

**Міністерство освіти і науки України**  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**

---

факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

---

кафедра комп'ютерних систем та мереж  
(повна назва кафедри)

---

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

---

(назва освітнього ступеня)

на тему: Метод та програмна реалізація системи прогнозування трафіку  
комп'ютерних мереж

---

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи СІМ-61  
спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

---

(шифр і назва спеціальності)

	_____	<u>Хвостівський В.М.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<u>Осухівська Г.М.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<u>Тиш Є.В.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	<u>Осухівська Г.М.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	<u>Дуда О.М.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«    »

2021 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту Хвостівський Валентин Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод та програмна реалізація системи прогнозування трафіку комп'ютерних мереж

Керівник роботи Осухівська Галина Михайлівна, к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 28 » жовтня 2021 року № 4/7-916

2. Термін подання студентом завершеної роботи 15.12.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження: процес прогнозування трафіку комп'ютерних мереж. Предмет дослідження: метод прогнозування трафіку комп'ютерних мереж.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина

2. Математичне моделювання та алгоритм системи прогнозування трафіку комп'ютерних мереж

3. Програмна реалізація системи прогнозування трафіку комп'ютерних мереж

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Актуальність роботи

2. Наукова новизна отриманих результатів

3. Математична модель трафіку комп'ютерних мереж

4. Метод прогнозування трафіку комп'ютерних мереж

5. Алгоритм прогнозування трафіку комп'ютерних мереж

6. Програмна реалізація системи прогнозування трафіку комп'ютерних мереж

7. Практичне значення одержаних результатів. 8. Висновки

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Осухівська Г.М., зав. каф. КС		
	Стадник І.Я., проф. каф. ОХ		

7. Дата видачі завдання 28.10.2021 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	28.10.2021	Виконано
2	Аналіз завдання	03.11.2021	Виконано
3	Виконання розділу 1	12.11.2021	Виконано
4	Виконання розділу 2	18.11.2021	Виконано
5	Виконання розділу 3	28.11.2021	Виконано
6	Виконання розділу 4	03.11.2021	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	09.11.2021	Виконано
8	Оформлення графічного та презентаційного матеріалу	12.12.2021	Виконано
9	Попередній захист	15.12.2021	Виконано
10	Захист	23.12.2021	

Студент

---

(підпис)

Хвостівський В.М.

---

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

---

(підпис)

Осухівська Г.М.

---

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Метод та програмна реалізація системи прогнозування трафіку комп'ютерних мереж // Кваліфікаційна робота магістра// Хвостівський Валентин Миколайович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, комп'ютерна інженерія, група СІм-61 // Тернопіль, 2021 // С. – 78, рис. – 21, табл. - 0, аркушів А1 – 10, додат. – 3, бібліогр. – 43.

Ключові слова: МЕТОД, ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ, ТРАФІК, СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ, КОМП'ЮТЕРНІ МЕРЕЖІ, MATLAB.

У роботі розроблено метод та програмно реалізовано систему прогнозування трафіку комп'ютерних мереж. Проаналізовано тенденції розвитку математичних моделей трафіку комп'ютерних мереж та методів їх прогнозування.

Реалізовано модель трафіку мереж комп'ютерних через ПКВП, що забезпечило розробку методу та алгоритму компонентної обробки трафіку комп'ютерних мереж та уможливило обчислення показників прогнозування трафіку мереж у вигляді компонент.

Програмно реалізовано систему прогнозування трафіку комп'ютерних мереж при використанні засобу Matlab для обчислення компонент трафіку мережі як показника прогнозування цієї мережі.

За результатами емпіричного дослідження констатовано факт повної відповідності завантаженості трафіку комп'ютерної мережі значенням обчислених компонент.

## ANNOTATION

Method and software implementation of computer network traffic forecasting system // TNTU, Computer Engineering // Khvostivskyi Valentun // group SIm-61 // Ternopil, 2021 // p. – 78, fig. – 21, tab. – 0, Sheets A1 – 10, Add – 3, Ref. –43.

Keywords: METHOD, SOFTWARE IMPLEMENTATION, TRAFFIC, FORECASTING SYSTEM, COMPUTER NETWORKS, MATLAB.

The method and method of software forecasting of computer network traffic are developed in the work. The tendencies of development of mathematical models of traffic of computer networks and methods of their forecasting are analyzed.

The model of computer network traffic through PCSP was implemented, which provided the development of a method and algorithm for component processing of computer network traffic and enabled the calculation of network traffic forecasting indicators in the form of components.

The software implements a system for forecasting computer network traffic using Matlab to calculate the components of network traffic as an indicator of forecasting this network.

According to the results of empirical research, the fact of full compliance of computer network traffic congestion with the values of the calculated components is stated.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	10
1.1. Методи усунення перенавантаження трафіку комп'ютерних мереж.....	10
1.1.1. Класифікація методів усунення перенавантаження.....	10
1.1.2. Методи без наявних зворотних зв'язків.....	11
1.1.3. Методи без наявності зворотних зв'язків.....	17
1.2. Математичні моделі трафіку комп'ютерних мереж.....	18
1.2.1. Моделі, що базуються на процесах відновлення.....	18
1.2.2. Модель з урахуванням розподілу Пуассона.....	19
1.2.3. Модель з урахуванням розподілу Бернуллі.....	20
1.2.4. Модель з урахуванням фазового процесу відновлення.....	21
1.2.5. Моделі, що базуються на Марківських процесах.....	21
1.2.6. ON-OFF та IPP моделі.....	22
1.2.7. Модель з урахуванням Марківського процесу відновлення.....	22
1.2.8. Модель на основі Марківського модульованого Пуассонівського процесу.....	23
1.2.9. Марківська модульована рідинна модель.....	23
1.2.10. Авторегресійні моделі.....	24
1.2.11. Стаціонарна модель трафіку.....	26
1.2.12. Модель фрактального броунівського руху.....	26
1.3. Висновки до розділу 1.....	27
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТА АЛГОРИТМ ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАФІКУ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ.....	28
2.1. Аналіз характеристик емпіричного трафіку.....	28
2.2. Математична модель трафіку.....	33
2.3. Метод прогнозування трафіку.....	37
2.4. Алгоритм прогнозування трафіку.....	39
2.5. Висновки до розділу 3.....	41

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАФІКУ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ.....	42
3.1. Алгоритм програмної реалізації системи прогнозування трафіку.....	42
3.2. Програмна реалізація компонентної обробки трафіку.....	44
3.3. Програмна реалізація системи прогнозування трафіку.....	46
3.4. Результати прогнозування трафіку.....	50
3.5. Висновки до розділу 3.....	55
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	56
4.1. Охорона праці.....	56
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	58
4.3. Висновки до розділу 4.....	60
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	62
Додаток А. Копії тез конференцій.....	66
Додаток Б. Текст програмного забезпечення компонентного прогнозування трафіку.....	73
Додаток В. Текст програмного забезпечення системи прогнозування трафіку.....	74

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Усі сфери діяльності людства тісно пов'язанні із необхідністю використанням сучасних інтернет-технологій. Це в свою чергу актуалізувало необхідність надійного та якісного функціонування інтернет-комунікацій. Одним із базових показників функціонування комп'ютерних мереж (КМ) є їх трафік, який дозволяє здійснювати оцінювання активності та поведінки користувачів, забезпечити моніторинг і аналіз роботи КМ для оптимізації розподілу ресурсів мережі та їх динамічного управління задля мінімізації ймовірності появи перенавантажень КМ.

Ефективними методом запобігання перенавантаження КМ є процедура прогнозування рівнів інтенсивності трафіку КМ в часовому просторі, що уможлиблює оптимізацію ресурсів мережі та їх показників. Задача оптимізації ресурсів КМ не можлива без використання математичного моделювання трафіку та методів їх опрацювання.

На базі відомих моделей (модель процесу відновлення (Brandauer С.), модель розподілу Пуассона (Chen Т., Fowler Н.Н., Leland W.), модель фазового процесу відновлення (Brandauer С.), моделі марківських процесів (Czachórski Т., Grochla К., Jozefiok А., Nycz Т., Pekergin F., Domańska J Domański А., Czachórski Т.), ON-OFF та IPP моделі (Hefles Н., Lucantoni D.A., Abdelnaser А.), марківська модульована рідинна модель (Abdelnaser А., Chen Т.), авторегресійні моделі (Shim С. Ryoо I., Lee J., Lee S., Li М., Kinicki R., Claypool M., Nichols J., Land W., Taqqu M., Willinger W.), стаціонарна модель (Шелухин О.И., Осин А.В., Смольский С.М.), модель фрактального броунівського руху (Reichl P.A.)) та інших реалізовано різні алгоритми, методи та програмні системи обробки трафіку КМ при їх прогнозуванні. Але неврахування у математичних конструкціях існуючих моделей взаємної пов'язаності між значеннями різних добових спостережень в межах єдиної реалізації трафіку мережі не дозволяє забезпечити відстеження динаміки варіативності його фазових показників в часовому просторі для прогнозування поведінки



завантаженості КМ та її обладнання. Тому розробка методу прогнозування трафіку КМ є актуальною.

**Метою дослідження** є розробка методу прогнозування трафіку КМ для моніторингу та аналізу їх працездатності.

При досягненні мети необхідно розв'язати задачі:

1. Проаналізувати тенденцію розвитку математичних моделей трафіку КМ та методів їх прогнозування.
2. Обґрунтувати використання вибраної математичної моделі трафіку КМ для задачі його прогнозування.
3. Розробити метод та алгоритм прогнозування трафіку КМ.
4. Програмно реалізувати систему прогнозування трафіку КМ.
5. Провести емпіричні дослідження щодо прогнозування трафіку КМ.

**Об'єкт дослідження:** процес прогнозування трафіку КМ.

**Предмет дослідження:** метод прогнозування трафіку КМ.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Вперше застосовано компонентний метод для обробки трафіку КМ, що уможливило обчислити показники прогнозування трафіку КМ у вигляді кореляційних компонент та їх усереднених реалізацій чим підвищено інформативність прийнятих рішень в процесі прогнозування.

2. Вперше реалізовано програмне забезпечення системи прогнозування трафіку КМ на основі застосованого методу для автоматизованої процедури обчислення показників прогнозування (кореляційних компонент).

**Практичне значення результатів.**

Розроблений програмний засіб дає змогу дослідити процеси в КМ та здійснити прогнозування їх трафіку.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

#### 1.1. Методи усунення перенавантаження трафіку комп'ютерних мереж

##### 1.1.1. Класифікація методів усунення перенавантаження.

Більшість методів керування трафіками поділяються на алгоритми з наявним зв'язком зворотнім (ЗЗ) та без наявності ЗЗ. Методи без зворотного зв'язку (БЗЗ) не забезпечують врахування поточних станів КМ, при цьому приймають рішення щодо видалення пакетів та формування розкладу функціонування окремих ланок КМ. В даному випадку досить складним є завдання визначення причини затримки або втрати пакета, наприклад, в бездротових мережах. Це пов'язано передусім не з перевантаженнями, а з спотворенням сигналу через перешкоди. Як приклад можна позначити алгоритм маркерного кошика [12].

Методи ЗЗ забезпечують врахування поточного стану КМ, забезпечують моніторинг утворення перевантаження, здійснюють оповіщення решту ланок КМ та активують різні заходи для ліквідації перевантаження. Процедура моніторингу КМ забезпечує реєстрацію таких показів:

- процент пакетів, які не були прийнятими для обробки через буферне переповнення;
- тривалість середньої довжини черг;
- процент пакетів, які повторно передано через проблему відсутності отриманих підтверджень;
- показ середнього часу пакетних затримок.

Приріст зазначених показів свідчить про прогрес приросту навантаження або факт присутнього перевантаження. Методи явного ЗЗ як бінарні вказують на факт навантаження та можуть відображати інформацію щодо конкретного рівня навантаження. Прикладом реалізації для TCP/IP мереж є Explicit Congestion Notification та ICMP Source Quench [1, 13].

Існує низка загальних алгоритмів боротьби з навантаженнями.

Найочевидніший полягає в тому, щоб вузол КМ, який виявив перевантаження, надіслав відповідне повідомлення джерелу даних про необхідність зниження швидкості передачі. Однак такий підхід у ряді випадків лише посилює ситуацію, збільшуючи навантаження на КМ новими повідомленнями, які, можливо, зовсім не будуть доставлені до джерела трафіку. Інше рішення полягає в тому, щоб зарезервувати в заголовку повідомлення поле, яке заповнюватиметься вузлами КМ при значному підвищенні навантаження мережі, такий підхід реалізують протоколи Frame Relay [33], DCCP [22], а також протоколи АТМ [17]. Ще один підхід до боротьби з навантаженнями полягає в тому, щоб маршрутизатори періодично відправляли пробні сполучення з метою виявити навантажені ділянки мережі [13]. Класифікація алгоритмів протидії перенавантаженням КМ (рис. 1.1) наводиться у роботі [25].

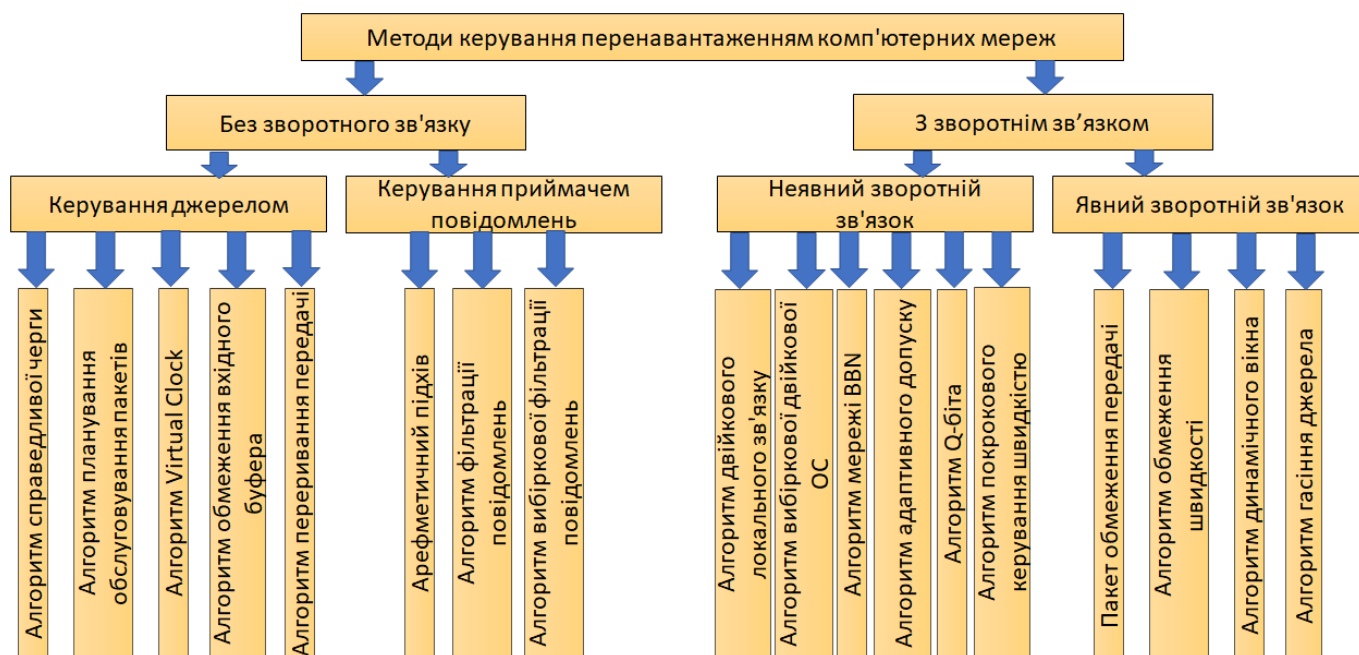


Рис.1.1. Класифікація алгоритмів протидії перенавантаженням КМ

### 1.1.2. Методи без наявних зворотних зв'язків.

Боротьба з перевантаженнями БЗЗ не передбачає прямого оповіщення вузлів КМ про наявність навантаження. Натомість джерело повідомлень, приймач, або мережний пристрій локально веде моніторинг та управління процесом передачі

трафіку. Іншими словами, способи управління трафіком БЗЗ в першу чергу служать для недопущення навантаження, ніж управління мережею після виникнення навантаження.

При використанні принципу справедливого ресурсного розподілення маршрутизатор, або інше мережеве комутуюче обладнання, може опрацьовувати повідомлення з різних підмереж, безлічі комп'ютерів і, зрештою, розподілених додатків. Класична схема комутатора без реалізації функції QoS може бути описана в рамках теорії масового обслуговування елементом КМ з пріоритетом обслуговування FIFO. За такої схеми опрацювання пакетів може скластися ситуація, коли одним абонентом буде ініційовано різкий сплеск трафіку, що призведе до заповнення буфера комутатора та подальшого відкидання пакетів інших абонентів.

Щоб уникнути монопольного захоплення мережевого устаткування однією з джерел трафіку розроблено ряд алгоритмів управління чергою у межах принципу справедливого ресурсного розподілення. Базовий алгоритм був сформульований у роботі [27]: допустима пропускна спроможність кожного потоку даних, що проходить через критичну ділянку мережі, не повинна бути меншою за допустиму пропускну спроможність інших потоків, які поділяють цю ділянку мережі.

Форумом IETF та ATM були позначені такі вимоги до справедливого поділу ресурсів між потоками:

- черговість виділення ресурсів визначається черговістю надходження запитів;
- користувачеві не виділяється більше ресурсів, ніж було запрошено;
- усім користувачам, запити, на пропускну здатність яких перевищили допустимий обсяг, надається однакова смуга пропускання.

Таким чином, кожен новий зареєстрований потік отримує смугу пропускання, що дорівнює користувачеві з мінімальними вимогами. При цьому вільні ресурси, що залишилися, поділяються між потоками, вимоги яких перевищили привласнену мінімальну величину. Якщо після процедури поділу пропускної спроможності необхідно виділити ресурси під ще один потік, то обмежуються ресурси потоків, що перевищують мінімальне значення, так як вважається, що безпечніше обмежити ресурсомісткіший потік, ніж потік і так використовує мінімальну пропускну смугу

[30].

Відомою модифікацією є зважений принцип справедливого ресурсного розподілення. Кожному потоку встановлюється ваговий коефіцієнт, залежно від якого незадоволеним потокам дістається різна кількість ресурсів.

Алгоритми обслуговування пакетів у чергах є найпростішим алгоритмом опрацювання пакетів у чергах буфера і полягає у присвоєнні пріоритету кожної черги на її обслуговування. У разі, якщо одна з черг порожня, то наступним буде опрацьований пакет із черги з нижчим пріоритетом. Очевидно, що при простоті реалізації подібний підхід до опрацювання пакетів має істотний недолік - можлива ситуація, при якій високопріоритетний потік монополізує ресурси комутатора. Таким чином, при розробці алгоритму опрацювання пакетів, що містяться в чергах комутатора, необхідно використовувати алгоритми згладжування профілю навантаження, а також використовувати справедливий принцип доступу обробника пакетів до черг мережного пристрою.

У роботі [20] представлений алгоритм GPS (Generalized Processor Sharing) для доступу до черг маршрутизатора у рамках принципу правдивого розподілення ресурсу. Зарезервована швидкість для кожного потоку або черги в рамках GPS розраховується відповідно до виразу:

$$g_i = r \frac{r_i}{\sum_j r_j} \quad (1.1)$$

де  $r$  - пропускна здатність вихідного каналу,  $r_i$  - мінімальна пропускна здатність каналу, така що  $N$  - число каналів, а сума швидкостей обслуговування потоків, які не обслуговуються в даний момент часу.

Крім забезпечення постійної швидкості потоку, алгоритм GPS розраховує для кожного пакета, що надійшов, час закінчення обслуговування. Після завершення обробки поточного пакета, наступним береться той пакет, який буде обслужений швидше, при цьому розглядаються пакети, що стоять в черзі.

Апроксимуючі алгоритми моделюють GPS сервер у неперервному часі, як, наприклад, алгоритм виваженої справедливої черги WFQ (Weighted Fair Queue). У

разі WFQ кожному потоку приділяється одна черга і гарантується деяка швидкість передачі відповідно до вагового коефіцієнта потоку. Спочатку обслуговуються черги, що не вичерпують надані їм смуги пропускання, при цьому смуга, що залишилася, ділиться між іншими потоками.

