

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

---

---

Інститут електроенергетики  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

студента Ужва Микита Миколайович

академічної групи 172-16зск-1

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

спеціалізації<sup>1</sup>

за освітньо-професійною програмою Телекомунікації та радіотехніка

на тему Динамічне резервування пропускну здатності зворотних каналів

в мережі супутникового зв'язку

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	к.т.н., доц. Герасіна О.В.			
розділів:				
спеціальний	к.т.н., доц. Герасіна О.В.			
економічний	к.е.н., доц. Романюк Н.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	к.ф.-м.н., проф. Гусєв О.Ю.			

Дніпро  
2019

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
безпеки інформації та телекомунікацій  
\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня бакалавра**

студенту Ужва Микита Миколайович академічної групи 172-16зск-1  
(прізвище ім'я по-батькові) (шифр)

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(код і назва спеціальності)

на тему Динамічне резервування пропускної здатності зворотних каналів  
в мережі супутникового зв'язку

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Аналіз підходів до побудови і організації супутникових систем зв'язку, а також існуючих способів резервування пропускної здатності зворотних каналів в супутникових мережах зв'язку.	25.02.2019 – 31.03.2019
Розділ 2	Розробка підходу до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку та оцінка його ефективності.	01.04.2019 – 12.05.2019
Розділ 3	Розрахунки трудомісткості динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку та капітальних витрат.	13.05.2019 – 09.06.2019

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Герасіна О.В.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі: \_\_\_\_\_

Дата подання до екзаменаційної комісії: \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента)

Ужва М.М.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 71 с., 17 рис., 4 додатки, 21 джерело.

Об'єкт розробки – супутникові системи зв'язку.

Предмет розробки – мережа супутникового зв'язку з динамічним резервуванням пропускної здатності зворотних каналів.

Мета роботи – підвищення ефективності використання виділеної мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу ресурсу пропускної здатності за рахунок зниження надмірності в формованому у супутниковому терміналі запиту динамічного резервування.

Наукова новизна результатів полягає в підвищенні ефективності використання частотно-енергетичного ресурсу транспондера за рахунок мінімально надлишкового резервування пропускної здатності при забезпечення вимог по середній затримці і джиттеру затримки для пакетних даних RBDC трафіка, що передаються.

У першому розділі проаналізовано підходи до побудови і організації супутникових систем зв'язку, а також існуючі способи резервування пропускної здатності зворотних каналів в супутникових мережах зв'язку.

У спеціальній частині роботи запропоновано підхід до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку з підвищенням ефективності функціонування мережі в умовах відсутності перевантаження по трафіку, і оцінено його ефективність. За наслідками досліджень зроблено висновки щодо рішення поставленої задачі.

У економічному розділі виконані розрахунки трудомісткості та капітальних витрат розробки підходу до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку.

СУПУТНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, АБОНЕНТСЬКА ЗЕМНА СТАНЦІЯ,  
СУПУТНИКОВИЙ ІНТЕРАКТИВНИЙ ТЕРМІНАЛ, ЗВОРОТНИЙ КАНАЛ,  
ЧАСТОТНО-ЧАСОВИЙ РЕСУРС

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 71 с., 17 рис., 4 приложения, 21 источник.

Объект разработки – спутниковые системы связи.

Предмет разработки – сеть спутниковой связи с динамическим резервированием пропускной способности обратных каналов.

Цель работы – повышение эффективности использования выделенной сети спутниковой связи интерактивного доступа ресурса пропускной способности за счет снижения избыточности в формируемом в спутниковой терминале запроса динамического резервирования.

Научная новизна заключается в повышении эффективности использования частотно-энергетического ресурса транспондера за счет минимально избыточного резервирования пропускной способности при обеспечении требований по средней задержке и джиттеру задержки для передаваемых пакетных данных RBDC трафика.

В первой главе проанализированы подходы к построению и организации спутниковых систем связи, а также существующие способы резервирования пропускной способности обратных каналов в спутниковых сетях связи.

В специальной части работы предложен подход к динамическому резервированию пропускной способности обратных каналов в сети спутниковой связи с повышением эффективности функционирования сети в условиях отсутствия перегрузки по трафику, и оценена его эффективность. По результатам исследований сделаны выводы относительно решения поставленной задачи.

В экономическом разделе выполнены расчеты трудоемкости и капитальных затрат разработки подхода к динамическому резервированию пропускной способности обратных каналов в сети спутниковой связи.

**СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ, АБОНЕНТСКАЯ ЗЕМНАЯ СТАНЦИЯ,  
СПУТНИКОВЫЙ ИНТЕРАКТИВНЫЙ ТЕРМИНАЛ, ОБРАТНЫЙ КАНАЛ,  
ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ РЕСУРС**

## ABSTRACT

Explanatory note: p. 71, fig. 17, 4 additions, 21 sources.

The object of development –satellite communication systems.

The subject of development is a satellite communications network with dynamic backup bandwidth capacity of return channels.

The purpose of work is to increase the efficiency of the use of a dedicated satellite communication network of interactive access to the capacity of the resource by reducing redundancy in a dynamic reservation request generated in the satellite terminal.

The scientific novelty consists in increasing the efficiency of using the transponder's frequency and energy resource due to minimal redundant bandwidth redundancy while meeting the requirements for average delay and delay jitter for the transmitted RBDC traffic packet data.

The first chapter analyzes approaches to the construction and organization of satellite communication systems, as well as existing methods for backing up the capacity of reverse channels in satellite communication networks.

In a special part of the work, an approach to dynamic backup of the capacity of return channels in a satellite communication network with an increase in the efficiency of the network in the absence of traffic congestion was proposed, and its effectiveness was evaluated. According to the results of research, conclusions are drawn regarding the solution of the problem.

In the economic section, calculations of the labor intensity and capital costs of developing an approach to the dynamic reservation of the throughput capacity of the return channels in the satellite communications network are made.

SATELLITE CONNECTION, USER EARTH STATION, SATELLITE INTERACTIVE TERMINAL, RETURN CHANNEL, FREQUENCY-TIME RESOURCE

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АЗС – Абонентська земна станція;
- ГСО – Геостаціонарна орбіта;
- ДС – Діаграма спрямованості;
- ЗС – Земна станція;
- ЗСК – Зворотний супутниковий канал;
- КА – Космічний апарат;
- ПП – Підсилювач потужності;
- ПСК – Прямий супутниковий канал;
- РЗ – Ретранслятор зв'язку;
- РМСЗ – Радіомовний супутниковий зв'язок;
- РСЗ – Рухомий супутниковий зв'язок;
- СІТ – Супутниковий інтерактивний термінал;
- СЛЗ – Супутникова лінія зв'язку;
- ССЗ – Супутникова система зв'язку;
- ЦЗС – Центральна земна станція;
- ЦС – Центральна станція;
- ШСЗ – Штучний супутник Землі;
- ФСЗ – Фіксований супутниковий зв'язок;
- VoD – Bandwidth on Demand – Надання ресурсу на вимогу;
- ВТР – Burst Time Plan;
- DVB-RCS – Digital Video Broadcasting – Return Channel via Satellite;
- IPoS – Internet Protocol over Satellite;
- FDMA – Frequency Division Multiple Access – Множинний доступ з частотним розподілом каналів;
- MF-TDMA – Multi Frequency-Time Division Multiple Access – Багаточастотний багатостанційний доступ з часовим розподілом;
- RBDC – Rate-Based Dynamic Capacity – Динамічне виділення пропускної здатності на основі швидкості передачі;

SAC – Satellite Access Control;

SCPC – Single Channel Per Carrier – Один канал на несучу;

TDMA – Time Division Multiple Access – Множинний доступ з часовим розподілом каналів;

QoS – Quality of Service – Якість обслуговування.

## ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	10
1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ .....	12
1.1 Загальні відомості про супутникові системи зв'язку .....	12
1.1.1 Характеристики побудови супутникових ліній зв'язку .....	12
1.1.2 Зони бачення для супутникових систем зв'язку .....	16
1.1.3 Статистична структура сигналів супутникових ліній зв'язку .....	17
1.1.4 Основні складові систем супутникового зв'язку .....	18
1.1.5 Методи організації супутникового зв'язку .....	20
1.2 Стандарт супутникового зв'язку DVB-RCS.....	22
1.3 Існуючі способи резервування пропускної здатності зворотних каналів в супутникових мережах зв'язку.....	28
1.4 Висновок. Постановка задачі .....	39
2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	41
2.1 Підхід до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку.....	41
2.2 Оцінка ефективності запропонованого підходу до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку.....	53
2.3 Висновок .....	55
3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ .....	57
3.1 Визначення трудомісткості розробки підходу динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку.....	57
3.2 Розрахунок витрат на розробку підходу динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку.....	58
3.3 Висновок .....	61
ВИСНОВКИ.....	63



ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	65
ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи .....	67
ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії.....	68
ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу.....	69
ДОДАТОК Г. Відгук керівника кваліфікаційної роботи .....	70

## ВСТУП

Наразі збільшення попиту на послуги якісної цифрової телефонії, відеоконференц-зв'язку, файлового обміну даними привело до необхідності інтеграції технічних рішень по передачі мультимедійного трафіку. Основою інтеграції стало обладнання, що підтримує сучасні мережеві технології пакетної комутації. Концепція широкого впровадження мережевих технологій отримала найбільш повне відображення при створенні цифрових мереж інтегрального обслуговування, що забезпечують об'єднання великої кількості різних служб в рамках єдиної телекомунікаційної мережі.

Супутниковий зв'язок володіє найважливішими перевагами, необхідними для побудови великомасштабних телекомунікаційних мереж. По-перше, з його допомогою можна досить швидко сформувати мережеву інфраструктуру, що охоплює велику територію та не залежну від наявності або стану наземних каналів зв'язку. По-друге, використання сучасних технологій доступу до ресурсу супутникових ретрансляторів і можливість доставки інформації практично необмеженого числа споживачів значно знижують витрати на експлуатацію мережі. Ці переваги забезпечують інтерактивними мультимедійними супутниковими мережами, подібних стандартам DVB-RCS (Digital Video Broadcasting – Return Channel via Satellite), IPoS (Internet Protocol over Satellite). Такі мережі мають високу привабливість для відомств, підприємств, компаній з територіально-розподіленою інфраструктурою, вкрай зацікавлених в зниженні витрат на оплату послуг зв'язку і які вважають за краще створювати власні більш економічні технологічні мережі зв'язку.

Ефективним вирішенням для підвищення ступеню використання пропускної здатності інтерактивних мультимедійних супутникових мереж зв'язку є застосування багаточастотного багатостанційного доступу з часовим розподілом (MF-TDMA – Multi Frequency-Time Division Multiple Access).

Таким чином, вдосконалення підходів для підвищення ефективності функціонування супутникових мереж зв'язку наразі є актуальною задачею.

Метою роботи є підвищення ефективності використання виділеної мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу ресурсу пропускної здатності за рахунок зниження надмірності в формованому у супутниковому терміналі запиту динамічного резервування.

Постановка задачі:

- проаналізувати підходи до побудови і організації супутникових систем зв'язку;
- провести аналіз існуючих способів резервування пропускної здатності зворотних каналів в супутникових мережах зв'язку;
- розробити підхід до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку з підвищенням ефективності функціонування мережі в умовах відсутності перевантаження по трафіку;
- оцінити ефективність розробленого підходу.

## 1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

### 1.1 Загальні відомості про супутникові системи зв'язку

#### 1.1.1 Характеристики побудови супутникових ліній зв'язку

Супутникові лінії зв'язку частково пролягають в земній атмосфері, а частково в космічному просторі. Вони з'єднують земні станції (ЗС) з ретрансляторами зв'язку, що розміщуються на борту штучних супутників Землі (ШСЗ). Системи зв'язку, де використовуються супутникові лінії, є підсистемами більш загальних телекомунікаційних систем. Проте вони часто використовуються і як автономні, що виконують самостійні, незалежні від інших систем функції [1-4].

Супутниковою системою зв'язку (ССЗ) називають комплекс земного і космічного обладнання зв'язку, яке забезпечує передачу інформації через ретранслятор зв'язку (РЗ), що розміщується в космічному просторі. Система супутникового зв'язку містить два сегменти [5]:

- космічний, що складається з орбітального угруповання ШСЗ, на борту яких розташовані РЗ;
- земний, до якого входить комплект ЗС (центральної, вузлових, абонентних), ракетно-космічний комплекс, система контрольно-вимірювальних станцій, органи управління системою і взаємодією цією ССЗ з ракетно-космічним комплексом.

Сучасні ракетно-космічні комплекси призначені для створення та поповнення орбітальних супутникових угруповань, передстартової підготовки, виведення космічних апаратів на орбіту та розподіл супутників на орбіті при груповому запуску. При групових запусках одночасно може виводитися в космічний простір однією ракетою від двох до дванадцяти апаратів, що скорочує високу вартість цих запусків. Стартова маса ракет може сягати декількох сотень тонн. Маса української ракети «Зеніт» може сягати близько

500 тонн. Таку саму масу має французька ракета ARIANE. Маса корисного вантажу, що виводиться на геостаціонарну орбіту, становить від сотень кілограмів до декількох тонн.

Земні станції супутникового зв'язку можуть бути центральними, що забезпечують необхідну ретрансляцію, розподіл і контроль інформації, яка передається іншими, регіональними, вузловими або абонентськими (VSAT, PES, TES) станціями.

VSAT – термінал з дуже малою апертурою антени (діаметр у межах до 1 м). PES – персональні земні станції (Personal Earth Station) забезпечують передачу інформаційних сигналів між територіально рознесеними абонентами за схемою «кожний з кожним» і забезпечують з'єднання з абонентами національних і міжнародних пакетних мереж. TES – Telephony Earth Station – забезпечують телефонний зв'язок у відповідних мережах. Разом з тим інтеграція національних і міжнародних телекомунікаційних систем все більше змінюють автономність використання ССЗ і більше орієнтують ці системи до спеціалізації задач мережного і транспортного рівнів. Прикладом тому є системи, що з'явилися в останні роки: IRIDIUM, GLOBALSTAR, TELEDESIC та інші, що реалізують глобальну систему рухомого зв'язку.

Схему організації супутникового зв'язку зображено на рис. 1.1 [5].

ШСЗ, на яких розміщуються РЗ, пересуваються в космічному просторі під впливом гравітаційних сил без двигунів. Їх рух відбувається за допомогою сили земного тяжіння. Лише для корекції їх руху включаються малопотужні бортові двигуни. Шлях ШСЗ відбувається за замкнутими траєкторіями – орбітами. Серед орбіт, що використовуються в ССЗ, є геостаціонарні (GEO), полярні, низькі (LEO) та середні (MEO).

Перехід на низькі (висота орбіти до  $h_0=1500$  км) та середні ( $h_0=10000\dots20000$  км) орбіти дозволив вирішити не тільки проблему перевантаженості геостаціонарних орбіт ( $h_0=36\ 000$  км), але й істотно розширив сферу телекомунікаційних послуг, забезпечивши користувачів глобальним персональним зв'язком за допомогою терміналу типу «телефонної трубки».

Еволюція супутникових систем нагадує процеси в комп'ютерній техніці, коли великі ЕОМ поступилися місцем мережам передачі даних і персональним комп'ютерам. Аналогічне явище спостерігається й у сфері супутникового зв'язку: перехід від важких геостаціонарних до порівняно легких низькоорбітальних.

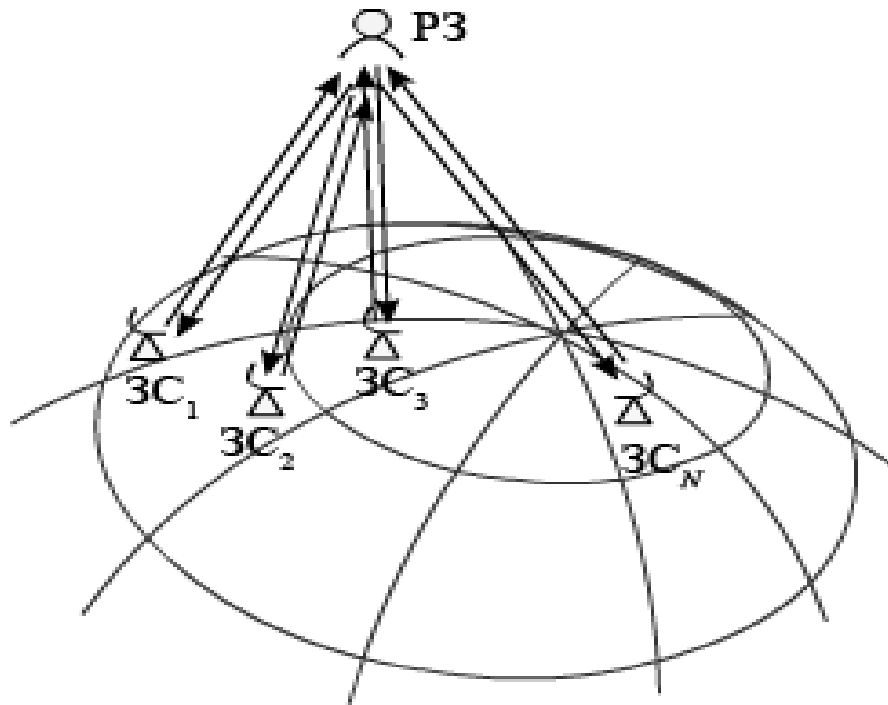


Рисунок 1.1 – Схема супутникового зв'язку для ЗС через РЗ

Процес повсюдного впровадження персональної комп'ютерної техніки, а також надзвичайно швидке збільшення кількості послуг мережі Інтернет привели до того, що комп'ютер став невід'ємною частиною супутникового терміналу. Він використовується не тільки для підготовки й обробки інформації, але й для управління його роботою, обміну великими обсягами інформації, при передачі мовлення і мультимедіа.

