Transaction on Information Theory.- 2019.- Vol. 65.- No. 4.- P. 2075-2091.
- 4.5 Fan X. Variable Packet-Error Coding / X.Fan, O.Kosut, A.B. Wagner // IEEE Transaction on Information Theory.- 2018.- Vol. 64.- No. 3.- P. 1530-1547.
- 4.6 Русанова О.В. Використання лінійних кодів для відновлення втрачених пакетів даних в глобальних мережах / О.В.Русанова, О.П.Марковський, О.О.Замалдінов // Альманах науки.- 2020.- № 2 (35).- С.35-38.

5. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

5.1. Вимоги до продукту, що розробляється

5.1.1 Формування резервних пакетів має виконуватися у вигляді логічної суми інформаційних пакетів.

					ІАЛЦ 468243.002 ТЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1.2 Метод має забезпечувати гарантоване відновлення втрачених інформаційних пакетів при загальній кількості втрачених або затриманих понад критичний час пакетів – не більше чотирьох.

5.1.3 Кількість інформаційних пакетів – не більше 32.

5.1.4 Ймовірність відновлення п'яти втрачених інформаційних пакетів– 0.92

5.1.5 Кількість операцій логічного додавання для відновлення втраченого інформаційного пакету – не більше половини від кількості інформаційних пакетів.

5.2. Вимоги до програмного забезпечення

- Операційна система MS Windows 10
- Visual Studio 2017
- C++11

5.3. Вимоги до апаратної частини

- Процесор рівня Intel i5 і вище.
- Оперативна пам'ять не менше 500 МБ.
- Вільне місце на жорсткому диску не менше 100 МБ.

6. ЕТАПИ РОЗРОБКИ

	Дата
Вивчення літератури	20.12.2019
Створення та узгодження технічного завдання	15.01.2020
Вивчення літературних джерел	27.01.2020
Розробка методу формування резервних пакетів	14.02.2020

					ІАЛЦ 468243.002 ТЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Розробка програмної моделі

01.05.2020

Відлагодження програми та виправлення помилок

15.05.2020

Оформлення документації дипломного проекту

06.06.2020

					ІАЛІЦ 468243.002 ТЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пояснювальна записка

ЗМІСТ

ВСТУП	2
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ ВИПРАВЛЕННЯ ПОМИЛОК ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДАНИХ ПРИ ПЕРЕДАЧІ В МЕРЕЖАХ	5
1.1. Аналіз проблеми забезпечення надійності передачі даних	5
1.2. Огляд існуючих засобів виправлення та відновлення даних	11
Висновки до розділу 1	15
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДУ РЕЗЕРВУВАННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ ВТРАЧЕНИХ ПАКЕТІВ ДАНИХ	17
2.1. Розробка методу резервування та відновлення двох втрачених пакетів даних	18
2.2. Розробка методу резервування та відновлення трьох втрачених пакетів даних	21
2.3. Розробка методу формування резервних пакетів для гарантованого відновлення чотирьох втрачених пакетів	31
2.4. Розробка технології відновлення пакетів даних	36
Висновки до розділу 2	40
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ РЕЗЕРВУВАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДАНИХ	42
3.1. Опис структурної організації даних	43
3.2. Розробка основних програмних модулів	44
Висновки до розділу 3	52
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	58
ДОДАТКИ	61

Лістинги програм

ВСТУП

За останнє десятиліття в усіх сферах людської діяльності спостерігається стійка тенденція зростання ролі Інтернету в процесах обробки інформації. Зокрема, чітко прослідковується поступове витіснення ним традиційного телебачення та зміна способу телефонного зв'язку. Крім того, набирає обертів триває спостерігається процес поширення Інтернету в нові сфери застосування.

В сучасних умовах проблема забезпечення надійності і оперативності доставки даних в глобальній мережі Інтернет набуває принципового значення. Це зумовлене тим, що поступальний розвиток мережових технологій та успіхи інтегральної схемотехніки зумовили використання мережі Інтернет для моніторингу стану об'єктів реального світу, а також для управління об'єктами в режимі реального часу. Головною передумовою використання Інтернету в якості середовища передачі даних для систем комп'ютерного управління віддаленими об'єктами в реальному часі стала поява дешевих і надійних мікросхем радіо модемів. Це дозволило значно дешевше в порівнянні з провідними лініями вирішити проблему обміну даними на далекій відстані між центральним комп'ютером системи управління та термінальними пристроями: об'єктами управління.

Прикладом системи моніторингу стану об'єктів реального світу з використанням в якості середовища обміну даних Інтернету є сучасні системи відео спостереження. Використання Інтернету в якості середовища збору інформації дозволяє оперативно змінювати локацію засобів моніторингу, концентруючи їх на найбільш важливих місцях. Сама відсутність необхідності використовувати провідні лінії значно здешевшує організацію моніторингу за допомогою Інтернет.

Прикладом управління процесами та об'єктами реального світу через середовище Інтернет є широке застосування управління світлофорами по

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						2
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

результатам відеоспостереження за перехрестями, обробки результатів спостереження засобами штучного інтелекту і видачу управляючих сигналів на світлофори задля забезпечення ефективного регулювання руху автомобілів та людей через перехрестя.

Всі ці застосування вимагають високої надійності та оперативності доставки даних. Технологія виділених каналів, яка, зазвичай використовується в глобальних мережах для забезпечення оперативності доставки інформації в світлі вже найближчих перспектив не виглядає ефективним рішенням з огляду на збільшення на порядки кількості передач, які мають відбуватися одночасно.

Проблема забезпечення доступності та інформаційної безпеки при реалізації прогресивної концепції віддаленої обробки та зберігання їх даних має принципове значення для розвитку та розширення використання відповідних технологій. Тільки при забезпеченні неперервного доступу до інформації, що зберігається на віддалених носіях та її надійного захисту можуть бути на практиці досягнуті ті потенційно високі можливості, які відкривають технології віддаленого надання значних за обсягом ресурсів широкому коду користувачів.

Всі наведені чинники диктують необхідність пошуку нових підходів до підвищення оперативності доставки інформації в глобальних мережах. Одним із можливих варіантів полягає в тому, щоб разом з інформаційними пакетами посилати ще й додаткові, резервні пакети. Пакети передавати різними маршрутами з використанням прогресивних peer-to-peer технологій. Якщо до критичного часу не всі пакети отримані, то відновлювати затримані чи втрачені пакети за рахунок резервних.

Для реального впровадження цієї ідеї потрібно провести спеціальні дослідження і розробити способи найбільш ефективного резервування інформаційних пакетів.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, тема бакалаврської роботи, направленої на вдосконалення резервування та відновлення даних в каналах глобальних мереж є актуальною для сучасного етапу розвитку інформаційних та комп'ютерних технологій.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

МЕТОДИ ВИПРАВЛЕННЯ ПОМИЛОК ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДАНИХ ПРИ ЇХ ПЕРЕДАЧІ В МЕРЕЖАХ

Проблема забезпечення надійності передачі даних в глобальних мережах стає більш актуальною з розширенням використання Інтернету, як основного засобу доступу до інформації та обміну даними в усіх сферах людської діяльності [1]. Розширення використання глобальних мереж в якості середовища обміну даними в системах моніторингу та управління реального часу диктує жорсткі вимоги до часових характеристик доставки інформації. З іншого боку, збільшення використання Інтернету призводить до перевантажень трафіку.

За цих умов постає проблема забезпечення вчасної і надійної доставки інформації між компонентами систем управління, що працюють в реальному часі. Одним із можливих ефективних вирішень цієї актуальної проблеми є резервування пакетів даних, розсилку їх за різними маршрутами та оперативне відновлення тих із них, які втрачені, або дійшли до пункту призначення з запізненням.

1.1 Аналіз проблеми забезпечення надійності передачі даних

В сучасних глобальних мережах передача інформації здійснюється пакетами. Пакети передаються по каналам між послідовністю вузлів. Існуючі механізми передбачають контроль правильності передачі пакету на кожному з вузлів, тобто після отримання пакету [2]. В разі виникнення помилки передачі здійснюється корекція символічних спотворень з використанням нелінійних корегуючих кодів, зокрема з використанням коду Ріда-Соломона [3]. Якщо кратність виникаючої помилки перевищує

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

корегуючою здатність коду Ріда-Соломона, то виконується повторна передача пакету між вузлами. Повторна передача суттєвим чином затримує процес доставки повідомлень. Особливо це критично для систем контролю стану віддалених об'єктів чи управління ними. Достатньо часто на практиці пакети передаються потоком, як мультимедійні дані: відповідно, контроль правильності передачі пакету між вузлами при цьому не виконується. Це дозволяє прискорити процес доставки пакету на точку призначення за рахунок виключення циклів повторної передачі між вузлами. З іншого боку, при цьому накопуються помилки при кожному проходженні пакету між вузлами мережі [4].

В принципі, всі накопичені в процесі транспортування помилки передачі можуть бути виправлені безпосередньо в точки прийому. Аналіз показує, що застосування технологій корекції окремих символів при цьому стає малоефективним в силу накопичення помилок. Варіант повторної передачі пакету через всю мережу також для більшості практичних застосувань є неприйнятним. Вирішення цієї проблеми може бути знайдене в використанні резервних пакетів, які дозволяють відновити за рахунок передачі надлишкової інформації не окремі символи, а цілий пакет. При цьому використовується термінологія відновлення даних, яка відрізняється від корегування тим, що відсутній етап локалізації помилково переданих символів [5].

З іншого боку, передача резервних та інформаційних пакетів по різних маршрутах дозволяє прискорити передачі інформації користувачеві за рахунок того, що пакети, що не прибули вчасно можуть бути відновлені за рахунок тих пакетів (інформаційних та резервних), які доставлені вчасно.

Практичний інтерес становить і варіант організації передачі, за яким на кожному вузлі виконується контроль правильності передачі, але коригування з використанням кодів Ріда-Соломона здійснюється лише за умови, коли кількість символічних спотворень не перевищує корегуючу

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

здатність коду. При виникненні помилки, яка не може бути виправлена кодами Ріда-Соломона, пакет не корегується, в передається далі без затримки. Відновлення пошкодженого пакету в цьому варіанті використовується в точці прийому за рахунок резервних пакетів. Сам пакет після вузла, де виявлено непоправну помилку, передається як мультимедійні дані, без контролю правильності передачі між вузлами мережі.

Проведений вище аналіз показав, що існує два підходи до забезпечення надійності передачі пакетів даних в мережі Інтернет. Перший із них передбачає виявлення, локалізацію і корекцію помилок на кожній пересилці пакету між вузлами. Другий підхід передбачає відновлення пакету повністю за рахунок використання резервних пакетів, які доставляються по різних маршрутах.

В останні роки в глобальних мережах зростає питома вага мультимедійного трафіку [6]. При цьому, більшу частину цього мультимедійного трафіку займає передача потокового відео [7]. Реально, це показує процес заміни технологічної бази соціальної функції широкомовної масової передачі інформації: від ефірного телебачення та радіомовлення ця функція переходить до мережевих технологій. Ці технології забезпечують значно більші можливості вибору інформаційного продукту, універсальність апаратних засобів надання інформаційних послуг, часову та просторову мобільність їх отримання [8].

Це вимагає вдосконалення засобів та протоколів глобальних мереж, щоб забезпечити високу якість доставки інформаційного продукту кінцевому споживачу. Вузловим чинником якості доставки широкомовної потокової відеоінформації є забезпечення її неперервності [9].

При цьому, як показує аналіз [7], темпи збільшення об'єму передачі даних випереджають зростання пропускної здатності каналів. За цих умов, традиційна клієнт-серверна організація не забезпечує ефективну доставку широкомовної відеоінформації користувачам. Це зумовлене тим, що

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

передача даних з серверу кожному з клієнтів організується окремо, без урахування інших. Це призводить до дублювання доставки даних, що викликає перенавантаження серверу та ліній передачі даних.

Тому, в останні роки для доставки широкомовної відеоінформації широко використовуються ієрархічні структури, вузлами якої є споживачі відеоінформації. Практично ця ідея може бути втілена в рамках технології однорангових мереж (peer-to-peer або P2P) [11].

Однорангова мережа – це віртуальна мережа, що з'єднує на логічному рівні певну підмножину абонентів фізичної мережі. Основною відмінністю логічної організації однорангових мереж від клієнт-серверної, є те, що абоненти можуть виконувати однакові функції, тобто бути як передавачами так і приймачами даних [11]. Іншими словами, в таких мережах не існує фіксованих серверів та клієнтів, а її вузли одночасно функціонують як клієнти та сервери по відношенню до інших вузлів мережі. Зрозуміло, що така однорангова мережа може бути зконфігурована у вигляді ієрархічної структури передачі широкомовної відеоінформації без її дублювання. Це суттєвим чином зменшує об'єм трафіку і навантаження на канали передачі даних [10].

З іншого боку, відхід від традиційної схеми доставки даних негативно впливає на надійність. При доставці інформації через ланцюжок вузлів однорангової мережі існує ймовірність асинхронного відключення їх. Це призводить фактично до порушення віртуального каналу передачі відеоінформації. Відповідно виникає потреба реконфігурування мережі доставки відеоінформації. Це потребує певного часу, на протязі якого доставка відеоінформації кінцевому споживачу переривається. Для виключення перерв в доставці інформації також може бути використана технологія резервування інформації та відновлення втрачених пакетів за рахунок резервних [12].

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Задача резервування доставки відеоданих може бути сформульована таким чином. Для кожного кінцевого споживача інформації існує шлях її доставки через певні вузли ієрархічної структури. Можна вважати, що потік даних організовано у вигляді послідовності пакетів p_1, p_2, \dots . При асинхронному відімкненні одного з вузлів передачі, надходження даних припиняється, що може бути виявлено апаратурою кінцевого споживача. Через проміжок часу Δt , потрібного для реконфігурування мережі, доставка основного потоку даних відновлюється. Якщо позначити темп передачі пакетів (середній проміжок часу між надходженням двох суміжних пакетів) через τ , то максимальна кількість l втрачених пакетів відеозображень за Δt – максимальний час, потрібний для перебудови мережі, становить $l = \Delta t / \tau$ [13].

Фактичне значення τ може бути визначене через параметри протоколу передачі відеоданих. В вершині однорангової мережі розташовується сервер, який отримує відеопотік від виробників контенту (телевізійних компаній). Згодом, відеопотік кодується і передається користувачам по мережі IP у вигляді послідовності пакетів даних. Швидкість кодування на сервері (бітрейт) характеризується кількістю бітів, які використовуються для збереження однієї секунди відеоконтенту [15]. При підключенні абонента до мережі за допомогою протоколу SDP (протокол опису сесії передачі потоку відеоданих) він отримує повідомлення, в якому вказана швидкість R кодування відеоданих на сервері. Відповідно, $\tau = R/L$, де L – встановлений розмір пакету.

В якості основних критеріїв ефективності вирішення задачі забезпечення неперервності широкомовної доставки відеоінформації в однорангових мережах виступають:

- об'єм обчислювальних ресурсів абонента, необхідних для відновлення втрачених даних.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- об'єм надлишкової інформації, що передається в одноранговій мережі.

- рівень якості демонстрації відеоінформації.