Алгоритми керування чергами. Розглянемо алгоритми керування трафіком на рівні приймача повідомлень, тобто принципи фільтрації пакетів на вхідному буфері комутатора для запобігання навантаженню.

Найпростіший алгоритм TailDrop був одним із перших розроблених, згідно з TailDrop при переповненні буфера, або заповненні до критичного обсягу, нові пакети просто відкидалися. Збільшення розмірів буфера призводить до підвищення часу обробки пакета, що зменшує розмір вікна передачі для протоколу TCP. Відбувається так звана синхронізація, коли джерела повідомлень, які переміщуються через навантажену ділянку КМ, зменшують вікно передачі, що призводить до простою ресурсів мережі. Після цього вікно передачі знову збільшується і навантаження знову зростає. Існує кілька варіацій TailDrop [34]. Алгоритм випадкового відкидання пакета при переповненні буфера з певною ймовірністю фільтрує пакети з черги при критичному підвищенні навантаження. Алгоритм скидання початку черги з певною ймовірністю відкидає пакети, що стоять на початку черги. Наведені алгоритми певною мірою дозволяють боротися з монополізацією ресурсів комутатора, проте, розроблено ряд методик, які краще справляються з поставленим завданням [21].

Алгоритм RED вперше був запропонований у [37] і започаткував цілу низку робіт та модифікацій. Оригінальний алгоритм передбачає обчислення ймовірності фільтрації пакета в такий спосіб, щоб не порушувати принцип справедливого ресурсного розподілення, монопольного захоплення ресурсів комутатора одним потоком і уникнути синхронізації джерел повідомлень. При надходженні нового пакета в буфер комутатора RED розраховує середній розмір буфера і порівнює це значення з раніше встановленою нижньою та верхньою межею. Якщо середня довжина черги є нижчою мінімального значення, пакет відправляється в чергу. Якщо значення середньої довжини черги лежить у межах нижньої та верхньої межі, то з деякою ймовірністю  $P$  пакет відкидається, а з показником ймовірності  $(1-P)$

потрапляє у чергу. Якщо середня довжина черги вище за верхню межу довжини, то пакет однозначно відкидається. Середній показник розміру черги розраховується методом експоненційного виваженого середнього значення попередніх розмірів черги. Це робиться для того, щоб не враховувати короточасні заповнення буфера. Ваговий коефіцієнт не дозволяє помітно реагувати на короточасне навантаження.

У праці [28] представлено алгоритм ARED. В ARED верхнє та нижнє граничне значення довжини черги є залежним від навантаження. Якщо середня довжина черги стає меншою від нижнього порогового значення, то ймовірність скидання пакета також знижується, вважається, що навантаження невелике. Як тільки навантаження на пристрій, що комутує, підвищується, зростає й імовірність скидання пакета. При зниженні інтенсивності трафіку після перевантаження ARED показує кращі результати в порівнянні з RED, так як адаптивний алгоритм знижує ймовірність скидання пакетів при підвищеному навантаженні, що знижується.

Алгоритми керування профілем навантаження, враховує те, що мережевий трафік має пульсуючий характер, тобто за періодами відносно низької активності слідує сплеск навантаження, що особливо характерно для самоподібного трафіку, комутуючий пристрій повинен брати на себе реалізації алгоритмів обмеження трафіку (traffic policing) та згладжування (traffic shaping). Для обмеження трафіку та згладжування застосовується алгоритм «кошик маркерів» [1, 13].

Traffic policing полягає у обмеженні трафіку від джерела. Тобто виставляється деяке граничне значення швидкості передавання, перевищення якого призводить до відкидання чи маркування пакетів. Алгоритм Traffic policing представлено на рис.1.2.

Traffic shaping (згладжування) використовується для згладжування трафіку, що частіше виходить. У разі перевищення джерелом швидкості передачі, пакети, що надходять, не відкидаються, а поміщаються в чергу.

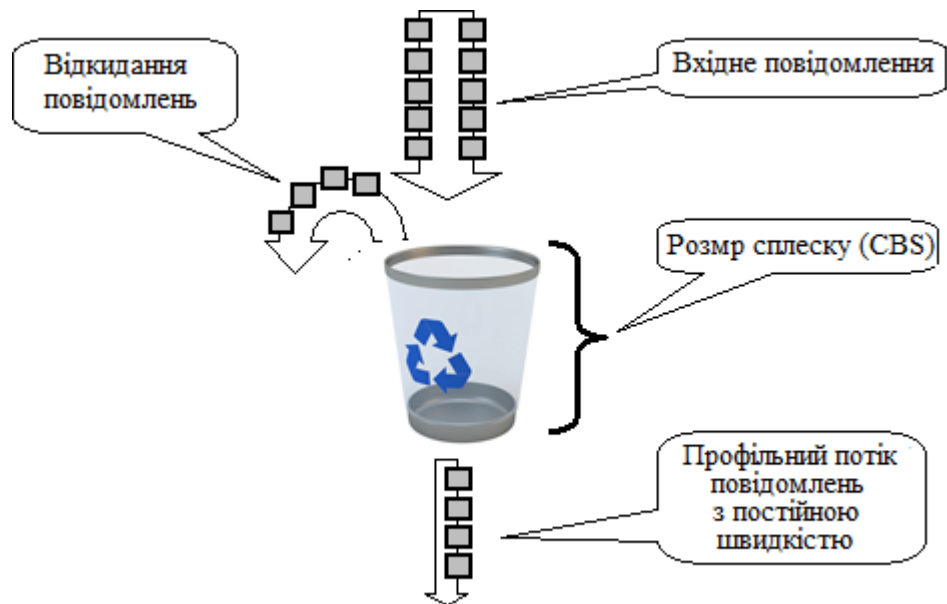


Рис.1.2. Алгоритм Traffic policing

Результат роботи етапів алгоритму Traffic shaping (див. рис.1.3) відображає його ефективність.

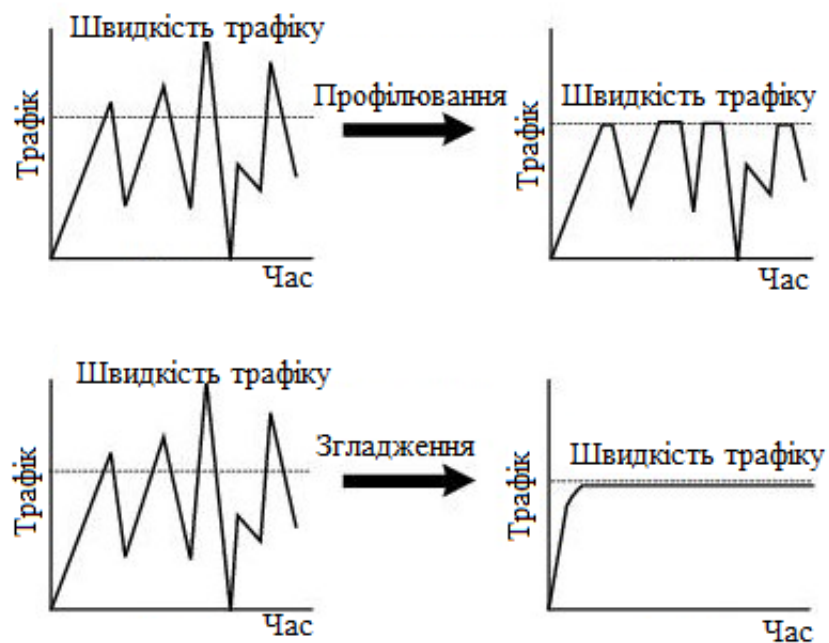


Рис.1.3. Результат роботи алгоритму Traffic shaping

Проаналізовані керуючі трафіком КМ алгоритми і методи боротьби з навантаженнями БЗЗ більш всього є спрямованими на найшвидше запобігань



перевантаження. Процедура детекції та управління перевантаженнями відбувається методами зі ЗЗ, які максимально забезпечують врахування поточних станів КМ.

### 1.1.3. Методи без наявності зворотних зв'язків.

Суть механізму ЗЗ полягає в оповіщенні перевантаженим вузлом інших вузлів КМ, якими йдуть пакети, та необхідність часового обмеження швидкості передачі даних для зниження навантаження.

ЗЗ може бути явним і неявним. Явний ЗЗ або явна сигналізація про навантаження полягає в повідомленні вузлом про наявність навантаження засобами протоколу передачі даних. Тобто або відправкою повідомлення про ступінь навантаження або додаванням в заголовок пакетів біта, що передаються, сигналізує про перевантаження.

Протокол керування процесом передавання (ТСР) спочатку описаний в [35] та розроблений для надійної передачі через ненадійні канали зв'язку(КЗ). Інформація при передаванні розбивається на пакети, які піддаються наскрізній нумерації, таким способом отримувач має змогу контролю отримання пакетів і скласти вихідне повідомлення. Після отримання певного обсягу даних одержувач підтверджує прийняті повідомлення, інакше відправник виконує повторну передачу пакетів.

Найбільш відомі реалізації протоколу ТСР, такі як Reno та Tahoe реалізують кілька загальних стратегій щодо недопущення перевантажень у мережі. Перша називається "повільним пуском". Під час процесу встановлення комутацій відправнику та отримувачу треба вибрати відповідний розмір вікна передачі. Для одержувача відправною точкою в розрахунку розміру вікна стає розмір буфера, тобто розмір вікна передачі не повинен перевищувати розмір буфера, щоб не викликати переповнення. Відправник, спираючись на отриманий розмір буфера, має розрахувати так зване вікно навантаження.

У разі отримання джерелом Source Quench повідомлення розмір вікна відправника встановлюється рівним максимальному сегменту передачі.

Алгоритм Карна [32] та метод експоненційного відкату також керують часом таймауту передачі.

## 1.2. Математичні моделі трафіку комп'ютерних мереж

Як відомо, постановку експерименту та проведення дослідження трафіку КМ можна виконати двома підходами. У першому випадку - задіяти реальне обладнання, досліджувати процес у часі. У другому випадку - для проведення дослідження можна виконати чисельне моделювання експерименту, задіявши обчислювальні потужності комп'ютера та математичні моделі трафіку.

У разі моделювання трафіку КМ (системи дискретних подій DES [29]) важливо використовувати відповідну модель мережевого трафіку, що використовується у чисельному експерименті. Точність моделі, а саме наскільки вона відповідає параметрам фактичної мережевої передачі даних, визначає якість результатів експерименту.

Моделі трафіку КМ можуть бути класифіковані за характером процесу надходження сутностей та програмним забезпеченням або додатком, що забезпечує передавання даних. За характером процесу моделі можуть бути стаціонарними та нестаціонарними. Стаціонарні моделі, у свою чергу, можуть мати короткострокову і довгострокову залежність. До моделей з короткостроковою залежністю відносяться класичні регресійні та моделі, засновані на Марківських процесах. Довгостроковою залежністю відрізняються фрактальні моделі [19]. Також за програмою-джерелом трафік може класифікуватися як трафік web, peer-to-peer, потокового відео тощо [24].

### 1.2.1. Моделі, що базуються на процесах відновлення.

Одним із перших розроблених моделей трафіку були моделі, засновані на теорії відновлення. Внаслідок своєї простоти вони знайшли широке застосування у дослідженнях перших мереж передавання даних. Часові інтервали між подіями під час відновлення є додатними, незалежними та рівномірно розподіленими величинами. Процес відновлення можна визначити за допомогою процесу підрахунку

$$N(t); t \geq 0, \quad (1.1)$$

де  $N(t)$  – це число подій системи на інтервалі  $(0; t)$ .

На кожному періоді настання подій  $S_n = X_1 + \dots + X_n$  з певною ймовірністю процес починається наново. Тобто, якщо  $n$ -а подія настає при  $S_n = \tau$ ,  $j$ -та підпоследовність періоду появи подій:  $S_{n+j} - S_n = X_{n+1} + \dots + X_{n+j}$ . Таким чином, при  $S_n = \tau, \{N(\tau + t - N(\tau)); t \geq 0\}$  – функція процесу відновлення з незалежними, рівномірно розподіленими інтервалами між подіями [26].

Процес відновлення нескладно використовувати, однак він має суттєвий недолік - функція автокореляції ряду  $\{X_n\}$  згортається в нуль для всіх ненульових лагів, що не відповідає результатам дослідження реального трафіку. Тобто аналіз АКФ говорить про відсутність часової залежності часового ряду. Більше того, додатне значення автокореляції ряду  $\{X_n\}$  може пояснити наявність коротких спалахів активності КМ [21]. Саме трафік змінного характеру, з періодами підвищеної активності, переважає в КМ, особливо ширококомовних, тому модель, що враховує автокорелювання даних, краще відповідатиме реальній мережі.

### 1.2.2. Модель з урахуванням розподілу Пуассона.

Модель трафіку на базі розподілу Пуассона застосовувалася переважно для дослідження телефонних мереж. Пуассонівський процес – це окремий випадок процесу відновлення, в якому час надходження подій експонентно розподілено з параметром  $\lambda$ :

$$P\{X_n < t\} = 1 - \exp(-\lambda t). \quad (1.2)$$

Розподіл Пуассона застосовується, коли трафік надходить від сукупності незалежних джерел, які відповідають вимогам розподілу. Середнє значення та дисперсія розподілу Пуассона визначаються параметром  $\lambda$ .

Розподіл має низку математичних властивостей. По-перше, суперпозиція незалежних пуассонівських процесів дає новий пуассонівський процес із розподілом, що дорівнює сумі розподілів вихідних процесів. По-друге, властивість незалежних природжень усуває часові залежності ряду. По-третє, згідно з теоремою Пальма, пуассонівський процес найчастіше використовується для моделювання сукупності незалежних джерел трафіку [8]. Однак пізніше було з'ясовано, що агрегування трафіку не завжди призводить до розподілу Пуассона.

Найпростіший спосіб визначення того, що процес Пуассонівський - графічний. Для цього достатньо визначити, що гістограма часу настання подій зменшується за експонентним законом.

Варто зазначити, що у випадку, якщо модель трафіку на базі розподілу Пуассона залежить від часового простору, тобто не постійна величина, то параметр розподілу виражається як функція від часу  $\lambda(t)$  [6].

Для моделювання глобальних мереж, у яких внесок у загальну картину трафіку одного абонента невеликий, сесії користувача можна представити, як пуассонівський процес. Пуассонівський процес підходить для моделювання TSP трафіку на сесійному рівні моделі OSI, коли сесії ініціюються користувачами, тобто TELNET та FTP програми [23, 42].

### 1.2.3. Модель з урахуванням розподілу Бернуллі.

Модель трафіку на базі розподілу Бернуллі є дискретним аналогом моделі Пуассона. Імовірність настання події в будь-який інтервал часу не є залежним від інших подій. Для часового проміжку  $k$  відповідне число настання подій відповідає біномному розподілу:

$$P\{N_k = n\} = \binom{k}{n} p^n (1-p)^{k-n} \quad (1.3)$$

де  $n$  приймає значення інтервалу 0 до  $k$ .

Час між настанням подій визначається параметром  $p$  з геометричним розподілом:

$$P\{A_n = j\} = p(1-p)^j, \quad (1.2)$$

де  $j$  - додатне ціле число.

#### 1.2.4. Модель з урахуванням фазового процесу відновлення.

Однією з моделей, заснованих на відновлення, є модель трафіку так званого фазового типу. Фазовий процес настання подій може бути змодельований як неперервний в часовому просторі Марківський процес поглинання  $C = \{C(e)\}_{t=0}^{\infty}$  в просторі допустимих станів  $\{0, 1, \dots, m\}$ , де 0 відповідає стану поглинання, а всі інші стани - перехідні, і при цьому процес поглинання виконується протягом кінцевого проміжок часу. Для визначення  $X_n$  процес  $C$  запускається з початковим розподілом. Коли відбувається поглинання (тобто входить у стан 0), процес зупиняється. Минулий час відповідатиме  $X_n$ , що призведе до ймовірнісної комбінації сум експонент. Потім процес виконується заново з початковим розподілом  $\pi$  і процедура повторюється незалежно для отримання  $X_{n+1}$ .

Використання моделі на основі фазового процесу відновлення дозволяє керувати характеристиками моделі, що моделюється, а також задовольняє умові апроксимації розподілів вхідних повідомлень [21].

#### 1.2.5. Моделі, що базуються на Марківських процесах.

Моделі трафіку, засновані на Марківських процесах, вводять залежність між елементами випадкової послідовності на відміну від моделей на основі процесів відновлення. Вважається, що можливість переходу системи в наступний стан  $S_{n+1}$  залежить тільки від  $S_n$  і не є залежним від інших станів  $S_i$ , де  $i < n$ . Це призводить до позитивної автокореляції  $\{S_n\}$ , що відповідає змінному характеру мережевого трафіку, коли періоди підвищеної активності йдуть за періодами зниженої інтенсивності передавання даних. У таких моделях кількість станів відома. Чим вона

вище, тим більше модель відповідає реальній мережі передачі даних, проте це викликає підвищення складності моделювання [40, 41].

Напівмарківські моделі виходять, коли час між настанням станів підпорядковується випадковому розподілу ймовірностей. Якщо час між змінами станів моделі зовсім не враховується, то процес вважається дискретним марківським ланцюгом.

#### 1.2.6. ON-OFF та IPP моделі.

ON-OFF модель широко застосовується для моделювання мереж передачі голосових даних [31]. Модель застосовується, коли треба врахувати скейлінг характер мережного трафіку. При цьому допускається лише два стани ON та OFF, а час переходу між станами розподілено за експонентним законом [19]. Для мережі, у якій  $N$  статистично ідентичних та незалежних ON-OFF джерел, кожне джерело характеризується  $L$  – середнім числом пакетів, переданих за ON період, піковим значенням  $S$  та середнім  $r$ . Рівноважна ймовірність джерела у разі може бути розрахована як  $\gamma=r/S$ .

У рамках IPP-моделі трафіку (Interrupted Poisson Process) мережа може бути лише у двох станах. У ON-стані мережа здійснює передачу даних відповідно до розподілу Пуассона, у OFF- стані передача даних не здійснюється.

#### 1.2.7. Модель з урахуванням Марківського процесу відновлення.

В рамках моделі на основі процесу відновлення для мережі є два стани:  $S1$  та  $S2$ . Амплітуда трафіку у стані  $S1$  дорівнює 0 та 1 – у стані  $S2$ . Якщо середні інтервали часу переходу між станами прийняти рівними  $d1$  і  $d2$  відповідно, то ймовірність знаходження системи  $S1$  дорівнює  $PS1 = d1/(d1 + d2)$ , а  $S2$  – відповідно  $PS2 = d2/(d1 + d2)$ . При цьому суперпозиція незалежних відновлювальних процесів має біномний розподіл.

1.2.8. Модель на основі Марківського модульованого Пуассонівського процесу (ММПП).

Через простоту реалізації пуассонівський процес – є досить хорошим способом моделювання мережевого трафіку [41, 42]. Однак, очевидним є недолік такого підходу через використання постійної швидкості потоку  $\lambda$ . Якщо взяти реальний трафік, то швидкість потоку не буде однаковою, оскільки повідомлення починаються й закінчуються у випадкові моменти часу.

Прийнято  $N$  голосових повідомлень за мультиплексований потік, а кожне окреме повідомлення – незалежний пуассонівський процес. Таким чином, базовий процес – пуассонівський зі швидкістю  $\lambda(t)$ . Швидкість потоку модулюється як:

$$\lambda(t) = n(t)\lambda, \quad (1.5)$$

де  $n(t)$  – це кількість активних на даний момент передач голосових повідомлень. І тут,  $n(t)$  – це стан безперервної у часі ланцюга Маркова. ММПП зберігає деякі властивості відсутності часової залежності Пуассонівського процесу та може бути проаналізована в рамках Марківської теорії.

ММПП широко використовується при моделюванні трафіку завдяки високій гнучкості в якісному налаштуванні отриманої моделі, його також називають подвійним стохастичним процесом.