Із зниженням висоти орбіти зменшується миттєва зона обслуговування, а отже, потрібно збільшення кількості супутників для глобального охоплення. Кількість космічних апаратів (КА) в орбітальному угрупованні залежить від висоти орбіти і робочих кутів місця, при яких забезпечується стійкий зв'язок. Визначено, що низькоорбітальна система має забезпечувати глобальний

зв'язок, а кількість її супутників не може бути меншою 48. Період обігу КА на цих орбітах складає 1–1,5 год, максимальний час перебування в зоні радіобачення не перевищує 10-15 хв. Основні характеристики орбіт різного типу (GEO, MEO і LEO) наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики GEO, MEO і LEO

Тип орбіти	GEO	MEO	LEO
Висота орбіти, км	36000	5000 - 15000	500 - 2000
Кількість КА в орбітальному угрупованні при безперервному глобальному покритті	3	8 - 12	48 - 66
Площа зони покриття для одного КА, % щодо поверхні Землі (кут місця 10°)	34	25 - 28	3 - 7
Час перебування КА в зоні радіобачення	24 години	1,5 - 2 години	10 - 15 хвилин
Затримка при передачі мовлення, мс, не менше	500	80 - 130	20 - 70
Частота перемикання з одного супутника на інший, хв	-	50	8 - 10
Мінімальний робочий кут місця, °	5	15 - 25	10 - 15

Процес персоналізації телекомунікацій привів до того, що межі між традиційними службами фіксованого та рухомого зв'язку почали поступово зникати. Єдине, що поки пов'язує портативний термінал і традиційні служби зв'язку – це розподіл частотного ресурсу. Проте і в цьому напрямі відбулися істотні зміни. Запропоновано низку проектів створення мобільних терміналів на вищих частотах, тобто в УВЧ- і НВЧ-діапазонах.

Змінився підхід до мобільних ССЗ як до спеціалізованих систем (морських, повітряних, автомобільних і залізничних). Фактично сучасний мобільний термінал відрізняється лише конструктивним виконанням і інтерфейсом.

Можливості сучасного супутникового зв'язку здатні надавати іншу важливу послугу – визначення місцеположення рухомих абонентів, необхідну для супроводу транспортних і вантажних перевезень, відстежування втрачених або вкрадених автомобілів тощо.

Одним із найперспективніших напрямів розвитку мобільних ССЗ є їх інтеграція з існуючими стільниковими мережами. Супутникові системи не тільки забезпечать розширення спектра послуг обміну даними радіотелефонної і пейджингової мереж за допомогою дворежимних терміналів, але й дозволять у перспективі розв'язати найгострішу проблему забезпечення зв'язком малонаселених, віддалених і важкодоступних районів.

### 1.1.2 Зони бачення для супутникових систем зв'язку

Під час руху супутника орбітою й обертання Землі змінюється як розташування, так і розміри зони бачення. Для супутника на геостаціонарній орбіті зону радіобачення можна вважати постійною. З висоти GEO при мінімальному куті підвищення, що перевищує  $5^\circ$ , Землю видно під кутом  $\varphi \sim 18^\circ$ . Якщо антена ШСЗ має саме таку ширину головної пелюстки діаграми спрямованості (ДС), то така антена називається глобальною. Її коефіцієнт підсилення ( $G = 4\pi/\varphi^2$ ) сягає 20 дБ. Для забезпечення глобальної зони покриття (безперервної вздовж екватора без приполярних регіонів) достатньо трьох супутників, які знаходяться на GEO. Для ШСЗ за визначенням висоти орбіти  $h_0$  можна розрахувати розмір зони покриття за формулою

$$D_3 = \frac{4\pi\rho_3}{360 \arccos\left(1 + \frac{h_0}{\rho_3}\right)^{-1}}, \quad (1.1)$$



де  $\rho$  – радіус Землі, дорівнює 6 370 км;  $h_0$  – висота орбіти.

З використанням третього закону Кеплера можна розрахувати період обертання супутника за круговою орбітою:

$$T_{\text{кр}} = 1,66 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt[3]{(\rho_3 + h_0)}. \quad (1.2)$$

Унаслідок великих відстаней Земля - Супутник - Земля час проходження сигналів по СЛЗ досить великий

$$t_{c \text{ min}} \geq \frac{2h_0}{c} \quad (1.3)$$

і збільшується до краю зони бачення. Мінімальний час запізнювання сигналу буде у разі перебування супутника у зеніті. Якщо взяти до уваги це запізнювання та запізнювання, що має місце при проходженні наземними лініями, то для супутника на геостационарній орбіті час запізнювання може перевищувати  $t_c \geq 250\text{-}330$  мс.

### 1.1.3 Статистична структура сигналів супутникових ліній зв'язку

Як і в інших лініях зв'язку, в супутникових лініях зв'язку (СЛЗ) сигнали за потужністю  $P_{\Sigma}$  складаються з детермінованої (невипадкової) частки  $P_d$  і випадкової  $P_v$ :  $P_{\Sigma} = P_d + P_v$ . При цьому в СЛЗ, що використовують у GEO, рівень випадкової частки сягає декількох відсотків, а основна складова сигналу – детермінована. Зважаючи на це, необхідний рівень сигналів, який потрібен для впевненого прийому, розраховується і вибирається ще на стадії проектування. Таким чином, коли планують побудову СЛЗ з використанням того чи іншого ретранслятора на GEO, то вже заздалегідь знають, який рівень сигналу слід прийняти, і це вимагає відповідних розмірів антен (їх коефіцієнтів підсилення  $G_{\text{пр}}$ ), чутливості приймачів і потужності передавачів  $P_{\text{пер}}$ . Тому будь-яку земну станцію не можливо безпосередньо використовувати [5-7].

Зовсім інша структура для СЛЗ, що базуються на похилих орбітах і особливо на низьких. Частка випадкової компоненти тут збільшується і сягає 20...30 %. Основною причиною такого збільшення є те, що ШСЗ пересуваються

в просторі. Це призводить до більшого впливу різних дестабілізуючих механізмів. У таких СЛЗ вживають відповідних заходів щодо врахування дії випадкової частини сигналу (використовують завадозахищені сигнали, завадозахищені коди тощо).

#### 1.1.4 Основні складові систем супутникового зв'язку

Відповідно до Регламенту радіозв'язку залежно від призначення ССЗ і типу використовуваних ЗС розрізняють три основні служби супутникового зв'язку: фіксований супутниковий зв'язок (ФСЗ), рухомий супутниковий зв'язок (РСЗ) та радіомовний супутниковий зв'язок (РМСЗ). Через низку причин, як технічних, так і історичних, такий розподіл зберігається і до цього дня, хоча і не повністю відображає динаміку розвитку сучасних засобів супутникового зв'язку, які сьогодні йдуть шляхом глобалізації і персоналізації телекомунікацій [5, 8].

Служба ФСЗ призначена для організації зв'язку між стаціонарними користувачами. Спочатку системи ФСЗ використовувалися виключно для організації магістральних ліній зв'язку великої протяжності та зонового зв'язку. Нині ФСЗ на базі терміналів типу VSAT вже застосовується для мереж електронної комерції, для обміну банківською інформацією, мереж оптових баз, торгових складів тощо. Крім того, розвиток ФСЗ йде у напрямі організації персонального зв'язку і передачі мультимедійної інформації на домашні ПК. Для систем ФСЗ виділені діапазони частот: С (4,6 ГГц), Х (7/8 ГГц), Ки (11/14 ГГц) і Ка (20/30 ГГц).

До ФСЗ належать також фідерні лінії, що забезпечують організацію високошвидкісних каналів сигналізації й управління між наземними станціями мережі. Робота фідерних ліній забезпечується, як правило, в тих самих діапазонах частот.

Як уже було зазначено, межі між традиційними службами ФСЗ і РСЗ або ФСЗ і РМСЗ поступово почали зникати. Так, персональні ЗС віддалених

користувачів, які працюють в Ки- або Ка-діапазоні, формально належать до класу ФСЗ (робота в смугах частот, виділених для ФСЗ), проте за своїм призначенням і виконуваними функціями вони належать до елементів мобільної системи.

Системи РСЗ призначені для організації зв'язку між мобільними об'єктами або між мобільним об'єктом і стаціонарним. Спочатку РСЗ розглядалися як служби спеціального призначення, орієнтовані на організацію морського, повітряного, автомобільного та залізничного супутникового зв'язку. На сьогодні йде процес переорієнтації РСЗ на забезпечення послуг персонального зв'язку. Для систем РСЗ виділені діапазони частот до 1 ГГц, а також смуги частот у L- (1,5/1,6 ГГц) і S- (2,4/2,5 ГГц) діапазонах. У перспективних РСЗ планується робота в інших смугах частот S-діапазону (1,9/2,2 ГГц), у Ка- (20/30 ГГц) діапазоні і в НВЧ (40—50 ГГц).

Служба РМСЗ призначена для прийому телевізійних і радіомовних програм. Вона охоплює системи безпосереднього телевізійного мовлення, супутникове телевізійне мовлення і супутникове безпосереднє радіомовлення. Розвиток РМСЗ йде в напрямку від аналогових до цифрових систем телебачення і радіомовлення.

У телерадіомовленні, де потрібне суцільне покриття обслуговуваних територій, переваги ССЗ перед іншими системами виявляються найбільшою мірою. В результаті переходу на цифрові методи передачі телевізійних сигналів виникла нова послуга – інтерактивне телебачення. Порівняно недавно зародилася також ідея персоналізації у сфері телемовлення, тобто можливість інтерактивного обміну в процесі телепередач і задоволення індивідуальних запитів за рахунок трансляції по закритих каналах замовлених телепрограм. У цьому разі користувач перетворюється з пасивного споживача мовленнєвої інформації в активного учасника телепрограми [5].

Сьогодні очевидне збільшення кількості програм, яке відбувається у тому числі й за рахунок створення каналів безпосереднього супутникового радіомовлення.

Сучасні системи персонального телерадіомовлення будуються на базі супутників на GEO. Проте найбільш перспективні ССЗ, які здатні привести до «революції» в інформаційних технологіях – це пряме супутникове мовлення на комп'ютери (Direct PC). Служба Direct PC дозволяє одержувати по супутникових каналах телевізійні зображення (швидкість 30 Мбіт/с) і інформацію з мережі Інтернет (швидкість до 400 кбіт/с) безпосередньо на ПК з апаратурою індивідуального прийому. Такі послуги, можливо, надаватиме низькоорбітальна система E.Sat, призначена для ширококомовної передачі інформації безпосередньо на домашні термінали користувачів.

### 1.1.5 Методи організації супутникового зв'язку

Організація зв'язку в ССЗ може визначатися згідно з методами ретрансляції (безпосередньо між ЗС або через центральну земну станцію (ЦЗС)), а також згідно з ієрархічною побудовою (радіальна та радіально-вузлова) [5, 10-12].

Віддаленість ретранслятора і відсутність його безпосереднього обслуговування надає ССЗ відповідної специфіки. Найпростішим методом організації зв'язку між земними абонентськими станціями через ретранслятор за принципом «кожний з кожним» (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Організація супутникового зв'язку за методом «кожний з кожним»

Такий метод застосовується для тих інформаційних систем, абоненти яких взаємодіють на основі рівноправних паритетних відносин.

Проте нерідко в інформаційних системах як центральна виступає одна із підсистем, яка виконує координуючі або контролюючі дії. До таких можна віднести центральний банк з його філіями в інших містах, головний офіс з його відділеннями тощо. В цьому разі для забезпечення контролюючих координуючих функцій виділяється центральна або вузлова станція, через яку відбуваються всі зв'язки інших абонентських земних станцій (рис. 1.3). Кожна абонентська земна станція (АЗС) передає свій груповий сигнал ( $\Gamma_{pc_A}$ ) на ретранслятор та сума  $i$ -х сигналів ( $\sum_{i=1}^n C$ ) надходить на ЦЗС.

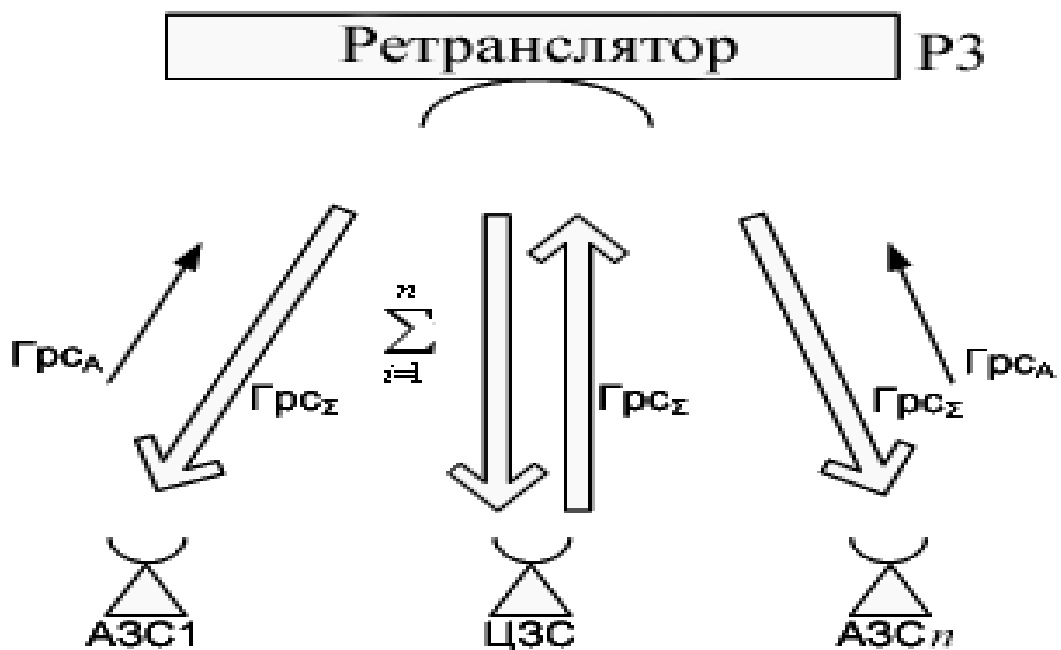


Рисунок 1.3 – Організація зв'язку АЗС через ЦЗС

Там ці сигнали відповідно оброблюються і з них формується загальний груповий сигнал  $\Gamma_{pc_{\Sigma}}$ , що передається через РЗ на всі АЗС. Кожна з АЗС обирає свій сигнал, у якому може бути інформація як від ЦЗС, так і від інших АЗС. Така організація зв'язку через ЦЗС може бути корисною також тоді, коли

настає необхідність відмовити в доступі тій чи іншій АЗС. Окрім зазначених функцій, організація зв'язку через ЦЗС дозволяє покращити енергетику в лініях до АЗС порівняно з методом безпосереднього зв'язку, оскільки можливості і ресурси ЦЗС зазвичай перевищують можливості АЗС (у ЦЗС більша потужність передавача  $P_{\text{пер}}$ , більша площа антени тощо).

## 1.2 Стандарт супутникового зв'язку DVB-RCS

DVB-RCS – європейський стандарт телемовлення, один з сімейства стандартів DVB, затверджений Європейським Інститутом Стандартизації в області Зв'язку (ETSI) у 2000 році. Стандарт пропонує прямий канал, заснований на форматі даних DVB / MPEG-2, і зворотний канал, на основі режиму MF-TDMA.

Рішення формується зіркоподібною топологією мережі, й організовує двосторонню передачу даних між центральною станцією і терміналами (рис. 1.4). Цей канал передачі може використовуватися для будь-яких ІР додатків, що включає високошвидкісний доступ в Інтернет, VoIP [10].

Система DVB-RCS через супутникову мережу забезпечує доступ в режимі Unicast для кожного ЗВТ до ресурсів корпоративної мульти сервісної мережі або до мережі Інтернет. У режимі багатостанційного доступу термінал знаходиться в стані квазібезперервного з'єднання з ЦЗС і, відповідно з мультисервісною мережею, може зберігати цей стан протягом тривалого періоду часу [1].

Режим доступу до даних по ІР протоколу заснований на протокольних стеках, представлених на рис. 1.5 (протокольний стек служби доступу по ІР зв'язок між ЦЗС і супутниковим інтерактивним терміналом (СІТ)) [10].

