

## ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
Кафедра ЕОМ

Кваліфікаційна робота  
Другий (магістерський) рівень

## МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛАСТИЧНОГО ТРАФІКА В МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Виконав: студент групи СПм-23-2 Сирадоєв А.О.  
Керівник кваліфікаційної роботи: проф. Можаєв О.О.

2025

## АКТУАЛЬНІСТЬ

2

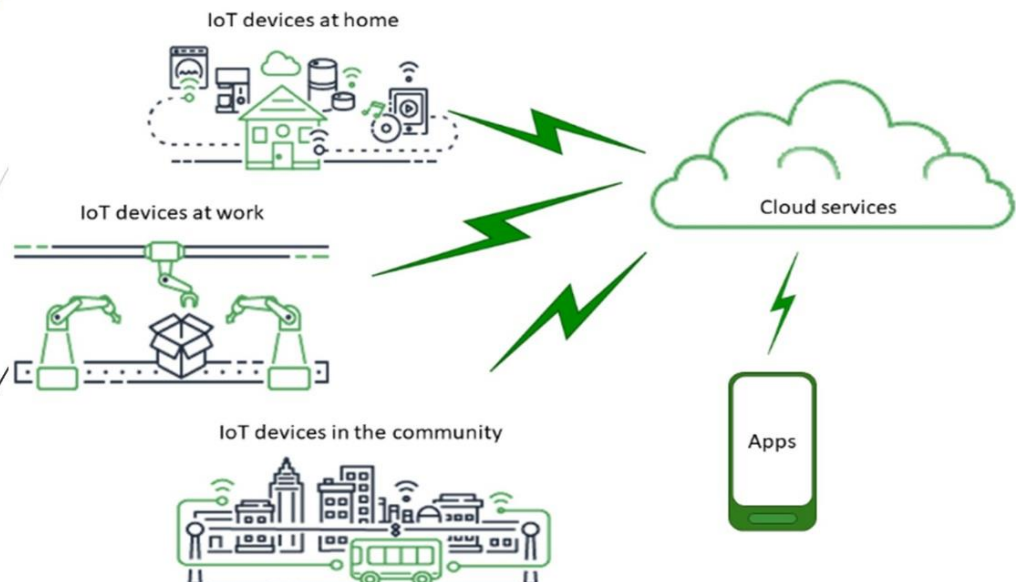


Рисунок 1 – Хмарний сервіс Інтернету речей

3

# АКТУАЛЬНІСТЬ

**INDUSTRIAL**  
Internet of Things

**CONSUMER**  
Internet of Things

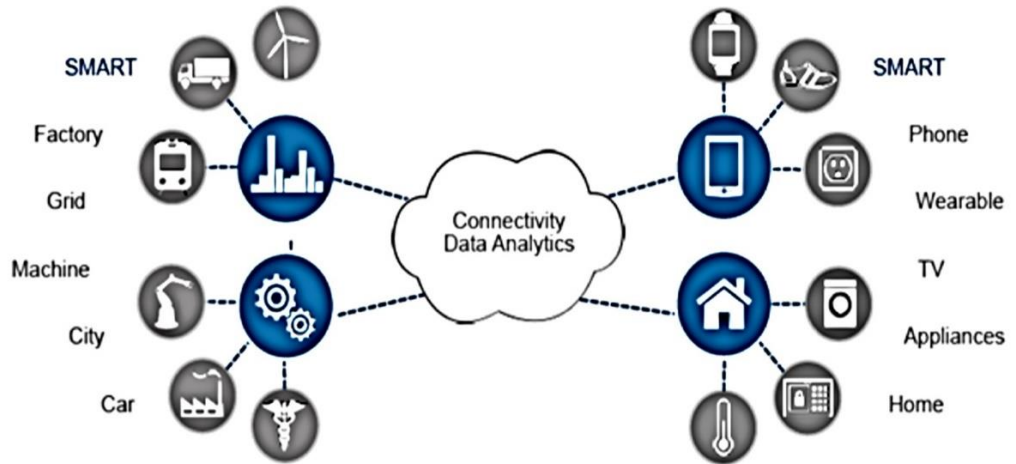


Рисунок 1 – Загальні категорії Інтернету речей

4

# АКТУАЛЬНІСТЬ

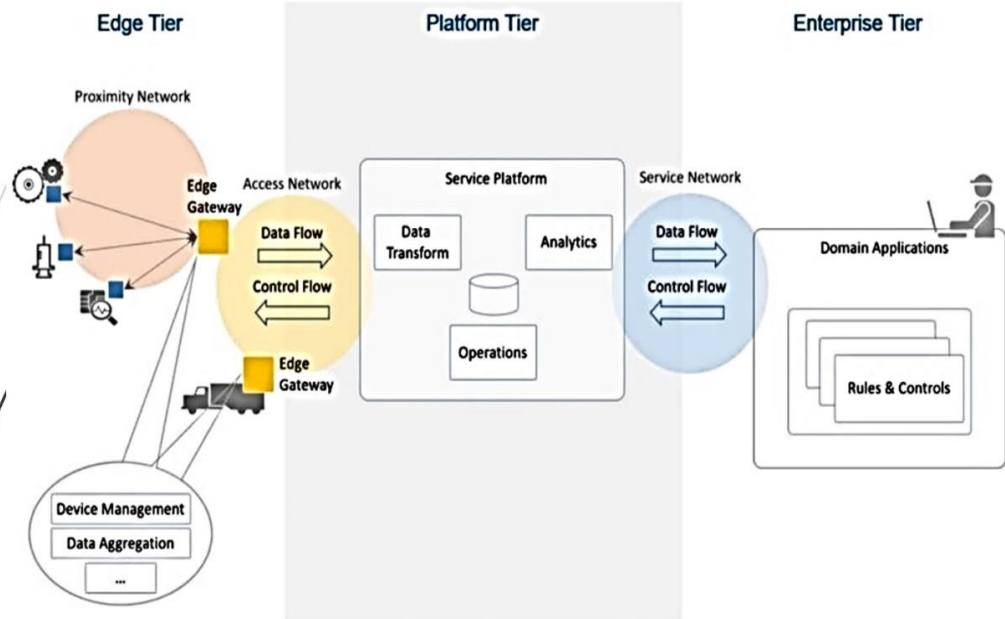


Рисунок 1 – Приклад функціонування системи ІоТ

5

## СПОЖИВЧИЙ І ПРОМИСЛОВИЙ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ

Характеристики порівняння:

Надійність та ціна помилки  
 Складність алгоритмів  
 Швидкість обробки інформації  
 Безпека  
 Обсяги даних, що збираються  
 Схеми впровадження  
 Особливості трафіку

Обґрунтовані необхідність динамічного підходу до виділення еластичних хмарних обчислювальних ресурсів системам промислового Інтернету речей та необхідність в розробці методу короткочасного прогнозування трафіку промислового Інтернету речей, що набуває еластичної властивості.

6

## МЕТА ТА ЗАВДАННЯ РОБОТИ

**Мета дослідження** - функціонування промислового Інтернету речей за рахунок розроблення підходу до завчасного горизонтального масштабування на основі прогнозування еластичного трафіка.

**Основні задачі дослідження:**

- 1) провести аналіз можливостей та завдань сучасних систем Інтернету речей;
- 2) визначити принципи організації та властивості еластичних систем;
- 3) розробити підхід до короткострокового квантового прогнозування еластичного трафіку в мережах промислового Інтернету речей Інтернету речей.