Простий приклад ММПП - це модель з двома станами: активним, з відповідним позитивним параметром розподілу Пуассон і вимкненим станом, при якому параметр Пуассона дорівнює нулю. Стан ON у разі відповідає передачі звуку, а стан OFF відповідає тиші. Така модель може бути поліпшена агрегуванням безлічі незалежних джерел, для кожного з яких є характерною ММПП з індивідуальним модулюючим Марківським процесом.

### 1.2.9. Марківська модульована рідинна модель.

Рідкі моделі визначають трафік як неперервний потік з параметром, що визначає швидкість цього потоку. Подібні моделі особливо підходять у випадках,

коли вплив окремого пакета на мережу передачі незначний. Вони відрізняються від традиційних точкових тим, що ігнорують дискретну природу пакетів даних [23]. Назва моделі виходить із аналогії з впливом однієї молекули рідини у трубі з водою.

Опрацювання рідинних моделей досить проста і вимагає високих обчислювальних потужностей [19]. Найчастіше використовується Марківська рідинна модель, при цьому поточний стан Марківського ланцюга визначає швидкість потоку (трафіку). При моделюванні VBR відео використовується Марківська модель з постійною швидкістю, в якій стану  $S_k$  відповідає постійна швидкість  $\lambda_k$ . Вхідним змінним параметром мережі з урахуванням рідинної моделі є швидкість потоку, і натомість якої можна проводити дослідження поведінки окремих вузлів мережі. Найчастіше рідинні моделі враховують “ON-OFF” природу джерел повідомлень, у своїй OFF-період відповідає відсутності трафіку, а протягом ON-періоду повідомлення надходять детерміновано зі постійною швидкістю. Періоди не залежать один від одного, як і розподіл підпорядковується експоненційному закону. Простота моделювання та аналітичного трактування робить модель досить популярною.

#### 1.2.10. Авторегресійні моделі.

Авторегресійні моделі широко застосовуються при моделюванні VBR відеотрафіку розробки систем управління навантаженнями у високошвидкісних мережах передачі мультимедіа даних [39]. Подібна популярність виходить із характеру відео даних, де на 1 секунду припадає до 30 кадрів і, як наслідок, відмінності у цих кадрах найчастіше незначні. Істотні зміни між двома наступними кадрами відео ряду вносять зміни сцени, що спричиняють зростання обсягу переданих даних. Таким чином, відеоряд в рамках однієї сцени, без різких стрибків в обсязі трафіку, може бути змодельований за допомогою авторегресійних моделей, а для різких переходів між кадрами можна задіяти марківські ланцюги.

У роботі [38] відеотрафік мережі моделюється в рамках виразу:

$$X_n = Y_n + Z_n + V_n C_n, \quad (1.6)$$



де  $Y_n$  та  $Z_n$  – два незалежні AR процеси. Завдяки використанню одночасно двох процесів авторегресії вдається привести автокореляційну функцію (АКФ) моделі, до вигляду, що відповідає реальному відео трафіку.

Добуток  $V_n C_n$  – це стан Марківського ланцюга та незалежної з нормально розподіленими величини, що вводиться для обліку стрибкоподібного зростання навантаження при зміні сцен. Подібна модель застосовна для алгоритмів стиснення відео, у яких передаються лише зміни під час переходу між кадрами.

Авторегресійна модель ковзного середнього порядку  $(p, q)$  позначається як ARMA $(p, q)$  і набуває такого вигляду:

$$X_t = c + v_1 X_{t-1} + v_2 X_{t-2} + \dots + v_p X_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}. \quad (1.7)$$

де

$$v(B)X_t = c + \theta(B) \cdot \varepsilon_t, \quad (1.8)$$

де  $B$  – це оператор лага (оператор зсуву), такий що  $X_{t-1} = BX_t$ , а  $v(B) = (1 - v_1 B_1 - \dots - v_p B_p)$ ,  $c$  – константа.

ARMA моделі широко використовуються для моделювання VBR трафіку. У цьому випадку тривалість відеокадру поділяється на рівні  $m$  інтервали. Число осередків  $n_i$ ,  $i=0, \dots, m-1$ , в часовому інтервалі моделюється за допомогою ARMA процесу:

$$X_n = \varphi X_{n-m} + \sum_{i=0}^{m-1} \theta_i \varepsilon_{n-i} \quad (1.9)$$

Оскільки відеодані кожного кадру корелюються між собою зі змінним коефіцієнтом кореляції, то функція автокореляції міститиме піки на лагах, кратних  $m$ . У моделі AR-частина використовується для ефекту повторної кореляції, а  $\theta_k$  вводиться для підбору кореляції для інших затримок [33]. Параметрична оцінка ARMA моделей складніша, ніж для AR моделей, оцінка  $\theta_k$  вимагає розв'язання множини нелінійних рівнянь. Аналітичний аналіз також досить складний.

### 1.2.11. Стаціонарна модель трафіку.

У роботі [17] для дослідженого трафіку як стаціонарного у широкому значенні стохастичного процесу вказується загасання середньої дисперсії вибірки навіть повільніше, ніж  $m^{-1}$ . Найбільш простим підходом у даному випадку було б прийняти згасання  $vm$  пропорційно  $m^{-\alpha}$  для деякої  $\alpha(0,1)$ . Тоді  $\rho$  має бути пропорційною  $m^{1-\alpha}$ :

$$\sum_{k=1}^m \rho_k \approx Cm^{1-\alpha} \quad (1.9)$$

Оскільки  $\alpha < 1$ , то  $\sum_{k=1}^m \rho_k \rightarrow \infty$ . Таким чином АКФ згасає повільніше, тому що вона не сумується [24].

### 1.2.12. Модель фрактального броунівського руху.

Трафік мережі як броунівський рух є стохастичним процесом  $\{B_t\}$  для якого  $t \geq 0$  та володіє нормальним розподілом з нульовим середнім та дисперсією  $\sigma^2 t^{2H}$ . Фрактальний броунівський рух  $\{fB_t\}$  є самоподібним гаусівським процесом із показником самоподібності  $0,5 \leq H < 1$ .

Один із прикладів моделювання трафіку за допомогою фрактального гаусівського шуму наведено в роботі [36], де також вказується на складність аналітичного аналізу розподілу заповнення буфера.

Вираз такої моделі подано у вигляді:

$$fB_t = \int_0^t (t-u)^{H-0.5} dB(u) \quad (1.10)$$

Тому наводиться приблизний аналіз поведінки розподілу хвостів. Показано, що для великих значень  $H$  зростання навантаження на мережу потребує значного збільшення обсягів пам'яті. Імовірність втрати пакету зростає алгебраїчно з

розміром буфера, а не експоненційно, як у випадку з марковськими та ARMA моделями.

Але розглянуті моделі не дозволяють враховувати у структурах взаємну пов'язаність між значеннями різних часових повторів в межах єдиної реалізації трафіку КМ, що є вкрай важливим при відстеженні динамік варіативності його фазових показників в часовому просторі при прогнозуванні поведінки апостеріорної завантаженості КМ.

Тому необхідно використати інший підхід для побудови методу прогнозування трафіку КМ. Зокрема, варто розширити використання енергетичної теорії стохастичних сигналів (ЕТСС) для моделювання трафіку КМ, а саме – модель у вигляді ПКВП [1, 15, 16, 43]. На базі цієї моделі в цій роботі запропоновано будувати метод та програмну реалізацію прогнозування трафіку КМ.

### 1.3. Висновки до розділу 1

На підставі аналізу відомих моделей трафіку встановлено, що всі розглянуті моделі не дозволяють враховувати взаємопов'язаність значень трафіка КМ в межах реалізації, що дозволило б відстежити динаміку варіативності фазових показників в часовому просторі при прогнозуванні завантаженості КМ.

Отже, необхідність розроблення методу та програмної реалізації засобу прогнозування перенавантаження КМ на базі адекватного математичного моделювання є теоретично-емпіричним завданням.

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АЛГОРИТМ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАФІКУ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

#### 2.1. Аналіз характеристик емпіричного трафіку

Аналіз характеристик трафіку КМ для побудови методу прогнозування трафіку було здійснено на основі реально отриманих даних від провайдера UFONet м.Тернополя. Загальний вигляд емпіричного трафіку КМ, зареєстрованого впродовж 7 діб (з 01.09.2021 р. по 07.09.20210 р.) (Житловий комплекс «Парковий комплекс»), зображено на рис.2.1.

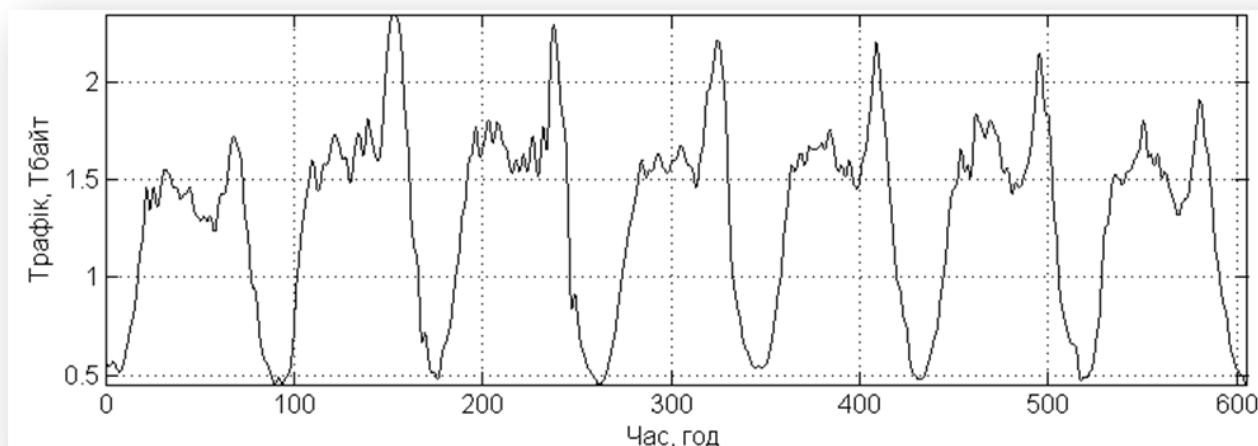


Рис.2.1. Трафік КМ з 01.09.2021 р. по 07.09.2021 р.  
(Житловий комплекс «Парковий комплекс», м. Тернопіль)

Відмічено, що реалізаціям кожної доби притаманні чіткі піки трафіку мережі (рис.2.1) з характерними добовими варіативностями одних відносно інших в просторі, часі та за значеннями амплітудних піків (рис.2.2).

За умови відсутності варіативностей, змінності амплітуд та наявності чітких добових повторів можна припустити, що мережевий трафік, який зареєстровано впродовж 7 діб, буде чітко періодичний:

$$s(t) = s(t + T), t \in \mathbb{R}. \quad (2.1)$$

де  $T$  – тривалість доби, 24 год.

Проте, через наявність певних варіативностей, (див.рис.2.2) вираз (2.1) не є адекватним щодо подання математичного виду емпіричних трафіків при розробці методів їх прогнозування. В такому випадку необхідно застосувати стохастичний апарат моделювання до опису емпіричних трафіків, і вже на його базі розробляти методи прогнозування навантаженості КМ. Проте сказане вимагає кількісного доведення шляхом оцінювання характеристик реальних трафіків КМ.

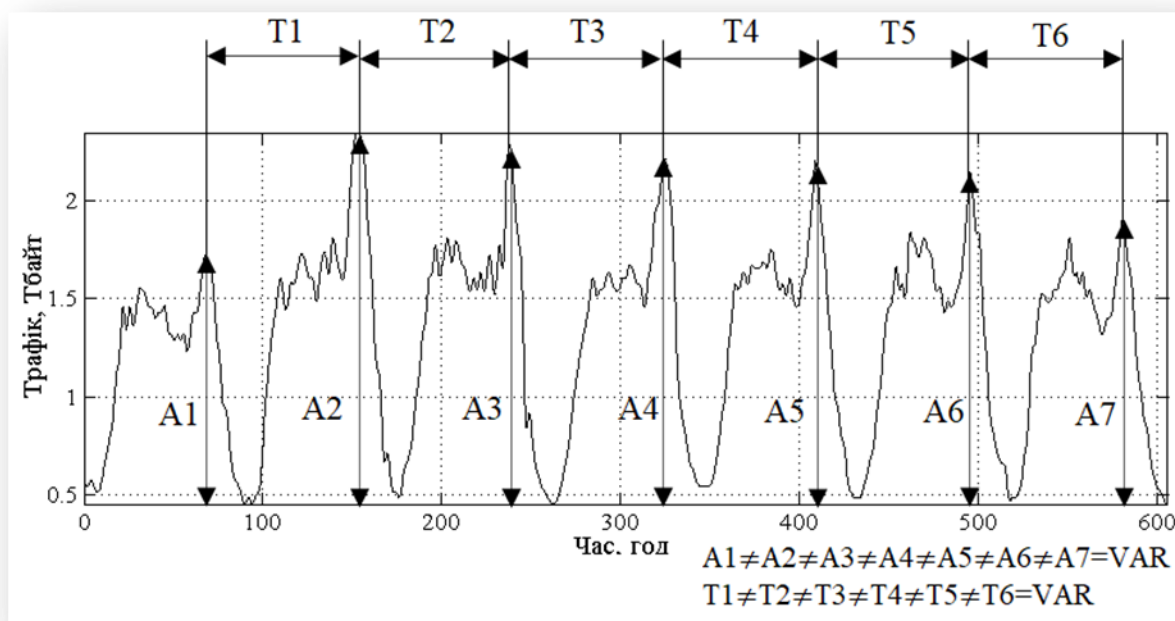


Рис. 2.2. Варіативність показників піків трафіку КМ з 01.09.2021 р. по 07.09.2021 р.  
 (Житловий комплекс «Парковий комплекс», м. Тернопіль)

Кількісні дані, що формують комп'ютерні системи прогнозування станів КМ в майбутньому є низько інформативною при відстеженні динамік змін її навантаженості часо-амплітудних показників (рис.2.2) через нездатність чисельного

відображення варіативностей у фазово-часовій (ФЧ) структурі емпіричних трафіків КМ, які є проілюстрованими на рис.2.3.

Під фазою  $\varphi_n$  на рис.2.3 трактується деяке  $n$ -не числове значення, яке є кількісною мірою часових варіацій початку коливань трафіку  $n$ -ої доби відносно значень  $(n-1)T$  діб.

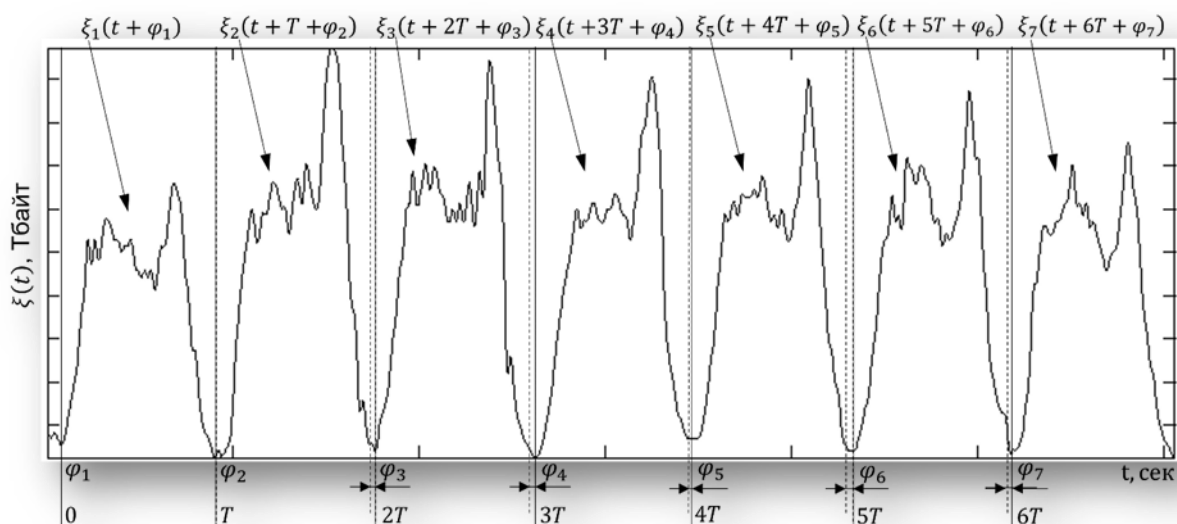


Рис.2.3. ФЧ структура емпіричного трафіку КМ

Візуальний аналіз ФЧ показників трафіку мережі (рис.2.3) встановив, що для кожної  $n$ -ої доби, які локалізуються в інтервалах часових періодів трафіку  $T$ , спостерігаються ознаки варіативності числових значень фаз  $\varphi_1 - \varphi_{10}$  у структурі трафіку  $\xi_1(t) - \xi_{10}(t)$  по відношенню до початкових значень  $(n-1)T$  періоду у емпіричній реалізації трафіку КМ  $\xi(t)$  в часовому просторі:

$$\varphi_1 \neq \varphi_2 \neq \dots \neq \varphi_n = \text{var}, \quad (2.2)$$

де  $n$  – номер добового повторення трафіку мережі або номер фази  $n$ -ого добового повтору трафіку КМ.

Аналіз ФЧ показників реалізації добового трафіку КМ (рис.2.3) встановив, що його математична модель має забезпечувати зможу дослідження динаміки часових

залежностей кожної з діб для прогнозування варіативності майбутньої поведінки КМ.

При дослідженні варіативностей амплітудо-часових показників трафіку КМ (рис.2.2) та виявлення їх часової залежності треба використати засоби математичного моделювання, зокрема, здійснити опис математичної моделі трафіку мережі, що забезпечить дослідження таких варіативностей взаємних зв'язків між трафіками КМ різного часу єдиної реалізації.

При розгляді процесу реалізації трафіку як стаціонарного, помітно, що густини розподілів (рис.2.4) змінюються в просторі часу, що констатує нестационарну приналежність реалізації трафіку мережі. Густина розподілення ймовірностей значень трафіку КМ для  $k$ -ої доби забезпечує встановлення певної закономірності варіативності значень в часовому просторі та обчислюється за формулою:

$$p(\xi, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-\frac{(t-m_{\xi})^2}{2D_{\xi}}} dt. \quad (2.3)$$

де  $m_{\xi}$  – середнє значення  $X$  різних діб трафіку;

$D_{\xi}$  – дисперсія вибірки значень  $X$  різних діб трафіку.

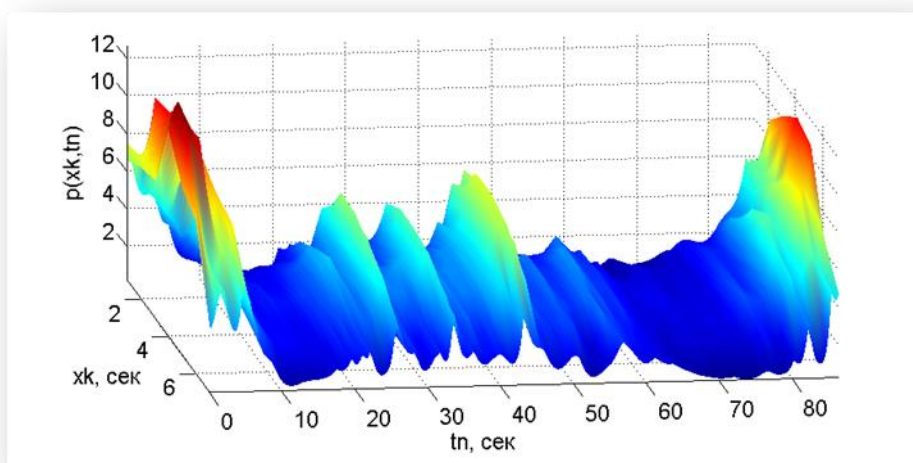


Рис.2.4. Густина розподілень ймовірностей реалізації мережевого трафіку

$$p(\xi_k, t_n)$$

Результати аналізу кореляції ансамблю реалізацій трафіку КМ вказали на періодичність його функції кореляції  $r_{\xi}(t, u) = r_{\xi}(t + T, u + T)$  (рис.2.5) та періодичну зникненість (рис.2.6) кореляції суцільної реалізації  $R_{\xi}(u)$ , що обумовлює повторність трафіку КМ як скінченного  $R_{\xi}(u) < \infty$ . Автокореляцію скінченного ансамблю реалізацій трафіку КМ скінченного  $\xi_k(t)$  обчислено за формулою:

$$r_{\xi_k}(t, u) = \frac{1}{T} \int_0^T \xi(t - kT) \xi(t - kT - u) dt, \quad u, t \in [0, T), \quad k = \overline{0, (K-1)}. \quad (2.4)$$

де  $K$  – загальна кількість днів  $\xi_k(t)$ , які в сукупності на кожній  $k$ -ій добі  $[\xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_k(t)]$  формуються єдиною реалізацією  $\xi(t)$  трафіку мережі.