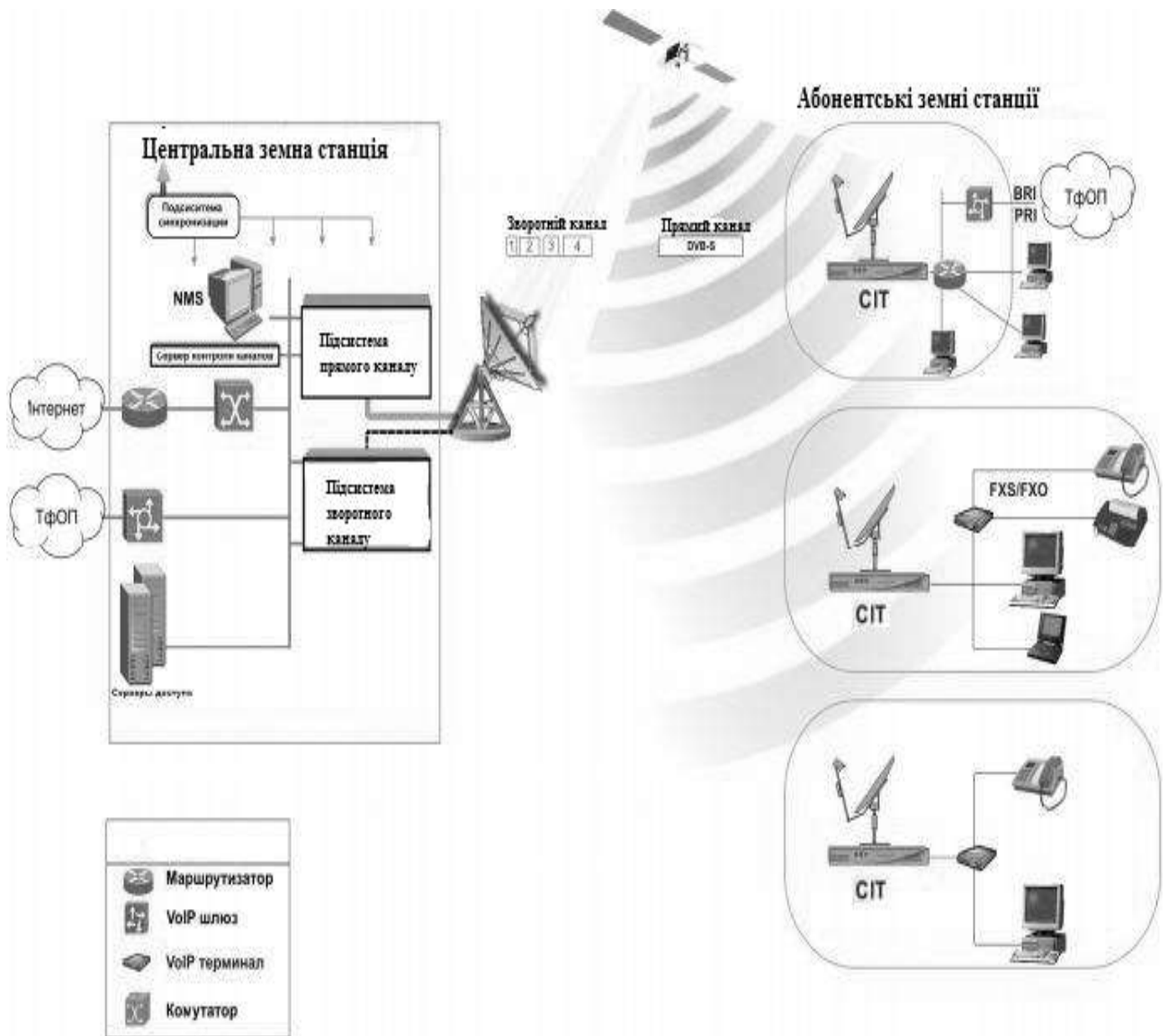


Рисунок 1.4 – Структурна схема топології зірка

Стандарт DVB-RCS пропонує прямий канал, заснований на форматі даних DVB / MPEG-2, і зворотний канал, на основі режиму MF-TDMA.

У стандарті DVB-RCS, використання технологій DVB-S (S2) для прямого каналу продиктовано насамперед економікою. Недорогі масові DVB-S2 компоненти вже існують, у той час як можливо більш ефективні схеми реалізації фірмових стандартів накладуть істотні вартісні і часові витрати на розвиток обладнання центральних станцій і терміналів. Технологія S2 дозволяє використовувати модеми з різними вихідними інтерфейсами. Це може бути, широко поширений Ethernet (рис. 1.6).

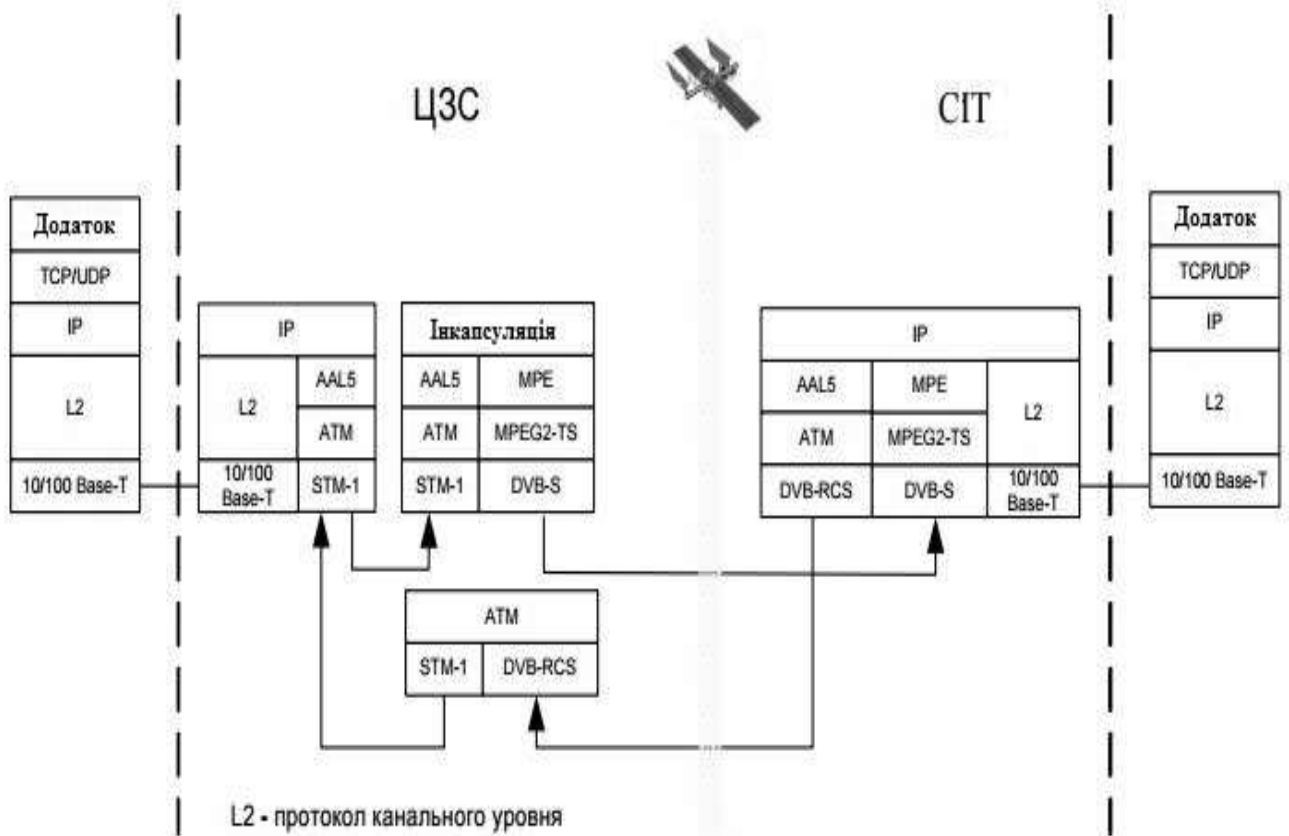


Рисунок 1.5 – Протокольний стек служби доступу по IP зв'язок між ЦЗС і СІТ

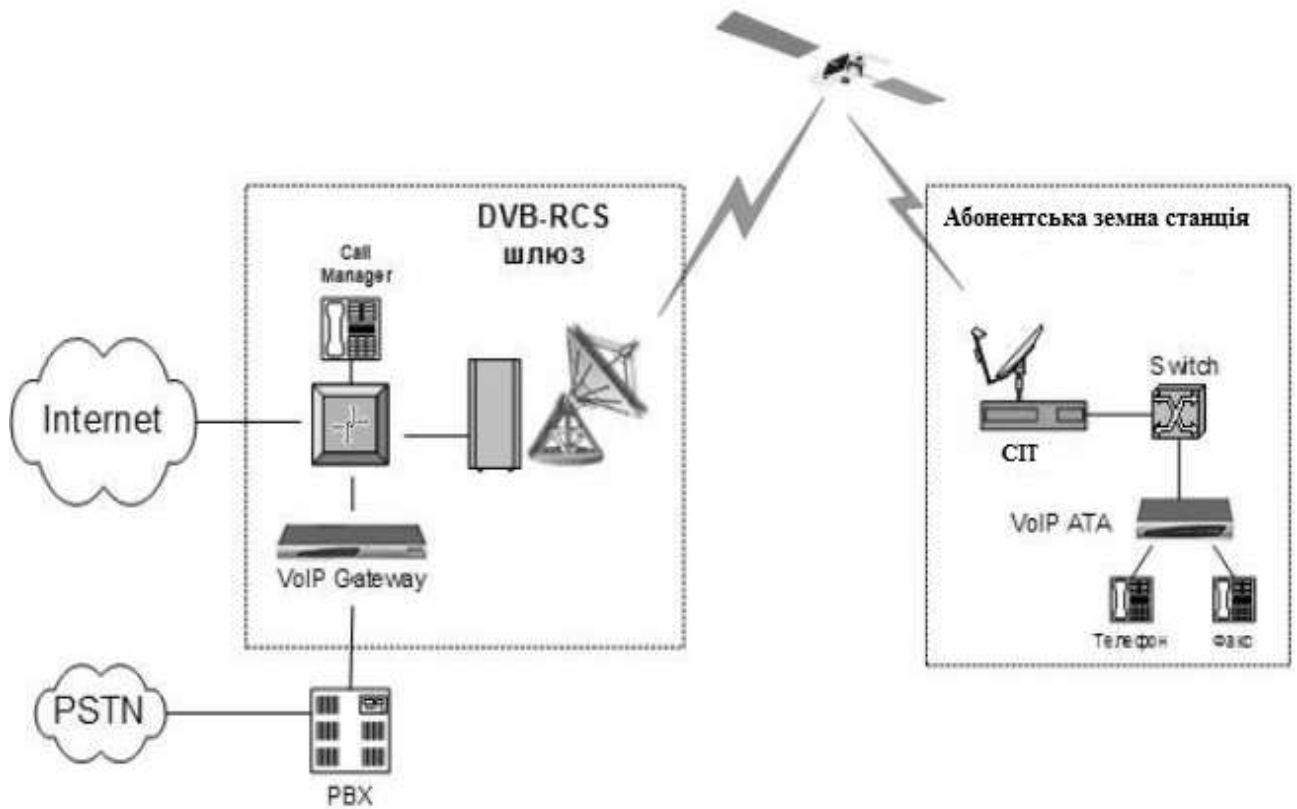


Рисунок 1.6 – Передача мовного трафіку VoIP



Підсистема прямого каналу призначена для передачі даних через широкосмуговий супутниковий канал в напрямку до СІТ. Дана технологія заснована на Європейському індустріальному стандарті ETSI EN 301 190, специфікації якого визначають механізми інкапсуляції блоків IP даних в DVB потік і транспортування приватних даних в MPEG 2 транспортному інформаційному потоці (TS). Схема з резервуванням представлена на рис. 1.7.

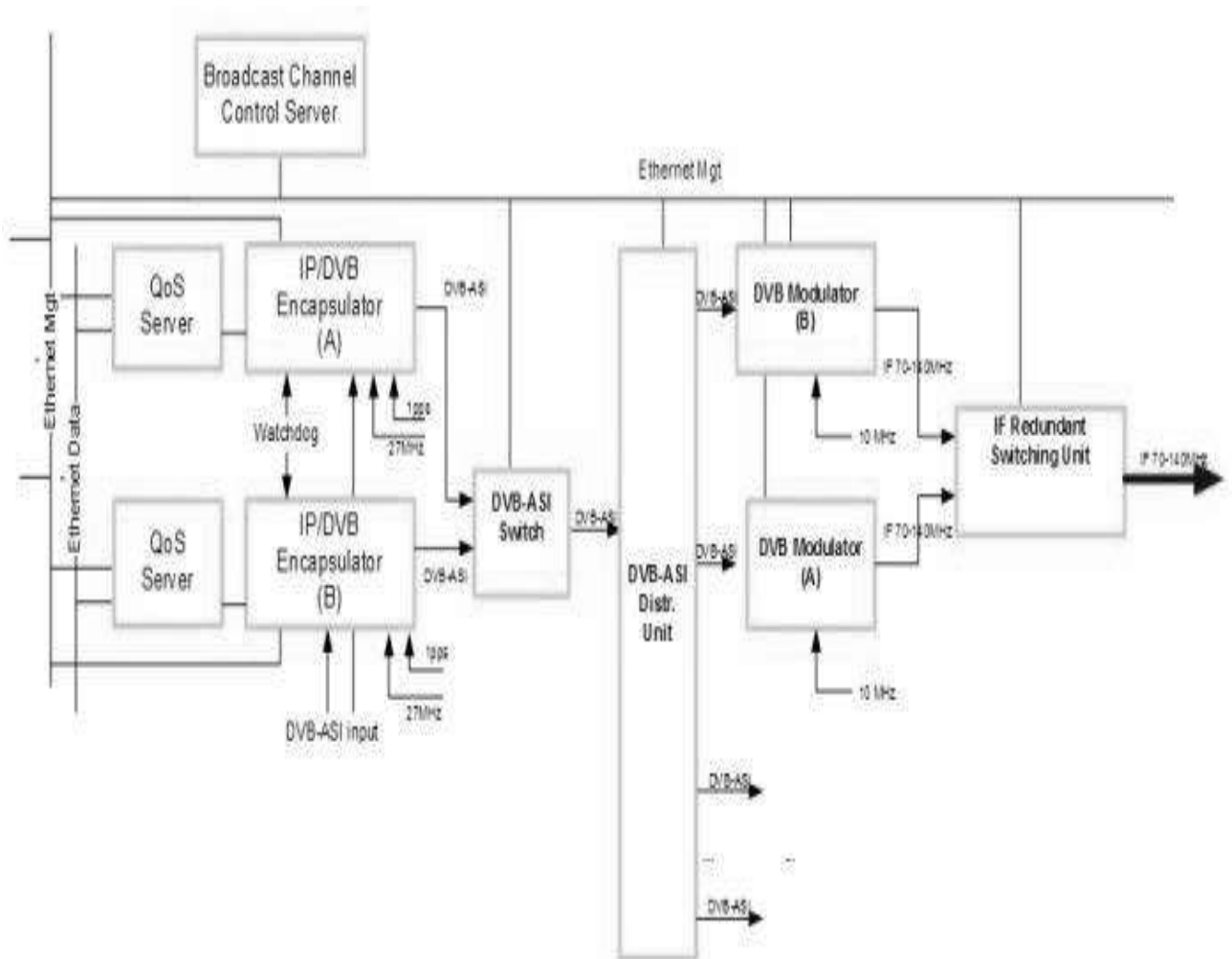


Рисунок 1.7 – Структурна схема DVB-S2 (зворотний зв'язок)

Підсистема прямого каналу складається з наступних модулів:

- IP / DVB інкапсулятор / мультиплексор;
- DVB-S (S2) модулятор;
- QoS сервер;
- сервер контролю каналів мовлення даних;
- DVB-ASI комутатор (при організації схеми з резервуванням).

Підсистема зворотного каналу приймає абонентський трафік і інформацію сигналізації від СІТ, а також готує рішення на запити віддаленого доступу, включаючи дозвіл на вхід в систему, розподіл смуги і часових інтервалів. Дана підсистема приймає, перетворює з пониженням частоти, демодулює і декодує IP трафік абонента (інкапсульований в осередку АТМ), який був переданий по MF-TDMA несучою на швидкості до 2 Мбіт/с. Рис. 1.8 ілюструє основні блоки резервованої підсистеми зворотного каналу і їх взаємозв'язок. У зворотному каналі використовується схема MF-TDMA [10].

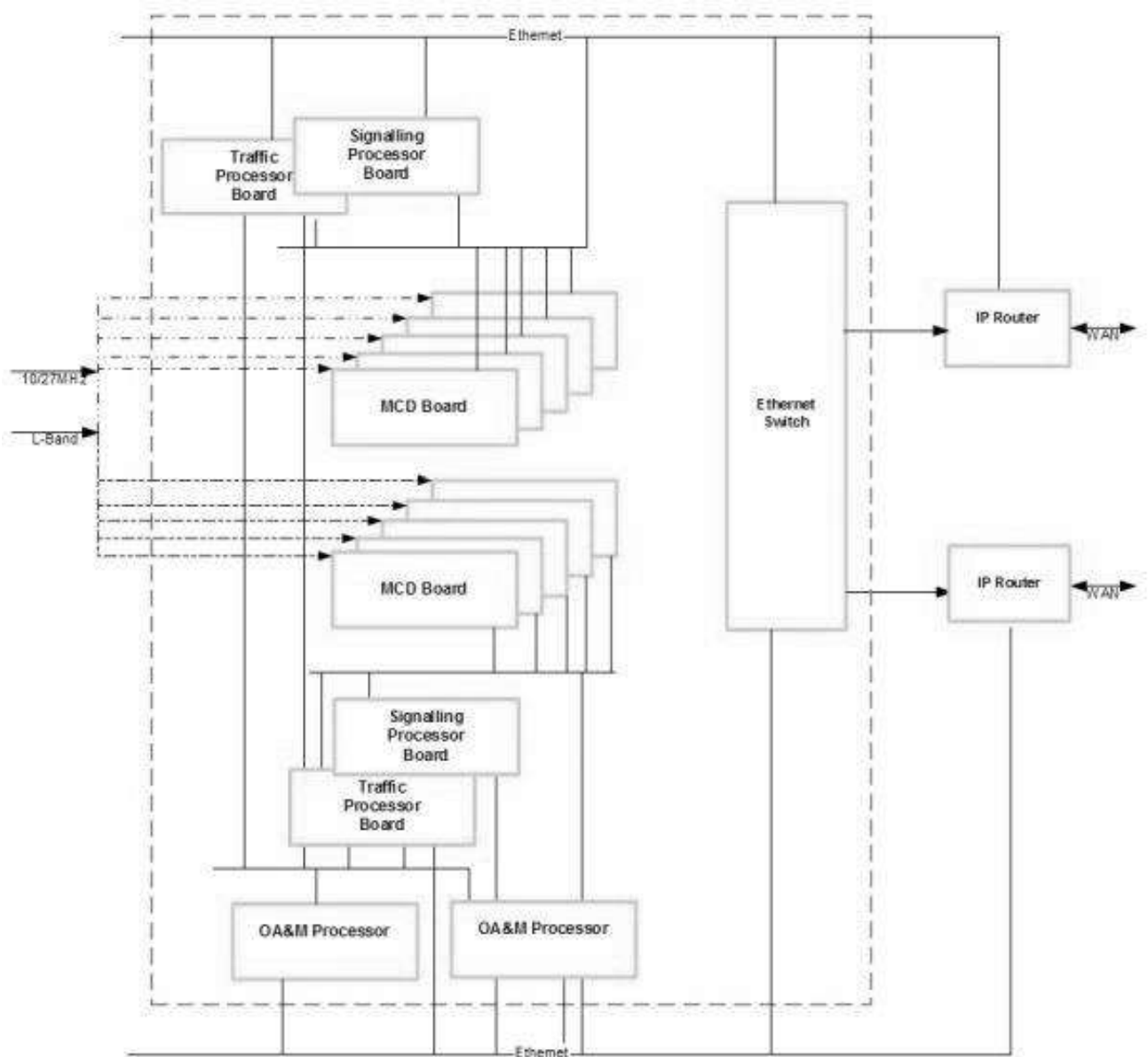


Рисунок 1.8 – Схема резервованої підсистеми зворотного каналу

Пакети трафіку використовуються для передачі в зворотному каналі корисних даних. В даному випадку корисне навантаження являє собою 53-байтові осередки АТМ. Перед початком осередки АТМ для передачі повідомлень MAC встановлюється поле управління доступом до супутникового каналу (SAC – Satellite Access Control). Пакет трафіку, так само, як і пакети інших типів, починається з преамбули, використовуваної для детектування початку пакета. Також всі типи пакетів передаються після захисного часового інтервалу, що вводиться з метою зниження переданої потужності і компенсації похибок синхронізації [10].