7

## КОНЦЕПЦІЯ ЕЛАСТИЧНОЇ СИСТЕМИ



Рисунок 1 – Рівні віртуалізації  
обчислювального процесу

8

## СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕЛАСТИЧНИХ СИСТЕМ

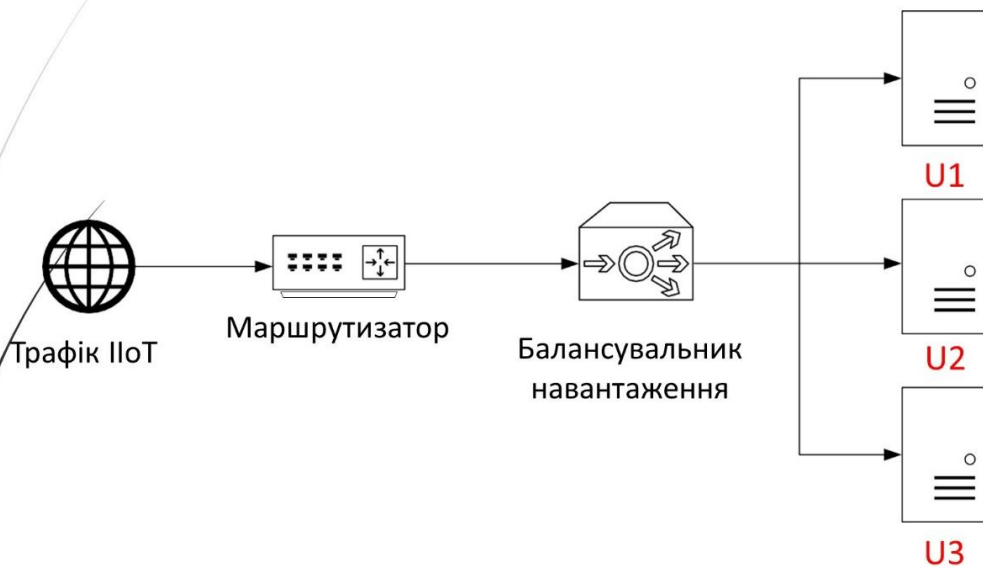


Рисунок 1 – Еластичний трафік на хмарній платформі

9

## ГОРИЗОНТАЛЬНЕ МАСШТАБУВАННЯ

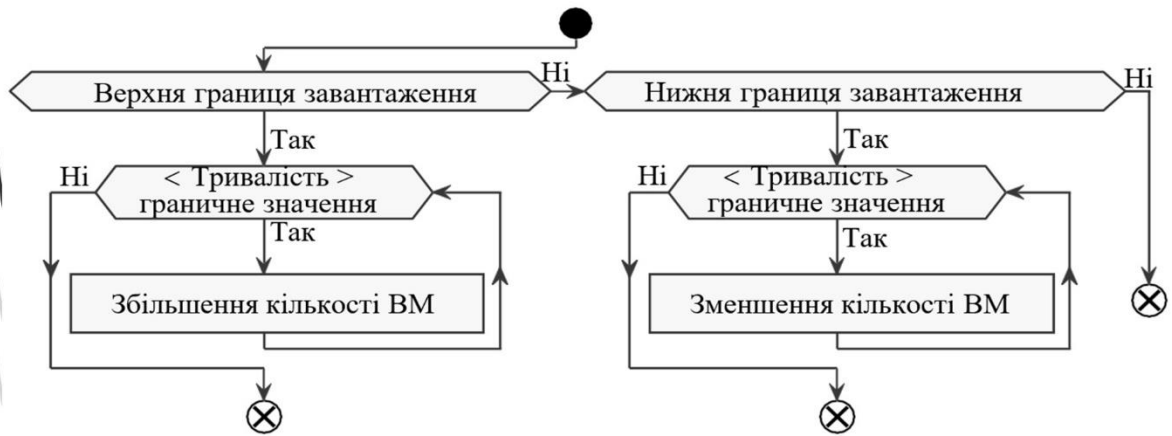


Рисунок 1 – Типовий алгоритм автоматичного масштабування

10

## ПРОАКТИВНЕ МАСШТАБУВАННЯ

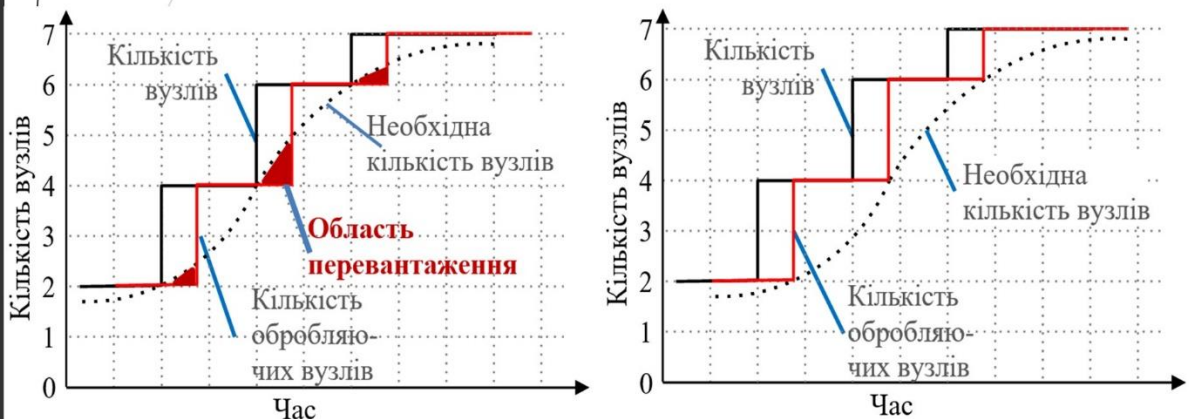


Рисунок 1 – Виграш від проактивного масштабування

11

## КВАНТУВАННЯ ТРАФІКУ IIoT

Трафік IIoT:  $F_{IIoT} = F_{min} + \Delta F$ Максимальна кількість додаткових квантів:  $N = \left\lceil \frac{\Delta F_{max}}{f} \right\rceil$ Підінтервал розбиття:  $\tau = n \cdot \Delta t$ ,  $\tau \geq \tau_0$ Вибір кванта:  $f \cdot (i-1) < \lambda_j \leq f \cdot i$ .Матриця частот міжквантових переходів:  $W = (w_{\xi, \eta})$ ,  $W_{\eta}^{(n)} = \left( w_{\xi, \eta}^{(n)} = w_{\xi, \eta} / \sum_{\xi=1}^{\ell} w_{\xi, \eta} \right)$ Вектор міжквантових переходів:  $V = (v_{\xi} | \forall (\eta \in \overline{1, N}) \Rightarrow w_{\xi, \eta} \leq w_{v_{\xi}, \eta})$ 