Кореляція у випадку суцільної реалізації трафіку КМ обчислюється за формулою:

$$r_{\xi}(u) = \int_0^T \xi(t) \xi(t - u) dt, \quad t \in \mathbf{R} \quad (2.5)$$

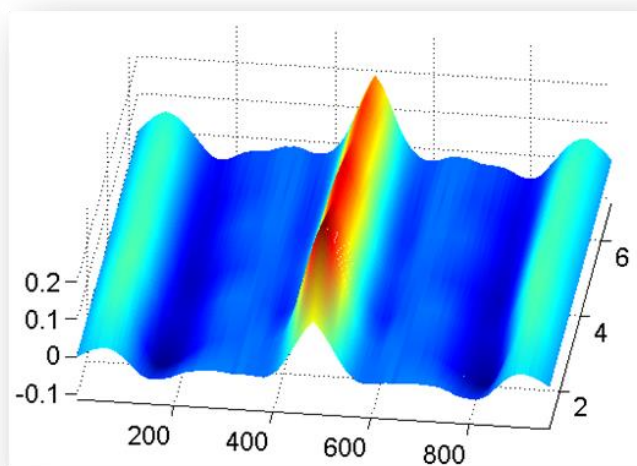


Рис.2.5. Реалізації кореляційних функцій від ансамблю реалізацій трафіку КМ



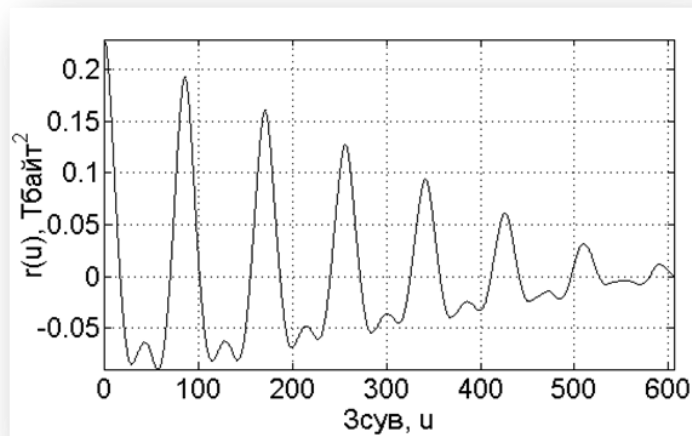


Рис.2.6. Реалізація функції кореляції суцільного трафіку КМ

Результати здійсненого аналізу характеристик трафіку КМ вказують на те, що математична модель його повинна забезпечувати конструктивне поєднання стохастичності (див. рис.2.4) та повторності діб (див. рис.2.5), має відноситися до скінчених класу процесів (див. рис.2.6) та відобразити залежності взаємні між значеннями трафіку КМ різних діб для процесу дослідження варіативності показників фаз трафіку в часовому просторі спостереження (див. рис.2.3).

## 2.2. Математична модель трафіку

Теоретичні підґрунтя сигналів стохастики, які є основою узагальнень більшості отриманих результатів та інновацій новотриманих фактів, забезпечили усунення більшості труднощів. Вони надали засоби розробки математичного засобу, який є придатний для більшості використань теорії процесів стохастики. ЕТСС забезпечує обґрунтування виду трафіку КМ через гармонічні компоненти, при цьому зберігаючи закон збереження середніх показників потужності із визначенням конкретного типу взаємної залежності його значень в усіх областях спостереження (часова/частотна). Така теорія зображає дозволяє представити мережевий трафік через компоненти стаціонарного виду та послідовності такого ж типу через 24год., тобто добу, як період корельованості.

Враховуючи формування трафіку КМ та наведені вимоги до розробки математичного засобу встановлено, що трафік КМ є нестационарним і є періодичного виду з характерністю його скінченності за інтервал доби  $T$ . Трафік КМ також однозначно є належним до  $\pi^T$  класу. В такому випадку його варто описати математично із використанням моделі виду ПКВП, яка забезпечує опис такого типу коливання з повторною/періодичною варіативністю ймовірнісних показників [10].

Трафік мережі як ПКВП є процесом стохастичності, в якого матсподівання та коваріація відповідають таким вимогам повторності [1, 5, 14, 15] :

$$m(t+T) = m(t), \quad (2.6)$$

$$b(t+T, u+T) = b(t, u), \quad \forall u \in R \quad (2.7)$$

Клас  $\pi$  необхідний для дослідження трафіку мережі як ПКВП області частот при встановленні типу взаємної кореляції його значень, закону збереження та відображення трафіку із використанням компонент стаціонарного виду.

В такій ситуації є очевидним, що  $b(t+T, u+T) = b(t, u)$  в процесі обчислення середніх показників зводиться до процесу обчислення усереднених показників вздовж всієї осі через обчислення на інтервалі доби  $[0, T)$ .

$$m = M_t \{m(t)\} = \frac{1}{T} \int_0^T m(t) dt, \quad (2.8)$$

$$B(u) = M_t \{b(t+u, t)\} = \frac{1}{T} \int_0^T b(t+u, t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T b(t, u) dt, \quad (2.9)$$

де  $T$  - тривалість доби для трафіку КМ

Вирази (2.8-2.9) можна розкласти із застосуванням Фур'є рядів:

$$m(t) = \sum_{k \in Z} m_k e^{ik\Lambda t}, \quad (2.10)$$

$$b(t, u) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} B_k(u) e^{ik\Lambda t}, \quad (2.11)$$

де  $\Lambda = \frac{2\pi}{T}$  - крок відбору в частотному просторі;

При застосуванні Шварцових функцій узагальненого виду при розгляді мережевого трафіку середнє рівне:

$$M_t \{f(t)\} = \lim_{\Theta \rightarrow \infty} \frac{1}{2\Theta} \int_{-\Theta}^{\Theta} f(t) dt = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2NT + 2\Delta} \left[ 2N \int_0^T + \int_{-\Theta}^{-NT} + \int_{NT}^{\Theta} \right] f(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt, \quad (2.12)$$

де

$$N = E\left(\frac{\Theta}{T}\right), \quad (2.13)$$

де  $E(\bullet)$  - ціла частина числа:  $\Delta = \Theta - NT$ .

Таке подання констатує очевидність того, що величина середньої потужності трафіку КМ обчислюється на відріжку доби  $[0, T)$ , тоді:

$$P_{\xi}^T = \frac{1}{T} \int_0^T E \left| \xi(t) \right|^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^T r(t, t) dt, \quad (2.14)$$

властивість приналежності трафіку КМ до  $\pi$  класу має вигляд:

$$P_{\xi}^T = \frac{1}{T} \int_0^T r(t, t) dt < \infty. \quad (2.15)$$

Така вимога належності трафіку (2.15) буде автоматично встановлювати його приналежність до зміненого класу  $\pi^T$ .

Компоненти трафіку КМ, які описують кореляційні залежності обчислюється формулою:

$$B_k(u) \stackrel{\Delta}{=} \frac{1}{T} \int_0^T b(t+u, t) e^{-ik\Lambda t} dt, \quad (2.16)$$

Через їх лімітованість  $|B_k(u)| \leq |B_0(u)| \leq B_0 = P_\xi^T$  вони пристосовані з класом  $B^2$  та відповідно подаються через міри:

$$B_k(u) = \int_R e^{iu\lambda} F(d\lambda). \quad (2.17)$$

Коваріація мережевого трафіку при обраній моделі ПКВП описується формулою:

$$r(t, s) = \iint_{R^2} e^{i(t\lambda - s\mu)} F(d\lambda, d\mu), \quad (2.18)$$

де

$$F = \left\{ \lambda = \mu + k\Lambda, k \in Z, \Lambda = \frac{2\pi}{T} \right\}, \quad (2.19)$$

Модель трафіку КМ поданої через ПКВП забезпечує конструктивне урахування добової повторності (періодичності) сигналу, часово-амплітудну варіабельність (стохастичність) трафіку КМ та забезпечення методами та алгоритмами дослідження їх взаємної залежності через вираз:

$$\xi(t) = \sum_{k \in Z} \xi_k(t) e^{j2\pi k t / T}, \quad t \in \mathbf{R} \quad (2.20)$$

де  $\xi_k(t)$  – стохастично-стаціонарні компоненти трафіку добового КМ;

$e^{j2\pi k t / T}$  – повторна компонента трафіку КМ із часовим добовим повтором  $T$  через тривалість 24 години.

Модель трафіку КМ (2.20) має потужний арсенал обробки, зокрема синфазну обробку (з та без кореляції компонентних зв'язків (розвинув Хвостівський М.О.)

[3]), компонентну та фільтрову обробки для обчислення кількісних показників, які відображають міру взаємного корелювання показників амплітудо-часових трафіку КМ різних діб.

Дослідження рівня стохастичності взаємного корелювання зв'язків різнодобових значень трафіку КМ гарантує отримання показників його прогнозування шляхом апріорного визначення оптимізаційних режимів функціонування мережевого обладнання для надання якісних та надійних комунікаційних послуг усім клієнтам КМ.

### 2.3. Метод прогнозування трафіку

Арсенал ПКВП є потужним, оскільки дозволяє скористатися 3 потужними методами обробки для мережевих трафіків, зокрема такими як: синфазний, компонентний та фільтровий. Базовою відмінністю компонентної обробки від синфазної є то, що в процесі синфазної обробки спочатку обчислюється коваріація трафіку мережі, а потім, застосовуючи Фур'є, обчислюються відповідні компоненти в області частот, а в процесі компонентної обробки - обчислюється коваріація безпосередньо в області частот. Фільтрова обробка трафіку мережі відрізняється від компонентної лише способом його реалізації, тобто при реалізації компонентної обробки застосовується Фур'є, а при фільтровій - відповідні фільтри із певними частотним характеристиками.

Компонентна обробка трафіку КМ заснована на факті того, що показники цього трафіку розглядаються як функції із повторними характеристиками в прямій залежності від часу. В такій ситуації показники трафіку мережі поданні через Фур'є базис:

$$\hat{m}_{\xi}(t) = \sum_{k \in Z} \hat{m}_k \exp\left(ik \frac{2\pi}{T} t\right), \quad (2.21)$$

$$\hat{b}_\xi(t, u) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} \hat{B}_k(u) \exp\left(ik \frac{2\pi}{T} t\right), \quad (2.22)$$

Коефіцієнти  $\hat{m}_k$  та  $\hat{B}_k(u)$  у формулах показників трафіку (2.21) та (2.22) мають назву компонент показників, які обчислюються за формулою:

$$\hat{m}_k = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{m}_\xi(t) \exp\left(ik \frac{2\pi}{T} t\right) dt, \quad (2.23)$$

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{b}_\xi(t, u) \exp\left(ik \frac{2\pi}{T} t\right) dt. \quad (2.24)$$

Середнє показнику оцінки (2.21) при врахуванні формули (2.23) дорівнює:

$$\mathbf{E}\{\hat{m}_\xi(t)\} = \sum_{k=-N_1}^{N_1} \exp\left(ik \frac{2\pi}{T} t\right) \sum_{n=-N_1}^{N_1} m_l \varphi\left[(k-n) \frac{\pi}{T}\right] \exp\left[i(k-n) \frac{\pi}{T} \theta\right], \quad (2.25)$$

де  $\varphi(\omega) = \sin(\omega\theta)/(\omega\theta)$ .

Коли  $T \rightarrow \infty$ , то  $(k-n) \frac{\pi}{T} \rightarrow \delta_{kn}$  (де  $\delta_{nk}$  - дельта Кронекера), то коефіцієнти (2.23) є ітераційно незсунутими.

Дисперсія компонентних оцінок трафіку (2.21) є функцією періодичною в часі простору з тривалістю доби  $T$  та коефіцієнтами Фур'є, що обчислені через певні інтегральні трансформації компонент мережі. Коли  $T = k \cdot dt$  середнє числове значення дисперсії в межах доби є рівним:

$$D_{\hat{m}}^T = \frac{1}{N} \left[ B_0(0) + \sum_{n=1}^{N-1} \left(1 - \frac{n}{N}\right) B_0(nT) \right]. \quad (2.26)$$

Для обчислення компонент трафіку мережі також можна використати наступну формулу:

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{T} \int_0^T [\xi(t)\xi(t+u) - m_\xi(t)m_\xi(t+u)] \exp\left(-ik \frac{2\pi}{T} t\right) dt. \quad (2.27)$$

Із заданим середнім показником трафіку КМ оцінки компонент при  $T = k \cdot dt$  характеризуються незсуністю та обчислюються по функціях кореляції.

При виборі формули (2.24) або (2.27) у випадку несуттєвих затухань трафіку КМ слід вибирати формулу (2.24), а якщо затухання значні - формулу (2.27) для вибору обчислення компонент як показників прогнозування КМ в майбутньому.

Компонентні показники дають змогу розкрити особливі оцінки трафіку КМ при прогнозуванні її в загальному.

Компонентна обробки трафіку мережі для обчислення показників її прогнозу не залежить від загального числа компонент, що не скажеш про синфазну обробку. Така перевага компонентної обробки забезпечує не накладання вимог щодо їх загальної кількості.

#### 2.4. Алгоритм прогнозування трафіку

На основі цих методів обробки трафіку КМ наведено спосіб щодо реалізації компонентної обробки дискретної послідовності трафіку.

Перепишемо формулу (2.24) для обчислення компонент  $\hat{B}_k(u)$  при компонентній обробці трафіку мережі як дискретного з  $n$ -ими відліками:

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{N_T} \sum_{n=0}^{N_T-1} \hat{b}_\xi(n\Delta t, u) e^{-ik \frac{2\pi}{N_T} n}, \quad (2.28)$$

де  $N_T$  - дискретна тривалість повтору трафіку, що дорівнює загальному числу точок в інтервалі однієї доби  $T$ ;

$\Delta t$  - рівень дискретизації в часі;

$\hat{b}_\xi(n\Delta t, u)$  - коваріації параметрична:

$$\hat{b}_\xi(n\Delta t, u) = \frac{1}{N_T} \sum_{n=0}^{N_T-1} \xi^0(n\Delta t + u + kN_T) \xi^0(n\Delta t + kN_T), \quad (2.29)$$

де  $\xi^0(n\Delta t)$  - центрований трафік КМ як дискретний,  $\xi^0(n\Delta t) = \xi(n\Delta t) - m_\xi(n\Delta t)$ ;

$m_\xi(n\Delta t)$  - середнє трафіку  $\xi(n\Delta t)$ .

Підстановка формули (2.29) в (2.30) забезпечує одержання формули обчислення компонент трафіку як показників прогнозу КМ:

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{N_T^2} \sum_{n=0}^{N_T-1} \left( \sum_{n=0}^{N_T-1} \xi^0(n\Delta t + u + kN_T) \xi^0(n\Delta t + kN_T) \right) e^{-ik \frac{2\pi}{N_T} n}. \quad (2.30)$$

Формула (2.30) конструктивно при реалізації її має операції:

- 1) Обчислення дискретної тривалості  $N_T$  трафіку як послідовності  $\xi(n\Delta t)$ ;
- 2) Обчислення середніх значень трафіку мережі  $m_\xi(n\Delta t)$ ;
- 3) Центрування значень трафіку мережі  $\xi(n\Delta t) \rightarrow \xi^0(n\Delta t)$ ;
- 4) Обчислення коваріації трафіку мережі  $\hat{b}(n\Delta t, u\Delta t)$  для усіх компонент  $\xi_k(t)$
- 5) Обчислення компонент  $\hat{B}_k(u)$  через формулу (2.30).

Рис.2.7 візуально ілюструє операції компонентної обробки трафіку КМ.



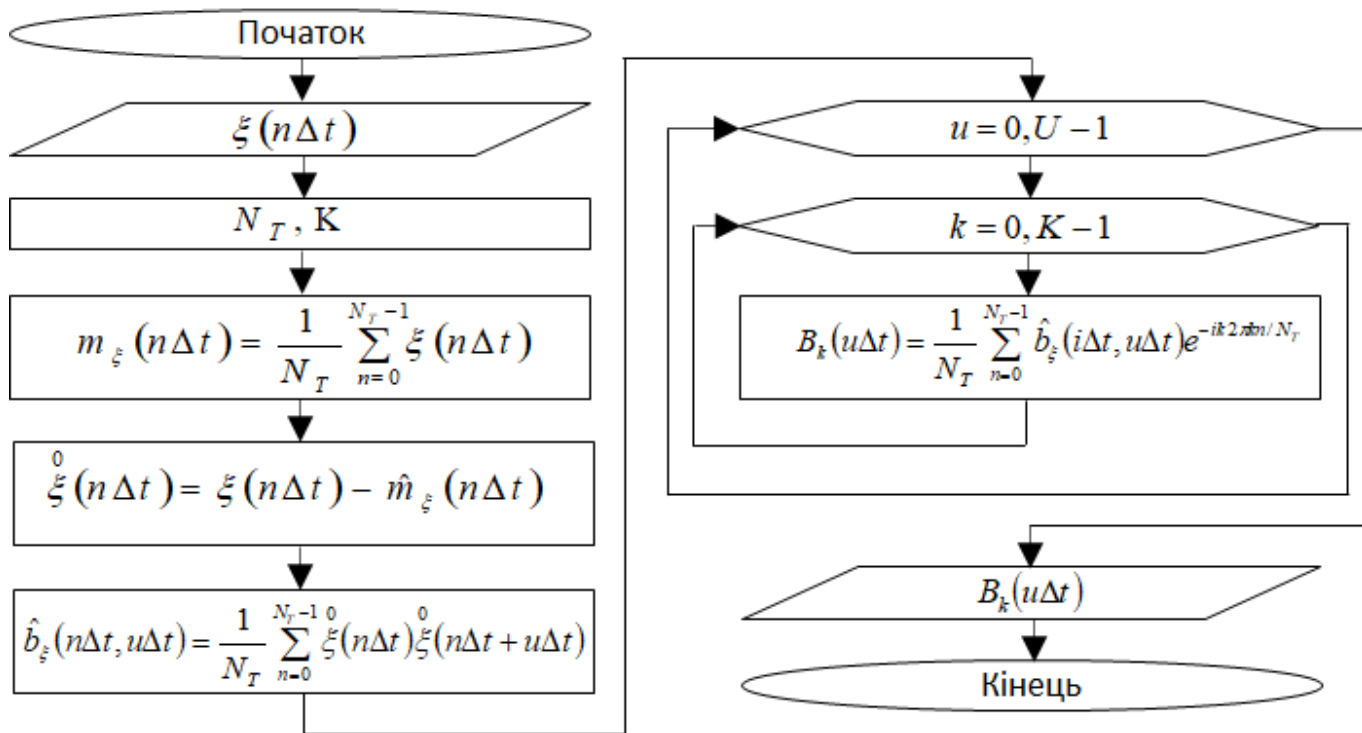


Рис.2.7. Алгоритм компонентного прогнозування трафіку КМ

Розроблений алгоритм (див. рис.2.7) забезпечує програмну реалізацію компонентної обробки трафіку мережі з метою обчислення компонент  $\hat{B}_k(u)$  як показників ефективного прогнозу.

## 2.5. Висновки до розділу 2

Запропоновано використати математичну модель трафіку КМ як ПКВП, що забезпечило розробку методів її прогнозування для оптимізації КМ та надання якісних послуг користувачу КМ.