Структура суперкадру MF-TDMA показана на рис. 1.9.

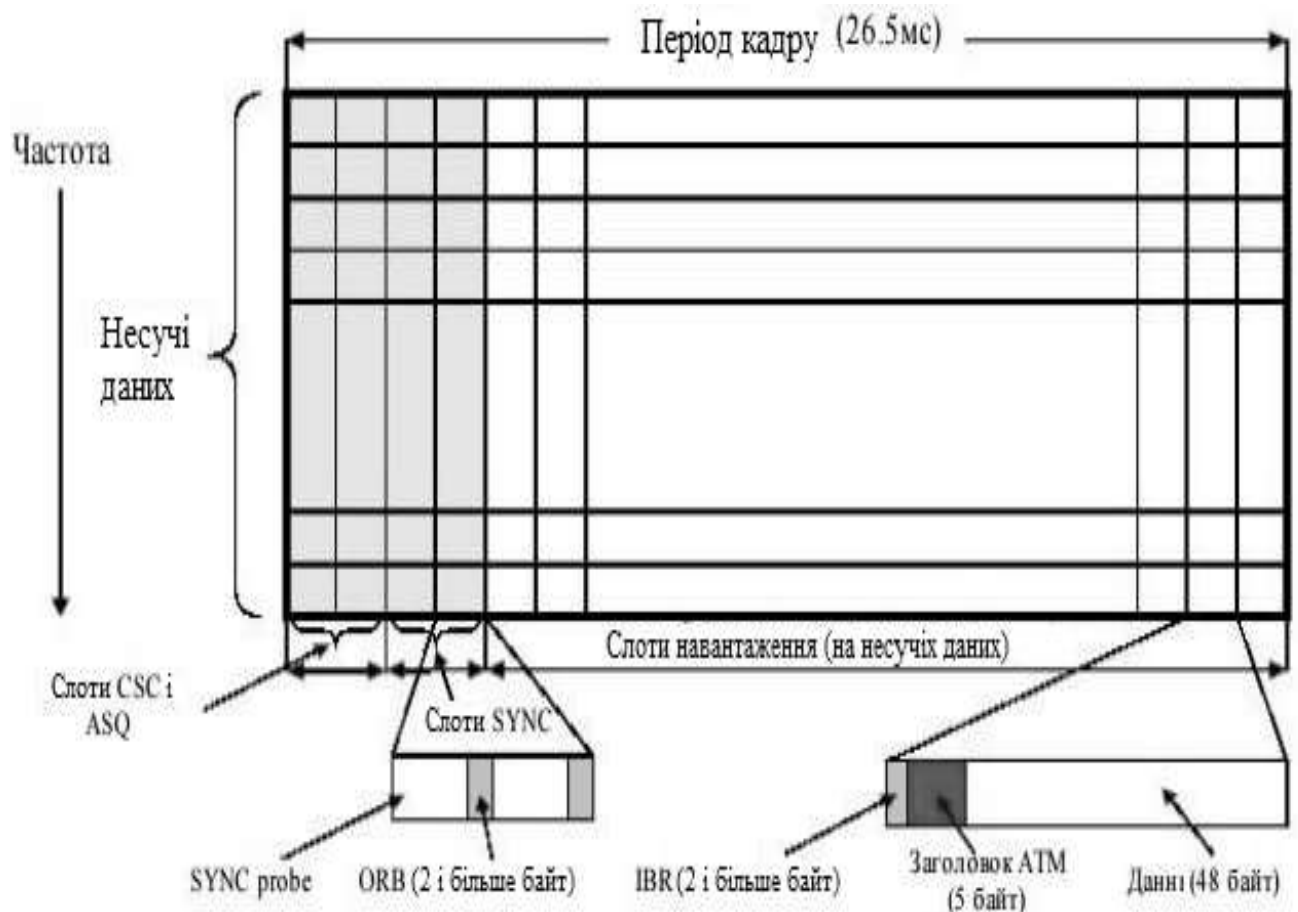


Рисунок 1.9 – Структура суперкадру MF-TDMA

Дана схема є більш ефективною у порівнянні з традиційними для мереж VSAT схемами, такими як FDMA (Frequency Division Multiple Access) / TDMA

(Time Division Multiple Access) або SCPC (Single Channel Per Carrier), де СІТ на час сеансу присвоюється одна несуча. У системах FDMA / TDMA в деякій мірі застосовується процедура перерозподілу з метою вирівнювання використання пропускної здатності серед ряду несучих [10].

1.3 Існуючі способи резервування пропускної здатності зворотних каналів в супутникових мережах зв'язку

Відомий спосіб динамічного розподілу ресурсу пропускної здатності в інтерактивних мультимедійних мережах супутникового зв'язку, який описаний в [14].

Згідно винаходу [14], для підвищення обчислювальної ефективності розподілу пропускної здатності, пристрій динамічного планування (планувальник) центральної станції (ЦС) оцінює обсяг надійшовших від активних СІТ запитів на виділення ресурсу, формує в структурі суперкадру парні кадри, ділить загальний обсяг запитуваного ресурсу пропускної здатності на число парних кадрів. Далі ЦС розподіляє частки запитуваного ресурсу пропускної здатності, що припадає на одну пару, в межах даної пари послідовно для всіх активних СІТ і дублює отримане розподіл в інших парних кадрах, тим самим, домагаючись скорочення обчислювального часу, необхідного для розподілу ресурсу в суперкадрі.

Недоліком способу [14] є те, що введені процедури передбачають зниження обчислювальної складності при розподілі ресурсу пропускної здатності, а не досягнення високої ефективності його використання. Не враховуються вимоги до якості сервісу QoS (Quality of Service) для різних видів трафіку.

Інший спосіб розподілу ресурсу пропускної здатності в супутникових мережах інтерактивного доступу, що враховує вимоги по часовій затримці і джиттеру для мультимедійного графіка, запропонований у способі [15].

Згідно способу [15], весь заявлений до передачі в зворотних каналах мультимедійний трафік в залежності від вимог до якості передачі розділяється на інформаційні потоки (класи сервісу), чутливі до часової затримки (трафік реального часу: мова, відеоконференц-зв'язок), і інформаційні потоки, не критичні до часової затримки (трафік інтерактивних даних: передача файлів, доступ в Інтернет, електронна пошта тощо).

Спосіб передбачає резервування на закріпленій основі часових слотів від одного суперкадру до іншого для передачі трафіка реального часу з метою зменшення тривалості затримки і джиггера. Для трафіку інтерактивних даних на кожному періоді суперкадру проводиться призначення часових слотів, що залишилися в суперкадрі після обслуговування запитів трафіка реального часу. Основна увага в даному способі приділяється технічній реалізації алгоритму послідовного за класами сервісу призначення часових слотів (обґрунтування продуктивності, тактової частоти процесора, розрядність шини), що забезпечує скорочення часу, що витрачається на процедуру формування частотно-часового плану передачі (BTP – Burst Time Plan).

Недоліком способу [15] є те, що він, орієнтований на підвищення обчислювальної ефективності при розподілі ресурсу пропускної здатності, не враховує динамічні (статистичні) характеристики трафіку (інтенсивність надходження пакетів в буфери і їх обсяг), ступінь забезпечення диференційованих вимог до якості сервісу пакетних даних і не передбачає досягнення високої ефективності використання ресурсу.

У [16] описаний спосіб динамічного розподілу ресурсу в інтерактивних мережах супутникового зв'язку.

Згідно винаходу, всі запити динамічного резервування, які надходять на ЦС від супутникових терміналів класифікуються за класами сервісу на основі величини запитуваної швидкості, обсягу переданих даних, рівня вимог до якості сервісу QoS. Пристрій динамічного планування ЦС відповідно до класу запитів послідовно розподіляє наявний в поточному суперкадрі частотно-часовий ресурс. Виділення ресурсу пропускної здатності проводиться частотно-

часовими блоками фіксованого обсягу  $[\Delta F \cdot \Delta \tau]$ , де  $\Delta F$  – частотна смуга, що відповідає мінімальній символній швидкості,  $\Delta \tau$  – тривалість часового слоту.

Недоліком способу [16] є низька пропускна здатність мережі внаслідок невисокої обчислювальної ефективності фактично переборних процедур розподілу частотно-часового ресурсу виконуваних послідовно від запитів найбільш високого класу сервісу до менш пріоритетних, і необхідність повторних перерозподілів при обмежених ресурсах.

Найбільш близьким за технічною сутністю і виконуваних функцій до заявляється рішенням є спосіб динамічного розподілу ресурсу пропускної здатності зворотних каналів в мультимедійної мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу [17].

Згідно способу [17], супутникові інтерактивні термінали здійснюють формування запитів динамічного резервування часових слотів на тривалості чергового суперкадру, відправляють сформовані запити на центральну станцію мережі. Центральна станція перераховує запитуваний терміналом обсяг пропускної здатності в кількість часових слотів, які виділяються терміналам на тривалості чергового суперкадру.

Технічний результат, на досягнення якого спрямований винахід, полягає в скороченні часу, відведеного на процедуру розподілу часових слотів, і підвищення ефективності використання ресурсу пропускної здатності мультимедійної мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу.

На рис. 1.10 представлена блок-схема способу розподілу ресурсу пропускної здатності на тривалості чергового суперкадру [17].

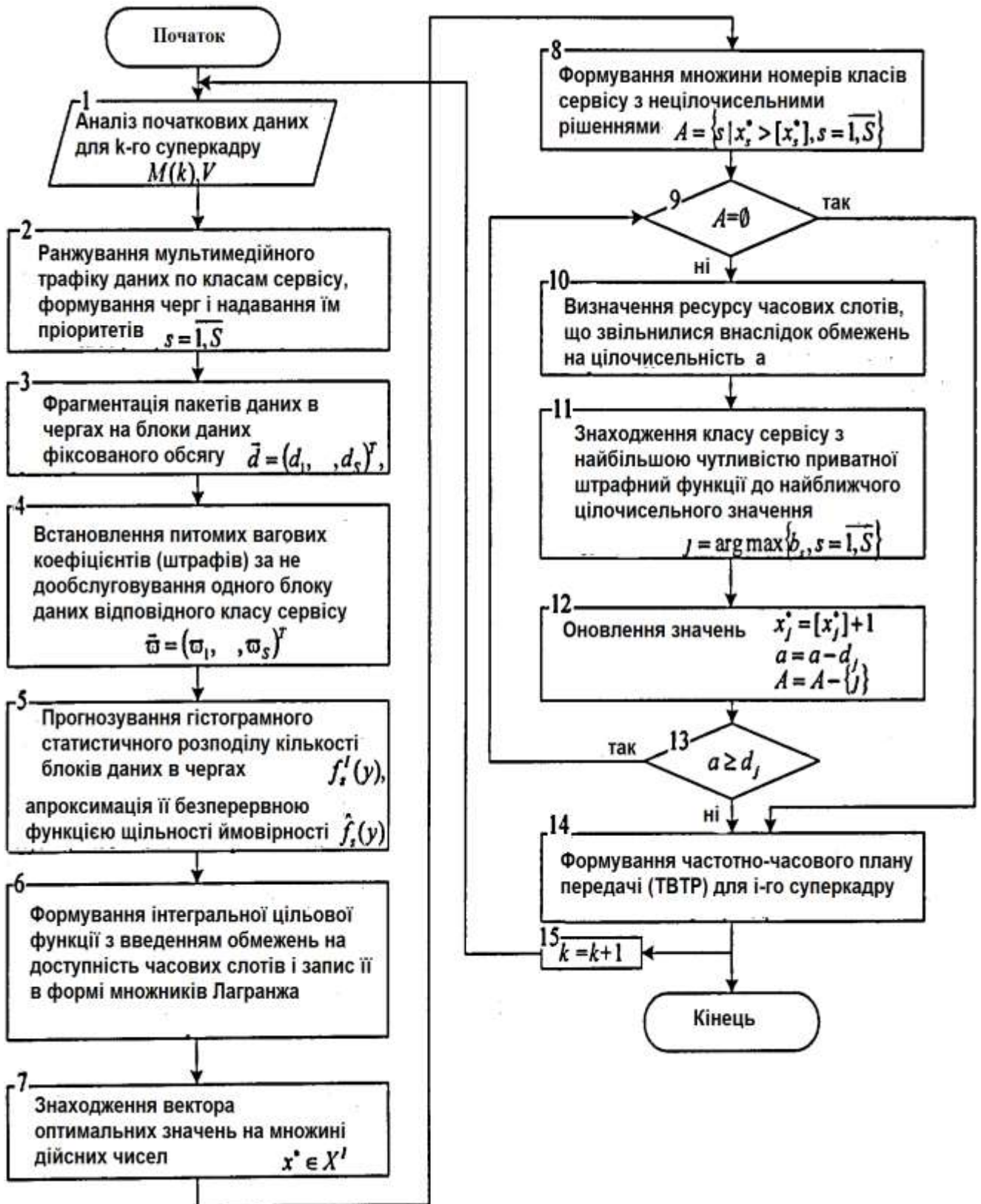


Рисунок 1.10 – Блок-схема алгоритму розподілу часових слотів на тривалості суперкадру

Для розподілу ресурсу пропускної здатності центральною станцією на тривалості чергового k-го суперкадру оцінюється (етап 1 на рис. 1.10) кількість доступних часових слотів на тривалості чергового k-го суперкадру

$$M(k) = \Delta f / \Delta f_s \cdot n_{\text{trf}} - a(k), \quad (1.4)$$

де  $\Delta f / \Delta f_s$  – кількість частотних каналів в суперкадрі;  $a(k)$  – число слотів, жорстко зарезервованих запитами попередніх суперкадрів;  $n_{\text{trf}}$  – максимальна кількість часових слотів одного частотного каналу, використовуваних для передачі інформаційних потоків даних на тривалості суперкадру.

Також у ЦС аналізується безліч можливих і встановлюються конфігурації модемів  $V$  (символьна швидкість, формат модуляції і кодування) СІТ для зворотних каналів, що забезпечують близькі до допустимим співвідношення сигнал / шум.

Відповідно до способу [17] весь поступаючий мультимедійний трафік даних СІТ відповідно до рівня вимог QoS до якості передачі (часової затримки, джиггеру, втрат) ранжується по чергах декількох класів сервісу (етап 2 на рис. 1.10), до яких застосовується алгоритм пріоритетного обслуговування. Різні СІТ можуть мати схожі класи сервісу.

Обсяг пакетів даних, що надходять, кожної черги може бути довільним на відміну від обсягу інформаційних біт даних, переданих на позиціях часових слотів в заданій конфігурації модему СІТ на тривалості суперкадру. Для найбільш ефективного використання виділеної пропускної здатності до пакетів даних черг всіх класів сервісу необхідно застосувати процедуру фрагментації, в результаті якої блоки даних матимуть фіксований обсяг (етап 3 на рис. 1.10). Фіксований обсяг блоку даних відповідного класу сервісу повинен бути узгоджений з кількістю необхідних для його обслуговування часових слотів  $\vec{d} = (d_1, \dots, d_s)^T$  в заданій конфігурації модему СІТ.

Для потоку даних кожної черги встановлюються (етап 4 на рис. 1.10) питомі вагові коефіцієнти (штрафи)  $\vec{w} = (w_1, \dots, w_s)^T$  за недообслуговування одного блоку даних відповідного класу сервісу. Значення вагового коефіцієнта



визначається за допомогою процедури ранжування, яка враховує зміст заголовків пакетів, вимоги активних додатків, задіючих протоколів. Трафіку, який пред'являє більш жорсткі вимоги, присвоюється більш високий ваговий коефіцієнт.