Оцінка об'єму обчислювальних ресурсів абонента, необхідних для відновлення втрачених даних, зазвичай, включає в себе обчислювальну складність, кількість процесорних операцій, а також об'єм пам'яті, потрібних для розв'язання процедури відновлення. Об'єм надлишкової інформації для задач резервування інформації в комп'ютерних мережах найчастіше оцінюється через співвідношення h швидкості передачі основного потоку доставки інформації до резервного потоку. Чим більше значення h – тим більш ефективним є резервування. Рівень якості пред'явлення відеоінформації оцінюється низкою параметрів, найбільш суттєвими з яких є відсутність перерв в демонстрації відеозображень та сталість темпу їх пред'явлення.

Інші технології пов'язані з повним або частковим дублюванням передачі даних. При цьому дублюючі відеодані передаються за іншим маршрутом. В найпростішому випадку, мова йде про просте дублювання передачі [7]. Очевидний недолік такого рішення полягає в створенні значного надлишкового навантаження на лінії передачі даних.

Більше ефективним рішення є використання часткового дублювання передачі інформації. Широко відомою технологією цього типу є використання корегуючих кодів Ріда-Соломона [8]. Ці корегуючі коди дозволяють відновити будь-яку кількість l втрачених при передачі пакетів з n переданих, за рахунок додаткової передачі вдвічі більшої кількості пакетів $2 \cdot l$. Недоліком кодів Ріда-Соломона є те, що процес відновлення даних при їх використанні, в математичному сенсі зводиться до розв'язання системи нелінійних рівнянь. Ця система технологічно розв'язується методом перебору, так, що обчислювальна складність процесу відновлення становить $O(l \cdot n)$, тобто процес відновлення вимагає значних обчислювальних ресурсів.

Основна проблема забезпечення надійності передачі даних, полягає в тому, що в високодинамічних середовищах, таких як бездротові мережі, рівні шуму на кожній лінії зв'язку можуть сильно відрізнятися в часі і отже їх важко оцінити. Завдяки еволюції Інтернету речей (IoT) велика частина нових технологій ґрунтується на відкритих системах і мережах, що призводить до нестабільності фізичного середовища і вразливостей.

Наприклад, на заводі, де пристрої підключені і спілкуються по бездротовій мережі, вантажівка, що проходить, може пошкодити частину передачі по деяких каналах зв'язку, де точно місце розташування збоїв важко правильно передбачити. По-перше, оскільки в мережі існує шум, пряме виконання мережевого кодування може спотворити всю інформацію, що надходить в приймач.

Це пов'язано з тим, що всі вузли змішують інформацію, тому навіть невелика кількість змінених бітів в переданих пакетах може привести до пошкодження всієї інформації, що передається в мережі, що призведе до помилок декодування.

Це не дозволяє досягти високої ефективності вирішення специфічної задачі відновлення відеоінформації при її ширококомовній доставці при використанні існуючих erasures-кодів. Відповідно, постає наукова задача створення erasures-кодів, які б за рахунок урахування специфічних особливостей забезпечення неперервності доставки ширококомовної відеоінформації в однорангових мережах, забезпечували високу ефективність відновлення втрачених даних.

1.2 Огляд існуючих засобів виправлення та відновлення даних

Надійність передачі даних в мережі Інтернет забезпечується на різних рівнях. На транспортному рівні вбудованими засобами пакету здійснюється виявлення помилок передачі даних [1], їх локалізація та виправлення за допомогою корегуючих кодів [2]. проте використання корегуючи кодів типу

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

кодів Ріда-Соломона [3] малоефективне: з ростом кількості помилок експоненційно зростає час їх виправлення та відповідним чином ускладнюється схема. Тому, такі коди застосовуються на найнижчому рівні для виправлення невеликої (1-2 байти) кількості помилок в пакеті. При більшій кратності помилок в існуючих системах основним способом їх виправлення є запит на повторну передачу пакету. Це суттєвим чином збільшує затримку доставки пакету. Така технологія виправлення помилок не підходить для більшості нових застосувань мережі Інтернет в якості середовища обміну інформації систем, що працюють в реальному часі [3].

Ефективність методів та засобів відновлення даних можна характеризувати через такі критерії:

- функціональні, які характеризують здатність вирішувати задачу відновлення даних: наприклад, кількість пакетів, які гарантовані можуть бути відновлені, ймовірність відновлення двох, трьох, чотирьох і так далі кількості помилок;

- обчислювальні, що характеризують ефективність реалізації відновлення пакетів даних на програмному та апаратному рівнях: час відновлення втрачених пакетів даних, обчислювальна та часова складність процедур відновлення пакетів;

- інформаційні, що характеризують рівень інформаційної надлишковості для відновлення втрачених даних, тобто кількість резервних пакетів, які використовуються.

Аналіз динаміки розвитку технологій передачі даних в глобальних мережах свідчить про зміну значимості наведених критеріїв ефективності відновлення втрачених пакетів даних. Динамічне підвищення швидкості передачі зумовлює зростання значимості оцінки обчислювальної складності операцій відновлення втрачених пакетів даних, яка визначає можливість виконання цих операцій для підвищення оперативності доставки інформаційних пакетів в глобальній мережі. При цьому знижується

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

значимість, як критерію ефективності, числа резервних пакетів, які додатково передаються.

Витрати обчислювальних ресурсів на виконання функцій контролю та виправлення помилок значні, що пояснюється застосуванням у коду Ріда-Соломона операцій множення на полях Галуа, які не підтримуються процесорами.

Суттєвим недоліком розглянутих корегуючих кодів є висока обчислювальна складність процесів локалізації і корекції спотворених при передачі символів, пов'язана з необхідністю розв'язання систем нелінійних символічних рівнянь в арифметиці полів Галуа [34]. Як відомо, не існує загального методу розв'язання системи нелінійних булевих рівнянь: єдиним методом є перебір. Враховуючи, що архітектура сучасних процесорів не розрахована на виконання операцій на полях Галуа, для швидкої корекції помилок з використанням корегуючих кодів здебільшого використовуються спеціальні апаратні засоби. Обчислювальна складність реалізації корекції залежить від кількості символів, які здатен корегувати код.

Більш ефективними в плані витрат обчислювальних ресурсів та надлишковості передачі інформації є erasures-коди [9]. Принципова відмінність між ними та корегуючими кодами полягає в тому, що вони не виконують локалізації втрачених чи помилково переданих пакетів. Ці функції, при застосуванні erasures-кодів мають виконуватися мережевими засобами. Переважна більшість erasures-кодів в якості математичної бази використовують лінійні коди (LT- кодування). Це забезпечує швидку та ефективну обчислювальну реалізацію процесу відновлення. Найбільш відомим типом erasures-кодів є Raptor [12], який дозволяє відновлювати довільну кількість втрачених пакетів з n переданих. Така висока здатність до відновлення даних досягається за рахунок високого рівня надлишковості – більшу ніж 100%.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Існуючі різновиди erasures-кодів не враховують специфічних особливостей викладеної вище задачі відновлення відеоданих при ширококомовній доставці відеоінформації, а саме:

- існування обмеження на кількість втрачених пакетів;
- того, що втрачені пакети відеоданих є суміжними, тобто фактично мова йде про відновлення “пачки” пакетів.

Надійність передачі даних в мережі Інтернет забезпечується на різних рівнях. На транспортному рівні вбудованими засобами пакету здійснюється виявлення помилок передачі даних [1], їх локалізація та виправлення за допомогою корегуючих кодів [2]. проте використання корегуючи кодів типу кодів Ріда-Соломона [3] малоефективне: з ростом кількості помилок експоненційно зростає час їх виправлення та відповідним чином ускладнюється схема. Тому, такі коди застосовуються на найнижчому рівні для виправлення невеликої (1-2 байти) кількості помилок в пакеті. При більшій кратності помилок в існуючих системах основним способом їх виправлення є запит на повторну передачу пакету. Це суттєвим чином збільшує затримку доставки пакету. Така технологія виправлення помилок не підходить для більшості нових застосувань мережі Інтернет в якості середовища обміну інформації систем, що працюють в реальному часі [3].

Тому в останнє десятиліття розпочалося впровадження технологій виправлення помилок на більш високому рівні – тобто на рівні пакетів. Застосування такого підходу дозволяє вирішувати задачі не тільки захисту від помилок, що виникають при передачі пакетів в ефірних каналах, де діють електромагнітні-завади, але й відновлення втрачених або затриманих понад встановлений часовий ліміт пакетів [14].

До теперішнього часу запропоновано ряд способів [15-18] формування резервних пакетів і відновлення за їх допомогою втрачених інформаційних пакетів. При цьому використовуються нелінійні (циклічні) коди, що забезпечує мінімальний рівень резервування, тобто мінімальну кількість

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контрольних пакетів при заданій кількості пакетів даних, які потрібно відновлювати. Проте такий підхід ефективний лише за умови, що кількість втрачених або переданих з помилками пакетів відносно невелика: 1-2. При збільшенні кількості пакетів, які потрібно відновлювати швидко зростає об'єм потрібних для цього обчислювальних ресурсів: відповідно, різко уповільнюються процес відновлення втрачених пакетів.

Існуючі технології відновлення втрачених пакетів в глобальних мережах на основі MDS (Maximum Distance Separable) кодів розраховані на відновлення 1-2 пакетів, до то ж процес відновлення з використанням цих кодів займає багато часу, оскільки в них використовуються нелінійні перетворення. Зі збільшенням кількості пакетів, які відновлюються складність реалізації процесу відновлення зростає експоненційно в силу того, що потрібно розв'язувати систему нелінійних рівнянь. Такі рівняння розв'язуються методом підбору, що зумовлює помітний час відновлення втрачених пакетів. На практиці MDS коди переважно використовуються для відновлення втрачених блоків даних при їх віддаленому зберіганні. Для цих застосувань час відновлення не є критичним. Для відновлення даних в глобальних мережах потрібні більш швидкодіючі методи відновлення втрачених даних.

Таким чином, найбільш критичний недолік існуючих методів відновлення втрачених пакетів при їх передачі через мережу Інтернет полягає в тому, що вони орієнтовані за використання теоретично мінімальної кількості контрольних пакетів, що має наслідком застосування складних обчислювальних процедури, реалізація яких потребує багато часу і значних за обсягом обчислювальних ресурсів.

Висновки до розділу 1

В результаті виконаного в першому розділі дипломного проекту аналізу особливостей сучасного етапу розвитку технологій передачі інформації в мережі Інтернет з точки зору надійності доставки передачі, а

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

також огляду існуючих методів виправлення помилок та відновлення втрачених даних можна зробити такі висновки:

1. Основними напрямками вдосконалення глобальних мереж є підвищення швидкості передачі даних, розширення використання вразливих впливу зовнішніх завад ефірних каналів зумовлене широким заснуванням мобільних обчислювальних платформ. Прискорення передачі даних підвищує негативний впливу міжсигнальної інтерференції на збільшення ймовірностей виникнення помилок на каналному рівні. В умовах сучасної реальності компроміс між пропускнуою здатністю каналів передачі даних та надійністю передачі має тенденцію до вирішення на користь швидкості передачі. Швидкий прогрес інтегральної схемотехніки надає широкі можливості застосування складних ефективних схем вправлення помилок та відновлення втрачених даних.

2. Підвищення надійності доставки даних в глобальних мережах, забезпечення безперебійної доставки потоків даних в однорангових мережах може бути досягнуте за рахунок застосування ефективних методів формування резервних пакетів, які передаються різними маршрутами до точки прийому і можуть бути використані для відновлення певної підмножини інформаційних пакетів, які втрачені або затримані понад критичний час в процесі транспортування до кінцевої точки.

3. Існуючі технології відновлення втрачених пакетів в глобальних мережах на основі MDS кодів розраховані на відновлення 1-2 пакетів, до то ж процес відновлення з використанням цих кодів займає багато часу, оскільки в них використовуються нелінійні перетворення. Зі збільшенням кількості пакетів, які відновлюються складність реалізації процесу відновлення зростає експоненційно в силу того, що потрібно розв'язувати систему нелінійних рівнянь. Такі рівняння розв'язуються методом підбору, що зумовлює помітний час відновлення втрачених пакетів. На практиці MDS коди переважно використовуються для відновлення втрачених блоків даних при

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

їх віддаленому зберіганні. Для цих застосувань час відновлення не є критичним. Для відновлення даних в глобальних мережах потрібні більш швидкодіючі методи відновлення втрачених даних. Тому, для радикального підвищення швидкості відновлення пакетів даних потрібно розробляти методи, в яких відновлення зводиться до розв'язання систем лінійних рівнянь, що може бути виконано аналітично, тобто доволі швидко відомими методами.

					ІАЛЦ.468243.003 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МЕТОДУ РЕЗЕРВУВАННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ ВТРАЧЕНИХ ПАКЕТІВ ДАНИХ

З появою хмарних технологій та нових вимог щодо передачі інформації через глобальні мережі постають нові задачі відновлення даних. Головна відмінність задачі відновлення даних при її передачі в глобальних мережах полягає в тому, що на рівні блоків (пакетів) даних зникає потреба в локалізації помилок, яка головним елементом існуючих корегуючих кодів. Відновлюючі коди містять вбудовані засоби контролю втрачених блоків даних. Тому спостерігається зміщення акцентів з використання класичних корегуючих кодів все ширшого застосування відновлюючих (erasure) кодів.

Для багатьох вадливих практичних застосувань на передній план виходить такий критерій, як час відновлення. Час відновлення є критичним, оскільки багато систем працює в режимі реального часу. При цьому не втрачається значення такого традиційного критерію ефективності як кількість резервних пакетів. Для апаратної реалізації важливим я використання простих процедур відновлення, які можуть бути розпаралелені на апаратному рівні.

В рамках поточного розділу вирішується задача розробки ефективного методу формування резервних пакетів у вигляді логічної суми інформаційних пакетів, включаючи процедуру відновлення втрачених пакетів, її оптимізацію за критерієм використання мінімального часу відновлення. Метод має гарантувати відновлення всіх втрачених інформаційних пакетів при втраті не більше ніж трьох або чотирьох пакетів (інформаційних і резервних) з використанням мінімальному і теоретико-інформаціоному плані числа резервних пакетів.

Відповідно, дослідження першого підрозділу концентруються на розробці методу гарантованого відновлення втрачених пакетів, за умови, що їх кількість не перевищує трьох. Другий підрозділ поточного розділу

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

присвячено теоретичному обґрунтуванню, розробці та дослідженню методу гарантованого відновлення втрачених пакетів, за умови, що їх кількість не перевищує чотирьох.

2.1 Розробка методу резервування та відновлення двох втрачених пакетів даних

В рамках досліджень розглядається наступна модель передачі пакетів в мережі. Інформація, яка передається організована у вигляді n основних пакетів B_1, B_2, \dots, B_n . Пакети містять контрольні коди, які дозволяють виявити помилку, що виникла в процесі передачі. На транспортному рівні наявність таких засобів, які дозволяють виявити помилку і навіть виправити її при малій кратності передбачені існуючими мережевими протоколами [12].