Обґрунтовано використання компонентного методу для обробки трафіку КМ, що уможливило обчислити показники прогнозування у вигляді компонент та їх усереднених реалізацій, що забезпечує підвищення інформативності прийнятих рішень в процесі прогнозування.

Базуючись на операціях компонентної обробки дискретного трафіку КМ розроблено алгоритм компонентного прогнозування трафіку КМ як основи його програмної реалізації.

РОЗДІЛ 3  
ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАФІКУ  
КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

3.1. Алгоритм програмної реалізації системи прогнозування трафіку

При врахуванні алгоритму компонентного прогнозування трафіку КМ розроблено алгоритм програмної реалізації системи прогнозування. Загальний вигляд алгоритму візуалізовано на рис.3.1.

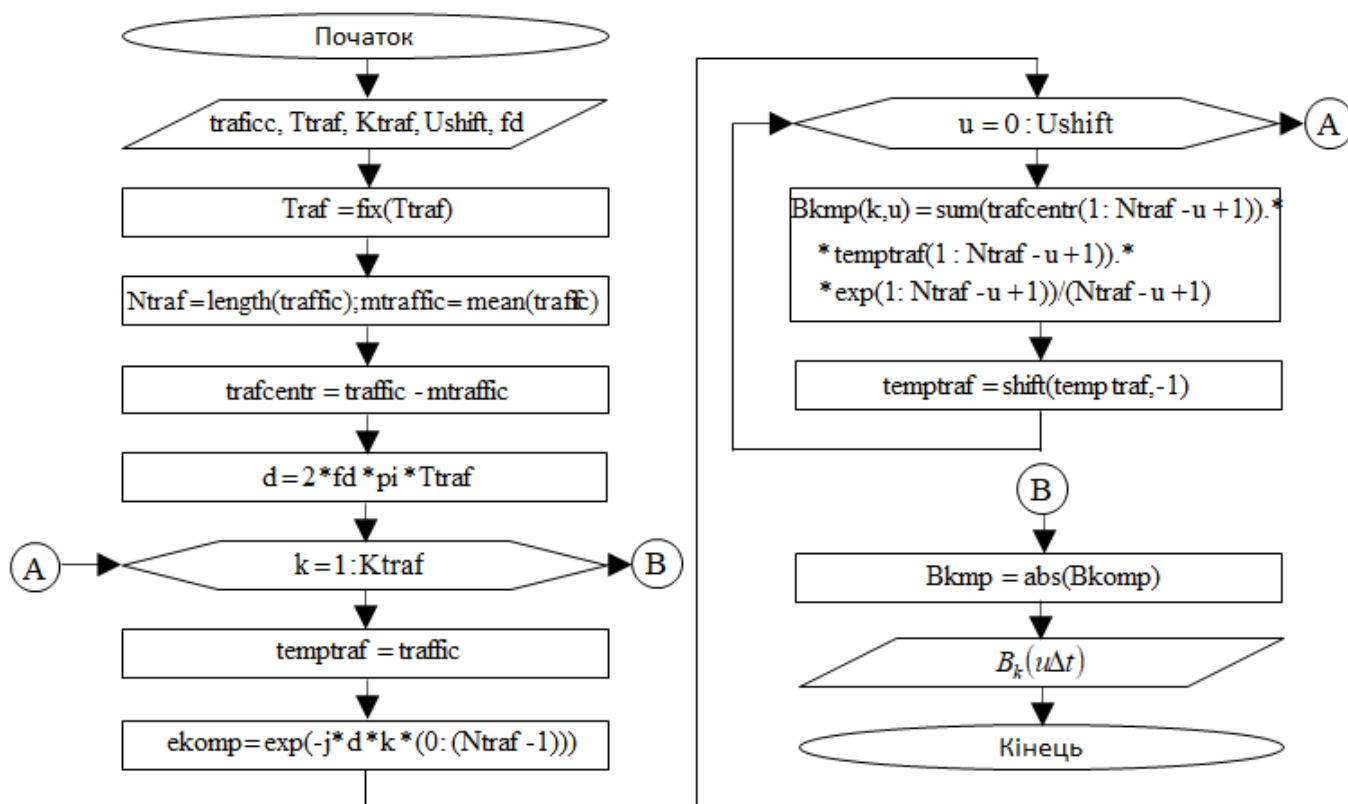


Рис.3.1. Алгоритм програмної реалізації системи прогнозування трафіку КМ

В алгоритмі здійснюється процес зчитування даних мережі traffic, тривалості повтору Ttraf, частоти дискретизації fd, довжини максимуму часового зсуву Ushift та підсумкове число компонент Ktraf.

Якщо довжина дискретного повтору Ttraf не є фіксованою цілою довжиною, то здійснюється округлення до найменшого ближнього числа.

Основними елементами алгоритму прогнозування трафіку КМ є:

- генерування базису експонент  $e$   $k$ -их компонент;
- обчислення кореляції  $V_{kmp}(k,u)$  від компонент  $k=1, K_{traf}$  та дискретного зсуву  $u=1:U_{shift}$ ;
- обчислення дійсної частини від компонент  $V_{kmp}(k,u)$  як комплексних шляхом розкладання компонент через Фур'є бази  $(a - ib)$  для отримання реальних чисел амплітудних гармонік  $|a - ib|$ ;
- відображення результатів прогнозування трафіку мережі  $V_k(k,u)$ .

Реалізований алгоритм компонентного прогнозування трафіку забезпечує подальший процес програмної реалізації системи прогнозування.

При врахованні специфічності процесу автоматизованого прогнозу реалізовано алгоритм із елементами керування та візуалізації, яка забезпечує процес прогнозування трафіку мереж (див. рис. 3.2.).

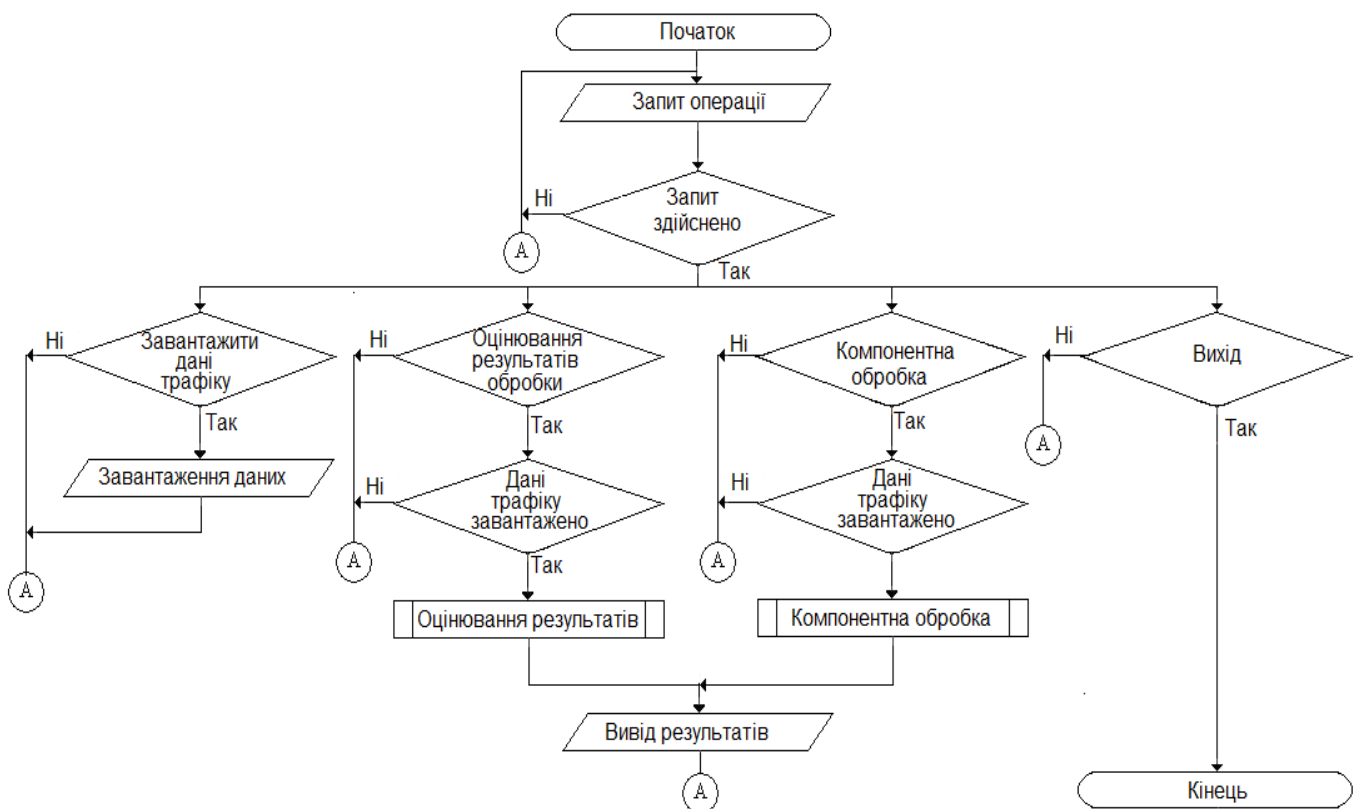


Рис.3.2. Алгоритм системи прогнозування трафіку КМ

Алгоритм системи прогнозування містить такі складові:

- завантаження трафіку КМ;
- компонентна обробка трафіку КМ для обчислення ознак її прогнозу;
- оцінювання результатів обробки трафіку КМ;
- зміна показників завантаженого трафіку КМ;
- візуалізація результатів;
- ергономічний інтерфейс.

### 3.2. Програмна реалізація компонентної обробки трафіку

Базуючись на алгоритмі (рис.3.1) реалізовано програмно-компонентну обробку трафіку КМ в Matlab через функцію  $V_{kmp} = \text{Komptraf}(\text{traffic}, T_{\text{traf}}, dt_{\text{traf}}, K_{\text{traf}}, U_{\text{shift}})$  (код відображено в додатку Б), де  $\text{traffic}$  – трафік мережі,  $T_{\text{traf}}$  – дискретна тривалість повтору трафіку мережі,  $K_{\text{traf}}$  – число компонент,  $dt_{\text{traf}}$  – крок дискретизації,  $U_{\text{shift}}$  – величина дискретного зсуву ( $\text{max}$ ).

Коректне введення показників трафіку КМ:  $\text{traffic}$ ,  $T_{\text{traf}}$ ,  $dt_{\text{traf}}$ ,  $K_{\text{traf}}$ ,  $U_{\text{shift}}$  перевіряється програмою, з врахуванням загального числа показників:

```
if nargin<4, error(Введіть 5 показників'); end; % Верифікація кількості
```

Через те, що значення повтору  $T_{\text{traf}}$  не завжди є цілим через помилку введення, передбачено операцію округлення до цілих:

```
Ttraf=fix(Ttraf); % Ціле число дискретного повтору
```

Потім дані мережевого трафіку центровано через процедуру мінусування середнього  $m_{\text{traffic}}$  показника трафіку від даних трафіку на кожному з повторів:

```
traffic =formattraffic(traffic,Ttraf); % Формування кратності трафіку мережі
```

```
trafcentr=centrtrafic(traffic,Ttraf);    % Центрування трафіку мережі
```

Код функції `formattraffic` здійснює формування реалізації трафіку мережі з кратністю довжини повтору, а код функції `centrtrafic` реалізовує центрування трафіку мережі.

Під змінну `d` записуємо числовий показник кроки перебору частотні трафіку, які є необхідними для зміни номерів компонент при обробці трафіку мережі:

```
d=2*pi/(Ttraf*dttraf);                % Крок перебору частоти трафіку
```

Забезпечуємо зміну показника зсуву кроку перебору частоти тривалістю `d` через циклічний оператор:

```
for k=1:Ktraf                          % Цикл перебору частот трафіку
.....                                  % Тіло обробки трафіку мережі
end;
```

Забезпечуємо генерування експоненціальних значень `ekomp(-j*d*k*(0:Ntraf-1))` згідно коду:

```
temptraf=traffic;
ekomp=exp(-j*d*k*(0:Ntraf-1));        % Експоненти для k-их компонент
```

Реалізовано кореляцію трафіку КМ через формування значень сум добутоків кореляцій для `u`-их зсувів часову та `k`-их зсувів частотних:

```
for u=1:Ushift                          % Цикл зсуву часу
% Компоненти трафіку мережі
Vkmp(k,u)=sum(trafcentr(1:Ntraf-u+1).*temptraf(1:Ntraf-u+1).*exp(1:Ntraf-u+1))/(Ntraf-u+1);
temptraf=shift(temptraf,-1);           % Зсув трафіку мережі
```

end;

end; % Завершення циклу зсуву трафіку

Команда `shift(temptraf,-1)` забезпечує зсув даних трафіку мережі `temptraf` на величину дискретного кроку `-1`, де мінус вказує на спрямування зсуву (вліво).

Через комплексний вид компонент трафіку здійснено процес обчислення дійсних значень їх задля віднайдення спектрального виду компонент трафіку:

`Vkmp=abs(Vkmp); % Спектральний вид компонент реальних чисел трафіку мережі`

Реалізована програмно компонентна обробка трафіку КМ є складовим елементом системи прогнозування трафіку мережі.

### 3.3. Програмна реалізація системи прогнозування трафіку

Застосування середовища `GUIDE` як компоненти `MATLAB` дає змогу програмно реалізації системи прогнозування у відповідності до алгоритмів (рис.3.1-3.2). В програмній реалізації передбачено додаткову процедуру розроблення інтерфейсу з локалізованими на цьому фреймі вводу, керування та візуалізації. В процесі розробки було застосовано увесь програмний потенціал інтегрованих і власноруч розроблених функцій.

При реалізації інтерфейсу системи використано кнопку `pushbutton1` для активації зміни показників трафіку, консоль `uipanel1` для групування однофункційних елементів, компоненти введення показників трафіку мережі `edit1- edit5` та візуалізаційні елементи `axes1- axes4`

Кнопка `pushbutton1` запускає програмний код застосування показників трафіку мережі як вхідних при майбутній компонентній обробці.

Розроблений інтерфейс системи прогнозування наведена на рис.3.3.

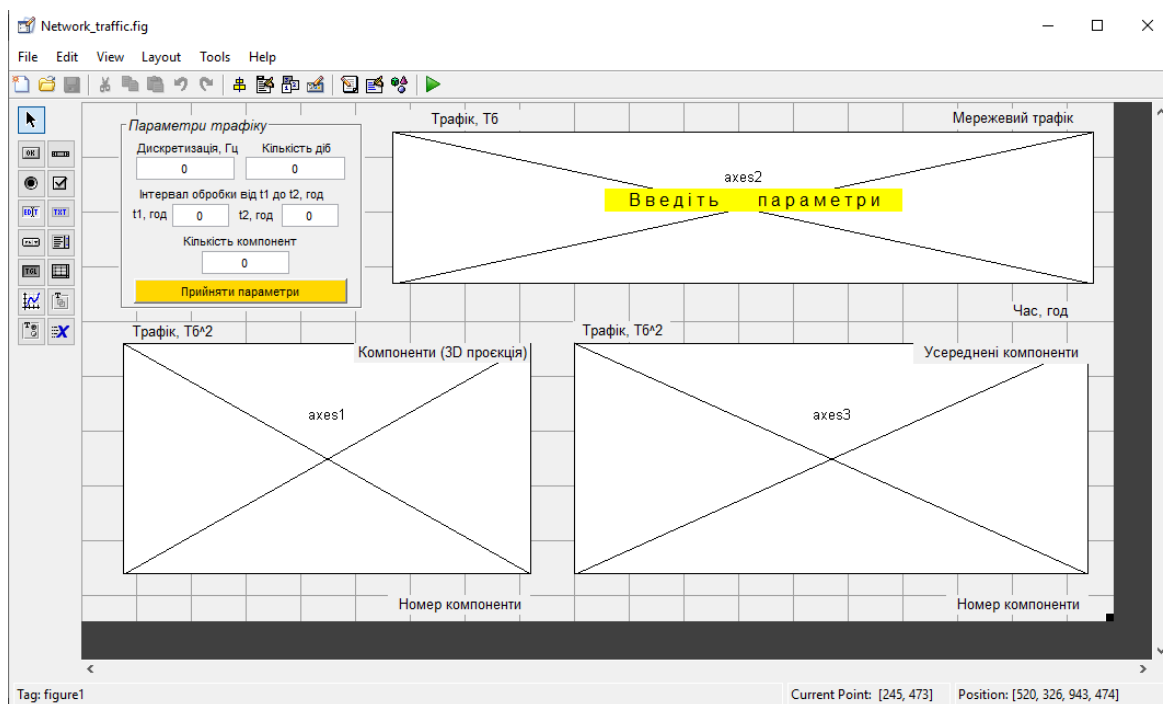


Рис. 3.3. Інтерфейс системи прогнозування трафіку КМ

Програмно в системі є передбачене меню (рис.3.4), яке складається з:

- 1) Завантажити дані трафіку КМ.
- 2) Зберегти результати обробки трафіку.
- 3) Компонентна обробка трафіку.
- 4) Усереднення компонент трафіку.

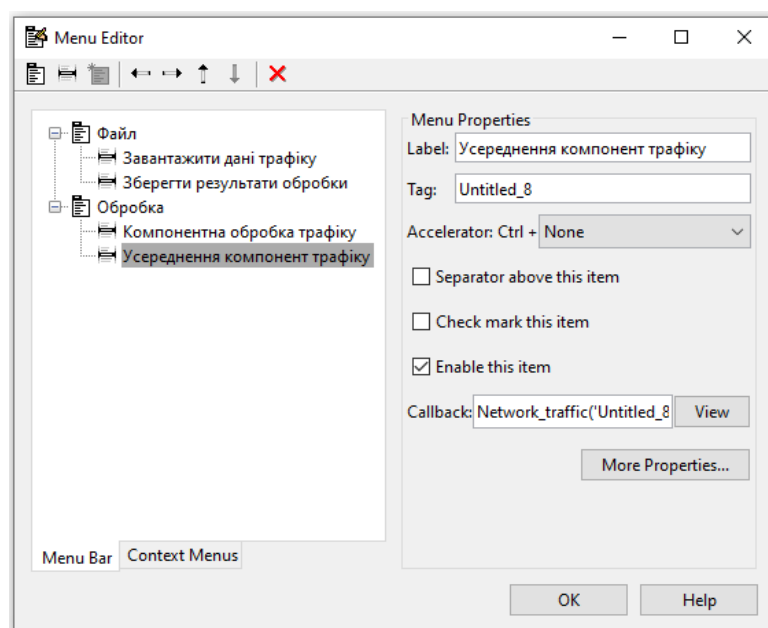



Рис. 3.4. Меню системи прогнозування

Процедура завантаження трафіку мережеві реалізовано в меню системи « Завантажити дані трафіку» під яким є програмний код:

```
[filetraffic,directtraffic] = uigetfile('*.dat', 'Завантажити дані трафіку');
```

Для перевірки назви файлу directtraffic збереження даних трафіку, зокрема його довжини, реалізовано код:

```
if length(filetraffic)>=1 % Яка введена довжина назви >1, тоді шлях є доступним
directortraffic=[directtraffic filetraffic];
end;
```

При завантаженні даних трафіку КМ з файлу застосовано команду load:

```
% Завантаження даних трафіку мережі
traffic=load(directortraffic);
```

Дані трафіку КМ Perezберігаються під зміню userdata для забезпечення до них усіх зовнішніх програмних кодів.

```
set(pushbutton1,'userdata',traffic);
```

Дані показників трафіку КМ з об'єктів edit1-edit5 Perezберігаються із застосуванням команди get та трансформатора «текст-число» в локальні змінні fd, Ktraf, timetraffic1, timetraffic2 та Ttraf:

```
fd=1/str2num(get(handles.edit1,'string')); % Дискретизація трафіку мережі
Ktraf=str2num(get(handles.edit5,'string')); % Трафіку мережі число компонент
timetraffic1=get(handles.edit3,'value') % Час початку трафіку мережі
timetraffic2=get(handles.edit4,'value') % Час кінця трафіку мережі
Ttraf=str2num(get(handles.edit2,'string')) % Тривалість повтору трафіку мережі
```



Забезпечуємо трансформацію часу в час дискретний (кількість значень) з цілою частиною:


```
timetraffic1=fix(timetraffic1*fd)+1; % Тривалість часу початку трафіку в кількості
timetraffic2=fix(timetraffic2*fd)+1; % Тривалість часу кінця трафіку в кількості
```

Для запобігання некоректного вводу часу timetraffic2, а саме коли timetraffic2 перевищує максимальний час, активовано код корекції цих значень:

```
if timetraffic2>length(traffic)      % Перевірка показника часу кінця трафіку
    timetraffic2=length(traffic);    % Корекція показника часу кінця трафіку
end;
```

Застосування команди plot забезпечує візуалізацію трафіку КМ з прийнятими показниками на екран через елемент axes1:

```
ttraffic=(0:length(traffic)-1)*dt;    % Час трафіку мережі
plot(ttraffic(timetraffic1: timetraffic2), traffic (timetraffic1: timetraffic2));
```

Компонентна обробка трафіку КМ реалізовано через функцію Untitled\_7\_Callback в меню « Компонентна обробка трафіку», яка обчислює компоненти у відповідності до коду команди Komptraf:

```
Vkmp=Komptraf(traffic,Ttraf,dtraf,Ktraf, length(traffic));
```

3D-графічне подання обчислених компонент трафіку КМ реалізовано кодом:


```
axes(handles.axes1);                % Вибір елемента відображення компонент трафіку
surf(Vkmp);                          % Відображення компонент трафіку мереж
```

shading interp; % Інтерполяційний процес компонент

Через трьохвимірність масиву значень компонент реалізовано процес їх обертання з метою детального аналізу з різних проєкцій. Такий процес реалізовано командою rotate3d:

rotate3d on; % Надання дозволу на обороти 3D-компонент

При збереженні результатів в меню «Зберегти результати обробки» застосовано команду dlmwrite та uiputfile, де передбачено ввід місця збереження та назви файлу обробки трафіку КМ.