Для передачі даних в супутниковому каналі СІТами здійснюється динамічне резервування часових слотів на тривалості чергового суперкадру за допомогою передачі запитів. Оскільки час отримання СІТом таблиці розподілу часових слотів від ЦС з урахуванням затримки поширення для ГСО складе не менше 500 мс, запит динамічного резервування супутникового терміналу повинен включати (етап 5 на рис. 1.10) в себе інформацію про прогнозований статистичний розподіл кількості у надійшовших в буфер блоків даних фіксованого обсягу по кожному класу сервісу на тривалості суперкадру у вигляді дискретних (гістограмних) щільностей розподілу  $f_s^i(y)$ .

Для розподілу ресурсу пропускної здатності в складі пристрою динамічного частотно-часового планування (рис. 1.11) ЦС має блок розподілу ресурсу, який за заданим алгоритмом на основі введення інтегральної функції якості обслуговування трафіку і умовних штрафів за недообслуговування блоків даних черг різних класів сервісу визначає кожному СІТ оптимальну кількість часових слотів з урахуванням обмежень на їх доступність у черговому суперкадрі.

Умовно, в складі пристрою динамічного частотно-часового планування також можна виділити блок збору і обробки запитів на динамічне резервування, які надійшли від активних супутникових терміналів, і блок формування ТВТР, який призначає (присвоює) кожному СІТ часові слоти по частотним смугам в формалізованому вигляді таблиці ТВТР.



Рисунок 1.11 – Склад пристрою динамічного частотно-часового планування

Блок розподілу ресурсу обчислює вектор змінних рішення  $\bar{x} = (x_1, \dots, x_s)^T$ , заданих на множині допустимих цілочисельних значень  $X^I = \{x_s | x_s \geq 0\}$ ,  $\forall s = \overline{1, S}$ , у вигляді кількості обслуговуваних блоків даних по чергах активних класів сервісу для всіх супутникових терміналів.

Досягнення найвищого рівня забезпеченості обслуговування потоків даних усіх супутникових терміналів мережі з урахуванням диференційованих вимог до якості їх сервісу можливо шляхом мінімізації інтегральної за мережу штрафної функції  $Q(\bar{x})$ .

Наприклад, для потоку класу сервісу  $s$  при наявності в буфері  $y$  блоків даних і виділення часових слотів під обслуговування усього лише  $x_s$  блоків вагова функція штрафу виражається як

$$q_s(y, x_s) = \varpi_s \max\{0, y - x_s\} \quad (1.5)$$

Величина  $\max\{0, y - x_s\}$  визначає максимальну кількість необслужених блоків даних в буфері  $s$  класу сервісу одного СІТ. Очікуваний штраф для  $s$  класу сервісу в разі відомої дискретної (гістограмної) щільності розподілу  $f_s^I$ , коли забезпечені часовими слотами  $x_s$  блоків даних, виражається функцією

$$Q_S^I(x_S) = \sum_{y=x_S}^{\infty} q_s(y, x_S) f_S^I(y) \varpi_s \sum_{y=x_S}^{\infty} (y - x_S) f_S^I(y). \quad (1.6)$$

Тоді інтегральна функція якості, що представляє сумарний штраф мережі за недообслуговування блоків даних активних класів сервісів, записується як

$$Q_{\Sigma}(x) = \sum_{s=1}^S Q_S^I(x_S). \quad (1.7)$$

Загальна кількість призначуваних трафікових часових слотів активним класам сервісу має бути не більше числа доступних слотів у суперкадрі

$$H(\vec{x}) \leq 0. \quad (1.8)$$

де  $H(\vec{x}) = \vec{x}^T \vec{d} - M$ .

Математично задача розподілу часових слотів між потоками активних класів сервісу усіх супутникових терміналів, з урахуванням обмеження (1.8), формалізується в наступному вигляді (етап 6 на рис. 1.10)

$$\min Q_{\Sigma}(x_S, f_S^I(y), d_s, \varpi_s). \quad (1.9)$$

$$H(\vec{x}) \leq 0, \vec{x} = (x_1, \dots, x_S), s = \overline{1, S}, \vec{x} \in X^I.$$

Дане завдання відноситься до класу задач стохастичного нелінійного цілочисельного лінійного програмування. Відомі методи, що застосовуються до задач такого класу, не дозволяють досягти прийнятної для вирішення в реальному часі обчислювальної ефективності і призводять до тривалих процедур пошуку оптимальних рішень [19].

Для спрощення рішення в [17] завдання цілочисельного програмування спочатку зводиться до задачі нелінійної безумовної оптимізації з ослабленням обмеження целочисельності змінних до безперервних значень і на заключному етапі здійснюється пошук близьких до оптимальних цілочисельних рішень на основі евристичних процедур.

З використанням методу множників Лагранжа завдання умовної оптимізації приводиться до безумовної у вигляді функції

$$L(x, \lambda) = Q_{\Sigma}(x) + \lambda H(x), \lambda \geq 0. \quad (1.10)$$

Знаходження сталого мінімуму опуклої функції  $L(x, \lambda)$  можливо за допомогою чисельних методів оптимізації. Однак з огляду на недиференційованість функцій  $f_s^I(y)$ ,  $s = \overline{1, S}$  цілочисельних змінних для застосування чисельних процедур методів нелінійної оптимізації проведемо їх заміну деякими апроксимуючими функціями  $\hat{f}_s(y)$  щільності ймовірності кількості блоків даних, що допускає умова їх подвійної диференційованості в інтервалі  $(0, \infty)$  (етап 5 на рисунку 1.10).

У способі для апроксимації довільного виду дискретного розподілу блоків даних в чергах безперервним розподілом на основі спостережуваної за послідовністю суперкадрів  $k = \overline{1, K}$  вибірки  $Y_s = \{y_s(1), \dots, y_s(k)\}$  за активними класами сервісу  $s = \overline{1, S}$  кожного терміналу формуються непараметричні регресивні оцінки щільності ймовірності

$$\hat{f}_s(y) = \frac{\sum_{k=1}^K \Phi\left(\frac{y - y_s(k)}{\alpha}\right)}{K\alpha}, \quad (1.11)$$

де  $\Phi(\bullet)$  – ядро, яке задовольняє ряду відомих властивостей [20];  $\alpha$  – параметр згладжування, значення якого може бути визначено з умови максимізації функції правдоподібності, яка визначається за методом перехресної перевірки [20].

Оптимальні рішення  $x^*$  і  $\lambda^*$  для функціоналу (1.10) обчислюються з урахуванням необхідних умов (етап 7 на рис. 1.6)

$$\nabla_x L(x, \lambda) = \begin{bmatrix} \varpi_1 \left( \int_0^{x_1} \hat{f}_1(y) dy - 1 \right) + \lambda d_1 \\ \dots \\ \varpi_s \left( \int_0^{x_s} \hat{f}_s(y) dy - 1 \right) + \lambda d_s \end{bmatrix} = 0, \quad (1.12)$$

$$\nabla_\lambda L(x, \lambda) = H(x) = 0, \quad (1.13)$$

з яких випливає

$$x^* = \begin{bmatrix} F_1^{-1} \left( 1 - \frac{\lambda^* d_1}{\varpi_1} \right) \\ \dots \\ F_S^{-1} \left( 1 - \frac{\lambda^* d_s}{\varpi_s} \right) \end{bmatrix}, \quad (1.14)$$

де  $F_s^{-1}(y) = \inf \{x | F_s(x) = y\}$ ,  $F_s(x) = \int_0^x \hat{f}_s(y) dy$ , а  $\lambda^*$  може бути отримано підстановкою (1.14) в (1.13) для  $\nabla_{\lambda} L(x, \lambda)$

$$\Psi(\lambda) = \sum_{s=1}^S d_s F_s^{-1} \left( 1 - \frac{\lambda d_s}{\varpi_s} \right). \quad (1.15)$$

З умови  $\Psi(\lambda) = M$ , отримуємо

$$\lambda^* = \Psi^{-1}(M), \quad (1.16)$$

де  $\Psi^{-1}(y) = \inf \{x | \Psi(x) = y\}$ .

З (1.14, 1.16), остаточно одержуємо

$$x^* = \begin{bmatrix} F_1^{-1} \left( 1 - \frac{d_1}{\varpi_1} \Psi^{-1}(M) \right) \\ \dots \\ F_S^{-1} \left( 1 - \frac{d_s}{\varpi_s} \Psi^{-1}(M) \right) \end{bmatrix}. \quad (1.17)$$

На етапах 8-13 (рис. 1.10) зі знайдених на етапі 7 оптимальних рішень визначаються цілочисельні значення. Для ефективного пошуку близьких до оптимальних рішень пропонуються евристичні процедури, які мають низьку обчислювальну складність.

1. Визначається безліч номерів класів сервісу з нецілочисельними рішеннями  $A = \{s | x_s^* > [x_s^*], s = \overline{1, S}\}$  (етап 8 на рис. 1.10). Якщо множина  $A$  порожня (етап 9), тобто  $x_s^* = [x_s^*]$ ,  $s = \overline{1, S}$ , то рішення знайдено, в іншому

випадку обчислюється звільнившись ресурс часових слотів (етап 10 на рис. 1.10) внаслідок обмежень на цілочисельність.

$$a = \sum_{s \in A} (x_s^* - [x_s^*]) d_s$$

2. Для всіх номерів класів сервісу  $s \in A$  обчислюється коефіцієнт чутливості приватних штрафних функцій щодо додаваної різниці до найближчої цілочисельної змінної

$$b_s = \frac{Q_s(x_s^*) - Q_s([x_s^*] + 1)}{d_s([x_s^*] + 1 - x_s^*)}$$

3. Визначається клас сервісу з найбільшим коефіцієнтом чутливості  $j = \arg \max \{b_s, s = \overline{1, S}\}$  (етап 11 на рис. 1.10). Контролюючи умову  $a \geq d_j$  (етап 13 на рис. 1.10), оновлюються значення  $x_j^* = [x_j^*] + 1$ ,  $a = a - d_j$ ,  $A = A - \{j\}$  (етап 12 на рис. 1.10) до тих пір, поки  $A$  не стане рівним нулю.

Отримані цілочисельні значення  $x_j^*$  надходять в блок формування ТВТР (рис. 1.11) для остаточного встановлення часових позицій розподілених трафікових слотів в часовому плані передачі, який доводиться до всіх активних супутникових терміналів в формалізованому вигляді таблиці ТВТР (етап 14 на рис. 1.10).

На цьому процедури обробки запитів динамічного резервування і розподілу ресурсу пропускної здатності для  $k$  суперкадру вважаються закінченими.

Однак вищенаведений спосіб динамічного розподілу ресурсу пропускної здатності зворотних каналів у мультимедійній мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу [17] має істотний недолік: в ньому не розкривається формування запиту динамічного резервування пропускної здатності, що обумовлено його спрямованістю на досягнення високого коефіцієнту використання пропускної здатності тільки в умовах перевантаження по трафіку.

#### 1.4 Висновок. Постановка задачі

В розділі проаналізовано підходи до побудови і організації супутникових систем зв'язку та встановлено, що супутниковий зв'язок володіє найважливішими перевагами, необхідними для побудови великомасштабних телекомунікаційних мереж. Ці переваги забезпечують інтерактивними мультимедійними супутниковими мережами, подібних стандартам DVB-RCS. Ефективним вирішенням для підвищення ступеню використання пропускної здатності інтерактивних мультимедійних супутникових мереж зв'язку є застосування MF-TDMA.

В розділі проаналізовано відомі способи резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережах зв'язку. Встановлено, що вони мають певні недоліки, а саме:

- спосіб [14] передбачає зниження обчислювальної складності при розподілі ресурсу пропускної здатності, а не досягнення високої ефективності його використання; не враховуються вимоги до якості сервісу QoS для різних видів трафіку;

- спосіб [15] не враховує динамічні (статистичні) характеристики трафіку (інтенсивність надходження пакетів в буфери і їх обсяг), ступінь забезпечення диференційованих вимог до якості сервісу пакетних даних і не передбачає досягнення високої ефективності використання ресурсу;

- низька пропускна здатність мережі внаслідок невисокої обчислювальної ефективності фактично переборних процедур розподілу частотно-часового ресурсу виконуваних послідовно від запитів найбільш високого класу сервісу до менш пріоритетних, і необхідність повторних перерозподілів при обмежених ресурсах (спосіб [16]);

- у способі [17] не розкривається формування запиту динамічного резервування пропускної здатності, що обумовлено його спрямованістю на досягнення високого коефіцієнта використання пропускної здатності тільки в умовах перевантаження по трафіку.

Таким чином, для усунення недоліків існуючих способів необхідно:

- запропонувати підхід до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку з підвищенням ефективності функціонування мережі в умовах відсутності перевантаження по трафіку;
- оцінити ефективність запропонованого підходу.



## 2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 2.1 Підхід до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку

Підхід відноситься до галузі радіозв'язку, а саме до способів резервування пропускної здатності в мультимедійних супутникових мережах інтерактивного доступу, що забезпечують високу ефективність використання пропускної здатності зворотних супутникових каналів і підтримку вимог до якості передачі трафіку.

В інтерактивних мережах супутникового зв'язку розгорнутих відповідно до стандартів DVB-RCS (ETSI EN 301 790 v1.3.1, 2003) і IPoS (TIA-1008, 2003), виділення ресурсу пропускної здатності зворотних каналів мережі для активних супутникових інтерактивних терміналів проводиться за допомогою процедури BoD (bandwidth on demand - надання ресурсу на вимогу).

Рекомендовані в стандарті DVB-RCS механізми надання пропускної здатності мережі на вимогу полягають у виділенні кожному активному супутниковому терміналу мережі тимчасових слотів в структурі суперфрейму відповідно із запитаннями від них запитами динамічного резервування.

Згідно з методикою [11, 12], обсяг зарезервованого супутниковим інтерактивним терміналом на  $k$ -му тактовому інтервалі ресурсу пропускної здатності  $R_{req}(k)$  може бути визначений виходячи з кількості пакетів (PDU) в буфері супутникового терміналу  $Q(k)$ , періоду суперкадру  $T_{СК}$  і сформованих раніше запитів резервування  $R_{req}(k-i)$  за такою формулою:

$$R_{req}(k) = \left[ \frac{1}{T_{СК}} \cdot Q(k) - \sum_{i=1}^{\tau_{RID}} R_{req}(k-i) \right]^+ . \quad (2.1)$$

Вираз  $[x]^+$  позначає мінімальний ціле число, включаючи нуль, яке більше  $x$ .

В іншій моделі, що реалізує механізм VoD, наприклад в [13], обсяг запиту резервування обчислюється на основі оцінки швидкості надходження даних  $R_{in}(k)$  без урахування раніше сформованих запитів:

$$R_{req}(k) = \frac{1}{T_{СК}} \cdot Q(k) + R_{in}(k). \quad (2.2)$$

Аналіз виразів (2.1) і (2.2) свідчать про те, що дані висловлювання дозволяють сформулювати запит резервування пропускної здатності супутникової мережі для пакетних даних не критичних до часової затримки, що виникає внаслідок інерційності процесу розподілу ресурсу і затримки поширення радіосигналу в супутниковому каналі. До даного виду трафіка, згідно стандарту DVB-RCS, відноситься VBDC (Volume-Based Dynamic Capacity) трафік. Прикладом даного виду трафіку, є файловий обмін, передача факсу, електронна пошта та інше.

Для трафіку, критичного до часової затримки, позначеного в стандарті DVB-RCS як RBDC (Rate-Based Dynamic Capacity) трафік, наприклад, VoIP трафік або відеоконференц-зв'язок, відомий спосіб формування запиту пропускної здатності не підходить, що дозволяє зробити висновок про відсутність адекватної моделі формування запиту на резервування пропускної здатності, що забезпечує ефективний розподіл ресурсу пропускної мережі і враховує обсяг трафіку, який надійшов, був переданий і який знаходиться в буфері супутникового терміналу, що дозволяє адаптуватися під інерційність процесу розподілу ресурсу, що є важливим при виділенні ресурсу для даного виду трафіку.

Запропонований підхід до динамічного резервування ресурсу пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу дозволяє домогтися підвищення ефективності використання частотно-енергетичного ресурсу транспондера, виділеного мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу, в умовах відсутності перевантаження по трафіку за рахунок мінімально надлишкового резервування пропускної здатності при забезпечення вимог по середній затримці і джиттеру затримки для пакетних

даних RBDC трафіка, що передаються, до якого відноситься трафік VoIP і відеоконференц-зв'язок.

Це завдання вирішується тим, що в способі динамічного резервування ресурсу пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу, супутникові інтерактивні термінали здійснюють формування запитів динамічного резервування часових слотів на тривалості чергового суперкадру, відправляють сформовані запити на центральну станцію мережі, яка перераховує запитуваний терміналом обсяг пропускної здатності в кількість часових слотів, що виділяються терміналам на тривалості чергового суперкадру.

Згідно запропонованого підходу, в кожному активному супутниковому терміналі, вимірюють швидкість трафіку пакетних даних, який надходить від кінцевого обладнання, і заповненість вхідного буферу супутникового терміналу в періоди часу, кратні тривалості суперфрейму, визначають оптимальне значення рівня квантилю для прогнозних значень швидкості надходження пакетних даних в буфер супутникового терміналу на один, два і три суперкадри вперед, формують запит динамічного резервування пропускної здатності з урахуванням вимог QoS виходячи з заповненості вхідного буфера і сформованих на попередніх суперкадрах запитах, а також даних прогнозу швидкості надходження пакетного трафіка, виконаного з урахуванням рівня квантилю, що характеризує надмірність резервування.