Прийнята модель передбачає, що передача пакетів мережі Інтернет здійснюється за різними маршрутами, в залежності від зміни трафіку. При цьому, маршрут передачі може включати фрагменти однорангових peer-to-peer мереж [13]. Для таких фрагментів існує можливість асинхронного відключення одного з них, з тимчасовим порушенням віртуального каналу. Для широкого класу режимів передачі при цьому може відбуватися втрата деяких пакетів даних.

Для широкого кола систем комп'ютерного моніторингу за станом об'єктів реального світу та систем комп'ютерного віддаленого управління реальними технічними та технологічними об'єктами Інтернет використовується, як засіб обміну даними. Такі та подібні застосування Інтернету в системах управління реального часу висуває якісно більш жорстокі вимоги до оперативності та надійності передачі пакетів даних. Для таких застосувань, що специфіка об'єктів моніторингу чи управління визначає критичну часову межу часу, до якої інформація повинна бути доставлена від передаючої сторони до приймаючої. Технологія Інтернет

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передбачає передачу інформації пакетами різними маршрутами в залежності від трафіку. Зрозуміло, що різні пакети інформаційного повідомлення можуть доставлятися на приймаючу сторону в різні моменти часу. Одним із способів забезпечення заданої оперативності доставки даних через глобальну мережу є використання резервних пакетів, які розсилаються різними маршрутами, з тим, щоб по досягненню критичної часової межі за отриманими вчасно пакетами відновити ті, що не доставлені до вказаної критичної часової межі.

Крім того, часто специфіка широкого кола практичних задач визначає критичний час доставки пакетів, після чого вони втрачають актуальність.

Таким чином, поняття втрати пакету включає три ситуації [14]:

- виникнення помилок передачі, що не можуть бути виправлені існуючими протоколами наявними в пакеті надлишковими кодами;
- втрата пакету в процесі передачі по глобальній мережі;
- доставка пакету на сторону приймача після визначеної граничної часової межі.

Для відновлення втрачених пакетів пропонується разом з n основними передавати k резервних пакетів Q_1, Q_2, \dots, Q_k , які формуються спеціальним чином з інформації, що міститься в основних пакетах.

Для того, щоб скоротити час відновлення втраченого пакету пропонується формувати резервні пакети та відновлювати втрачені з використанням лінійних булевих перетворень. Вагома перевага застосування лінійних булевих перетворень в якості алгебраїчного базису для формування резервних кодів та відновлення втрачених полягає в граничній простоті апаратної реалізації. За цих умов кожен l -тий резервний пакет, $l \in \{1, 2, \dots, k\}$, формується як логічна сума певної підмножини інформаційних пакетів:

$$Q_j = \bigoplus_{i=1}^n a_{l,i} \cdot B_l \quad (2.1)$$

де $a_{l,i} \in \{0, 1\}$ – бінарні коефіцієнти.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Бінарні коефіцієнти a в формулі (2.1) утворюють матрицю A :

$$A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,k} \\ & & \vdots & \\ a_{k,1} & a_{k,2} & \cdots & a_{k,n} \end{pmatrix}$$

На стороні приймача, в разі неотримання частини інформаційних пакетів, які утворюють множину Ω до критичного моменту часу, вони вважаються втраченими. Якщо їх кількість не перевищує деякої граничної межі, то втрачені пакети можуть бути відновлені шляхом виконання лінійних перетворень над отриманими вчасно основними і резервними пакетами.

Якщо кількість допустимо втрачених пакетів дорівнює одиниці, то цілком очевидним рішенням є формування матриці A у вигляді одного рядка, який містить всі одиниці. Іншими словами, резервний пакет формується як сума за модулем 2 всіх інформаційних пакетів.

При втраті i -го інформаційного пакету відновлення його відбувається за наступною формулою:

$$B_i = Q \oplus \bigoplus_{j=1}^{i-1} B_j \oplus \bigoplus_{q=i+1}^n B_q. \quad (2.2)$$

При втраті двох пакетів можливі дві ситуації:

- обидва втрачених пакетів відносяться до класу інформаційних;
- один втрачений пакет є інформаційним, а другий – контрольним.

Для того, щоб відновити інформаційні пакети в першій ситуації необхідно, щоб в матриці A існував рядок, що складається лише з одиниць і Хемінгова відстань між будь-якою парою стовпців матриці A була не менше одиниці. Іншими словами, в матриці A не має бути однакових стовпців.

Якщо кількість допустимо втрачених пакетів дорівнює двом, то матриця A має будуватися таким чином, щоб Хемінгова відстань між будь-

якою парою стовпців матриці A була більшою за одиницю. Якщо Хемінгова відстань між будь-якою парою стовпців матриці A дорівнює одиниці, то це означає, що існує рядок s номером $d \in \{1, 2, \dots, k\}$ в якому пара стовпчиків матриці A приймає різні значення. Якщо втрачено d -тий резервний пакет, то два стовпчики матриці A стануть однаковими. Це означає, що якщо втрачено один із них, то він не може бути відновлений.

Якщо є n основних пакетів, то існує $k \cdot n$ кодів, в яких стовпчики відрізняються в одному розряді. Для того, щоб вони відрізнялися і більшому числі розрядів, кількість k резервних кодів має такою, щоб виконувалася нерівність:

$$2^k > n \cdot k + 2 \cdot n. \quad (2.3)$$

Для практичного використання такого способу формування резервних кодів може бути використані коди з рівною кількістю одиниць. Це гарантує, що Хемінгова відстань між стовпцями матриці A буде не менше 2-х.

Кількість k можливих кодів, що містять рівно g одиниць максимальна при $g=k/2$ і дорівнює $C_k^{k/2}$. Нижче наведено приклад матриці A при використанні якої гарантується можливість відновлення будь-яких двох пакетів даних:

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

На практиці найчастіше зустрічаються ситуації втрати одного і двох пакетів. Проте з розширенням практики використання однорангових мереж зростає можливість втрати більшої кількості пакетів.

2.2 Розробка методу резервування та відновлення трьох втрачених пакетів даних

При втраті трьох з $n+k$ пакетів можливо три варіанти:

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Всі три втрачених пакети відносяться до числа інформаційних.
2. Два втрачених пакета відносяться до інформаційних і один із втрачених – відноситься до числа резервних.
3. Один втрачений пакет відноситься до класу інформаційних і два – до резервних.
4. Всі три втрачених пакети відносяться до числа резервних.

В цьому останньому випадку всі основні пакети отримані на стороні приймача без помилок і вчасно – відповідно задача відновлення даних не стоїть.

В ситуації, коли втрачено два резервних пакета і один інформаційний задача відновлення полягає в реконструюванні саме цього інформаційного пакету. Вказана задача може бути вирішена, якщо після видалення з матриці A рядків, які співвідносяться з двома втраченими резервними пакетами, матриця A не буде містити стовбців, що складаються з нулів. Для цього достатньо, щоб всі стовбці матриці A містили не менше трьох одиниць, тобто виконувалася наступна умова :

$$\forall j \in \{1, 2, \dots, n\} : \sum_{i=1}^k a_{i,j} > 2. \quad (2.4)$$

Якщо втрачено два інформаційних пакети і один резервний, то для відновлення втрачених інформаційних пакетів, достатньо, щоб за умови видалення з матриці A будь-якого рядка, який співвідноситься з втраченим резервним пакетом, всі стовбці матриці A залишалися різними. Для того, щоб вказана умова виконувалася, Хемінгова відстань між стовпцями матриці A має бути не менше двох:

$$\forall l, i \in \{1, 2, \dots, n\}, l \neq i : \sum_{j=1}^k (a_{j,l} \oplus a_{j,i}) > 2. \quad (2.5)$$

Якщо всі три втрачені пакети відносяться до класу основних і виконуються умови (2.4) і (2.5), то втрачені пакети можуть бути гарантовано відновлені.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Це може бути доведено наступним чином. Нехай втрачені стовпчики мають номери v, w та e . В силу того, що ці стовпчики відрізняються не менш ніж в двох рядках, завжди можна вибрати q -тий рядок в якому значення коефіцієнтів матриці A в v -му та w -му стовпчиках відрізняються: $a_{q,v} \neq a_{q,w}$.

Для всіх варіантів існує z -тий стовпчик, $z \in \{v, u, e\}$, q -та і g -та компоненти якого рівні між собою. Наприклад, для 1-го варіанту $a_{q,v} = 0$, $a_{q,w} = 1$, $a_{q,e} = 0$, $a_{g,v} = 0$, $a_{g,w} = 0$, $a_{g,e} = 1$, в якості такого стовпця виступає v -тий стовпець, тобто $z=v$, q -та і g -та компоненти якого дорівнюють нулю: $a_{q,v} = 0$ та $a_{g,v} = 0$. Якщо вибрати в доповнення до q -того та g -го рядків d -тий рядок, таким чином, щоб його z -та компонента дорівнювала одиниці: $a_{d,z} = 1$, то підматриця Θ розміром 3×3 матриці A , утворена елементами перетину рядків q, g, d з стовпцями v, w, e :

$$\Theta = \begin{vmatrix} a_{q,v} & a_{q,w} & a_{q,e} \\ a_{g,v} & a_{g,w} & a_{g,e} \\ a_{d,v} & a_{d,w} & a_{d,e} \end{vmatrix}$$

є ортогональною.

Для кожного рядка матриці Δ з номером $y \in \{1, 2, \dots, k\}$ можна визначити пару $d_y = \langle d_{y1}, d_{y2} \rangle$. Якщо для рядка з номером $y \in \{1, 2, \dots, k\}$ $a_{y,v} \neq a_{y,w}$ $a_{y,v} \oplus a_{y,w} = 1$

$$d_y = \langle d_{y1}, d_{y2} \rangle \quad d_{y1} = a_{y,v} \oplus a_{y,w}, \quad d_{y2} = a_{y,v} \oplus a_{y,e}$$

Якщо $d_y = \langle 1, 0 \rangle$ то це означає, що в y -тому рядку значення $a_{y,v} \neq a_{y,w}$ і $a_{y,v} = a_{y,e}$ і, відповідно, $a_{y,w} \neq a_{y,e}$. Іншими словами, в матриці Δ існує мінімум три рядки з номерами q, g, f для яких $d_q, d_g, d_f \in \{\langle 1, 0 \rangle, \langle 1, 1 \rangle, \langle 0, 1 \rangle\}$.

Кожному значенню вектору d співвідносяться два можливих рядки матриці Δ . Це означає, що при виборі початкового значення першої компоненти рядка при одному і тому ж самому значенні d може бути утворено два рядки.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Якщо пара рядків матриці Δ , що відрізняються в першій та другій компонентами відносяться до одного значення $d \in Y_1$, тобто є інверсними, то це значить, що ці ж два рядки співвідносяться з таким же значенням вектору диференціалів d .

Цілком аналогічно можна зробити висновок про те, що в матриці Δ точно є не менше двох рядків в яких відрізняються перший та третій стовпчики, а значить, друга компонента вектору d дорівнює одиниці: $d = \langle 0,1 \rangle$ або $d = \langle 1,1 \rangle$.

За аналогією правомірно стверджувати, що в матриці Δ існує не менше двох рядків, в яких відрізняються другий та третій стовпці, тобто для яких $d = \langle 0,1 \rangle$ або $d = \langle 1,0 \rangle$. З цього випливає факт наявності в матриці Δ не менше двох рядків, які належать множині $Y_2 = \{ \langle 0,0,1 \rangle, \langle 1,0,1 \rangle, \langle 0,1,0 \rangle, \langle 1,1,0 \rangle \}$.

Очевидно, що перетин кожної пари множин Y_1, Y_2, Y_3 містить рівно дві компоненти, проте перетин всіх трьох множин – жодної, тобто $Y_1 \cap Y_2 \cap Y_3 = \emptyset$. Крім того, кожна з названих множин містить дві пари інверсних рядків.

Тоді в матриці Δ неодмінно має існувати ще один рядок γ , який належить множині Y_2 , причому цей рядок може бути інверсним по відношенню до α , або не інверсним. У першому випадку рядок γ обов'язково присутній в множині Y_3 , причому γ не є інверсією β . Таким чином, пари присутніх в матриці Δ рядків не є інверсними в множинах Y_1, Y_2, Y_3 , то для виконання умови (2.5) достатньо наявності трьох рядків α, β, γ . Оскільки серед них нема інверсних і таких, що складаються з нулів та одиниць, то єдиним варіантом є рядки $\langle 0,0,1 \rangle, \langle 0,1,1 \rangle, \langle 0,0,1 \rangle$

Згідно з (2.5) Хемінгова відстань між першим та другим стовпчиками матриці Δ не менше 2-х. Це означає, що в матриці Δ існує не менше двох рядків для яких перша компонента вектору d дорівнює одиниці, тобто $d = \langle 1,0 \rangle$ або $d = \langle 1,1 \rangle$. Ці значення d утворюють множину Y_1 , тобто

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$Y_1 = \{<1,0>, <1,1>\}$. При цьому, в силу того, що кожному значенню вектору d співвідносяться два можливих рядки матриці Δ може бути дві ситуації: два рядки, в яких відрізняються значення першого та другого стовпчиків є інверсією одне одного, тобто співвідносяться одному значенню d (наприклад, рядки 101 та 010 є інверсними і співвідносяться значенню $d = <1,0>$) або зазначені рядки співвідносяться різним значенням d і, відповідно, не є інверсними (наприклад рядок 101, що співвідноситься з $d = <1,0>$ та рядок 011, що співвідноситься з $d = <1,1>$).

Цілком аналогічно можна зробити висновок про те, що в матриці Δ точно є не менше двох рядків в яких відрізняються перший та третій стовпчики, а значить, друга компонента вектору d дорівнює одиниці: $d = <0,1>$ або $d = <1,1>$. Ці значення d утворюють множину Y_2 , тобто $Y_2 = \{<0,1>, <1,1>\}$. Рядки, з відмінними значеннями першої та третьої компоненти можуть співвідноситися або з одним із зазначених значень d , або з різними.

За аналогією правомірно стверджувати, що в матриці Δ існує не менше двох рядків, в яких відрізняються другий та третій стовпці, тобто для яких $d = <0,1>$ або $d = <1,0>$. Вказані рядки можуть бути інверсними, тобто співвідноситися з одним із зазначених значень d , або не інверсними, що означає їх відповідність обом із значень d . Ці значення d утворюють множину Y_3 , тобто $Y_3 = \{<0,1>, <1,1>\}$.