При оцінюванні 3D-компонент трафіку розроблено пункт меню « Усереднення компонент трафіку» і при цьому застосовано критерій усереднення їх через формулу:

$$M_k \left\{ \hat{B}_k(u) \right\} = \frac{1}{N_k} \sum_{k=1}^{N_k} \hat{B}_k(u), \quad u = \overline{1, N_u}, \quad k = \overline{1, N_k}. \quad (3.1)$$

де  $u$  – величина зсуву трафіку мережі;  $N_u$  – к-ть зсувів;  $N_k$  – к-ть компонент.

#### 3.4. Результати прогнозування трафіку

Стартове Вікно запущеного програмного засобу прогнозування трафіку КМ зображено на рис.3.5.

Після запуску здійснюється завантаження трафіку КМ та ввід його базових показників, які також наведено на рис.3.5 в зоні «Параметри трафіку»

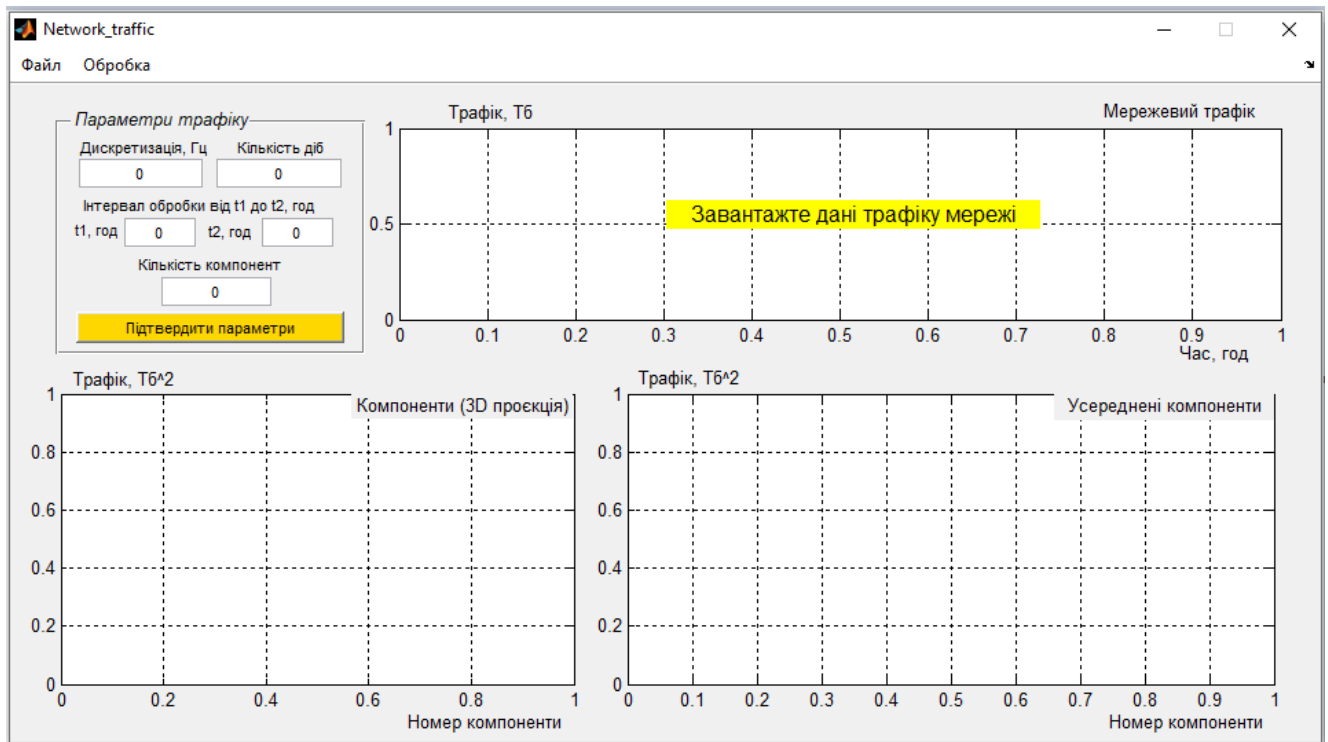


Рис. 3.4. Стартове вікно програми прогнозування трафіку

Як тільки завантажено дані трафіку, параметри введено та їх підтверджено активується код візуалізації даних трафіку на екрані, як видно на рис.3.5.

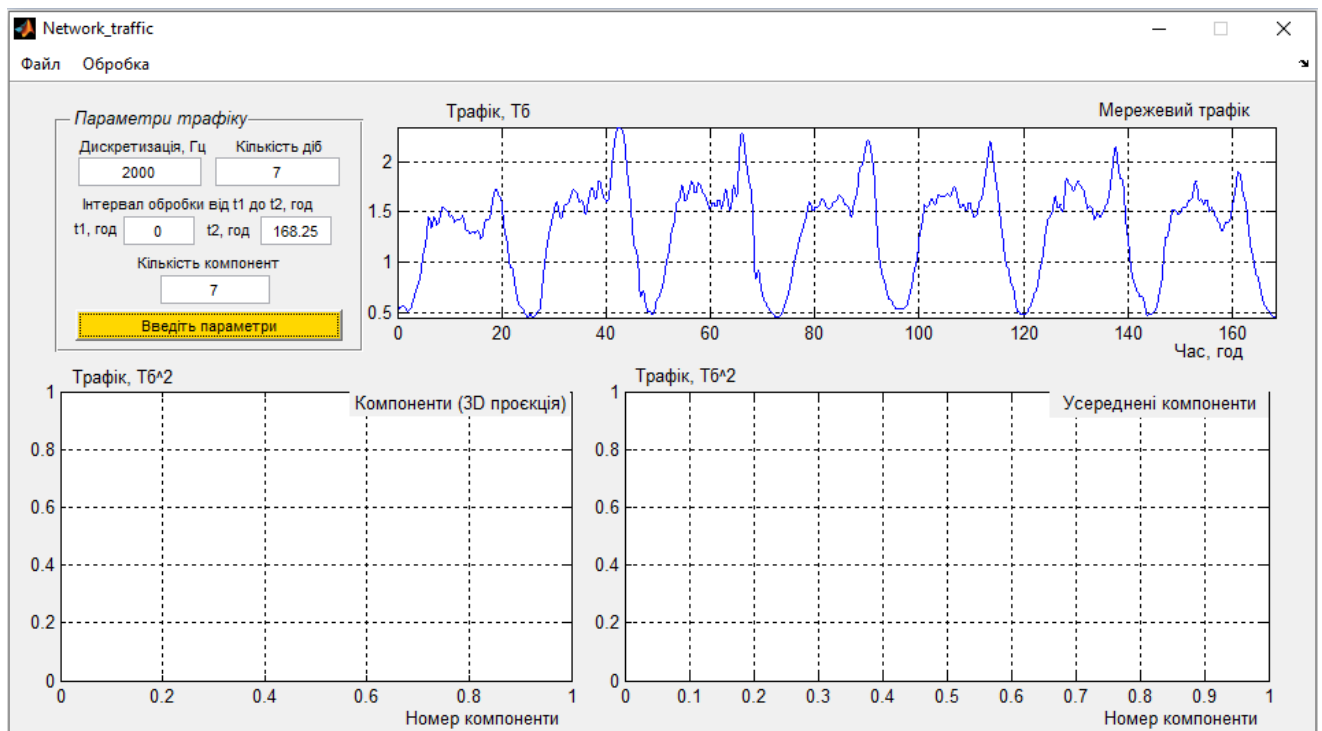


Рис.3.5. Завантажені дані трафіку КМ (період реєстрації 01-07.09.2021 р.)

(Житловий комплекс «Парковий комплекс», м. Тернопіль)

Змінивши параметри трафіку, наприклад час спостереження, є змога обробити саме цей діапазон трафіку мережі (рис. 3.6).

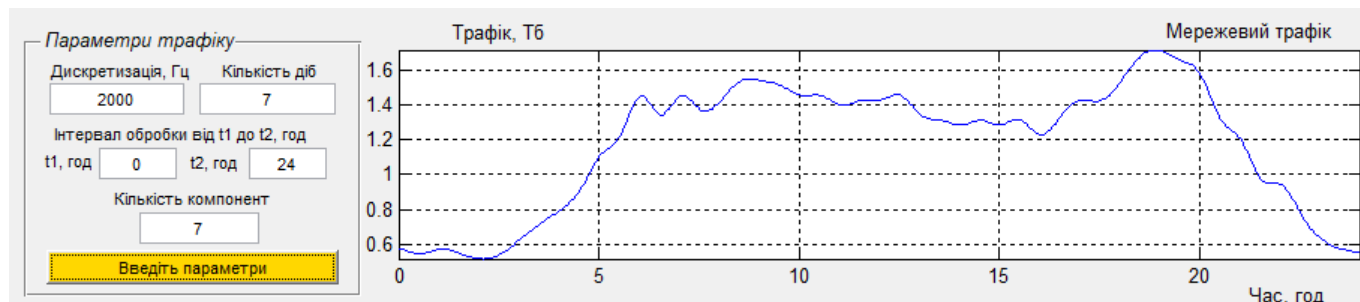


Рис. 3.6. Завантажені дані трафіку мережі (час спостереження 0-24 год)

Процес компонентної обробки трафіку меню активується меню (рис.3.7.)

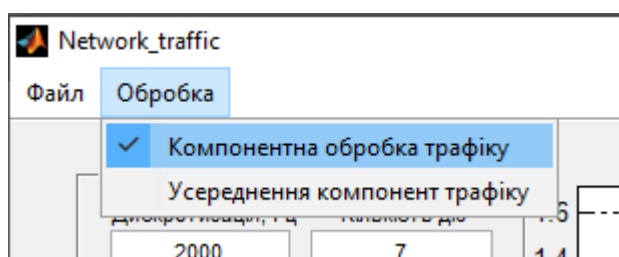


Рис.3.7. Меню активації компонентної обробки трафіку КМ

Результат обробки трафіку КМ наведено на рис.3.8.

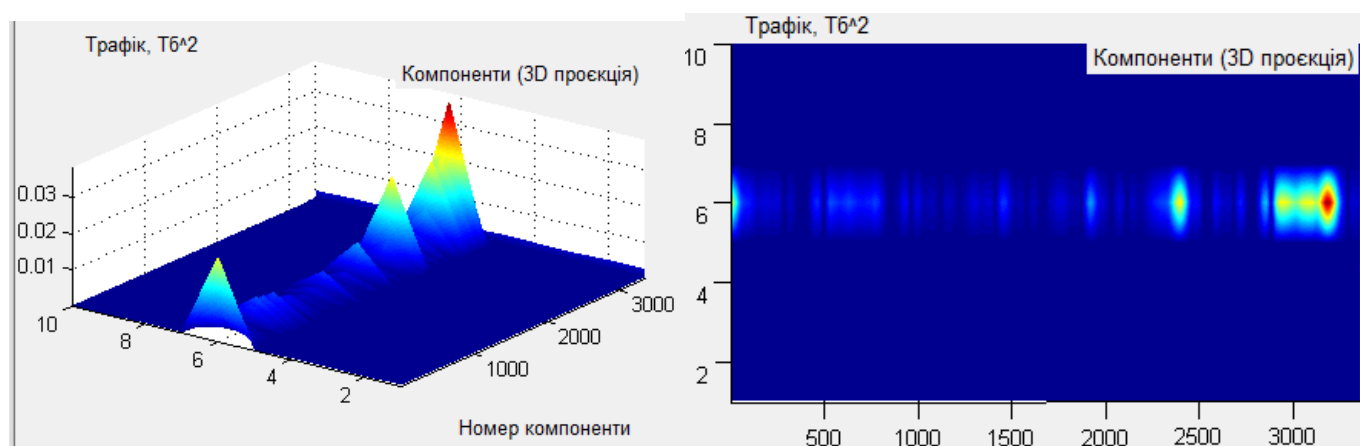


Рис.3.8. 3D-компоненти трафіку КМ

(на вісі X позначено номери компонент, на вісі Y – величини зсувів, на Z – значення потужностей компонент)

Їх усередненні реалізації зображено на рис.3.9.

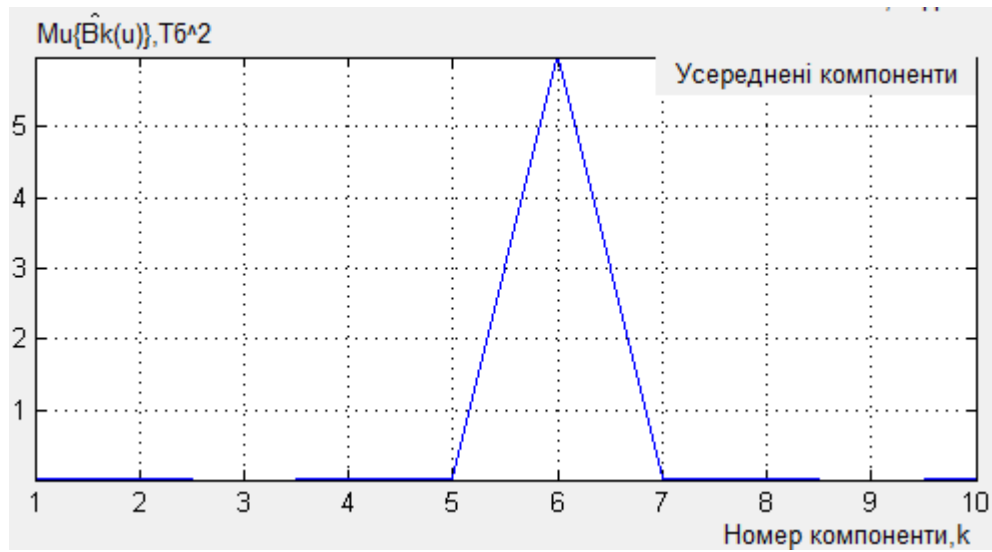


Рис.3.9. Усереднені 3D-компоненти трафіку КМ

Увесь інтерфейс програми прогнозування трафіку із наведеними результатами зображено на рис.3.10.

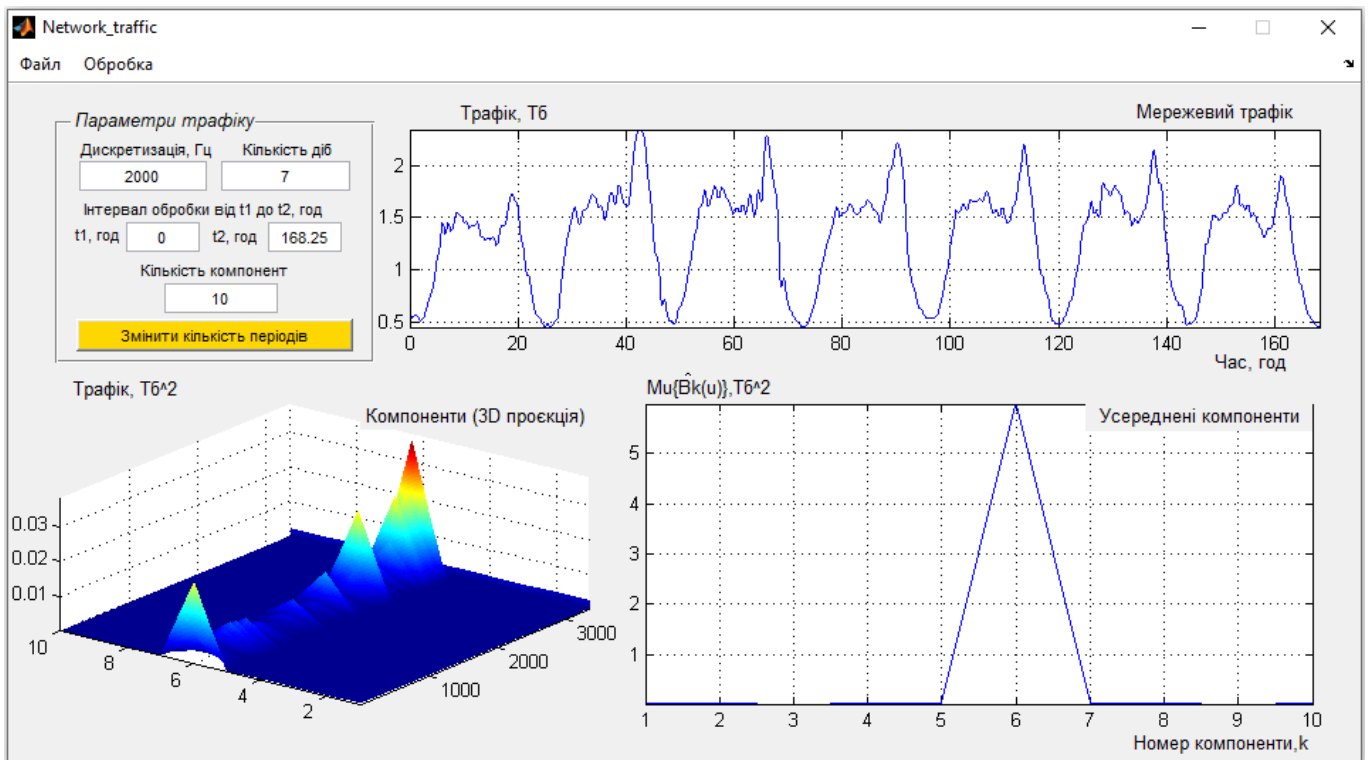


Рис.3.10. Результати обробки трафіку КМ

Для перевірки коректності прийняти рішень сформовано тестовий незмінний трафік для кожної з 7-ми діб та з використанням розробленої програми отримано результати його обробки (рис.3.11).