Завдяки новій сукупності суттєвих ознак в запропонованому підході забезпечується підвищення ефективності використання виділеної мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу ресурсу пропускної здатності за рахунок зниження надмірності в сформованому в супутниковому терміналі запиту динамічного резервування.

Можливість реалізації запропонованого підходу пояснюється наступним чином.

На рис.2.1 представлена мультимедійна мережа супутникового зв'язку інтерактивного доступу, де: ЦС – центральна станція мережі (HUB), КА на ГСО

– ретранслятор зв'язку, розміщений на борту космічного апарату на геостационарній орбіті, СІТ – супутникові інтерактивні термінали, ПСК – прямий супутниковий канал, ЗСК – зворотний супутниковий канал.

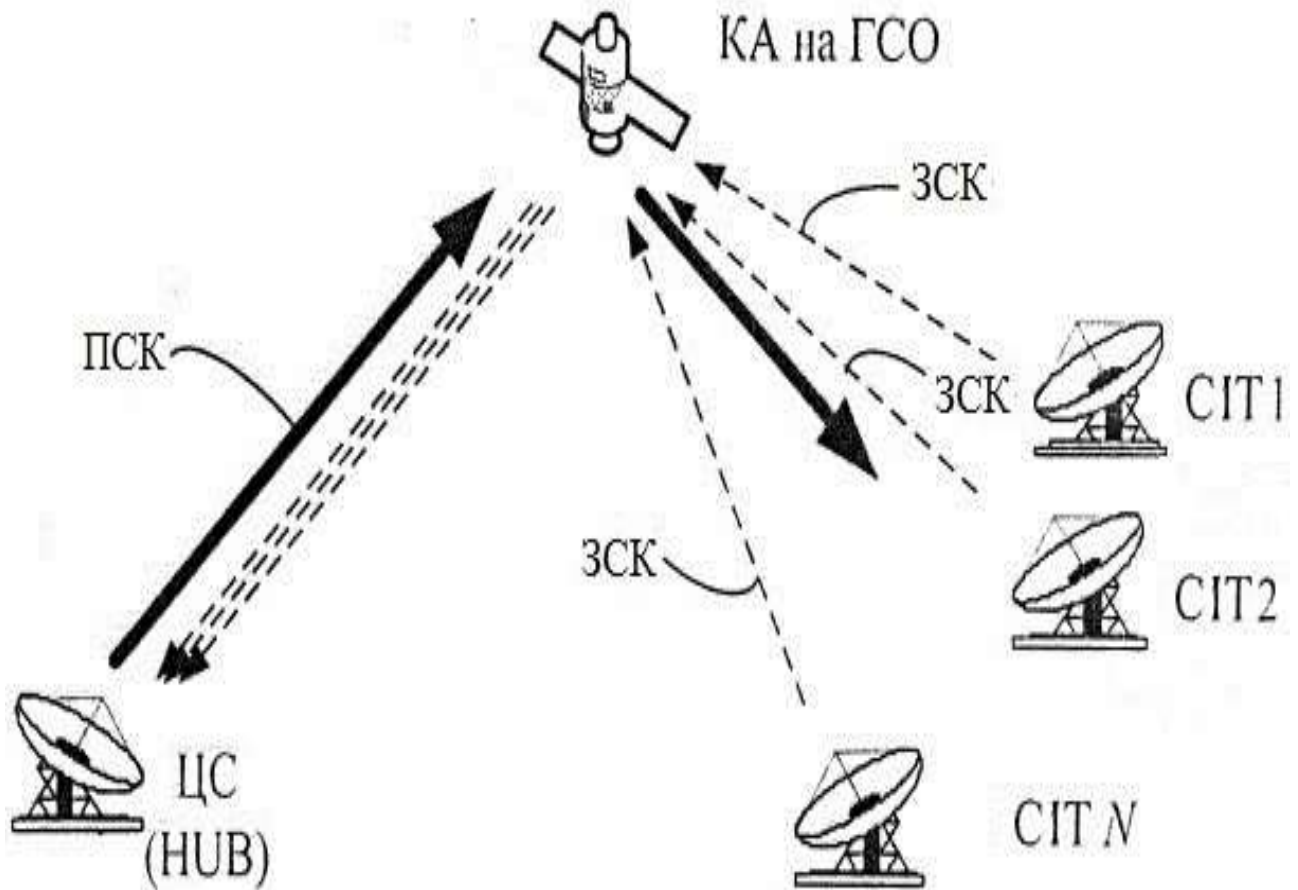


Рисунок 2.1 – Структура мультимедійної мережі супутникового зв'язку, що реалізує в зворотних каналах MF-TDMA

У ПСК від ЦС через ретранслятор зв'язку потоки даних для всіх супутникових інтерактивних терміналів мережі (СІТ 1, СІТ 2, ..., СІТ N) передаються в єдиному мультиплексованому високошвидкісному цифровому потоці на одній несучій ПСК в режимі фіксованого закріплення (режим TDM / РАМА). У зворотних каналах ЗСК від СІТ до ЦС реалізується MF-TDMA, при якому СІТи можуть передавати дані на одній з доступних в даний момент терміналу несучих частот на виділених позиціях часових слотів. Кількість

несучих частот визначається технічними можливостями терміналів, і відповідає кількості демодуляторів в складі обладнання ЦС.

Загальнодоступний частотно-часовий ресурс зворотних каналів супутникової мережі, розділений на суперкадри, кожен з яких в свою чергу розділений на кадри (рис.2.2).

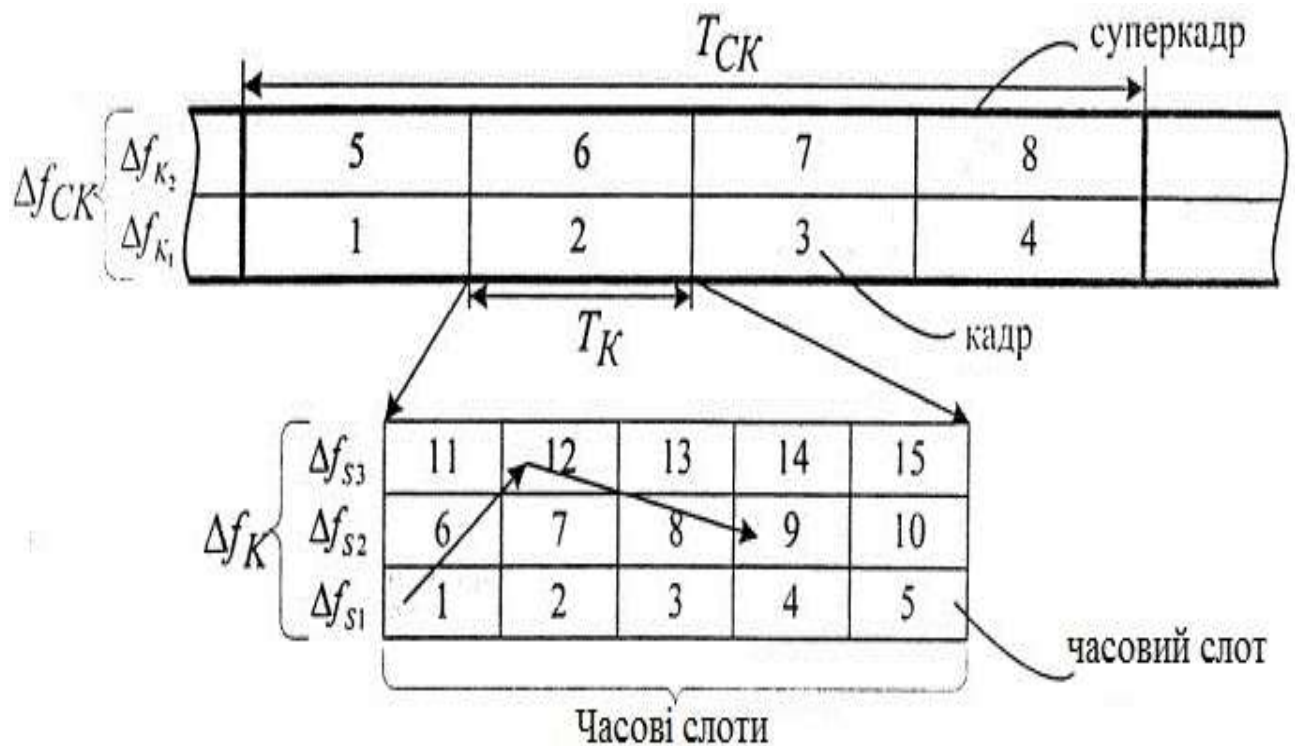


Рисунок 2.2 – Частотно-часова структура суперкадру

Кожен кадр займає сукупність частотних смуг  $\Delta f_{S1}$ ,  $\Delta f_{S2}$ ,  $\Delta f_{S3}$ , відповідних символної швидкості передачі, і обмежений за часом фіксованою тривалістю, розділеною часовими слотами. Кількість часових слот в суперкадрі, на позиціях яких передаються дані з інформаційною бітовою швидкістю, визначає потенційний ресурс пропускної здатності мережі. Наприклад, в представленій на рис. 2.2 структурі, суперкадр складається з 8 кадрів, в кожному з яких розташовуються 15 часових слотів. Інформаційна швидкість передачі на тривалості одного часового слоту дорівнює 32 кбіт/с. У цьому випадку ресурс пропускної здатності мережі становить  $8 \cdot 15 \cdot 32 = 3840$  кбіт/с.

Для отримання доступу до ресурсу пропускної здатності чергового суперкадру, СІТ проходить процедуру реєстрації, що включає етапи ініціалізації терміналу, синхронізації за частотою, циклової і тактової синхронізації, після чого він може передавати на центральну станцію запити динамічного резервування і отримувати від неї виділений для передачі пакетного трафіку ресурс пропускної здатності у вигляді необхідної кількості часових слотів.

Після обробки запитів, ЦС розподіляє і призначає кожному СІТ необхідну кількість трафікових часових слотів за принципом закріпленого резервування на тривалості суперкадру. Інформація про частотно-часові призначення динамічно оновлюється від суперкадру до суперкадру на основі нових оцінок обсягів запитів.

Дані про виділення ЦС радіоресурсу для роботи супутникових інтерактивних терміналів (смуга частот, номер несучої, часові інтервали для передачі слотів) передаються у вигляді додаткових таблиць сервісної інформації: складу суперкадру, складу кадру, структури часових слотів, повідомлень про корекцію, термінальних інформаційних повідомлень, часового плану передачі пакетів терміналом.

В межах кадру СІТ можуть бути виділені будь-які трафікові часові слоти. Наприклад, на рис. 2.2, стрілками показана послідовність виділення часових слотів для одного терміналу, спочатку слот 1 в смузі частот  $\Delta f_{S1}$ , потім слот 12 в смузі частот  $\Delta f_{S3}$ , і слот 9 в смузі частот  $\Delta f_{S2}$ . Такий розподіл часових слотів може бути продубльований в усіх кадрах даного суперкадру або мати інший розподіл.

Рекомендовані в стандарті DVB-RCS механізми надання ресурсу пропускної здатності мережі за вимогою полягають у виділенні кожному супутникового терміналу мережі СІТ (рис. 2.1) часових слотів в структурі суперфрейму (рис. 2.2) відповідно до запитів динамічного резервування  $R_{req}$ , що надходять від них (рис. 2.3).

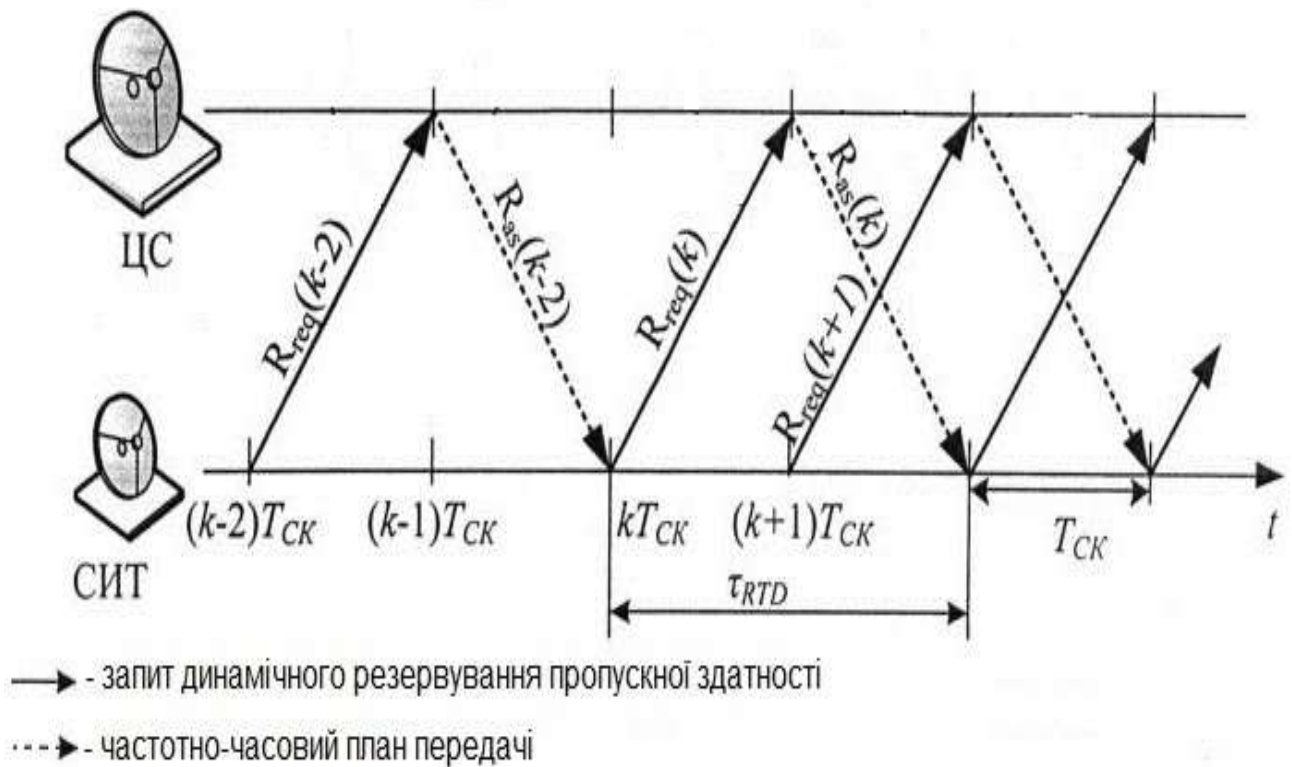


Рисунок 2.3 – Механізм надання ресурсу пропускну́ї здатності на вимогу (BoD) в інтерактивних мережах супутникового зв'язку

У супутниковому інтерактивному терміналі (рис. 2.3) в  $k$ -й момент часу формується запит динамічного резервування ресурсу пропускну́ї здатності, який передається на центральну станцію. Центральна станція обробивши запит, що надійшов, виділяє СТ необхідну кількість тайм-слотів, які в вигляді частотно-часового плану будуть відправлені СТ в момент часу  $(k+1)$ . Отримавши частотно-часовий план, супутниковий термінал зможе передати пакетні дані, які знаходяться в його буфері, в момент часу  $(k+2)$  на часових позиціях виділених тайм-слотів. Таким чином, при використанні механізму BoD виникає затримка в передачі даних, рівна, як мінімум, тривалості двох суперкадрів.

Виходячи з особливостей функціонування інтерактивних мереж супутникового зв'язку, які полягають в наявності часової затримки при виділенні ресурсу на запит, що надійшов, обумовленої розповсюдженням

радіосигналу на супутниковому інтервалі, і стохастичним характером зміни інтенсивності надходження пакетів в буфер терміналу, формування запиту динамічного резервування проводиться з урахуванням надмірності, необхідної для забезпечення вимог QoS при передачі пакетного трафіка, чутливого до часової затримки, наприклад, компресованої мови (після обробки детектором VAD) або відеоконференц-зв'язку.

Відповідно до розробленого підходу до динамічного резервування пропускної здатності (рис. 2.4), на тривалості чергового k-го суперкадру оцінюється (етап 1) кількість активних супутниковий інтерактивних терміналів в мережі I, швидкість надходження пакетних даних  $R_i$  в буфер i-го супутникового терміналу, кількість біт інформації  $Q_i$ , що знаходяться на даному тактовому інтервалі в буфері.

На етапі 3 (рис. 2.4) в кожному терміналі, виконується прогнозування швидкості надходження пакетних даних в буфер терміналу на один, два і три суперкадри. Для забезпечення вимог QoS, в залежності від виду переданого пакетного трафіку прогнозування проводиться з урахуванням квантилю розподілу прогнозованої швидкості  $\alpha$ , що характеризує надмірність резервування і приймає значення від 0,5 до 1.

Для всіх супутникових терміналів визначення обсягу запиту на виділення ресурсу в терміналі проводиться па основі заповнювання буфера терміналу і оцінки швидкості надходження пакетних даних (етап 4 на рис. 2.4) відповідно до виразу:

$$R_{req}(kT_{СК}) = \max \left[ \frac{Q(kT_{СК})}{T_{СК}} + \sum_{l=1}^{IT_{СК} \leq \tau_{RTD}} R_{in}^{(\alpha)}((k+1)T_{СК}) - \sum_{l=1}^{IT_{СК} \leq \tau_{RTD}} R_{req}((k-1)T_{СК}), 0 \right] + R_{in}^{(\alpha)}((k+1)T_{СК} + \tau_{RTD}), \quad (2.3)$$

де  $Q(kT_{СК})$  – розмір черги на k-м тактовому інтервалі;  $R_{in}^{(\alpha)}(k)$  – статистичні оцінки прогнозу швидкості надходження пакетних даних в буфер терміналу;  $T_{СК}$  – період суперкадру;  $\alpha$  – квантиль розподілу прогнозованих значень швидкості, що характеризує надмірність резервування,  $\alpha = [0,5-1]$ ;  $\tau_{RTD}$  –



затримка кругового поширення радіосигналу, що дорівнює подвоєній тривалості суперкадру;  $l$  – безліч натуральних чисел 1, 2, 3 і так далі.