Очевидно, що перетин кожної пари множин Y_1, Y_2, Y_3 містить рівно дві компоненти, проте перетин всіх трьох множин – жодної, тобто $Y_1 \cap Y_2 \cap Y_3 = \emptyset$. Для того, щоб виконувалася умова (2.4) потрібно, щоб в матриці Δ існували два рядки, диференційні вектори d яких належать Y_1 , два рядки, з векторами d , що належать Y_2 та два рядки, вектори d яких належать множині Y_3 . Для будь-якої трійки стовпчиків $<i_1, i_2, i_3>$, $i_1, i_2, i_3 \in \{1, 2, \dots, n\}$, можна вибрати два рядки, наприклад q -тий та g -тий, $q, g \in \{1, 2, \dots, k\}$, для яких значення коефіцієнтів матриці A в i_1 -му та i_2 -му стовпчиках

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

відрізняються: $a_{q,i_1} \neq a_{q,i_2}, a_{g,i_1} \neq a_{g,i_2}$, причому зробити це так, щоб $a_{q,i_1} = 0, a_{q,i_2} = 1$ та $a_{g,i_1} = 1, a_{g,i_2} = 0$. Це завжди можна зробити тому, що вектори i_1 -того та i_2 -того стовпчиків відрізняються мінімум в двох компонентах

Можливість вибору рядка, z -та компонента дорівнює одиниці впливає з того, що z -тий стовпець згідно (2.3) містить в собі не менше 3-х одиниць. Ортогональність підматриці Θ впливає з того, що жодний з її рядків не дорівнює нулю (в силу того, що, $a_{q,v} \neq a_{q,w}$ і $a_{g,v} \neq a_{g,e}$, а третій рядок точно містить одиницю), перший та другий рядок різні між собою, а третій рядок містить біт, інверсний тому, в якому перші два рядки співпадають (це означає, що третій рядок не може бути отриманий додаванням по модулю 2 двох перших).

Не втрачаючи загальності, можна вважати, що значення коефіцієнту $a_{q,v} = a_{q,e}$. Оскільки v -тий та e -тий стовпчики також відрізняються не менше ніж в двох компонентах, завжди можна вибрати g -тий рядок матриці A , бінарні компоненти якого в v -тому та e -тому стовпчиках різні: $a_{g,v} \neq a_{g,e}$. Очевидно, що існує всього 8 варіантів пар значень $\langle a_{q,v}, a_{q,w}, a_{q,e} - a_{g,v}, a_{g,w}, a_{g,e} \rangle$, які відповідають умовам:

$$\begin{aligned} a_{q,v} &\neq a_{q,w}, a_{q,v} = a_{q,e} \\ a_{g,v} &\neq a_{g,e} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Ці варіанти наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Можливі значення коефіцієнтів матриці A в стовпчиках, що співвідносяться з втраченими основними пакетами, x – будь-яке значення

№ вар.	$a_{q,v} \ a_{q,w} \ a_{q,e}$ $a_{g,v} \ a_{g,w} \ a_{g,e}$ $a_{d,v} \ a_{d,w} \ a_{d,e}$	№ вар.	$a_{q,v} \ a_{q,w} \ a_{q,e}$ $a_{g,v} \ a_{g,w} \ a_{g,e}$ $a_{d,v} \ a_{d,w} \ a_{d,e}$	№ вар.	$a_{q,v} \ a_{q,w} \ a_{q,e}$ $a_{g,v} \ a_{g,w} \ a_{g,e}$ $a_{d,v} \ a_{d,w} \ a_{d,e}$	№ вар.	$a_{q,v} \ a_{q,w} \ a_{q,e}$ $a_{g,v} \ a_{g,w} \ a_{g,e}$ $a_{d,v} \ a_{d,w} \ a_{d,e}$
1	0 1 0 0 0 1	3	0 1 0 1 0 0	5	1 0 1 0 0 1	7	1 0 1 0 1 1

	1 x x		x x 1		x 1 x		1 1 1
2	0 1 0	4	0 1 0	6	1 0 1	8	1 0 1
	0 1 1		1 1 0		1 0 0		1 1 0
	1 x x		x x 1		x 1 x		1 1 1

З таблиці 2.1 видно, що при всіх варіантах вибору рядків, які задовольняють умові (2.6) утворена ними матриця є ортогональною.

Таким чином, показано існування в матриці Δ рядків, які обов'язково утворюють ортогональну підматрицю. А це, в свою чергу означає, що три втрачені пакети даних, що відносяться до класу основних завжди можуть бути відновлені при виконанні умов (2.4) і (2.5), що й потрібно було довести.

Якщо Хемінгова відстань між будь-якою парою стовпців матриці A має перевищувати одиницю, а кількість одиниць в кожному з стовпців цієї матриці не менше 3-х, то в якості стовпців можна вибирати k -розрядні двійкові коди, які містять 3, 5, 7, ..., k одиниць.

Дійсно, якщо Хемінгова відстань між різними двійковими кодами, що мають рівну кількість одиниць дорівнює рівно 2.

Якщо позначити через J_d множину бітів коду S_d які дорівнюють одиниці, а через J_q і J_g – множини бітів, що дорівнюють одиниці в кодах S_q та S_g відповідно, то очевидно, що $N(J_d) = N(J_q) = N(J_g) = \varepsilon$. $N(J_d \cap J_q) = \delta_1$ J_{q-d} – множина бітів, які дорівнюють одиниці в коді S_q але дорівнюють нулю в коді S_d J_{q+d} - множина бітів, які дорівнюють одиниці в коді S_q і в коді S_d . δ_1 - кількість інвертованих одиниць при переході від S_d до S_q тоді $N(J_{d-q}) = \delta_1$. При переході від S_d до S_q інвертовано $h_{12} - \delta_1$ нулів. Множина J_q складається з одиночних бітів які не трансформувалися при переході та бітів, які трансформувалися з нуля на одиницю при переході від S_d до S_q . Кількість перших дорівнює $\varepsilon - \delta_1$, а кількість других дорівнює $h_{12} - \delta_1$. В силу того, що $N(J_q) = \varepsilon$ отримується рівняння: $\varepsilon = \varepsilon - \delta_1 + h_{12} - \delta_1$. З останнього рівняння можна отримати, що $\delta_1 = h_{12}/2$. Потрібно довести, що якщо для коду $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, n\} : s_i \in \{0, 1\}. \quad \text{Ro}(S, j) = \{s_{j+1}, s_{j+2}, \dots, s_n, s_1, s_2, \dots, s_j\} \quad D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\},$$

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, n-1\} : d_i = s_i \oplus s_{i+1}, \quad d_n = s_1 \oplus s_n.$$

При однаковій кількості одиниць у кожному із стовпців матриці А Хемінгова відстань між парою з них завжди парна. Тобто умова того, що Хемінгова відстань між будь-якими стовпцями матриці А не менша трьох, трансформується у те, що при однаковій кількості рядків у кожному стовпці, Хемінгова відстань між ними не менше чотирьох. Тобто умова трансформується в нерівність $x_1 + x_2 + \dots + x_7 \geq 8$.

З наведеного випливає, що сума за модулем 2 будь-якої пари рядків має парну кількість одиниць і, відповідно, не може співпадати з одним рядком, кожен з яких містить непарну кількість одиниць. Таким чином, сума за модулем 2 будь-якої трійки рядків матриці В не дорівнює нулю.

В силу того, що кожен стовпець матриці В містить в собі рівно три одиниці, сума по модулю два всіх шести рядків становить код, що містить всі одиниці, тобто не дорівнює нулю.

Якщо ν -тий рядок містить лише одну одиницю в l -тому стовпці матриці А, то l -тий стовпець та ν -тий рядок можуть бути виключені з матриці А. Відповідно задача доведення трансформується в необхідність показати, що модифікована вказаним чином матриця А містить підматрицю Θ_3 , рядки якої взаємно незалежні.

Виходячи з того, що інвертування всіх елементів бінарної матриці не порушує її впливає на властивість ортогональності, доведена вище властивість ортогональних бінарних матриць може бути узагальнена у вигляді наступного твердження:

Ортогональність $n \times n$ бінарної матриці А матриці за умови, що вона містить j -тий стовбець $\forall l \in \{1, \dots, i-1, i+1, \dots, n\} : a_{l,j} = 0, a_{i,j} = 1$, або $a_{l,j} = 1, a_{i,j} = 0$, визначається ортогональністю матриці $(n-1) \times (n-1)$, отриманої з матриці А шляхом виключення рядка та j -того стовпця j -тий стовбець з однією одиничною компонентою в i -тому рядку або з однією нульовою

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

компонентою i -тому рядку, тобто $\forall l \in \{1, \dots, i-1, i+1, \dots, n\}: a_{l,j}=0, a_{i,j}=1$, або $a_{l,j}=1, a_{i,j}=0$, визначається ортогональністю матриці $(n-1) \times (n-1)$, отриманої з матриці A шляхом виключення i -того рядка та j -того стовпця.

В кожному стовпці матриці B міститься рівно три одиниці. Якщо вибрати довільним чином чотири рядки і припустити, що їх сума за модулем 2 дорівнює нулю, то єдиним варіантом суми одиниць в кожному із стовпців обраних рядків є два, оскільки ця сума має бути парною і не перевищувати трьох. Якщо виходити з цього припущення, то сумарна кількість одиниць в обраних чотирьох рядках становить $2 \cdot 6 = 12$.

З іншого боку, кількість одиниць в кожному із рядків дорівнює три, тобто сумарна кількість одиниць в чотирьох рядках дорівнює 12-ти.

Якщо є два двійкових коди, кількість одиниць в яких відрізняється більше ніж на одиницю, то, цілком очевидно, що Хемінгова відстань між ними також не менша ніж два.

Кількість n можливих стовпців, що містять 3, 5, 7, ..., k одиниць можна обчислити у вигляді суми кількості перестановок 2-х одиниць в $(k-1)$ -розрядному двійковому коді, кількості перестановок 5-ти одиниць в $(k-1)$ -розрядному двійковому коді, кількості перестановок 7-ми одиниць в $(k-1)$ -розрядному двійковому коді і так далі:

$$n = C_{k-1}^2 + C_{k-1}^4 + C_{k-1}^6 + \dots + C_{k-1}^{\nu}, \quad (2.7)$$

де $\nu=k-1$ при непарному значенні k і $\nu=k-2$ при парному значенні k .

Згідно з відомої властивості біноміальних коефіцієнтів:

$$\sum_{i=0}^n (-1)^i \cdot C_n^i = 0, \quad (2.8)$$

формула (2.7) може бути трансформована до наступного вигляду:

$$n = C_{k-1}^2 + C_{k-1}^4 + C_{k-1}^6 + \dots + C_{k-1}^{\nu} = 2^{k-2} - 1. \quad (2.9)$$

Отримана формула (2.9) дає змогу визначити для заданої кількості n основних пакетів число k резервних пакетів:

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$k \geq \log_2 (n+1) + 2 . \quad (2.10)$$

Наприклад, для числа основних пакетів $n=14$, для відновлення трьох втрачених пакетів потрібно використовувати $k = 6$ резервних пакетів. При цьому матриця A має наступний вигляд:

$$A = \begin{array}{c} | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 | \\ | 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 | \\ | 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 | \\ | 0 1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 0 1 | \\ | 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 | \\ | 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 1 1 | \end{array}$$

При зростанні числа основних пакетів ефективність резервування в розробленому методі збільшується. Зокрема, при $n=255$ кількість потрібних резервних пакетів становить 10, тобто лише 4 % від числа основних пакетів.

В рамках цього прикладу, тобто при $n=14$ і $k = 6$ будемо вважати, що втрачені три пакети, з яких два основних, наприклад з номерами $v=3$ і $w=4$, а також один резервний з номером $q=5$. В цьому випадку матриця Δ , що складається з стовпців матриці A , які співвідносяться з втраченими основними пакетами та рядків, що співвідносяться з невтраченими резервними пакетами має такий вигляд:

$$\Delta = \begin{array}{c} | 1 \ 1 | \\ | 1 \ 1 | \\ | 0 \ 0 | \\ | 0 \ 0 | \\ | 1 \ 0 | \end{array}$$

Очевидно, що матриця Δ містить в собі ортогональну підматрицю Θ , яка складається з першого та п'ятого рядків матриці Δ :

$$\Theta = \begin{array}{c} | a_{1,3} \ a_{1,4} | \\ | a_{6,3} \ a_{6,4} | \end{array} = \begin{array}{c} | 1 \ 1 | \\ | 1 \ 0 | \end{array}$$

Якщо позначити через P_3' і P_4' відповідно третій та четвертий втрачені основні пакети, а через Z_1 та Z_6 , відповідно 4-ту та 6-ту складові резервних пакетів Q_1 та Q_6 , то з матриці Θ впливає система лінійних рівнянь:

$$Z_1 = P_3' \oplus P_4'$$

$$Z_6 = P_3'$$

Розв'язання цієї системи рівнянь дає формули для відновлення втрачених пакетів:

$$P_3' = Z_6$$

$$P_4' = Z_1 \oplus Z_6$$

Для того, щоб практично використати ці формули потрібно визначити значення складових Z_1 та Z_6 першого та шостого резервних пакеті, які формуються у вигляді суми за модулем 2 таких складових:

$$Q_1 = P_1 \oplus P_2 \oplus P_3 \oplus P_4 \oplus P_5 \oplus P_6 \oplus P_7 \oplus P_8 \oplus P_9 \oplus P_{10} \oplus P_{11} \oplus P_{12} \oplus P_{13} \oplus P_{14}$$

$$Q_6 = P_4 \oplus P_7 \oplus P_9 \oplus P_{10} \oplus P_{12} \oplus P_{13} \oplus P_{14}$$

Відповідно, складові Z_1 та Z_6 можуть бути визначені у наступному вигляді:

$$Z_1 = Q_1 \oplus P_1 \oplus P_2 \oplus P_5 \oplus P_6 \oplus P_7 \oplus P_8 \oplus P_9 \oplus P_{10} \oplus P_{11} \oplus P_{12} \oplus P_{13} \oplus P_{14}$$

$$Z_6 = Q_6 \oplus P_7 \oplus P_9 \oplus P_{10} \oplus P_{12} \oplus P_{13} \oplus P_{14}$$

Підставляючи отримані вирази Z_1 та Z_6 в формулу для відновлення втрачених третього та четвертого основних пакетів отримаємо наступне:

$$P_3' = Z_6 = Q_6 \oplus P_7 \oplus P_9 \oplus P_{10} \oplus P_{12} \oplus P_{13} \oplus P_{14}$$

$$P_4' = Z_1 \oplus Z_6 = Q_1 \oplus Q_6 \oplus P_1 \oplus P_2 \oplus P_5 \oplus P_6 \oplus P_8 \oplus P_{11}$$

Таким чином, втрачені при передачі пакети треті та четвертий основні пакети можуть бути відновлені шляхом лінійних перетворень основних та резервних пакетів, які успішно доставлені.

					ІАЛШ.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

2.3 Розробка методу формування резервних пакетів для гарантованого відновлення чотирьох втрачених пакетів

В разі втрати чотирьох з $n+k$ пакетів, які передаються в мережі Інтернет, можливими є п'ять варіантів втрат:

1. Всі чотири втрачених пакети відносяться до класу інформаційних.
2. З чотирьох втрачених пакетів три відносяться до класу інформаційних і один – до класу резервних.
3. Два втрачених пакета відносяться до інформаційних і два втрачених – відноситься до класу резервних.
4. Один втрачений пакет відноситься до класу інформаційних і три інших – до числа резервних.
5. Всі три втрачених пакети відносяться до числа резервних.

В цьому останньому випадку всі основні пакети отримані на стороні приймача без помилок і вчасно – відповідно задача відновлення даних не стоїть.

Якщо всі чотири втрачених пакети відносяться до класу інформаційних, то вони можуть бути успішно реконструйовані за умови, що в будь-якій підматриці Δ матриці A , утвореної довільно вибраними чотирма стовпцями матриці A містить ортогональна квадратна підматриця Θ .