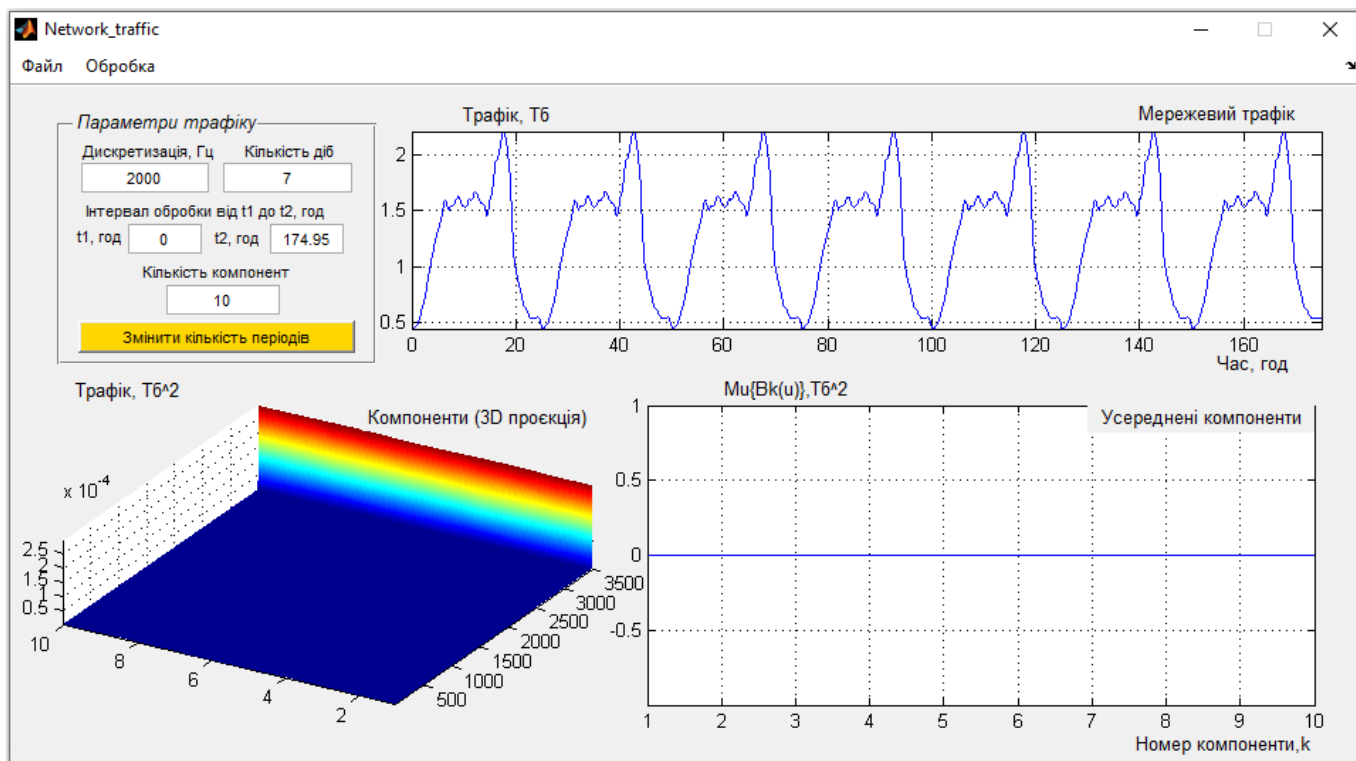


Рис.3.11. Результати обробки незмінного трафіку КМ впродовж 7-ми днів

На підставі обробки незмінного трафіку (3.11) встановлено, що компоненти локалізовані на нульовому рівні, як в 3D поданні так і в їх усередненні.

У випадку варіативного трафіку мережі (рис.3.10) спостерігається приріст потужності компонент в залежності від часових зсувів із центральною їх локалізацією на 3D-поданні і їх усередненні. Така варіативність показників компонент відображає динаміку поведінки трафіку КМ в майбутньому, що є важливим при прогнозуванні.

Отримані компоненти трафіку КМ як ПКВП, кількісно відображають поведінку сигналу в майбутньому і тим самим чітко забезпечують розв'язання задачі прогнозування трафіку КМ за рівнем їх потужності.

### 3.5. Висновки до розділу 3

Реалізовано алгоритм компонентної обробки трафіку КМ як підгрунття розробки комп'ютерної системи прогнозування трафіку. Програмно реалізовано систему прогнозування трафіку КМ при використанні засобу MATLAB.

Програмна реалізація системи забезпечила обчислення компонент трафіку мережі як ПКВП, що служать показниками прогнозу цієї мережі.

Констатовано факт відповідності завантаженості трафіку КМ значенням компонент.

Запропоновано застосування компонент як індикаторів прогнозування трафіку КМ, а саме завантаженості мережевого обладнання.

## РОЗДІЛ 4

## ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

## 4.1. Охороні праці

Розробка програмного забезпечення системи прогнозування трафіку комп'ютерної мережі здійснювалась на ЕОМ, тому необхідно дотримуватися Державних санітарних правил і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин (ДСанПіН 3.3.2.007-98), які затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 10.12.98 р. №7 [4].

Розміщення робочих місць з ВДТ ЕОМ у підвальних приміщеннях, на цокольних поверхах заборонено. Площа на одне робоче місце має становити не менше ніж  $6,0 \text{ м}^2$ , а об'єм не менше ніж  $20,0 \text{ м}^3$ .

Приміщення для роботи з ВДТ повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28:2018, мають бути обладнані системами опалення, кондиціонування повітря, або припливно-витяжною вентиляцією відповідно до ДБН В.2.5-67:2013.

Для забезпечення безпеки та захисту здоров'я під час роботи з комп'ютерним засобом випромінювання від екранних пристроїв має бути зведене до гранично допустимого рівня (вплив на людину факторів довкілля - шуму, вібрації, забруднювачів, температури тощо, який не спричиняє соматичних або психічних розладів, а також змін стану здоров'я, працездатності, поведінки, що виходять за межі пристосувальних реакцій) відповідно до вимог безпеки та охорони здоров'я працівників.

Зокрема, при облаштуванні робочого місця необхідно обирати таке комп'ютерне устаткування, яке не створює зайвого шуму та не виділяє надлишкового тепла. Рівні шуму повинні відповідати вимогам Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку (ДСН 3.3.6.037-99) [9], які затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01



грудня 1999 року № 37. Мікроклімат виробничого приміщення має підтримуватись на постійному рівні та відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень (ДСН 3.3.6.042-99) [10], які затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01 грудня 1999 року № 42.

Організація робочого місця повинна забезпечувати відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним, антропологічним, психофізіологічним вимогам, а також характеру виконуваних робіт. Освітлення - створювати відповідний контраст між екраном і навколишнім середовищем та відповідати вимогам ДСанПІН 3.3.2.007-98 [4].

Програмне забезпечення комп'ютерної системи розроблялось у такий спосіб, щоб у разі його застосування не було спричинено виникнення ризику для клінічного стану або безпеки споживачів чи для здоров'я і безпеки користувачів або інших осіб.

Програмне забезпечення розроблено відповідно до поточного рівня знань з урахуванням принципів циклу розробки, управління ризиками, валідації та перевірки.

Комп'ютерна система сконструйована таким чином, щоб мінімізувати ризики створення електромагнітних полів, які можуть погіршити роботу інших виробів або обладнання в звичайних умовах, а також, щоб уникнути ризиків випадкового ураження електричним струмом за умови належного використання, правильного встановлення, тобто має робочу ізоляцію і виконана таким чином, що підключити її до електричної мережі можна лише після під'єднання корпусу до заземлювача (нульового захисного провідника), а при від'єднанні від мережі - корпус відключається від заземлювача (нульового захисного провідника) в останню чергу.

Стан ізоляції струмопровідних частин відповідає правилам використання системи.

Конструкція робочого столу при розробці ПЗ має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (дисплея, клавіатури, принтера) і документів.

Таким чином, розробка програмного забезпечення системи прогнозування трафіку комп'ютерної мережі є безпечною для розробника з точки зору техніки безпеки та охорони праці.

#### 4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Під час експериментального дослідження в процесі розробки системи прогнозування трафіку мережі застосовується ПК. В такій ситуації забезпечення електробезпеки користувачів ПК є актуальним завданням.

Приміщення із робочими місцями користувачів ПК для забезпечення електробезпеки обладнання, а також для захисту від ураження електричним струмом самих користувачів ПК повинні мати достатні технічні засоби захисту.

Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію.

Лінія електромережі для живлення ПК, периферійних пристроїв ПК та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів.

Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється. Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника.

Усі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам Правил налаштування електроустановок.

У приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти ПК, на помітному та доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

ПК, периферійні пристрої ПК та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ПК повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення ПК та периферійних пристроїв ПК до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв.

Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення ПК, периферійних пристроїв слід виконувати за магістральною схемою, по 3-6 з'єднань або електророзеток в одному колі. Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 36 В за своєю конструкцією повинні відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127 В та 220 В і мають бути пофарбовані в колір, який візуально значно відрізняється від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки необхідно монтувати на негорючих або важкогорючих пластинах з урахуванням вимог Правил налаштування електроустанов та Правил пожежної безпеки в Україні.

Електромережу штепсельних розеток для живлення ПК, периферійних пристроїв ПК при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поряд зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання.

При розташуванні в приміщенні за його периметром до 5 ПК, використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволяється прокладання їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів.

Електромережу штепсельних розеток для живлення ПК при розташуванні їх у центрі приміщення, прокладають у каналах або під знімною підлогою в металевих трубах або гнучких металевих рукавах. При цьому не дозволяється застосовувати провід і кабель в ізоляції з вулканізованої гуми та інші матеріали, що містять сірку. Відкрита прокладка кабелів під підлогою забороняється. Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.21-98.

#### 4.3. Висновки до розділу 4

У підрозділі з охорони праці обґрунтовано безпечність експлуатації системи прогнозування трафіку комп'ютерної мережі з точки зору охорони праці.

У підрозділі з безпеки в надзвичайних ситуаціях проаналізовано питання забезпечення електробезпеки користувачів ПК.

## ВИСНОВКИ

У роботі розв'язано задачу розроблення методу та програмної реалізації системи прогнозування трафіку комп'ютерних мереж.

Отримано наступні результати:

1. На підставі аналізу тенденцій розвитку математичних моделей трафіку комп'ютерних мереж та методів їх прогнозу обґрунтовано задачу теоретично-емпіричного дослідження.

2. Обґрунтовано використання математичної моделі трафіку КМ як ПКВП, що забезпечило розробку методу прогнозування трафіку комп'ютерних мереж для моніторингу та аналізу їх працездатності.

3. Реалізовано метод та алгоритм компонентної обробки трафіку КМ як підґрунтя розробки комп'ютерної системи прогнозування трафіку.

4. Запропоновано застосування компонент як індикаторів прогнозування трафіку КМ, а саме завантаженості мережевого обладнання.

5. Програмно реалізовано систему прогнозування трафіку комп'ютерних мереж при використанні засобу Matlab, що забезпечило обчислення компонент трафіку мережі як ПКВП як показника прогнозу цієї мережі.

6. Проведено емпіричні дослідження щодо прогнозування трафіку комп'ютерних мереж.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Білостоцький Т., Осухівська Г. Математичне моделювання передачі даних в комп'ютерних мережах. Матеріали ІІ науково-технічної конференції „Інформаційні моделі, системи та технології“. 2012. С. 36.
2. Буров Є.В., Митник М.М. Комп'ютерні мережі: Підручник. За заг. ред. Пасічника В.В. Львів: Магнолія 2006, 2019. – 204 с. (МОН України) ISBN: 978-617-574-121-4.
3. Хвостівський М.О. Математична модель макромеханізму формування електроретиносигналу для підвищення достовірності офтальмодіагностичних систем. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 01.05.02 Математичне моделювання та обчислювальні методи. Тернопіль, 2010. 20 с.
4. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПІН 3.3.2.007-98. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98> (дата звернення: 01.11.2021).
5. Драган Я.П. Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів. Львів: Центр стратегічних досліджень еко-біо-технічних систем, 1997. XVI+333с.
6. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ. Л. Клейнрок. М.: Машиностроение, 1979. 432 с.
7. Прунчак А.В., Хвостівський В.М., Осухівська Г.М. Комп'ютерна система детектування корисних сигналів. Матеріали ІІІ Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених за тематикою «Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні»: збірка наукових праць / Під редакцією Г.О. Райко. Херсон: Видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2020. С.81-82.
8. Пуассонівський процес URL: <https://uk.freejournal.info/127931/1/puassonivskiy-protses.html> (дата звернення: 01.11.2021).

9. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99. URL: <http://arm.te.ua/docs/DSN-3.3.6.037-99.pdf> (дата звернення: 01.11.2021).

10. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99> (дата звернення: 01.11.2021).

11. Стойка О., Крещук С., Хвостівський В. Концепція розробки комп'ютерних експертних медичних систем із штучним інтелектом. Матеріали Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 23-24 квітня 2020 року. Т. : ТНТУ, 2020. С. 127–128.

12. Столлингс В. Современные компьютерные сети. СПб.: Питер. 2003. 783 с.

13. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 5-е изд. СПб.: Питер, 2012. 960 с.

14. Хвостівський М.О., Хвостівська Л.В. Зміно-періодичний корельований випадковий. Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування“, 8-9 червня 2017 року. Т.: ТНТУ, 2017. С. 129-130.

15. Хвостівський М.О., Осухівська Г.М., Хвостівська Л.В., Величко Д.В. Розвиток математичного моделювання трафіку комп'ютерних мереж. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. Т.: ТНТУ, 2020. С. 187–188.

16. Хвостівський В., Осухівська Г., Хвостівська Л. Програмне забезпечення системи опрацювання мережевого трафіку. Матеріали IX науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 8-9 грудня 2021р.). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2020. С.102.

17. Шелухин О.И., Осин А.В., Смольский С.М. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. ФИЗМАЛИТ, 2008. 368 с.
18. Abdelnaser, A. Traffic Models in Broadband Networks. IEEE Communications Magazine. 1997. P.1-21
19. Abdelnaser A. Traffic Models in Broadband Telecommunication Networks. Department of Electrical Engineering. 1996. P.82-89.
20. Abhay K.A., Parekh G. Robert Gallage. Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Networks. The Single-Node Case. 1994.
21. Brandauer C. Comparison of Tail Drop and Active Queue Management Performance for built-data and Web-like Internet Traffic. Diot. 2001. DOI:10.1109/ISCC.2001.935364
22. Crovella M., Bestavros A. Self-similarity in World Wide Web traffic: evidence and possible causes. IEEE/ACM Transactions on Networking. 1997. P.1-25.
23. Chen T. Network Traffic Modelling. Wiley. 2007. P.46.
24. Chen T.M. The Handbook of Computer Networks. Southern Methodist University. 2007.
25. Cui-Qing Y.A Alapati V.S. Reddy. Taxonomy for Congestion Control Algorithms in Packet Switching Networks. IEEE Network. 1995. P.34-45.
26. Discrete Stochastic Processes: MIT Open Course. 2011.
27. Jaffrey M. Bottleneck Flow Control. IEEE Transactions On Communications. - №7. 1981.
28. Feng W., Kandlur D.D., Saha D. A self-Configuring RED Gateway. 2000. DOI: 10.1109/INFCOM.1999.752150
29. Fishman G.S. Principles of Discrete Event Simulation. 1978. 514 p.
30. Frank K. Charging and rate control for elastic traffic. University of Cambridge. 1998. P.33-37. DOI:10.1002/ett.4460080106
31. Hefles H., Lucantoni D.A Markov modulated characterization of packetized voice and data traffic and related statistical multiplexer performance. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 1986. P.856-868. DOI:10.1109/JSAC.1986.1146393



32. Karn P. Improving Round-Trip Estimates in Reliable Transport Protocol. 1991. P.67-74. DOI:10.1145/55483.55484.
33. Land W. Taqqu M., Willinger W. On the self-similar nature of Ethernet traffic. IEEE/ACM Transactions on Networking. 1994. P.204-213. DOI:10.1145/166237.166255.
34. Network Working Group. Request for Comments: 5646. 2009. 84 p.
35. Network Working Group, A single Rate Three Color Marker. RFC 2697. 1999. P.1-6.
36. Reichl P.A. Generalized TES Model for Periodical Traffic. IEEE International Conference. 1998. 5 p. DOI:10.1.1.23.6258.
37. Sally F., Jacobson V. Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance. Lawrence Berkeley Laboratory. 1993. P.397-413. DOI:10.1109/90.251892.
38. Shim C. Ryoo I., Lee J., Lee S. Modeling and call admission control algorithm of variable bit rate video in ATM networks. IEEE journal on Selected Areas in Communications. № 3. 1993. P.332-344. DOI:10.1109/49.272884.
39. Li M., Claypool M., Kinicki R., Nichols J. Characteristics of streaming media stored on the Web. ACM Transactions on Internet Technology. 2005. P. 601-626. DOI:10.1145/1111627.1111629
40. Czachórski T., Grochla K., Jozefiok A., Nycz T., Pekergin F. Performance Evaluation of a Multiuser Interactive Networking System: A Comparison of Modelling Methods. Proceeding of 26th International Symposium on Computer and Information Sciences (ISCIS 2011). – London, UK. 2011. P. 215-221.
41. Domańska J Domański A., Czachórski T. Internet Traffic Source Based on Hidden Markov Model. NEW2AN, volume 6869 of Lecture Notes in Computer Science, Springer. – 2011. – P. 395-404. DOI: 10.1007/978-3-642-22875-9\_36.
42. Fowler H.H., Leland W. Local Area Network Traffic Characteristics, with Implications for Broadband Network Congestion Management. IEEE Jour. on Sel. Areas in Comm, 9:1139–1149, September 1991. DOI: 10.1109/49.103559.
43. Khvostivskyy M., Osukhivska H., Khvostivska L., Lobur T., Velychko D. Mathematical modelling of daily computer network traffic. ITTAP-2021: Information Technologies: Theoretical and Applied Problems. The 1st International Workshop (November 16-18, 2021). Ternopil, UKRAINE. P.107-111. DOI: 10.1425/jsdtl

Додаток А

Копії тез конференцій

«Програмне забезпечення системи опрацювання мережевого трафіку»

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

**МАТЕРІАЛИ**

**ІХ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,  
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



**8–9 грудня 2021 року**

**ТЕРНОПІЛЬ  
2021**

УДК 004.77:004.942

**В. Хвостівський, Г. Осухівська канд. техн. наук, доцент, Л. Хвостівська канд. техн. наук,**  
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ОПРАЦЮВАННЯ МЕРЕЖЕВОГО ТРАФІКУ

UDC 004.77:004.942

**V. Khvostivskyu, H. Osukhivska Ph.D., Assoc. Prof., L. Khvostivska Ph.D.**

## NETWORK TRAFFIC PROCESSING SYSTEM SOFTWARE

Забезпечення надійного та якісного інтернет-зв'язку є важливою задачею на сьогоднішній день. Одним із ефективних методів оцінювання роботи комп'ютерної мережі є аналіз мережевого трафіку, а саме – прогнозування інтенсивності трафіку в залежності від часу. Це дозволяє забезпечити здійснення процедури оцінювання перенавантаження мережі через процедури моніторингу та аналізу її працездатності.

В роботах [1, 2] запропоновано як модель трафіку використовувати періодично корельований випадковий процес (ПКВП), що дозволяє дослідити варіаційні взаємозв'язки між трафіками різних днів спостережень із застосуванням синфазної чи компонентної обробки. На основі цієї моделі розроблено програмне забезпечення системи опрацювання мережевого трафіку в середовищі GUIDE MATLAB, інтерфейс якого показано на рисунку 1.

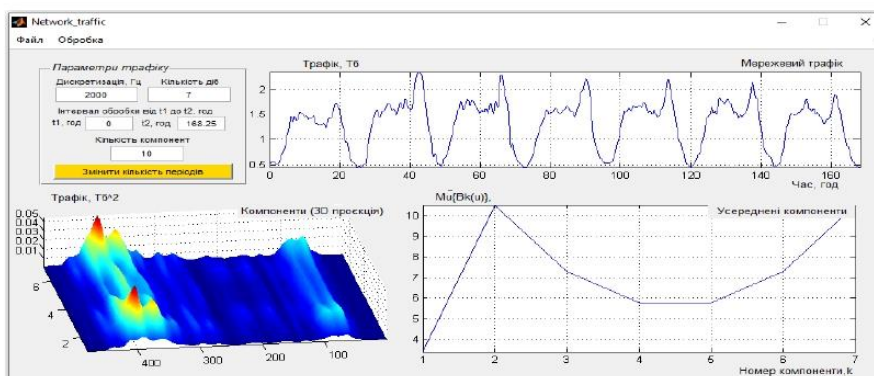


Рисунок 1. Інтерфейс програмного забезпечення системи опрацювання мережевого трафіку.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє здійснити процедуру обчислення показників рівня навантаження мережевого трафіку у вигляді компонент ПКВП.