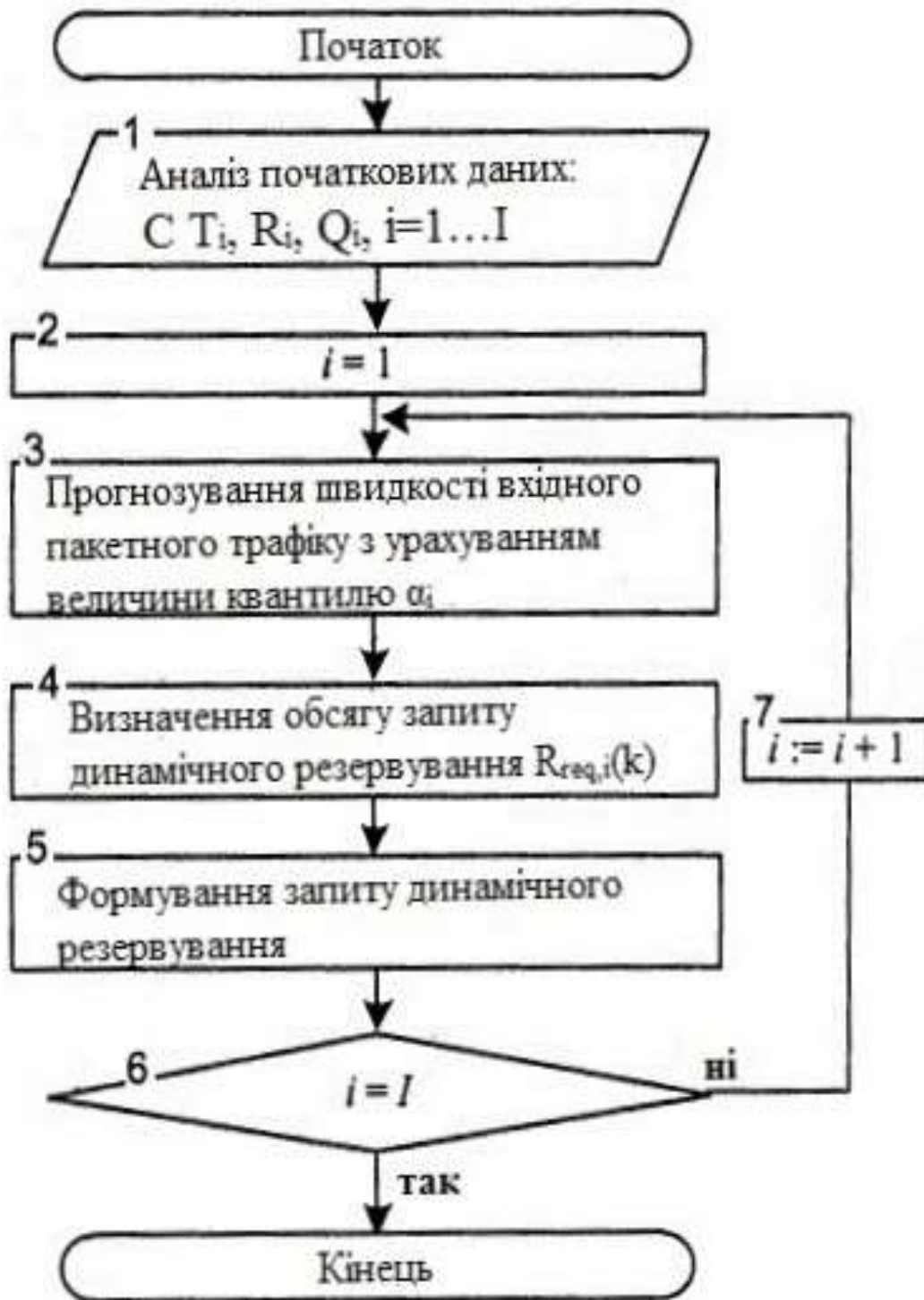


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму формування запиту динамічного резервування пропускної здатності на тривалості суперкадру

Перший доданок виразу (2.3) характеризує обсяг пропускної здатності, виділеної для пакетних даних, необслужених попередніми запитами до моменту отримання частотно-часового плану. Математичний знак максимуму перед квадратними дужками означає вибір з двох значень, записаних через кому, більшого.

Другий доданок виразу (2.3) враховує прогноз зміни швидкості пакетних даних на  $k+1$  тактовий інтервал.

На етапі 5 (рис. 2.4) формується запит динамічного резервування пропускної здатності, який виконується всіма активними терміналами мережі (етапи 6, 7), після чого запити відправляються ними на центральну станцію мережі, яка виділяє для кожного запиту необхідну кількість тайм-слотів в структурі суперкадру.

Завдання знаходження оптимального значення квантилю відноситься до класу задач нелінійної оптимізації. Суворе рішення подібних задач оптимізації пов'язано з перебуванням стохастичних функціональних залежностей, що характеризують динаміку зміни окремих показників якості мережевого обслуговування та ефективності використання ресурсу. Одним із способів вирішення даного класу задач є метод множників Лагранжа [19].

Виконання прогнозування швидкості надходження пакетних в супутниковий термінал (рис. 2.5) здійснюється в блоці динамічного резервування.

Супутниковий інтерактивний термінал складається з двох основних пристроїв: внутрішнього блоку (IDU – In Door Unit), який встановлюється всередині опалювального приміщення і зовнішнього блоку (ODU – Out Door Unit), який встановлюється на відкритій місцевості, що забезпечує пряму видимість між антеною супутникового терміналу і антеною ретранслятора зв'язку, розміщеного на борту космічного апарату.

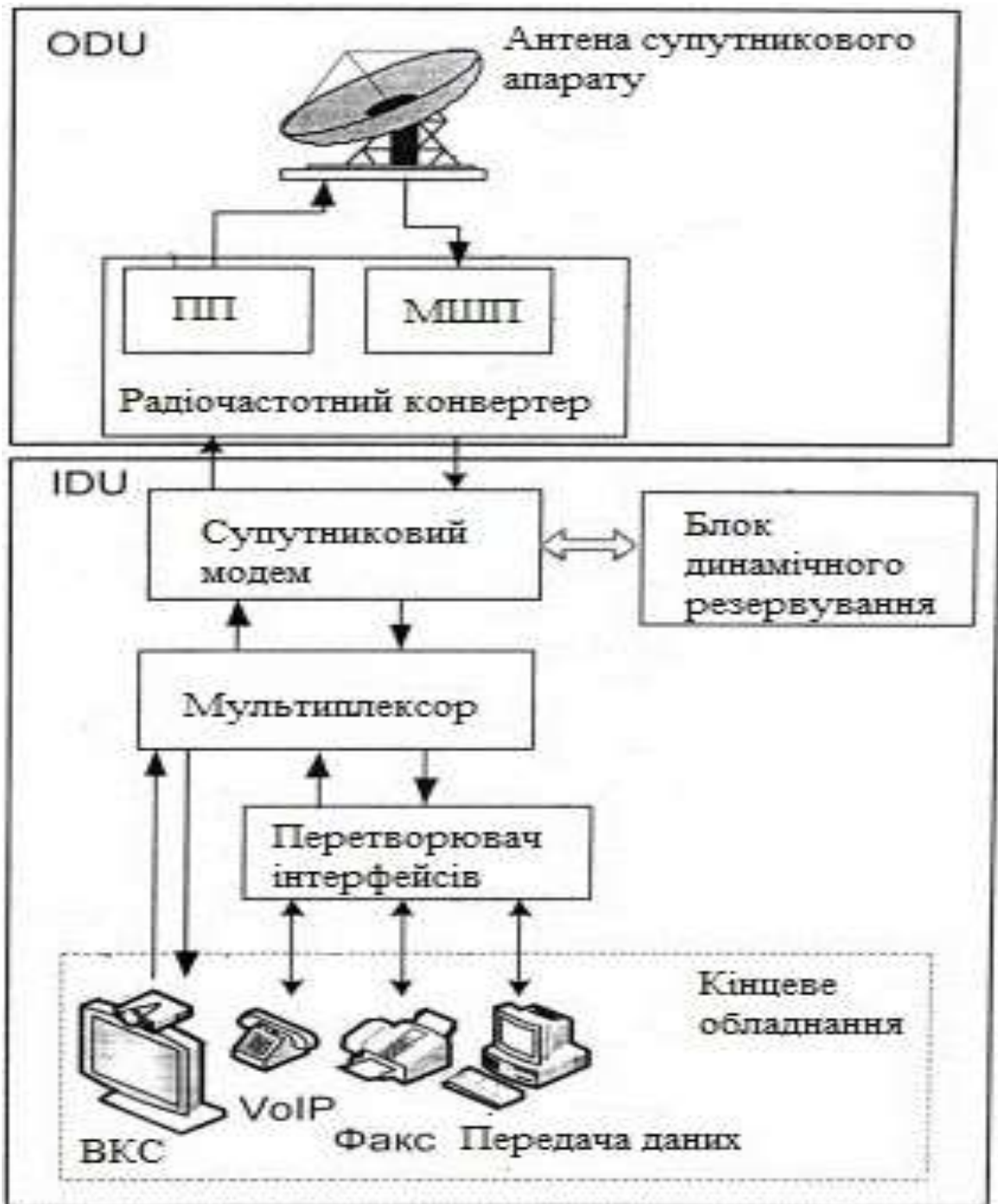


Рисунок 2.5 – Склад обладнання супутникового інтерактивного терміналу

Абонентський трафік формується кінцевим обладнанням: обладнанням відеоконференц-зв'язку (ВКС), телефонним апаратом VoIP, факсимільним апаратом і ЕОМ здійснює файловий обмін. Від обладнання ВКС пакетний трафік надходить безпосередньо на мультиплексор. Пакетні дані від інших пристроїв (VoIP, факс, ЕОМ) передаються на мультиплексор після перетворення стиків сигналу до єдиного вигляду в перетворювачі інтерфейсів.

Після об'єднання цифрових потоків різних джерел в мультиплексорі в єдиний груповий потік, дані надходять через вхідний інтерфейсний порт в буфер супутникового модему. У супутниковому модемі оцінюється заповненість буфера  $Q_i$  і швидкість надходження пакетних даних  $R_i$ , які є подібними даними для формування запиту динамічного резервування пропускної здатності, виконуваних в блоці динамічного резервування відповідно до виразу (2.3).

Після виділення центральною станцією часових слотів супутникового терміналу, пакетні дані з вхідного буфера супутникового модему надходять на пристрої скремблювання, завадостійкого кодування і далі на модулятор, що входять до складу модему. У модуляторі формується радіосигнал на проміжній частоті, наприклад 70 МГц, який після посилення надходить на вихід супутникового модему. По радіочастотному кабелю радіосигнал надходить на перетворювач, що входить до складу блоку ODU, в якому він переноситься в діапазон роботи супутникового терміналу, посилюється до номінальної потужності в підсилювачі потужності (ПП), і за допомогою антени випромінюється у напрямку ретранслятора зв'язку.

Радіосигнал від центральної станції через ретранслятор зв'язку, антену надходить в приймальний тракт СІТ, де відбувається його посилення в МШП і перетворення на проміжну частоту в радіочастотному конверторі. Посилений сигнал на першій проміжній частоті, по радіочастотному кабелю, надходить в блок IDU на вхід супутникового модему, де проводиться його посилення і демодуляція з подальшим виправленням похибок в завадостійкому декодері, дескремблювання. Далі, пакетні дані у вигляді групового потоку надходять в мультиплексор, де він розділяється на дані ВКС і трафік VoIP, факсу та дані файлового обміну. Потік даних ВКС передається на приймач ВКС, інші дані надходять на відповідне кінцеве обладнання через перетворювач інтерфейсу.

Запропонований підхід заснований на алгоритмі зваженого розподілу пропускної здатності частотно-часової структури суперкадру між потоками різних класів сервісу активних супутникових терміналів і забезпечує суттєве зменшення недоліків існуючого способу [17] за рахунок вимірювання

швидкості пакетних даних, що надходять від кінцевого обладнання, і заповненості вхідного буферу супутникового терміналу в періоди часу, кратні тривалості суперфрейму, визначення оптимального значення рівня квантилю прогнозних значень швидкості надходження пакетних даних в буфер супутникового терміналу на один, два і три суперкадри вперед, формування запиту динамічного резервування пропускної здатності з урахуванням вимог QoS виходячи з заповненості вхідного буферу і сформованих на попередніх суперкадрах запитів, а також прогнозу швидкості надходження пакетного трафіка, виконаного з урахуванням квантилю, що характеризує надмірність резервування.

2.2 Оцінка ефективності запропонованого підходу до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку

Оцінка ефективності розробленого підходу до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку була виконана в програмному середовищі Matlab / Simulink при наступних вихідних даних:

- 1) кількість джерел пакетного трафіка ( $N_{\text{VoIP}}$ ) змінюється від 5 до 25;
- 2) швидкість передачі пакетного графіка одного джерела змінюється від 5 до 15 кбіт/с;
- 3) формування запиту динамічного резервування проведено для значення квантилю розподілу прогнозованої швидкості, що дорівнює 0.5, 0.75 і 1.

Результати моделювання, представлені на рис. 2.6 (а – для запропонованого підходу до динамічного резервування ресурсу пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу, б – для існуючого підходу до резервування пропускної здатності під пікову швидкість переданого пакетного трафіку) дають підставу для висновку, що запропонований підхід до динамічного резервування ресурсу пропускної

здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу забезпечує найкращі показники коефіцієнта ефективності використання пропускної здатності у порівнянні з існуючим підходом за рахунок зниження надмірності в формованому запиті динамічного резервування, що досягається шляхом прогнозування швидкості надходження пакетного трафіку в буфер супутникового терміналу на один, два і три суперкадри і підтверджують можливість досягнення поставленої мети дипломної роботи.

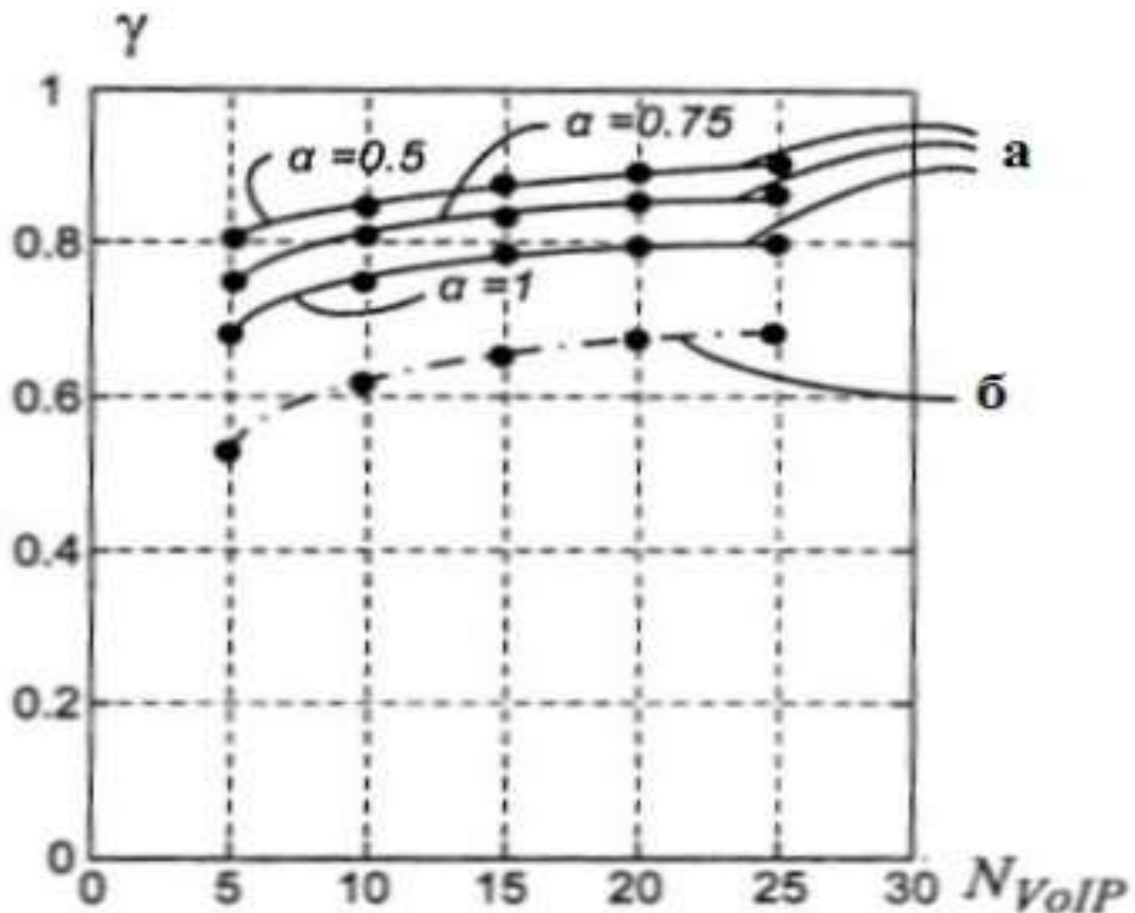


Рисунок 2.6 – Залежність коефіцієнта ефективності використання пропускної здатності від кількості джерел пакетного трафіку (а – для розробленого підходу, б – для існуючого)

Таким чином, при такій сукупності істотних ознак забезпечується підвищення ефективності використання пропускної здатності зворотних

каналів інтерактивних мереж супутникового зв'язку за рахунок зниження надмірності в формованому запиті динамічного резервування, як наслідок підвищення ефективності використання частотно-енергетичного ресурсу ретранслятора зв'язку і може бути реалізований на сучасних обчислювальних процесорах, наприклад за допомогою програмованих логічних інтегральних схем.