В ситуації, коли з чотирьох втрачених пакетів три відносяться до класу інформаційних і один – до класу резервних, інформаційні пакети можуть бути успішно реконструйовані тільки за умови, що в будь-якій підматриці Ψ матриці A , утвореної довільно вибраними трьома стовпцями матриці A з якої видалено довільний рядок міститься ортогональна квадратна підматриця Θ , що складається з трьох рядків і трьох стовпців.

Якщо два втрачених пакета відносяться до інформаційних і два втрачених відноситься до класу резервних, то для того, щоб інформаційні пакети були успішно реконструйовані потрібно, щоб Хемінгова відстань між будь-якою парою стовпців матриці A має бути не менше трьох:

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\forall l, i \in \{1, 2, \dots, n\}, l \neq i: \sum_{j=1}^k (a_{j,l} \oplus a_{j,i}) \geq 3 \quad (2.11)$$

При цьому, коли в рядках матриці А, які співвідносяться втраченим резервними пакетами два стовпця, які співвідносяться з втраченими інформаційними пакетами різняться, то при видаленні вказаних двох рядків в матриці А не буде однакових стовпців, що й гарантує можливість відновлення пари втрачених інформаційних пакетів.

В ситуації, коли один втрачений пакет відноситься до класу інформаційних і три інших – до числа резервних, задача відновлення полягає в реконструюванні саме цього одного інформаційного пакету. Задача може бути вирішена, якщо після видалення з матриці А трьох рядків, які співвідносяться з трьома втраченими резервними пакетами, матриця А не буде містити стовпців, які містять лише нулі. Для цього достатньо, щоб всі стовбці матриці А містили не менше чотирьох одиниць, тобто виконувалася наступна умова :

$$\forall j \in \{1, 2, \dots, n\}: \sum_{i=1}^k a_{i,j} \geq 4. \quad (2.12)$$

Нижче наведено матрицю А, яка гарантує відновлення чотирьох втрачених пакетів для $n=6$:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Для конструювання цієї матриці були вибрані стовпці, що мають чотири одиниці і три нуля, а також стовпець, що складається з одиниць.

Ця матриця А повністю відповідає всім зазначеним на початку поточного підрозділу умовам відновлення інформаційних пакетів при загальній кількості втрачених пакетів – не більше чотирьох.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наприклад, при втраті чотирьох перших інформаційних пакетів потрібно, щоб підматриця Δ утворена чотирма першими стовпцями матриці A містила в собі ортогональну квадратну підматрицю Θ . Для наведеного прикладу підматриця Δ має наступний вигляд:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

Очевидно матриця Δ містить в собі ортогональну квадратну підматрицю Θ , яка утворена першими чотирма рядками:

Для наведеного прикладу підматриця Θ має наступний вигляд:

$$\Theta = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

Тобто матриця Θ складається з першого, другого, п'ятого та сьомого рядків матриці Δ .

При втраті одного резервного пакеті та трьох інформаційних в будь-якій підматриці Ψ матриці A , утвореної довільно вибраними трьома стовпцями матриці A з якої видалено довільний рядок міститься ортогональна квадратна підматриця Θ , що складається з трьох рядків і трьох стовпців.

Наприклад, якщо втрачені перші три інформаційні стовпці і перший резервний, то матриця Ψ матиме наступний вигляд.

$$\Psi = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix}$$

Цілком очевидно, що перші три рядки матриці Ψ утворюють ортогональну підматрицю.

Кожен з рядків матриці A має не менше трьох одиниць.

Матриця A фактично задає спосіб формування 7-ти резервних пакетів при шести основних. При цьому, вона не забезпечує можливості відновлення трьох основних пакетів за умови, що втрачено один резервний. Це впливає з того факту, що матриця A не містить в собі ортогональної підматриці, що складається з 5-ти рядків та 5-ти стовпців.

Це означає, що при використанні 6-ти резервних пакетів не може бути вирішена задача гарантованого відновлення основних пакетів при втраті більше 4-х пакетів. З цього можна зробити висновок про те, що мінімальна кількість резервних пакетів для вирішення вказаної задачі дорівнює 7-ми.

При втраті трьох основних пакетів з номерами α, β та γ , де $\alpha, \beta, \gamma \in \{1, 2, \dots, n\}$, ці пакети можуть бути відновлені, якщо при видаленні будь-якого рядка матриці A , що співвідноситься з втраченим резервним пакетом, підматриця Δ_3 містить в собі ортогональну підматрицю Θ .

З умови (2.12) випливає, що серед рядків матриці Δ_3 має бути не менше 3-х, таких, в яких компоненти стовпця α відрізняються від однойменних компонент стовпця β , тобто таких, що належать множині $\mathcal{S}_1 = \{<010>, <011>, <100>, <101>\}$. Аналогічно, серед рядків матриці Δ_3 має бути не менше 3-х в яких різняться стовпці α та β , тобто не менше 3-х рядків мають належати множині $\mathcal{S}_2 = \{<001>, <011>, <100>, <110>\}$. Також, матриця Δ_3 має містити не менше 3-х в яких різняться стовпці β та γ ; відповідно, не менше трьох рядків матриці Δ_3 мають бути елементами

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

множини $\mathfrak{G}_3 = \{<001>, <101>, <010>, <110>\}$. Цілком очевидно, що $\mathfrak{G}_1 \cap \mathfrak{G}_2 \cap \mathfrak{G}_3 = \emptyset$, а також те, що $\mathfrak{G}_1 \cap \mathfrak{G}_2 = \{<011>, <100>\}$, $\mathfrak{G}_1 \cap \mathfrak{G}_3 = \{<010>, <101>\}$, $\mathfrak{G}_2 \cap \mathfrak{G}_3 = \{<001>, <110>\}$. Таким чином, матриця Δ_3 містить як мінімум 6 рядків, які належать $\mathfrak{G}_1 \cup \mathfrak{G}_2 \cup \mathfrak{G}_3$. З цих 6-ти рядків точно є мінімум два рядка, що мають одиничну компоненту в першому стовпчику, два рядки, що мають одиничну компоненту в другому стовпчику і два рядки, що мають одиничну компоненту в третьому стовпчику.

2.4 Розробка технології відновлення пакетів даних

Технологічно процес відновлення втрачених пакетів полягає в розв'язанні системи лінійних рівнянь, коефіцієнти котрої утворені елементами ортогональної підматриці Θ матриці A . При цьому, стовбці матриці Θ утворені з компонентів стовпців матриці A , які співвідносяться з втраченими при передачі основними пакетами, а рядки – компонентами рядків, що співвідносяться з невтраченими при передачі резервними пакетами. Вище було строго доведено існування вказаної ортогональної матриці. Головна особливість запропонованого методу полягає в тому, що при різних варіантах втрати пакетів (основних чи резервних) потрібен спеціальний етап виділення ортогональної матриці Θ , яка може мати різну розмірність. Для більшості практичних застосувань відновлення втрачених пакетів потрібно здійснювати в реальному часі, що суттєвим чином обмежує часові ресурси на виділення ортогональної підматриці і розв'язання відповідної системи лінійних рівнянь. Певна частина практичних застосувань відновлення пакетів даних орієнтована на апаратну реалізацію або використання малопотужних вбудованих мікроконтролерів. Для цих застосувань відновлення втрачених при передачі пакетів потрібно реалізувати гранично просто.

Процедура відновлення втраченого основного пакету при кожному варіанті втрати резервних пакетів, номери яких задаються j_1 та j_2 , визначається

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

відповідною специфікацією. Сама специфікація s_i відновлення i -го пакету $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ являє собою $(n+k)$ -бітовий вектор $s_j = \{r_1, r_2, \dots, r_n, z_1, z_2, \dots, z_k\}$, $\forall l \in \{1, 2, \dots, n\}, j \in \{1, 2, \dots, k\}$: $r_l, z_j \in \{0, 1\}$. Відновлення i -го пакету B_i здійснюється шляхом обчислення:

$$B_i = \bigoplus_{j=1}^n B_j \cdot r_l \oplus \bigoplus_{j=1, j \neq j_1, j_2}^k Q_j \cdot z_j \quad (2.13)$$

Проведений аналіз показав, що в переважній більшості варіантів втрати резервних пакетів існує багато варіантів специфікацій для відновлення втраченого основного пакету. Цілком очевидно, що для прискорення процесу відновлення даних доцільно вибирати специфікації, що містять мінімальну кількість одиниць.

При втраті одного основного пакету за умови, що всі резервні доставлені вчасно и без помилок, для його відновлення, в принципі, не потрібно зберігати специфікацій, оскільки кожен i -тий основний пакет P_i , $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ може бути відновлений з використанням виразу:

$$B_i = Q_1 \oplus \bigoplus_{j=1, j \neq i}^n B_j \quad (2.14)$$

Недолік використання виразу (2.14) для відновлення одного основного пакету даних за умови, що не відбулося втрат резервних пакетів, полягає в тому, що його обчислювальна реалізація на стороні приймача вимагає значних ресурсів, особливо при великій кількості n основних пакетів.

Більш доцільним для відновлення пакету B_i в зазначеній ситуації використовувати не перший, а j -тий рядок, для якого виконуються дві умови: $a_{j,i} = 1$ і який містить мінімальну кількість одиниць:

$$j \in \{1, 2, \dots, n\} : a_{j,i} = 1, j = \arg \min \sum_{q=1}^n a_{j,q}$$

Наприклад, для відновлення 8-го пакету найменшу кількість одиниць - 5 містить 5-й рядок матриці А. При його використанні відновлення 8-го пакету здійснюється у відповідності з наступною формулою:

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B_8 = Q_5 \oplus B_3 \oplus B_6 \oplus B_{10} \oplus B_{11}. \quad (2.15)$$

Порівняння з формулою (2.14) показує, що використання для відновлення 8-го пакету формули (2.15) потребує всього 4 операції додавання на модулем 2, в той час при застосуванні формули (2.14) – необхідно 11 таких операцій, що дозволяє майже в три рази прискорити процес відновлення втраченого пакету.

Таким чином, для відновлення одного основного пакету за умови, що всі резервні пакети не втрачені потрібно зберігати n специфікацій, які займають першу зону пам'яті з нульовим зміщенням: $z_1=0$. Адреса специфікації, потрібної для відновлення i -го втраченого пакету обчислюється по номеру i втраченого пакету у вигляді: $c_1 = i-1$.

При втраті двох пакетів існують дві ситуації: втрата одного основного і одного резервного пакету, а також ситуація втрати двох основних пакетів. Вказані вище процедури трансформації матриці A , віднаходження в ній ортогональної підматриці Θ , складання та розв'язання системи лінійних рівнянь, можуть бути зведені до читання специфікації відновленні втрачених пакетів з табличної пам'яті. Таке рішення цілком дозволяє реалізувати вказаний перелік дій в режимі реального часу.

Для першої ситуації, тобто при втраті i -го основного пакету B_i , $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ та втраті j -го резервного пакету Q_j , $j \in \{1, 2, \dots, k\}$ потрібно використовувати $n \cdot k$ специфікацій відновлення втраченого пакету. Ці специфікації пропонується розміщувати в другій зоні, тобто починаючи з адреси $z_2=n$. Обчислення адреси c_2 специфікації відновлення основного пакету по заданому його номеру i та номеру j втраченого резервного пакету здійснюється у вигляді $c_2 = z_2 + (j-1) \cdot n + i-1$.

Специфікації s_3 і s_4 для відновлення третього та четверного пакетів для цього випадку має вигляд двох бінарних векторів, компоненти яких показують участь кожного з основних та резервних пакетів у відновленні втрачених пакетів:

$$s_3 = \{ 0,0,0,0,0,0,1,0,1,1,0,1,1,1, 0,0,0,0,0,1 \},$$

$$s_4 = \{ 1,1,0,0,1,1,0,1,0,0,0,0,0,0, 1,0,0,0,0,1 \}$$

Процедура відновлення втрачених при передачі основних пакетів даних за запропонованим методом може бути ілюстрована наступним прикладом в рамках використання наведеної вище матриці А при $n=12$ і $k=6$.

Для відновлення основних пакетів у ситуації коли втрачено два пакети цього типу з номерами $i_1, i_2 \in \{1, 2, \dots, n\}$ причому $i_1 < i_2$, та не втрачено жодного резервного пакету, потрібно $n \cdot (n-1) / 2$ пар специфікацій, які пропонується розміщувати в третій зоні пам'яті, починаючи від адреси $z_3 = n + n \cdot k$. Загальна кількість специфікацій в третій зоні становить $n \cdot (n-1)$. Адреса c_3 першої в парі специфікації відновлення основного пакету з номером i_1 обчислюється за наступною формулою:

$$c_3 = z_3 + (n \cdot (i_1 - 1) - (i_1 - 1) - \frac{(i_1 - 1) \cdot (i_1 - 2)}{2} + i_2 - 1) \cdot 2 \quad (2.16)$$

Специфікація для відновлення другого основного пакету з номером i_2 має адресу $c_3 + 1$.

При втраті трьох пакетів існує три ситуації: втрата основного та двох резервних, втрата двох основних і одного резервного та втрата трьох основних.

При втраті одного основного з номером $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ та двох резервних з номерами $j_1, j_2 \in \{1, 2, \dots, k\}, j_1 < j_2$ для відновлення втраченого основного пакету потрібно $k \cdot (k-1) \cdot n / 2$ специфікацій, які розміщуються в четвертій зоні пам'яті, починаючи з адреси $z_4 = n + n \cdot k + n \cdot (n-1) = n \cdot (k+n)$.

Специфікація для відновлення другого основного пакету з номером i_2 має адресу $c_6 + 1$, а третього, що має номер i_3 , знаходиться за адресою $c_6 + 2$. Загальна кількість N специфікацій, які зберігаються в табличній пам'яті визначається наступною формулою:

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$N = n \cdot \left(n + \frac{k \cdot (k + n - 1) + (n - 1)}{4} \right). \quad (2.17)$$

Відновлюємо пакет шляхом лінійних перетворень над резервними пакетами. Але частина резервних пакетів також може бути втрачена. При цьому деякі з втрачених резервних пакетів можуть бути відновлені в результаті лінійних перетворень над основними пакетами, що залишились неушкодженими.

Проведені експериментальні дослідження показали, що за рахунок оптимізації вибору процедури відновлення втрачених основних пакетів, в середньому, досягається зменшення кількості операцій логічного додавання в 1.7 рази.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Висновки до розділу 2

В результаті виконання розробок, які складають четвертий розділ дипломного проекту, і мають на меті створення розробку методів резервування та відновлення втрачених пакетів даних при передачі їх в мережі Інтернет за умови трьох та чотирьох від загальної кількості переданих пакетів, а також технології відновлення втрачених інформаційних пакетів можна зробити такі висновки:

1. На основі проведених теоретичних досліджень сформульовано умови, яким має задовольняти матриця формування резервних пакетів для гарантованого відновлення одного, двох, трьох і чотирьох від загальної кількості переданих пакетів. Теоретично виведено формули для визначення мінімальної кількості резервних пакетів для кожного із зазначених варіантів гарантованого відновлення інформаційних пакетів.