### Література.

1. Хвостівський М.О., Осухівська Г.М., Хвостівська Л.В., Величко Д.В. Розвиток математичного моделювання трафіку комп'ютерних мереж. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. Т.: ТНТУ, 2020. С. 187–188.
2. Білостоцький Т., Осухівська Г. Математичне моделювання передачі даних в комп'ютерних мережах. Матеріали II науково-технічної конференції „Інформаційні моделі, системи та технології“. 2012. С. 36.

- А.М. Луцків, Г.А. Абоах, Р.К. Рувімбо, В.М. Соболь**  
 РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У СЕРЕДОВИЩАХ  
 ІЗ РОЗПОДІЛЕНОЮ ПАМ'ЯТТЮ  
**A.M. Lutskiy, H.A. Aboah, R.K. Ruwimbo, V.M. Sobol**  
 RESOLVING MACHINE LEARNING TASKS IN DISTRIBUTED MEMORY  
 ENVIRONMENT 130
- С.В. Соленко, Р.О. Жаровський канд. техн. наук**  
 МОЖЛИВОСТІ СЕРЕДОВИЩА PLUTUS PLAYGROUND ДЛЯ  
 НАПИСАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СМАРТ-КОНТРАКТІВ  
**S. Solenko, R. Zharovskyi Ph.D.**  
 PLUTUS PLAYGROUND ENVIRONMENT CAPABILITIES FOR WRITING  
 AND TESTING SMART CONTRACTS 131
- Д.В. Кунинець, Ю.З. Лещинин**  
 ЗАСТОСУНОК ДЛЯ МОНИТОРИНГУ ДАНИХ РОЗУМНОГО БУДИНКУ  
**D. Kunynets, Ph.D. Yu. Z. Leshchyshyn**  
 SMART HOME DATA MONITORING APPLICATION 133
- В. Хвостівський, Г. Осухівська, Л. Хвостівська**  
 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ОПРАЦЮВАННЯ  
 МЕРЕЖЕВОГО ТРАФІКУ  
**V. Khvostivskyu, H. Osukhivska, L. Khvostivska**  
 NETWORK TRAFFIC PROCESSING SYSTEM SOFTWARE 134
- Н. Шаблій, А. Шаблій**  
 АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МЕТОДІВ БІОМЕТРИЧНОЇ  
 АУТЕНТИФІКАЦІЇ ЗА КЛАВІАТУРНИМ ПОЧЕРКОМ  
**N. Shabliy, A. Shabliy**  
 ANALYSIS OF INFORMATION TECHNOLOGIES OF BIOMETRIC  
 AUTHENTICATION METHODS KEYSTROKE DYNAMICS 135
- Н. Шаблій, А. Шаблій**  
 АРХІТЕКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ БІОМЕТРИЧНОЇ  
 АУТЕНТИФІКАЦІЇ ЗА КЛАВІАТУРНИМ ПОЧЕРКОМ  
**N. Shabliy, A. Shabliy**  
 ARCHITECTURE OF BIOMETRIC AUTHENTICATION INFORMATION  
 SYSTEM KEYSTROKE DYNAMICS 136
- В.В. Яцишин, Ю.Р. Мельник, А.В. Волощук**  
 КОМПОНЕНТИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ  
 ПОВЕДІНКИ РУХУ АВТОМОБІЛЯ  
**V.V. Yatsyshyn, Yu.R. Melnyk, A.V. Voloshchuk**  
 COMPONENTS OF COMPUTER SYSTEM FOR CAR MOVEMENT  
 BEHAVIOR PREDICTION 137
- І.М. Митчик**  
 ДО ПРОБЛЕМИ ТРАСУВАННЯ ПРОВОДОВОГО МОНТАЖУ  
**I.M. Mytchuk**  
 O A PROBLEM ON TRACING OF WIRE ASSEMBLING 138

«Концепція розробки комп'ютерних експертних медичних систем із штучним інтелектом»

III Міжнародна студентська науково - технічна конференція  
"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"

Міністерство освіти і науки України,  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя  
Маріборський університет (Словенія)  
Технічний університет в Кошице (Словаччина)  
Каунаський технологічний університет (Литва)  
Львівський національний університет  
імені Івана Франка,  
Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця  
(Польща)  
Луцький національний технічний університет,  
Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича,  
Вроцлавський економічний університет (Польща)  
Донбаська державна машинобудівна академія



Студентське наукове товариство



**III МІЖНАРОДНА**  
студентська науково - технічна конференція  
**"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ**  
**НАУКИ.**

**АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"**

23-24 квітня 2020 р.

(збірник тез конференції)

Тернопіль 2020



УДК 621:615.47:004

Стойка О. – ст.гр. РБм-51, Крещук С. – ст.гр. РБм-51, Хвостівський В. – ст.гр. СІс-43

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## КОНЦЕПЦІЯ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНИХ ЕКСПЕРТНИХ МЕДИЧНИХ СИСТЕМ ІЗ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

Науковий керівник: к.т.н., доцент Хвостівський М.О.

Stoyka O., Khreshchuk S., Khvostivskyy V.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

## CONCEPT OF DEVELOPMENT OF COMPUTER EXPERT MEDICAL SYSTEMS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Supervisor: Hvostivskyy M.

Ключові слова: комп'ютерні експертні медичні системи, штучний інтелект

Keywords: computer expert medical systems, artificial intelligence

Інтеграція ІТ-технологій у медичну практику забезпечує процедуру розробки нових комп'ютерних експертних медичних систем (КЕМС) для здійснення автоматизованого збору відомостей про стан досліджуваного пацієнта, їх опрацювання та формування діагностичних висновків щодо стану пацієнта.

Розвиток обробки даних, математики та кібернетики забезпечують розробку людино-машинних систем із штучним інтелектом (експертних медичних систем) як систем знань, які виконують функції накопичення, оброблення в комп'ютері медичних даних, необхідних для розв'язання задачі прийняття рішень. Штучний інтелект системи являє собою програмне забезпечення, яке моделює на комп'ютері процес мислення людини, а саме лікаря, при формуванні діагностичних висновків щодо стану пацієнта. Штучний інтелект здатний до самонавчання та формування в своїй базі даних нової діагностичної інформації та приймати рішення щодо стану досліджуваних пацієнтів.

Сучасні КЕМС із штучним інтелектом [4], такі як MYCIN (США), ONCOCIN (США) та інші складаються із трьох основних блоків (рис.1): бази знань та даних (1), блоку обробки та прийняття рішення (2) та інтерфейсу (3).

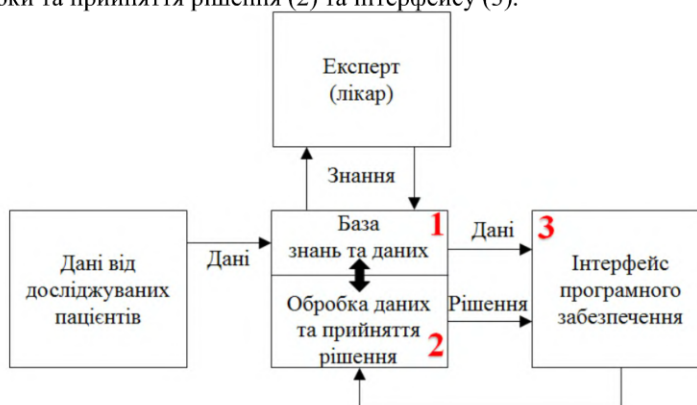


Рис.1. Етапи розробки комп'ютерної експертної медичної системи

III Міжнародна студентська науково - технічна конференція  
"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"

Найголовнішою задачею експертної медичної системи (рис.1) є процедура закладання в комп'ютерну програму здатності до самонавчання і накопичення нових знань.

В основі обробки даних лежить процедура обробки медичних даних з бази даних. Процедура обробки будується за принципом «дані-математична модель-метод обробки-алгоритм» (рис.2).



Рис.2. Структура процедури обробка даних у комп'ютерних експертних системах

Модель своєю математичною структурою визначає притаманні особливості (параметри) компонент (серце, мозок, судини, очі та інші) досліджуваного пацієнта у різних формах їх відображення (біопотенціали або інші), що зумовлює розроблення на її основі методу обробки як інструментарію отримання діагностичної інформації.

При прийнятті рішень відбувається порівняння отриманих результатів обробки із базою знань на підставі чого формується діагностичний висновок щодо стану пацієнта (рис.3).



Рис.3. Структура прийняття рішення у комп'ютерних експертних системах

Отже, розробка чи модифікація складових комп'ютерної експертної медичної системи (рис.1-3) призведе до розвитку (розширення) бази знань про стан компонент досліджуваного пацієнта, що розширить можливості медичної діагностики.

#### Література

1. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский – СПб: Питер, 2000. – 384 с.
2. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е издание.: Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2007. – 1152 с.
3. Джексон П. Введение в экспертные системы.: Пер. с англ.: Уч. пос. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 624 с.
4. Любченко К. М. Експертні системи в практичній медицині / К. М. Любченко // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка : збірник наукових праць. – 2008. – № 49. – С. 3–6. – Бібліогр.: 8 назв.
5. Продеус А. Н. Экспертные системы в медицине / А.Н. Продеус, Е.Н. Захрабова. – К.: ВЕК, 1998. – 320 с

III Міжнародна студентська науково - технічна конференція  
"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"

Чернецький А. <b>ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНОГО СТАНУ МЕТАЛЕВОЇ ПРОГІННОЇ БАЛКИ ЗМІННОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ</b>	<b>117</b>
Яцюк В. <b>РОЗПОДІЛ ВНУТРІШНІХ НАВАНТАЖЕНЬ У КРИВОЛІНІЙНИХ КОНСТРУКЦІЯХ</b>	<b>118</b>

*Секція:*        **Біомедична інженерія**

Бугальська Т., Косар Л. <b>ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПРЕДСТАВЛЕННЯ МЕДИЧНИХ ДАНИХ</b>	<b>120</b>
Гринчук К., Дороніна І. <b>СПЕЦИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ПЕРЕДАЧІ БІОМЕДИЧНИХ СИГНАЛІВ</b>	<b>121</b>
Заверуха А., Уніят С. <b>МАТЕМАТИЧНО-АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ БІОСИГНАЛІВ НА ФОНІ ЗАВАД</b>	<b>122</b>
Левенець В. <b>РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ВІДБОРУ ТА АНАЛІЗУ БІОСИГНАЛІВ</b>	<b>124</b>
Обедняк Р. <b>АВТОМАТИЗОВАНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ СТАДІЇ ДІАБЕТИЧНОЇ РЕТИНОПАТІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ СІТКІВКИ</b>	<b>125</b>
Побережний М., Побережний В. <b>ФОТОМЕДИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ШТУЧНОМУ ОПРОМІНЕННІ ОЗНАЧЕНОЇ ОБЛАСТІ БІООБ'ЄКТА</b>	<b>126</b>
Стойка О., Крещук С., Хвостівський В. <b>КОНЦЕПЦІЯ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНИХ ЕКСПЕРТНИХ МЕДИЧНИХ СИСТЕМ ІЗ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ</b>	<b>127</b>
Тацков О., Паляниця Ю.Б. <b>ПРОБЛЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОШИРЕННЯ ЗАХВОРЮВАНOSTІ НА КОРОНАВІРУС COVID-19 В СВІТІ ОСОБАМИ БЕЗ СПЕЦІАЛЬНИХ НАВИЧОК ТА БЕЗ ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ПЕРСОНАЛЬНОМУ КОМП'ЮТЕРІ З ОПЕРАЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ MICROSOFT WINDOWS</b>	<b>129</b>
Франчевська Г. <b>АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛУ ПЛОДУ В УТРОБІ МАТЕРІ</b>	<b>131</b>



## Додаток Б

## Текст програмного забезпечення компонентного прогнозування трафіку

```

Bkomp=Komptraf(traffic,Ttraf,dttraf,Ktraf,Ushift)
if nargin<4, error('Введіть 5 показників'); end;%Верифікація кількості
Ttraf=fix(Ttraf); % Ціле число дискретного повтору
traffic =formattraffic(traffic,Ttraf); % Формування кратності трафіку мережі
trafcentr=centrtrafic(traffic,Ttraf); % Центрування трафіку мережі
d=2*pi/(Ttraf*dttraf); % Крок перебору частоти трафіку
for k=1:Ktraf % Цикл перебору частот трафіку
temptraf=traffic;
ekomp=exp(-j*d*k*(0:Ntraf-1)); % Експоненти для k-их компонент
for u=1:Ushift % Цикл зсуву часу
Bkomp(k,u)=sum(trafcentr(1:Ntraf-u+1).*temptraf(1:Ntraf-u+1)).*exp(1:Ntraf-u+1))/(Ntraf-u+1);
temptraf=shift(temptraf,-1); % Зсув трафіку мережі
end;
end; %Завершення циклу зсуву трафіку

```

## Додаток В

### Текст програмного забезпечення системи прогнозування трафіку

```

function varargout = Network_traffic(varargin)
% Khvostivskiy V.M., group SIM-61
% Network_traffic M-file for Network_traffic.fig
%     Network_traffic, by itself, creates a new Network_traffic or
raises the existing
%     singleton*.
%
% H = Network_traffic returns the handle to a new Network_traffic or
% the handle to the existing singleton*.
%
%     Network_traffic('CALLBACK', hObject, eventData, handles, ...) calls
% the local function named
% CALLBACK in Network_traffic.M with the given input arguments.
%
%     Network_traffic('Property','Value',...) creates a new
% Network_traffic or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value
% pairs are
% applied to the GUI before Intarface_MKS_OpeningFunction gets
% called. An unrecognized property name or invalid value makes
% property application stop.
% All inputs are passed to Network_traffic_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
%
% Copyright 2002-2003 The MathWorks, Inc.
%
% Edit the above text to modify the response to help Network_traffic
%
% Last Modified by GUIDE v2.5 01-Nov-2021 18:15:14
%
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Network_traffic_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @Network_traffic_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

```

```

% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Network_traffic is made visible.
function Network_traffic_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject      handle to figure
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin     command line arguments to Network_traffic (see VARARGIN)

% Choose default command line output for Network_traffic
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes Network_traffic wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
set(handles.text8,'string','Завантажте дані трафіку мережі');

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Network_traffic_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout    cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject      handle to figure
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% -----Load data of EMS-----
function Untitled_3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to Untitled_3 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
[filetraffic,directtraffic] = uigetfile('*.dat', 'Завантажити дані трафіку');
if length(filetraffic)>=1 % Яка введена довжина назви >1, тоді шлях є доступним
directortraffic=[directtraffic filetraffic];
traffic=load(directortraffic);
set(pushbutton1,'userdata',traffic);
set(handles.text8,'visible','on');
set(handles.text8,'string','Введіть параметри завантаження мережевого трафіку');
end;

% -----Save of DATA-----
function Untitled_4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to Untitled_4 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

[filetraffic directtraffic] = uiputfile({'*.txt'; '*.dat'}, 'Зберегти результат обробки');
if length(filetraffic) >= 1
dir=[directtraffic filetraffic];
traffic=get(handles.text1, 'userdata');
dlmwrite(dir, traffic, ' ');
end;
rotate3d off;

% -----Komponent-----
function Untitled_7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to Untitled_7 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
traffic=get(handles.pushbutton1, 'userdata');
fd=1/str2num(get(handles.edit1, 'string')); % Дискретизація трафіку мережі
Ktraf=str2num(get(handles.edit5, 'string')); % Трафіку мережі число компонент
timetraffic1=get(handles.edit3, 'value') % Час початку трафіку мережі
timetraffic2=get(handles.edit4, 'value') % Час кінця трафіку мережі
timetraffic1=fix(timetraffic1*fd)+1; % Тривалість часу початку трафіку в кількості
timetraffic2=fix(timetraffic2*fd)+1; % Тривалість часу кінця трафіку в кількості
if timetraffic2 > length(traffic) % Перевірка показника часу кінця трафіку
    timetraffic2=length(traffic); % Корекція показника часу кінця трафіку
end;
traffic=traffic(timetraffic1:timetraffic2);
kildib=str2num(get(handles.edit2, 'string'))
N=length(traffic);
NT=fix(N/kildib);
Ntraf=kildib*NT;
traffic=traffic(1:Ntraf);

Bkmp=PKVPkomp(traffic, Ntraf, (1/fd), Ktraf, length(traffic));
set(handles.text2, 'visible', 'off');
set(handles.text8, 'visible', 'off');
set(handles.pushbutton1, 'string', 'Змінити кількість періодів');
axes(handles.axes1);
surf(Bkmp);
shading interp;
axis tight;
grid on;
rotate3d on;

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% -----Push button-----
% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton1 (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

set(handles.text1,'visible','on');
set(handles.text2,'visible','on');
set(handles.text8,'visible','on');
set(handles.pushbutton1,'string','Введіть параметри');
traffic=get(handles.pushbutton1,'userdata');
fd=1/str2num(get(handles.edit1,'string')); % Дискретизація трафіку мережі
Ktraf=str2num(get(handles.edit5,'string')); % Трафіку мережі число компонент
timetraffic1=get(handles.edit3,'value') % Час початку трафіку мережі
timetraffic2=get(handles.edit4,'value') % Час кінця трафіку мережі
timetraffic1=fix(timetraffic1*fd)+1; % Тривалість часу початку трафіку в кількості
timetraffic2=fix(timetraffic2*fd)+1; % Тривалість часу кінця трафіку в кількості
if timetraffic2>length(traffic) % Перевірка показника часу кінця трафіку
    timetraffic2=length(traffic); % Корекція показника часу кінця трафіку
end;
traffic=traffic(timetraffic1:timetraffic2);
set(handles.edit3,'string',num2str((tN1-1)/fd));
set(handles.edit4,'string',num2str((tN2-1)/fd));

set(handles.edit3,'value',tN1);
set(handles.edit4,'value',tN2);

set(handles.text1,'string','Трафік, Тб');
set(handles.text10,'string','Час, год');
axes(handles.axes2);
ttraffic=(0:length(traffic)-1)*dt;% Час трафіку мережі
plot(ttraffic(timetraffic1: timetraffic2), traffic (timetraffic1: timetraffic2));
axis tight;
grid on;
rotate3d off;
set(handles.text8,'visible','off');

% -----Mean component-----
function Untitled_8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to Untitled_8 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
traffic=get(handles.pushbutton1,'userdata');
fd=1/str2num(get(handles.edit1,'string')); % Дискретизація трафіку мережі
Ktraf=str2num(get(handles.edit5,'string')); % Трафіку мережі число компонент
timetraffic1=get(handles.edit3,'value') % Час початку трафіку мережі
timetraffic2=get(handles.edit4,'value') % Час кінця трафіку мережі
timetraffic1=fix(timetraffic1*fd)+1; % Тривалість часу початку трафіку в кількості
timetraffic2=fix(timetraffic2*fd)+1; % Тривалість часу кінця трафіку в кількості
if timetraffic2>length(traffic) % Перевірка показника часу кінця трафіку
    timetraffic2=length(traffic); % Корекція показника часу кінця трафіку
end;
traffic=traffic(timetraffic1:timetraffic2);
kildib=str2num(get(handles.edit2,'string'))
N=length(traffic);
NT=fix(N/kildib);

```

```
Ntraf=kildib*NT;
traffic=traffic(1:Ntraf);

Bkmp=PKVPkomp(traffic,Ntraf,(1/fd),Ktraf,length(traffic));
mBkmp=mean(Bkmp');

set(handles.text1,'visible','off');
set(handles.text2,'visible','off');
set(handles.text8,'visible','off');
set(handles.pushbutton1,'string','Змінити кількість періодів');
axes(handles.axes3);
plot(mBkmp);
axis tight;
grid on;
rotate3d off;
set(handles.text1,'visible','on');
set(handles.text2,'visible','on');
set(handles.text12,'string',' $\mu_{Bk(u)}, T\sigma^2$ ');
set(handles.text13,'string','Номер компоненти, k');
```