Зазначений підхід може знайти своє застосування в будь-яких системах бездротового доступу, які здійснюють передачу мультимедійної інформації між абонентськими терміналами в умовах обмежених частотно-енергетичних ресурсів.

### 2.3 Висновки

В розділі запропоновано підхід до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку, що дозволяє домогтися підвищення ефективності функціонування мережі в умовах відсутності перевантаження по трафіку за рахунок мінімально надлишкового резервування пропускної здатності при забезпеченні вимог щодо середньої затримки і джиттеру затримки для переданих пакетних даних RBDC трафіку, до якого відноситься трафік VoIP і відеоконференц-зв'язок [21].

Для цього в кожному активному супутниковому терміналі вимірюють швидкість трафіка пакетних даних і заповненість вхідного буфера супутникового терміналу, що надходять від кінцевого обладнання, в періоди часу, кратні тривалості суперфрейму, визначають оптимальне значення рівня квантилю для прогнозних значень швидкості надходження пакетних даних в буфер супутникового терміналу на один, два і три суперкадри вперед, формують запит динамічного резервування пропускної здатності з урахуванням вимог QoS виходячи з заповнювання перехідного буфера і сформованих на попередніх суперкадрах запитах, а також даних прогнозу швидкості

надходження пакетного трафіка, виконаного з урахуванням рівня квантилю, що характеризує надмірність резервування.

В результаті оцінки ефективності запропонованого підходу встановлено, що він забезпечує підвищення ефективності використання пропускної здатності зворотних каналів інтерактивних мереж супутникового зв'язку за рахунок зниження надмірності в формованому запиті динамічного резервування, як наслідок підвищення ефективності використання частотно-енергетичного ресурсу ретранслятора зв'язку.



### 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Визначення трудомісткості розробки підходу динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку

Трудомісткість – показник, який характеризує витрати робочого часу на виробництво будь-якої споживчої вартості або на виконання конкретної технологічної операції. Трудомісткість розробки підходу динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку можливо розрахувати за формулою (3.1):

$$t = t_0 + t_{ан} + t_{дн} + t_{роз} + t_{оц} + t_{п} \quad (3.1)$$

де  $t_0$  – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;

$t_{до}$  – витрати праці на дослідження загальних відомостей про супутникові системи зв'язку та стандарту супутникового зв'язку DVB-RCS;

$t_{ан}$  – витрати праці на аналіз існуючих способів резервування пропускної здатності зворотних каналів в супутникових мережах зв'язку;

$t_{роз}$  – витрати праці на розробку підходу до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку;

$t_{оц}$  – витрати праці на оцінку ефективності запропонованого підходу до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку;

$t_{п}$  – витрати праці на підготовку документації та детальний опис запропонованого технічного рішення.

У таблиці 3.1 зведені данні тривалості процесів, що мали місце при розробці підходу динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку.

Таблиця 3.1 – Тривалість робочих процесів при розробці підходу динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку

Назва робочого процесу	Тривалість, год.
Витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання	4
Витрати праці на дослідження загальних відомостей про супутникові системи зв'язку та стандарту супутникового зв'язку DVB-RCS	25
Витрати праці на аналіз існуючих способів резервування пропускної здатності зворотних каналів в супутникових мережах зв'язку	20
Витрати праці на розробку підходу до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку	43
Витрати праці на оцінку ефективності запропонованого підходу до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку	27
Витрати праці на підготовку документації та детальний опис запропонованого технічного рішення	15

Отже, загальна трудомісткість за формулою 3.1:

$$t = 4 + 25 + 20 + 43 + 27 + 15 = 134 \text{ години.}$$

3.2 Розрахунок витрат на розробку підходу динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку

Витрати на розробку підходу динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку включають витрати

на заробітну плату інженера телекомунікацій і вартість машинного часу. Заробітна плата – це винагорода, яку за трудовим договором власник або уповноважений ним орган виплачує працівнику за виконану роботу. Розмір заробітної плати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійно-ділових якостей працівника, результатів його праці та господарської діяльності підприємства в цілому. Заробітна плата інженера телекомунікацій визначається за формулою 3.2:

$$Z_{3П} = t \times C_{спр}, \text{ год.} \quad (3.2)$$

де  $t$  – загальна трудомісткість розробки, яка розраховується за формулою 3.1, годин;

$C_{спр}$  – середня годинна заробітна плата інженера телекомунікацій (основна і додаткова) з урахуванням єдиного соціального внеску, грн/год.

Середня заробітна плата інженера телекомунікацій на 01.05.2019р. складає 8960 грн. Отже, заробітна плата інженера телекомунікацій з урахуванням премій (25%) і можливих надбавок (15%) складає 12544 грн.

Таким чином, річний фонд заробітної плати – 150528 грн. Єдиний соціальний внесок складає 36%, тобто 54190,08 грн.

Річний фонд заробітної плати включає: фонд денної зарплати; оплату відпусток; оплату часу, витраченого на виконання держобов'язків; виплати відрядженим на інші підприємства; оплату за вислугу років та ін. Разом, річний фонд заробітної плати з урахуванням відрахувань на соціальні потреби склав 204718,08 грн.

Номінальний річний фонд часу роботи одного робітника визначається відніманням з повного календарного фонду часу за рік неробочих (вихідних і святкових) днів, відпустки. Він є максимально можливим часом, протягом якого могла б вироблятися робота при встановленому режимі, якби не було жодних втрат робочого часу.

Визначимо номінальний річний фонд робочого часу за формулою 3.3, при цьому прийнявши середню тривалість робочого дня рівної 8 годинам:

$$F_n = (T_k - T_{ce} - T_{сух} - T_{від}) \cdot 8 \text{ год}, \quad (3.3)$$

де  $T_x$  – кількість календарних днів у році,  $T_x = 365$  днів;

$T_{св}$  – кількість святкових днів у році,  $T_{св} = 10$  днів;

$T_{вих}$  – кількість вихідних днів у році,  $T_{вих} = 104$  днів;

$T_{від}$  – календарна тривалість відпустки,  $T_{від} = 23$  днів.

Отже, річний фонд часу за формулою 3.3 дорівнює:

$$F_n = (365 - 10 - 104 - 23) \cdot 8 = 1824 \text{ годин}$$

Середня годинна заробітна плата інженера телекомунікацій визначається співвідношенням 3.4, яка має вигляд:

$$C_{зм} = \frac{\Phi ЗП_{сн}}{F_n} \text{ грн/год}, \quad (3.4)$$

де  $\Phi ЗП_{сн}$  – річний фонд заробітної плати з урахуванням відрахувань на соціальні потреби;

$F_n$  – річний фонд робочого часу.

Отже середня годинна заробітна плата інженера телекомунікацій за формулою 3.4 дорівнює:

$$C_{зп} = 204718,08 / 1824 = 112,23 \text{ грн.}$$

Таким чином, витрати на оплату праці розробника складають з урахуванням формули 3.2 отримаємо:

$$З_{зп} = 134 \times 112,32 = 15050,88 \text{ грн.}$$

Розрахунок вартості машинного часу, необхідного для розробки на ЕОМ включає витрати на програмне та апаратне забезпечення і витрати за електроенергію, здійснюється по формулі 3.5:

$$З_{мч} = C_o + C_{ел} \quad (3.5)$$

де  $C_o$  – витрати на обладнання, грн.;

$C_{ел}$  – витрати на електроенергію, грн.

Для розрахунку вартості машино-часу необхідно знати вартість ЕОМ та ПЗ на момент їх придбання і введення в експлуатацію, і вартість споживаної електроенергії. Відповідні дані представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вартість необхідного програмного та апаратного забезпечення

Найменування	Вартість, грн
Персональний комп'ютер	10190,00
Монітор	2580,00
Комплект клавіатура+миша	700,00
Операційна система Windows 7 SP1 Professional	2000,00
Matlab 6.5	4500,00
Разом:	19970

Витрати на електроенергію залежать від часу роботи на ЕОМ та собівартості машино-години роботи ЕОМ і розраховується за формулою:

$$C_{ел} = C_{мч} \cdot t \quad (3.6)$$

$$C_{мч} = W \cdot \Pi_{ел} \quad (3.7)$$

Де  $W$  – потужність ЕОМ,  $W = 0,5$  кВт/год.

$\Pi_{ел}$  – вартість  $1кВт \cdot год$  електроенергії. З 1.04.18 за обсяг, спожитий понад 150 кВт·год до 600 кВт·год електроенергії на місяць ( включно ) складає 1,825 грн.

$$C_{ел} = 0,5 \times 1,825 \times 134 = 122,28 \text{ грн}$$

Враховуючи вартість програмного й апаратного забезпечення та витрати на електроенергію отримаємо вартість машинного часу:

$$З_{мч} = 122,28 + 19970 = 20092,28 \text{ грн.}$$

Отже, витрати на розробку підходу динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку:

$$В_{роз} = 20092,28 + 15050,88 = 35143,16 \text{ грн.}$$

### 3.3 Висновок

В економічному розділі розраховано трудомісткість розробки підходу динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі

супутникового зв'язку, заробітну плату інженера телекомунікацій, капітальні затрати. Загальні капітальні витрати становлять 35143,16 грн., трудомісткість розробки підходу динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку – 134 години.

## ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу підходів до побудови і організації супутникових систем зв'язку встановлено, що супутниковий зв'язок володіє найважливішими перевагами, необхідними для побудови великомасштабних телекомунікаційних мереж. Ці переваги забезпечують інтерактивними мультимедійними супутниковими мережами, подібних стандартам DVB-RCS. Ефективним вирішенням для підвищення ступеню використання пропускної здатності інтерактивних мультимедійних супутникових мереж зв'язку є застосування MF-TDMA.

2. В результаті аналізу відомих способів резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережах супутникового зв'язку встановлено їх недоліки:

- не досягається висока ефективність використання ресурсу пропускної здатності та не враховуються вимоги до якості сервісу QoS для різних видів трафіку;

- не враховуються динамічні (статистичні) характеристики трафіку (інтенсивність надходження пакетів в буфери і їх обсяг), ступінь забезпечення диференційованих вимог до якості сервісу пакетних даних;

- невисока обчислювальна ефективність фактично переборних процедур розподілу частотно-часового ресурсу та необхідність повторних перерозподілів при обмежених ресурсах;

- не розкривається формування запиту динамічного резервування пропускної здатності, що обумовлено його використанням тільки в умовах перевантаження по трафіку.

3. Запропоновано підхід до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів в мережі супутникового зв'язку, що дозволяє домогтися підвищення ефективності функціонування мережі в умовах відсутності перевантаження по трафіку за рахунок мінімально надлишкового резервування пропускної здатності при забезпеченні вимог щодо середньої

затримки і джиттеру затримки для переданих пакетних даних RBDC трафіку, до якого відноситься трафік VoIP і відеоконференц-зв'язок.

4. В результаті оцінки ефективності запропонованого підходу встановлено, що він забезпечує підвищення ефективності використання пропускної здатності зворотних каналів інтерактивних мереж супутникового зв'язку за рахунок зниження надмірності в формованому запиті динамічного резервування, як наслідок підвищення ефективності використання частотно-енергетичного ресурсу ретранслятора зв'язку.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сомов А.М., Корнев С.Ф. Спутниковые системы связи: Учебное пособие для вузов / Под ред. А. М. Сомова. – М.: Горячая линия–Телеком, 2012. – 244 с.
2. Савочкин А.А. Спутниковые системы связи: Учебное пособие / А.А. Савочкин – Севастополь: СевНТУ, 2012. – 113 с.
3. Михайлов В.Ф. Космические системы связи: Учебное пособие / В.Ф. Михайлов, В.И. Мошкин, И.В. Брагин. – СПб.: ГУАП, 2006. – 174 с.
4. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи: Учебное пособие. – М.: «Альпина Паблишер», 2004. – 536 с. – ISBN 5-94599-099-X.
5. Телекомунікаційні системи та мережі. Структура й основні функції. Том 1. / Поповський В.В., Лемешко О.В., Ковальчук В.К., Плотніков М.Д., Картушин Ю.П. та інші. [Електронний ресурс]. – Х.: ХНУРЕ. 2018. Режим доступу – <http://www.znanius.com/3534.html>
6. Банкет В.Л. Цифровые методы в спутниковой связи / В.Л. Банкет, В.М. Дорофеев – М.: Радио и связь, 1988.
7. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – М., 2003.
8. Спутниковая связь и вещание: Справочник. 2 изд., перераб. и доп. / Под ред. Л.Я. Кантора. – М.: Радио и связь, 1988.
9. Толмачев Ю.А. Глобальная подвижная персональная спутниковая связь / Ю.А. Толмачев // Технологии и средства связи. – 1997. – № 1. – С. 51–59.
10. Мультисервисная DVB-RCS платформа MediaSputnik 2000 series [Електронний ресурс]. – Режим доступу [http://www.mediasputnik.com/tech/Tech\\_descr\\_DVB-RCS.pdf](http://www.mediasputnik.com/tech/Tech_descr_DVB-RCS.pdf)
11. Karaliopoulos M. Support of elastic TCP traffic over broadband GEO satellite networks. Centre for Communication Systems Research School of Electronics and Physical Sciences University of Surrey, April 2004.

12. Celandroni N. Comparison between distributed and centralized demand assignment TDMA satellite access schemes / N. Celandroni, E. Ferro, F. Potorti // International Journal of Satellite Communication 14, 2 (Mar.-Apr. 1996). – P. 95-111.

13. Golta A. Simulating Dynamic Bandwidth Allocation on Satellite Links / A. Golta, F. Potorti, R. Secchi // WNS2, 2006, October 10, 2006, Pisa, Italy.

14. Патент US 7346069 B2, H04L 12/28, «Apparatus and method for dynamic resource allocation in interactive satellite multimedia system», від 18.03.2008.

15. Патент US 7385943 B2, H04B 7/212, «Method of allocating communication resources in an MF-TDMA telecommunication system», від 10.06.2008.

16. Патент US 2007/0104101 A1, H04L 12/26, «Dynamic resource allocation based on quality-of-service», від 10.05.2007.

17. Патент RU 2410838 C1, H04J 4/00, «Способ динамического распределения ресурса пропускной способности обратных каналов в мультимедийной сети спутниковой связи интерактивного доступа», опублікований в бюлетені №3 від 27.01.2011.

18. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. Под ред. М.Л.Быховского. М.: Мир, 1975. – 534 с.

19. Бертсекас Д. Условная оптимизация и методы множителей Лагранжа. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 400 с.

20. Хардле В. Прикладная непараметрическая регрессия. – М.: Мир, 1993. – 349 с.

21. Методичні рекомендації до виконання дипломних робіт (проектів) бакалаврів та магістрів спеціальностей 125 Кібербезпека, 172 Телекомунікації та радіотехніка / Упоряд.: О.Ю. Гусєв, О.В. Герасіна, О.М. Алексєєв, О.В. Кручинін. – Дніпро: НГУ, 2018. – 50 с.

## ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	2	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі	29	
6	A4	Спеціальна частина	16	
7	A4	Економічний розділ	6	
8	A4	Висновки	2	
9	A4	Перелік посилань	2	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	

ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії

1 Презентація Ужва.ppt

2 Диплом Ужва.doc

ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Керівник розділу

\_\_\_\_\_ (підпис)

Романюк Н.М.  
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Г. Відгук керівника кваліфікаційної роботи

## **В І Д Г У К**

**на кваліфікаційну роботу студента групи 172-16зск-1 Ужви М.М.  
на тему: «Динамічне резервування пропускної здатності зворотних каналів  
в мережі супутникового зв'язку»**

Пояснювальна записка складається зі вступу, трьох розділів і висновків, розташованих на 71 сторінці.

Мета кваліфікаційної роботи є актуальною, оскільки вона спрямована на підвищення ефективності використання виділеної мережі супутникового зв'язку інтерактивного доступу ресурсу пропускної здатності за рахунок зниження надмірності в формованому у терміналі запиту динамічного резервування.

При виконанні роботи автор продемонстрував добрий рівень теоретичних знань і практичних навичок. На основі аналізу підходів до організації супутникових систем зв'язку, а також існуючих способів резервування пропускної здатності зворотних каналів в ній сформульовано задачі, вирішенню яких присвячений спеціальний розділ. У ньому було запропоновано підхід до динамічного резервування пропускної здатності зворотних каналів з підвищенням ефективності функціонування мережі та оцінено його ефективність.

Практична цінність роботи полягає в тому, що запропонований підхід може застосовуватись в системах бездротового доступу, які передають мультимедійну інформацію між абонентськими терміналами в умовах обмежених частотно-енергетичних ресурсів.

До недоліків кваліфікаційної роботи слід віднести недостатню проробку окремих питань.

Рівень запозичень у кваліфікаційній роботі відповідає вимогам «Положення про систему виявлення та запобігання плагіату».

В цілому робота задовольняє усім вимогам, а її автор Ужва М.М. заслуговує на оцінку «                      » та присвоєння кваліфікації «Бакалавр з телекомунікацій та радіотехніки» за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

**Керівник роботи,**  
**к.т.н., доцент**

**О.В. Герасіна**