2. Запропоновано метод побудови матриці формування резервних пакетів у вигляді лінійних логічних сум інформаційних пакетів для гарантованого відновлення двох втрачених пакетів.

3. Розроблено формалізований метод побудови матриці формування резервних пакетів у вигляді лінійних логічних сум інформаційних пакетів для гарантованого відновлення інформаційних пакетів при втраті не більше трьох від загальної кількості інформаційних та резервних пакетів. Теоретично доведено, що матриці, побудована за запропонованим методом при усіх варіантах втрати пакетів містить в собі ортогональну підматрицю, трансформування якої дозволяє гарантовано представити процес відновлення втрачених пакетів у вигляді системи лінійних рівнянь, яка гарантовано має єдине вирішення.

4. Теоретично обґрунтовано та запропоновано підхід до побудови побудови матриці формування резервних пакетів у вигляді лінійних логічних сум інформаційних пакетів для гарантованого відновлення

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інформаційних пакетів при втраті не більше чотирьох від загальної кількості інформаційних та резервних пакетів. Теоретично показано, що при видаленні з побудованої матриці до трьох довільних рядків, вона забезпечує гарантоване відновлення максимум чотирьох інформаційних пакетів з використанням мінімальної кількості резервних пакетів.

5. Запропонована технологія відновлення втрачених пакетів з оптимізацією процедури їх реконструкції за критерієм витрат мінімальної кількості операцій. Доведено, що запропонована технологія, на відміну від відомих, дозволяє зменшити в середньому в 1.7 раз обчислювальну складність відновлення втрачених пакетів.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДУ РЕЗЕРВУВАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДАНИХ

Важливим елементом розробки ефективного методу резервування та відновлення пакетів даних в глобальних мережах є його експериментальне дослідження. В рамках таких експериментальних досліджень потрібно перевірити на практиці коректність прийнятих теоретичних засад та висновків, а також здійснити практичну перевірку працездатності запропонованого методу резервування та відновлення пакетів даних при їх передачі в глобальних мережах, в тому числі і на критичних режимах роботи.

Крім того, експериментальні дослідження нададуть змогу практично оцінити об'єми ресурсів, які потрібні для відновлення втрачених при передачі даних: процесорний час и потрібні об'єми пам'яті. На основі експериментальних досліджень можна отримати важливі для оцінки ефективності запропонованого методу залежності часу відновлення втрачених при передачі пакетів від їх загальної кількості і порівняти отримані залежності з отриманими теоретичним шляхом. Отримання і аналіз таких залежностей дозволяє оцінити здатність розробленого методу забезпечувати підвищення оперативності отримання інформації при її передачі по глобальним мережам. Крім того, експериментально можна оцінити ефективність запропонованого методу резервування та відновлення пакетів даних при використанні однорангових мереж в рамках peer-to-peer технологій.

Для виконання вказаних експериментальних досліджень запропонованого методу резервування та відновлення пакетів даних в глобальних мережах розроблена програма моделювання процесів

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формування резервних пакетів та відновлення втрачених та затриманих понад критичний час пакетів.

Програма написана на мові програмування C++ в середовищі Visual Studio 2010. Програма здатна працювати в режимі дослідження коректності процесів резервування та відновлення втрачених пакетів, а також в режимі статистичного дослідження часових параметрів процесу відновлення втрачених пакетів.

Розроблена програма складається з двох базових модулів:

- побудови матриці A формування резервних пакетів на основі основних у відповідності з запропонованим методом резервування;
- перевірки матриці A на здатність відновлювати пакети даних при заданій кількості h втрачених пакетів.

3.1 Опис структурної організації даних

Основним інформаційним елементом, яких описує процеси резервування та відновлення пакетів даних є бінарна матриця A , яка містить m рядків та n стовпців. Кожен з рядків матриці A відображає спосіб формування відповідного з m резервних пакетів. Кожен з них утворюється як сума за модулем 2 відповідної підмножини множини основних пакетів. При цьому вказана підмножина задається одиничними значеннями бінарних компонентів відповідного рядка матриці A . В розроблені програмі для зберігання та обробки матриці A використовується однойменний двовимірний масив цілих чисел A . Таке рішення диктується тим, що розміри такої матриці відносно невеликі: число стовпців не перевищує сотень, а число рядків вимірюється десятками.

Для того, щоб сформувати і обробляти підмножин всіх трійок стовпців матриці A використовується бітовий двовимірний масив E , який містить m рядків та три стовпчика. Цей масив використовується процедурою перевірки можливості гарантованого відновлення трьох пакетів даних. Формування

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

масиву E з масиву A виконується відповідною процедурою і використовується на здатність відновлювати пакети даних при заданій кількості $h=3$ втрачених пакетів. Аналогічним чином в програмі організований масив T , який використовується для тестування здатності відновлювати втрачені пакети, якщо їх кількість дорівнює чотирьом. Формування масиву T з масиву A виконується відповідною процедурою і використовується на здатність відновлювати пакети даних при заданій кількості $h=4$ втрачених пакетів. В цьому режимі, тобто при перевірці здатності матриці A відновлювати втрачені пакети, якщо загальна їх кількість не перевищує 4-х, потрібно тестувати здатність відновлення трьох пакетів даних при втраті, крім загаданих пакетів, ще одного резервного. для цього режиму в програмі використовується двовимірний бітовий масив TE , який містить m рядків та три стовпчика. Масив TE формується спеціальною процедурою з масиву E шляхом видалення з останнього одного рядка зі зсувом догори всіх рядків, які знаходяться нижче.

Для безпосередньої перевірки на ортогональність матриці, що складається з трьох рядків та трьох стовпців в програмі використовується увається допоміжний двовимірний масив D . Для безпосередньої перевірки на ортогональність матриці, що складається з чотирьох рядків і чотирьох стовпців в розробленій програмі передбачено допоміжний двовимірний масив G .

3.2 Розробка основних програмних модулів

Як зазначалося вище, розроблена програма здатна працювати в двох режимах: побудови матриці A формування резервних пакетів на основі основних у відповідності з запропонованим методом резервування та перевірки матриці A на здатність відновлювати пакети даних при заданій кількості h втрачених пакетів.

Для формування матриці A в рамках виконаних розробок використовуються дві процедури:

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Перша з них передбачає формування стовпчиків матриці A у вигляді їх номерів та доданку, який збільшує Хемінгову відстань між стовпчиками матриці A до заданої критичної величини, достатньої для відновлення двох пакетів даних при заданій кількості втрачених. Ще один рядок використовується для збільшення кількості одиниць в кожному із стовпців матриці A до межі, яка гарантує можливість відновлення втраченого одного пакету даних за умови, що всі інші втрачені пакети – то резервні.

Другий із них передбачає формування матриці A у вигляді квазіортогональних структур на кінцевих полях Галуа. Ця процедура складається з двох частин. Перша з них формує бінарний рядок, який співвідноситься з простими поліномами на полі Галуа. Додаткова властивість цього рядка полягає в тому, що при його зсувах забезпечується мінімальна кількість співпадінь бітів, які дорівнюють одиниці. Друга частина здійснює формування матриці A шляхом циклічного зсуву вказано вище простого поліному на полях Галуа.

Основна частина розроблених програмних засобів забезпечують можливість контролю здатності системі при заданій матриці A відновити всі втрачені пакети при заданій кількості втрачених.

Програма має містити наступну функціональність:

1. Можливість вводу вхідних параметрів та перевірку їх на коректність.
2. Можливість переходу від одного кроку метода до наступного.
3. Можливість отримати інформацію щодо кількості використаних операцій на етапах резервування та відновлення.
4. Можливість покинути програму.

В якості допоміжної процедури розробленої програми використовується функція $\text{int ORTA}(\text{int } *h, \text{int } n)$. Вхідними параметрами функції виступають вказівник h на початок двовимірного квадратного масиву, що має n рядків та n стовпців. Функція повертає одиницю, якщо

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

матриця ортогональна і нуль, якщо матриця не є ортогональною. В основу роботи процедури покладено визначення ортогональної матриці: така матриця є ортогональною, якщо сума за модулем 2 довільної підмножини її рядків не дорівнює нулю. Спочатку функція перевіряє на нуль кожен рядок матриці. Потім формуються всі можливі пари рядків матриці, обчислюється їх логічна сума: якщо вона дорівнює нулю, то і функція повертає нуль. Далі перебираються всі можливі трійки рядків матриці - обчислюється їх логічна сума: якщо вона дорівнює нулю, то і функція повертає нуль. Якщо функція не повернула нуля, виявивши нульову суму, то функція повертає одиницю.

В розроблені програмі передбачена перевірка Хемінгової відстані між всіма парами стовпців матриці А. Для цього організуються два вкладені цикли, які без повторення перебирають всі пари стовпчиків матриці А. В них організовано ще один цикл, який, проходячи по рядках матриці А підраховує кількість не співпадаючих компонентів вибраної пари рядків матриці А. Якщо Хемінгова відстань між будь-якою парою стовпців матриці А менша за встановлену межу, функція повертає нуль, що свідчить про те, що матриця А не забезпечує гарантовану можливість відновлення заданої кількості втрачених пакетів даних.

Наступним блоком функції перевірки матриці А є тестування на можливість відновлення трьох втрачених пакетів даних. Для цього перевіряється факт наявності в будь-якому під масиві матриці А, який складається з довільних трьох рядів ортогональної матриці 3 x 3. Втрачені пакети можуть бути відновлені, якщо в матриці Δ існують три рядки, які утворюють ортогональну матрицю Θ . Ця функція реалізується в двох базових режимах: за умови, що жоден із резервних пакетів не втрачено і в режимі додаткової втрати резервних пакетів.

В першому випадку трьома циклами вибираються без повторення всі можливі трійки стовпців матриці А. Ці три стовпці копіюються в матрицю ТЕ. Далі в цій матриці виконується перебір без повторень всіх трійок рядків.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибрана таким чином підматриця матриці TE копіюється в квадратну матрицю D . Далі за допомогою виклику функції $ORTA$ здійснюється перевірка матриці D на ортогональність. У випадку, коли матриця D виявиться ортогональною, подальше тестування матриці TE припиняється. З використанням системи прапорців контролюється, щоб кожна підматриця TE матриці A містила в собі ортогональну підматрицю. Якщо ця умова не виконується, то функція повертає нуль, що свідчить про те, що матриця A не забезпечує гарантовану можливість відновлення заданої кількості втрачених пакетів даних.

У другому випадку спочатку з матриці TE видаляються рядки, які співвідносяться з втраченими резервними пакетами. Для цього спочатку матриця TE копіюється в допоміжну матрицю E . Далі організуються цикли, які здійснюють перебір всіх можливих варіантів видалення заданої кількості рядків матриці E . Для кожного з цих варіантів рядки з матриці E видаляються і зкорегована таким чином матриця E копіюється в матрицю TE . В цій матриці TE здійснюється з використанням трьох вкладених циклів перебір без повторень всіх трійок рядків. Вибрана в результаті на кожному кроці такого перебору підматриця матриці TE копіюється в квадратну матрицю D , що містить три рядки і три стовпці. З використанням функції $ORTA$, якій задається адреса на початок матриці D , виконується перевірка цієї матриці на ортогональність. Якщо матриця D виявиться ортогональною, подальше тестування матриці TE припиняється. З використанням системи прапорців контролюється, щоб кожна підматриця TE матриці A містила в собі ортогональну підматрицю. Якщо ця умова не виконується, то функція повертає нуль, що свідчить про те, що матриця A не забезпечує гарантовану можливість відновлення заданої кількості втрачених пакетів даних.

Наступним блоком функції перевірки матриці A є тестування на можливість відновлення чотирьох втрачених пакетів даних. Для цього

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

перевіряється факт наявності в будь-якому під масиві матриці A , який складається з довільних чотирьох рядів ортогональної квадратної матриці 4×4 . Втрачені пакети можуть бути відновлені, якщо в кожній матриці Δ існують чотири рядки, які утворюють ортогональну матрицю G . Ця функція реалізується в режимі, що жоден із резервних пакетів не втрачено.

Відповідно, для реалізації цього блоку програми чотирма вкладеними циклами вибираються без повторення всі можливі четвірки стовпців матриці A . Ці три стовпці копіюються в матрицю T . Далі в цій матриці чотирма вкладеними циклами виконується перебір без повторень всіх можливих четвірок рядків. Вибрана таким чином квадратна підматриця матриці T , що містить чотири рядки і чотири стовпці копіюється в квадратну матрицю G . Далі за допомогою виклику функції `ORTA` здійснюється перевірка матриці G на ортогональність. У випадку, якщо сформована описаними чином матриця G є ортогональною, подальше виділення четвірок рядків в матриці T припиняється. З використанням системи прапорців контролюється, щоб кожна підматриця T матриці A містила в собі ортогональну підматрицю. Якщо ця умова не виконується, тобто існують чотири рядки в яких не міститься ортогональна підматриця що містить чотири рядки і чотири стовпці, функція повертає нуль, що свідчить про те, що матриця A не забезпечує гарантовану можливість відновлення заданої кількості втрачених пакетів даних.

Остання група функцій здійснює статистичне моделювання процесу відновлення втрачених пакетів. В цьому режимі існують можливості прямого задання:

- матриці A формування резервних пакетів:
- номерів втрачених пакетів даних;
- номерів втрачених резервних пакетів.

Якщо матриця A не задається дослідником, що існують опції її формування за двома методами: формування стовпчиків матриці A у

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

вигляді їх номерів та доданку, який збільшує Хемінгову відстань між стовпчиками матриці A до заданої критичної величини, достатньої для відновлення двох пакетів даних при заданій кількості втрачених.

Другий метод, який може бути використаний в цьому режимі передбачає формування матриці A у вигляді квазіортогональних векторів на полях Галуа.

Для ініціювання обчислення контрольної суми для конкретних даних необхідно натиснути кнопку «Calculate components of check sum». Компоненти обчисленої контрольної суми будуть відображені у контейнері «Check sum».

Головне вікно програми після обчислення компонент контрольної суми відображене на рисунку 2.1.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Головне вікно програми після моделювання втрати паветів показано на рисунку 3.2.

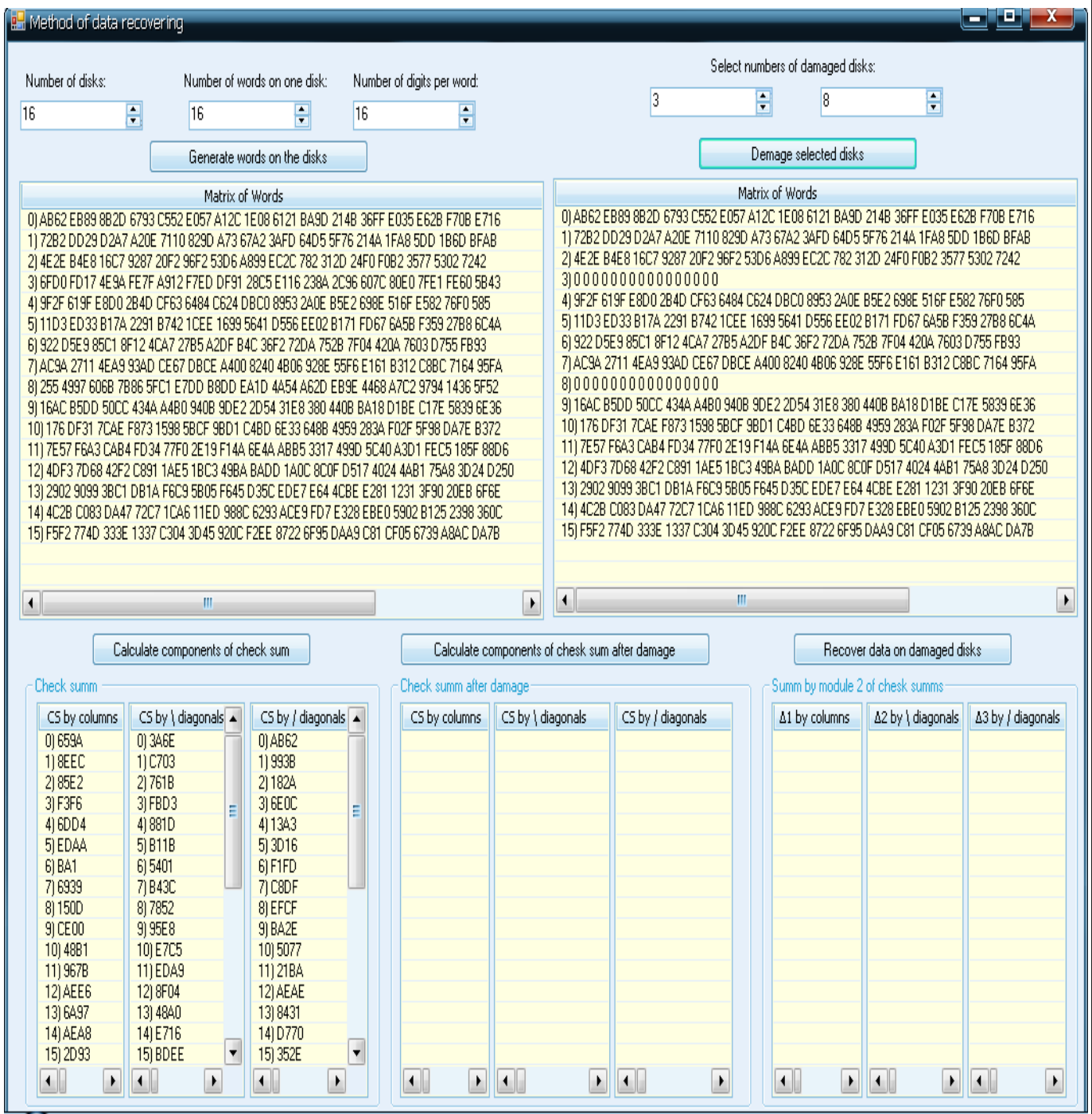


Рис. 3.2 – Головне вікно програми після виходу із ладу третього та восьмого дисків

Висновки до розділу 3

В результаті виконання розробок, які складають третій розділ дипломного проекту, і мають на меті створення програмного забезпечення для експериментальної перевірки функціональної працездатності та моделювання запропонованого методу резервування та відновлення втрачених пакетів даних при передачі їх в мережі Інтернет можна зробити такі висновки:

1. Розроблено програмні засоби побудови матриці A , яка визначає спосіб формування резервних пакетів даних, і реалізує обидва з запропонованих в другому розділі метода формування резервних пакетів: на основі способу нумерації і доповнення та з використанням зсунутих квазіортогональних векторів на кінцевих полях Галуа.

2. Розроблені програмні засоби для тестування відповідності побудованих чи введених дослідником матриць формування резервних пакетів на їх відповідність теоретично доведеним умовам гарантованого відновлення втрачених пакетів при заданих обмеженнях на загальну кількість(основні резервних) втрачених пакетів.

3. Розроблені програмні засоби для формування оптимальних (за мінімумом часу відновлення) формул для відновлення втрачених інформаційних пакетів. З використанням цих програмних засобів побудовані таблиці швидкого відновлення втрачених пакетів даних, які заповнюються до початку роботи системи і дозволяють в різних варіантах втрати інформаційних та резервних пакетів швидко віднаходити найпростіший і найшвидший варіант відновлення втрачених інформаційних пакетів.

4. З використанням розроблених програмних засобів експериментально доведена функціональна працездатність теоретично запропонованих методів відновлення втрачених пакетів даних при їх передачі по глобальним

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

мережам. Створена програма підтверджує коректність роботи запропонованого методу резервування та прискореного відновлення пакетів даних при їх передачі по глобальним мережам та надає можливість отримати інформацію щодо кількості операцій потрібних для виконання резервування та відновлення даних, що дає змогу порівняти цей метод з існуючими.

5. Шляхом статистичного моделювання з використанням розроблених програмних засобів доведено, що застосування запропонованих методів резервування та відновлення втрачених пакетів даних забезпечують, за рахунок оптимізації варіантів відновлення, підвищення середньої швидкості відновлення втрачених пакетів на 18%.

					ІАЛЦ.468243.003 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Виконані в рамках дипломного проекту дослідження та розробки, націлені правлені на теоретичне обґрунтування, розробку та експериментальне дослідження методу резервування та відновлення втрачених пакетів даних при їх передачі по глобальним мережам дозволи отримати наступні результати:

1. Основними напрямками вдосконалення глобальних мереж є підвищення швидкості передачі даних, розширення використання вразливих впливу зовнішніх завад ефірних каналів зумовлене широким заснуванням мобільних обчислювальних платформ. Прискорення передачі даних підвищує негативний впливу міжсигнальної інтерференції на збільшення ймовірностей виникнення помилок на каналному рівні. В умовах сучасної реальності компроміс між пропускною здатністю каналів передачі даних та надійністю передачі має тенденцію до вирішення на користь швидкості передачі. Швидкий прогрес інтегральної схемотехніки надає широкі можливості застосування складних ефективних схем вправлення помилок та відновлення втрачених даних.

2. Підвищення надійності доставки даних в глобальних мережах, забезпечення безперебійної доставки потоків даних в однорангових мережах може бути досягнуте за рахунок застосування ефективних методів формування резервних пакетів, які передаються різними маршрутами до точки прийому і можуть бути використані для відновлення певної підмножини інформаційних пакетів, які втрачені або затримані понад критичний час в процесі транспортування до кінцевої точки.

3. Існуючі технології відновлення втрачених пакетів в глобальних мережах на основі MDS кодів розраховані на відновлення 1-2 пакетів, до то ж процес відновлення з використанням цих кодів займає багато часу, оскільки в них використовуються нелінійні перетворення. Зі збільшенням кількості пакетів, які відновлюються складність реалізації процесу

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

відновлення зростає експоненційно в силу того, що потрібно розв'язувати систему нелінійних рівнянь. Такі рівняння розв'язуються методом підбору, що зумовлює помітний час відновлення втрачених пакетів. На практиці MDS коди переважно використовуються для відновлення втрачених блоків даних при їх віддаленому зберіганні. Для цих застосувань час відновлення не є критичним. Для відновлення даних в глобальних мережах потрібні більш швидкодіючі методи відновлення втрачених даних. Тому, для радикального підвищення швидкості відновлення пакетів даних потрібно розробляти методи, в яких відновлення зводиться до розв'язання систем лінійних рівнянь, що може бути виконано аналітично, тобто доволі швидко відомими методами.

4. На основі проведених теоретичних досліджень сформульовано умови, яким має задовольняти матриця формування резервних пакетів для гарантованого відновлення одного, двох, трьох і чотирьох від загальної кількості переданих пакетів. Теоретично виведено формули для визначення мінімальної кількості резервних пакетів для кожного із зазначених варіантів гарантованого відновлення інформаційних пакетів.

5. Запропоновано метод побудови матриці формування резервних пакетів у вигляді лінійних логічних сум інформаційних пакетів для гарантованого відновлення двох втрачених пакетів.

6. Розроблено формалізований метод побудови матриці формування резервних пакетів у вигляді лінійних логічних сум інформаційних пакетів для гарантованого відновлення інформаційних пакетів при втраті не більше трьох від загальної кількості інформаційних та резервних пакетів. Теоретично доведено, що матриці, побудована за запропонованим методом при усіх варіантах втрати пакетів містить в собі ортогональну підматрицю, трансформування якої дозволяє гарантовано представити процес відновлення втрачених пакетів у вигляді системи лінійних рівнянь, яка гарантовано має єдине вирішення.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

7. Теоретично обґрунтовано та запропоновано підхід до побудови побудови матриці формування резервних пакетів у вигляді лінійних логічних сум інформаційних пакетів для гарантованого відновлення інформаційних пакетів при втраті не більше чотирьох від загальної кількості інформаційних та резервних пакетів. Теоретично показано, що при видаленні з побудованої матриці до трьох довільних рядків, вона забезпечує гарантоване відновлення максимум чотирьох інформаційних пакетів з використанням мінімальної кількості резервних пакетів.

8. Запропонована технологія відновлення втрачених пакетів з оптимізацією процедури їх реконструкції за критерієм витрат мінімальної кількості операцій. Доведено, що запропонована технологія, на відміну від відомих, дозволяє зменшити в середньому в 1.7 раз обчислювальну складність відновлення втрачених пакетів.

9. Розроблено програмні засоби побудови матриці A , яка визначає спосіб формування резервних пакетів даних, і реалізує обидва з запропонованих в другому розділі метода формування резервних пакетів: на основі способу нумерації і доповнення та з використанням зсунутих квазіортогональних векторів на кінцевих полях Галуа.

10. Розроблені програмні засоби для тестування відповідності побудованих чи введених дослідником матриць формування резервних пакетів на їх відповідність теоретично доведеним умовам гарантованого відновлення втрачених пакетів при заданих обмеженнях на загальну кількість (основні резервних) втрачених пакетів.

11. Розроблені програмні засоби для формування оптимальних (за мінімумом часу відновлення) формул для відновлення втрачених інформаційних пакетів. З використанням цих програмних засобів побудовані таблиці швидкого відновлення втрачених пакетів даних, які заповнюються до початку роботи системи і дозволяють в різних варіантах втрати інформаційних та резервних пакетів швидко віднаходити

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

найпростіший і найшвидший варіант відновлення втрачених інформаційних пакетів.

12. З використанням розроблених програмних засобів експериментально доведена функціональна працездатність теоретично запропонованих методів відновлення втрачених пакетів даних при їх передачі по глобальним мережам. Створена програма підтверджує коректність роботи запропонованого методу резервування та прискореного відновлення пакетів даних при їх передачі по глобальним мережам та надає можливість отримати інформацію щодо кількості операцій потрібних для виконання резервування та відновлення даних, що дає змогу порівняти цей метод з існуючими.

13. Шляхом статистичного моделювання з використанням розроблених програмних засобів доведено, що застосування запропонованих методів резервування та відновлення втрачених пакетів даних забезпечують, за рахунок оптимізації варіантів відновлення, підвищення середньої швидкості відновлення втрачених пакетів на 70%.

					ІАЛП.468243.003 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Leong D. Ho On coding real-time streaming under packet erasure / D.Leong, A. Qureshi, T. // Proc. IEEE International Symposium Information Theory (ISIT).- Vienna. Austria. Jul. 2013.- P.1012-1016.
2. Стіренко С.Г. Забезпечення безперервного відтворення потокового відео в однорангових мережах з використанням erasures кодів / С.Г. Стіренко, А.В., Габінет, Ю.В. Костенко // Вісник НТУУ "КПІ". Інформатика, управління та обчислювальна техніка: збірник наукових праць. – К.: "Век+", 2015. – № 62. – С. 105–110.
3. Иванов Д.Г. Метод восстановления данных на основе скошенных матриц в системах распределенного хранения / Луцкий Г.М., Иванов Д.Г. // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. Информационные технологии. - М.:УПИПК МГУП им. И.Федорова. - 2013 - № 2. - С.47-52.
4. Wu H., Hasan M.A., Blake I.F., Gao S. Finite field multiplier using redundant representation.// IEEE Trans. Computers, Vol.51, № 51,- 2002.- pp. 1306-1316.
5. Mortuza A.Parametric Approach to List Decoding of Reed-Solomon Codes Using Interpolation // IEEE Transactions on information theory. - Vol.57.- № 10.- 2011.- P.6718-6728.
6. Николайчук Я.М. Коды полів Галуа: теорія і застосування. Тернопіль.- Вид-во ТНУ.-2012.- 576 с.
7. Johnny M. A Multi-Level Encoding and Decoding Strategy for Binary Erasure Channel / M. Johnny, M.R.Aref // IEEE Transaction on Information Theory.- 2019.- Vol. 65.- No. 7.- P. 4143-4151.

					ІАЛШ.468243.003 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Czap L. Secure Network Coding with Erasures and Feedback./ L. Czap, C. Fragouli, V. Phabhakaran, S. Diggavi // IEEE Transaction on Information Theory.- 2015.- Vol. 61.- No. 4.- P. 1667-1686.
9. Luby M.G. Improved low-density parity-check codes using irregular graphs/ Luby M.G. Mitzenmacher M., Stokrollahi M.A., Spielman D.A. // IEEE Transaction on Information Theory,-2002,- Vol.46, № 2, - P. 585-589.
10. Gluesing-Luessen H. Symbol Erasure Correction in Random Network with Spread Codes / H. Gluesing-Luessen, A.L. Horlemann-Trautmann // IEEE Transaction on Information Theory.- 2019.- Vol. 65.- No. 4.- P. 2075-2091.
11. Fan X. Variable Packet-Error Coding / X.Fan, O.Kosut, A.B. Wagner // IEEE Transaction on Information Theory.- 2018.- Vol. 64.- No. 3.- P. 1530-1547.
12. Mortuza A., Parametric Approach to List Decoding of Reed-Solomon Codes Using Interpolation / A. Mortuza, M. A. Kuijper // IEEE Transactions on information theory. - Vol.57.- № 10.- 2011.- P.6718-6728.
13. Гепко И.А. Синтез совершенных двоичных решеток // Радиоэлектроника.- 1998. № 6.-С.13-21.
14. Wing Q. End-to-End Error-Correcting Codes on Networks with Wors-Case Bit Errors / Q. Wing, S. Jaggi // IEEE Transaction on Information Theory.- 2018.- Vol. 64.- No. 6.- P. 4467-4479.
15. Dimakis A. Decentralized Erasure Codes for istributed Networked Storage/ Alexandros G.Dimakis, Vinod Prabhakaran, and Kannan Ramchandran //. - Berkeley: University of California.-2006. - 176 P.
16. Adler N. Burs-Erasure Correcting Codes with Optimal Average Delay / N.Adler, Y.Cassuto // IEEE Transaction on Information Theory.- 2017.- Vol. 63.- No. 5.- P. 2848-2865.

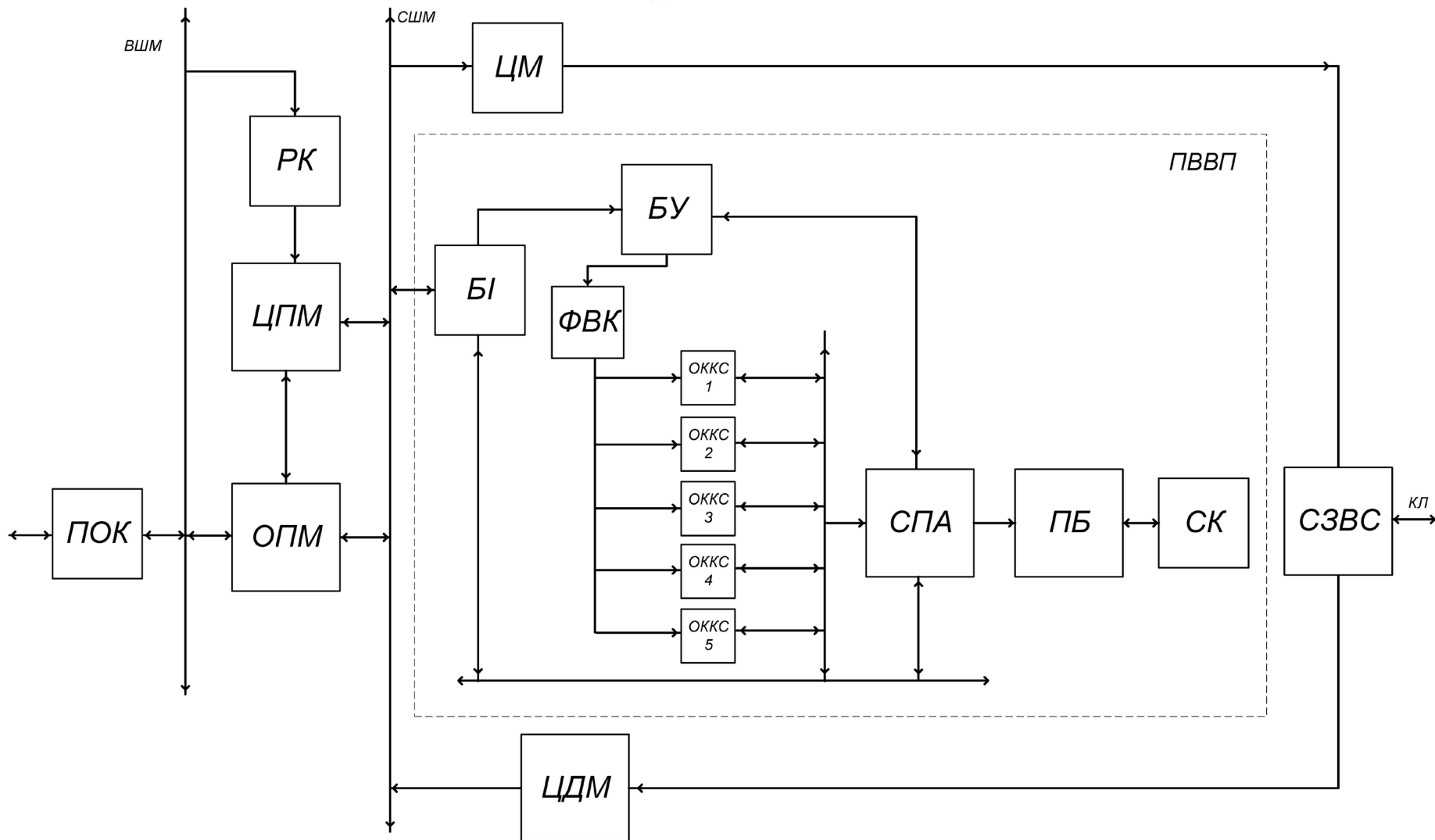
					ІАЛШ.468243.003 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

17. Bardis N.G. Usage of Linear Erasure Codes for Increasing Reliability and Efficiency of Information Delivery on the Internet / Nikolaos G. Bardis, Oleksandr P. Markovskiy and Kostiantyn V. Koliada // International Journal of Circuits, System and Signal Processing. Vol. 13. – 2019.- P. 585-592.
18. Fan, B. Raid for data-intensive scalable computing/ B. Fan, B. Tantisiroj, W. Xiao, L. Gibson // In: PDSW '09: Proceedings of the 4th Annual Workshop on Petascale Data Storage. - 2009.- ACM, Portland, Ташков П. А. Восстанавливаем данные на 100 %. - СПб.: Питер, - 2010.- 208 с.
19. USA.- pp. 6–10.
20. Русанова О.В. Використання лінійних кодів для відновлення втрачених пакетів даних в глобальних мережах / О.В.Русанова, О.П.Марковський, О.О.Замалдінов // Альманах науки.- 2020.- № 2 (35).- С.35-38.

					ІАЛШ.468243.003 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Додатки

Додаток А

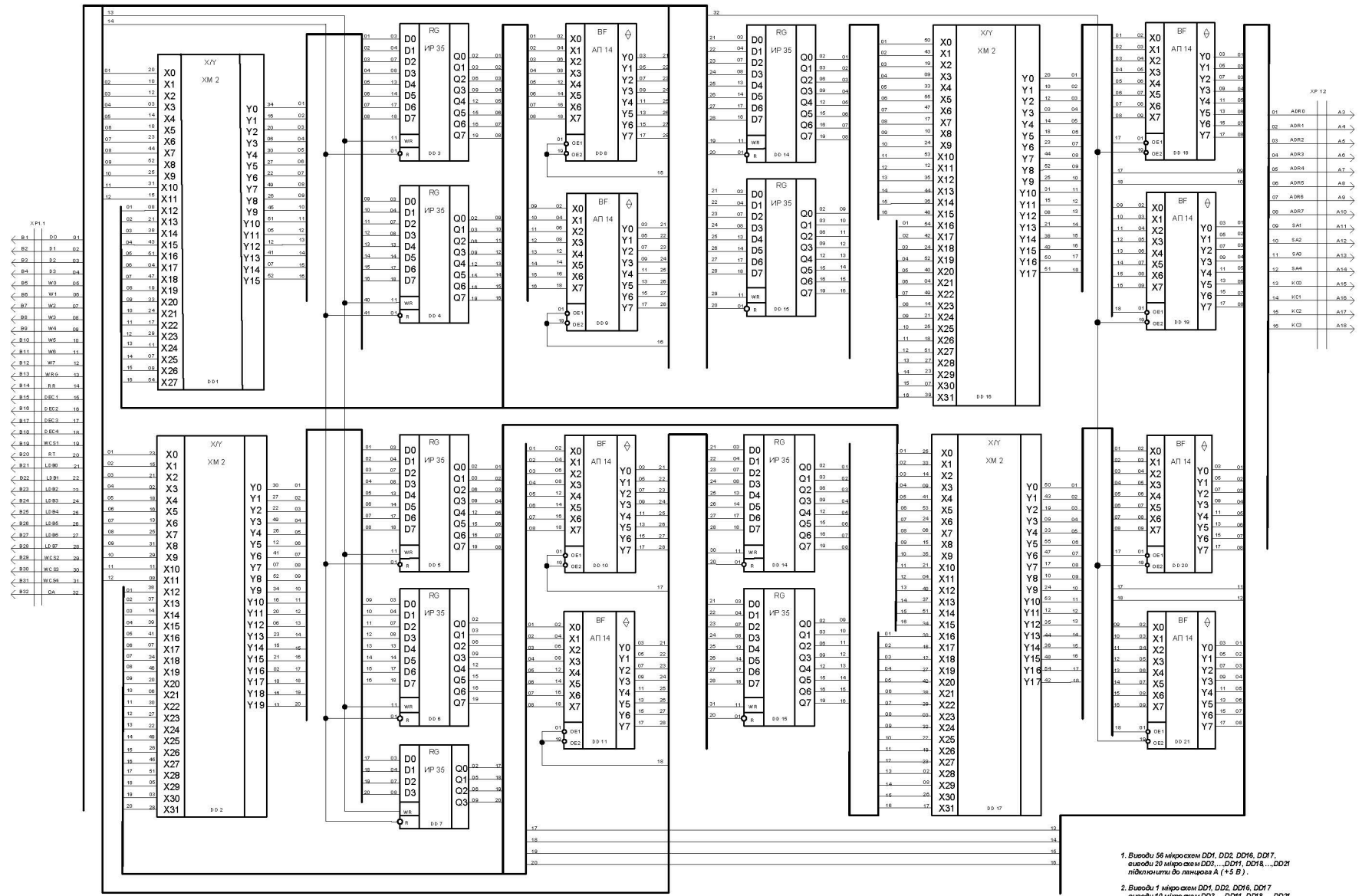


БІ – блок інтерфейсу
 БУ – блок управління
 ОККС – обчислювач компоненти контрольної суми
 ВШМ – вхідна шина модему
 ПОК – порт обміну з комп'ютером
 ПБ – пам'ять блоку
 ПВВП – процесор виявлення і виправлення помилок
 РК – реєстр команд

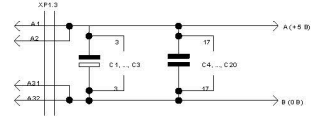
ОПМ – основна пам'ять модему
 СК – схема корекції
 СЗВС – схема зсуву і виділення сигналів
 СПА – схема порівняння і аналізу
 СШМ – системна шина модему
 ЦМ – цифровий модулятор
 ЦДМ – цифровий демодулятор
 ФВК – формувач вагових коефіцієнтів
 КЛ – кабельна лінія

				ІАЛЦ.468243.004.Э1			
№	Дата	Відомості	Лист	Додаток	Лист	Масштаб	
1		Схема ДБ			2		
2		Модельний О.П.					
3							
4							
5							
				ІТУУ "КПІ", ар. ІД-161			

Додаток Б



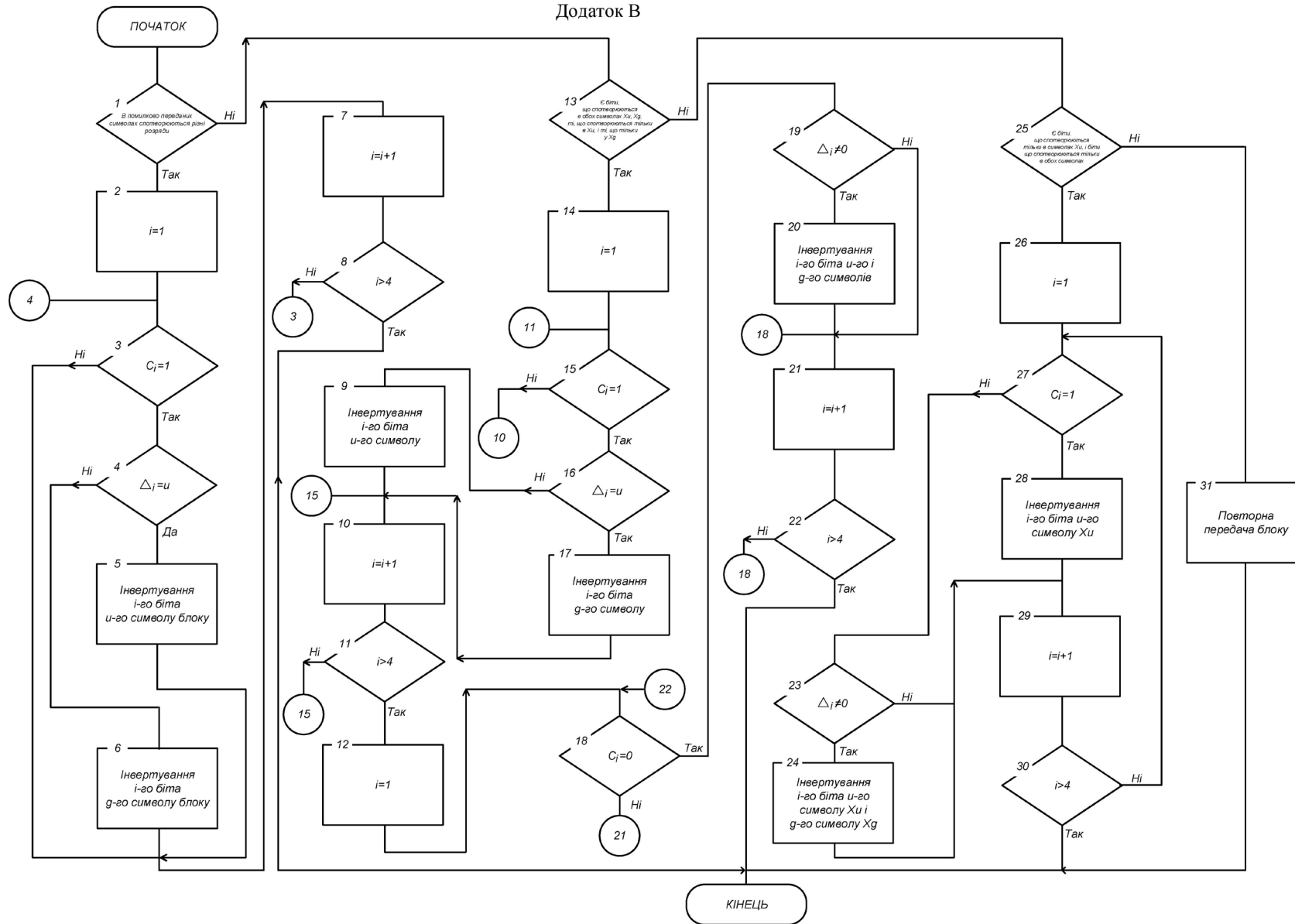
- XPI.1
- < B1 D0 01
 - < B2 D1 02
 - < B3 D2 03
 - < B4 D3 04
 - < B5 D4 05
 - < B6 D5 06
 - < B7 D6 07
 - < B8 D7 08
 - < B9 D8 09
 - < B10 D9 10
 - < B11 D10 11
 - < B12 D11 12
 - < B13 D12 13
 - < B14 D13 14
 - < B15 D14 15
 - < B16 D15 16
 - < B17 D16 17
 - < B18 D17 18
 - < B19 D18 19
 - < B20 RT 20
 - < B21 LD01 21
 - < B22 LD02 22
 - < B23 LD03 23
 - < B24 LD04 24
 - < B25 LD05 25
 - < B26 LD06 26
 - < B27 LD07 27
 - < B28 LD08 28
 - < B29 WC01 29
 - < B30 WC02 30
 - < B31 WC03 31
 - < B32 DA 32



- Входи 56 мікроосей DD1, DD2, DD16, DD17, входи 10 мікро осей DD3, ..., DD11, DD18, ..., DD21 підключити до ланцюга А (+5 В).
- Входи 1 мікро осей DD1, DD2, DD16, DD17 входи 10 мікро осей DD3, ..., DD11, DD18, ..., DD21 підключити до ланцюга В (0 В).

IAЛЦ.468243.005 Э3				Блок контролю		
Схема електрична				пункційна		
№	Знак	№ документа	Лист	Листів	Місяць	Рік
№	Знак	Схема, ДБ				
№	Знак	Місяць, рік	№	Д		
Інженер				НТУУ «КПІ»		
Спеціаліст				ар. 10-951		

Додаток В



				ІАЛЦ.468243.006 Д1		
№	№ документа	Підпис	Знак	Листів	Місяць	Місяць
Листів	Сторінок	Д				
Листів	Сторінок					
Процедура відновлення блоку даних				НТУУ "КПІ", зр. 10-361		
Схема алгоритму						

Додаток Г
Текст програми