12

## КВАНТУВАННЯ ТРАФІКУ IIoT

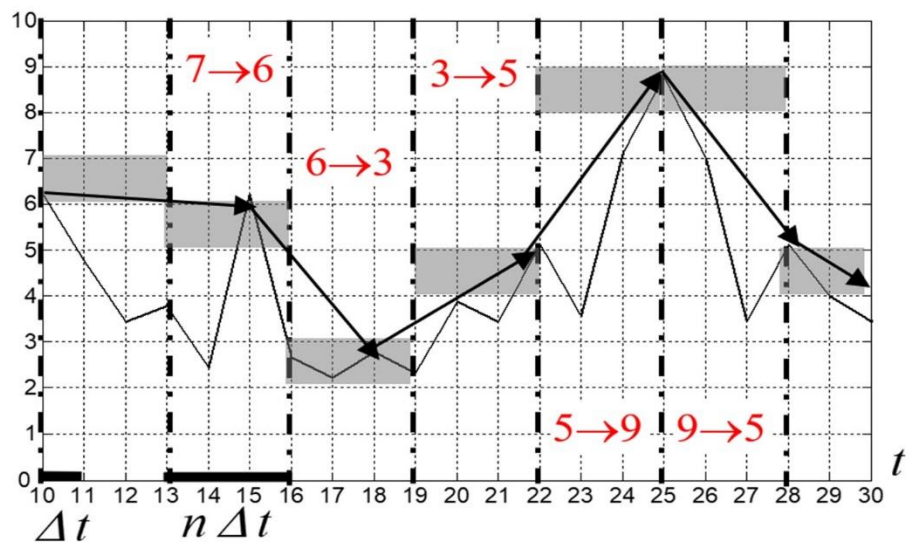


Рисунок 1 – Приклад процесу квантування трафіку IIoT

## ПРИКЛАД ПРОГНОЗУВАННЯ ДІЛЯНКИ АГРЕГОВАНОГО ТРАФІКА ІІОТ

13

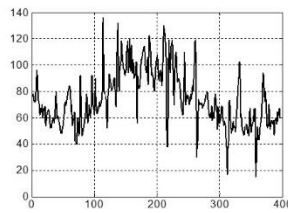


Рисунок 1 – Ділянка агрегованого трафіка ІІоТ

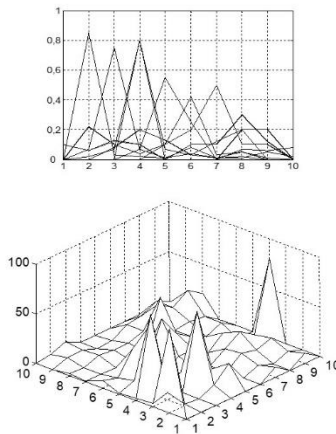


Рисунок 3 – Об'єднані графіки

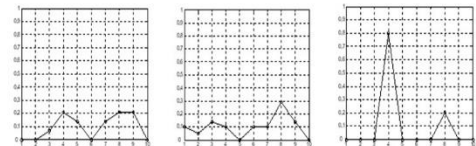
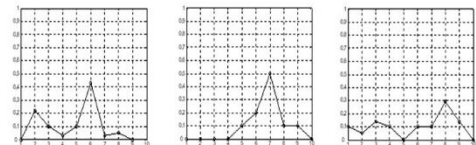
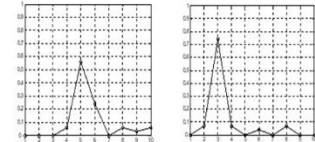
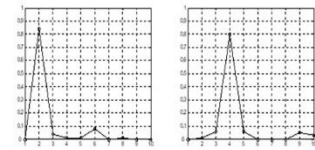


Рисунок 2 – Дискретні полігони

## ВИСНОВКИ

14

Сукупність отриманих у дипломній роботі результатів дозволило вирішити актуальне науково-технічне завдання, спрямоване на розробку підходу до прогнозування еластичного трафіку в мережах промислового Інтернету речей.

В результаті проведених досліджень отримані такі результати:

1. Проведений аналіз можливостей та завдань сучасних систем Інтернету речей.

2. Визначені принципи організації та властивості еластичних систем.

3. Розроблений підхід до короткострокового квантового прогнозування еластичного трафіку в мережах промислового Інтернету речей, який дозволяє завчасно запустити відповідну процедуру горизонтального масштабування у хмарному середовищі.

# ПУБЛІКАЦІЇ

15

Інститут систем управління  
МНО Азербайджанської республіки  
Національний технічний університет  
"Харківський політехнічний інститут"

Харківський національний  
університет радіоелектроніки  
Національний аерокосмічний університет  
імені М. Є. Жуковського  
"Харківський авіаційний інститут"  
Університет технологій і гуманітарних наук  
(м. Бельсько-Бяла, Польща)

## ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ

Тези доповідей дванадцятої міжнародної  
науково-технічної конференції

21 – 22 листопада 2024 року

**Том 1: СЕКЦІЇ 1, 2, 3**

Баку – Харків – Бельсько-Бяла – 2024

### ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВЧОГО І ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Сирдагов А.О., Можась О.О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У сучасному світі технології Інтернету речей набирають все більших обертів. Так, у 2023 році світовий ринок Інтернету речей активно зростає, кількість підключених пристроїв IoT досягла 16,7 млрд., що в 2 рази перевищує населення Землі.

Метою доповіді є аналіз можливостей та завдань сучасних систем Інтернету речей. Зокрема, відмічена роль Інтернету речей у сучасному світі, наведені темпи його зростання та розширення сфери застосування. Також наведена класифікація Інтернету речей, що поділяє його на дві великі категорії – споживчий Інтернет речей і промисловий (індустріальний) Інтернет речей, головна відмінність між якими полягає в галузі застосування.

Проведено порівняння споживчого і промислового Інтернету речей, зокрема по таким характеристикам, як надійність та ціна помилки, складність алгоритмів, швидкість обробки інформації, безпека, обсяги даних, що збираються, схеми впровадження та особливості трафіку.

Обґрунтовані необхідність динамічного підходу до виділення еластичних хмарних обчислювальних ресурсів системам промислового Інтернету речей та необхідність в розробці методу короткочасного прогнозування трафіку промислового Інтернету речей, що набуває еластичної властивості.

#### Список літератури

1. Naveen, S., & Kourte, M. R. (2019). Key Technologies and challenges in IoT Edge Computing. 2019 Third International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC).

2. Mouradian, C., Naboulsi, D., Yangui, S., Giffso, R., Morrow, M., & Polakos, P. (2018). A comprehensive survey on Fog Computing: State-of-the-Art and Research challenges. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 20(1), 416–464.

## ДОДАТОК Б

## Приклад застосування квантового прогнозування еластичного трафіку

Розглянемо отримання короткострокового прогнозу еластичного трафіку по  $K = 4000$  відліків ( $k$  – номер відліку), отриманих на невеликому часовому інтервалі. Інтенсивність трафіку  $\lambda(k)$  за цей час змінювалась від 50 до 950 пакетів/сек (Рисунок А.1, для більшої наочності на графіку відображені середні значення кожних 10 відліків, тобто не 4000 точок, а всього 400).

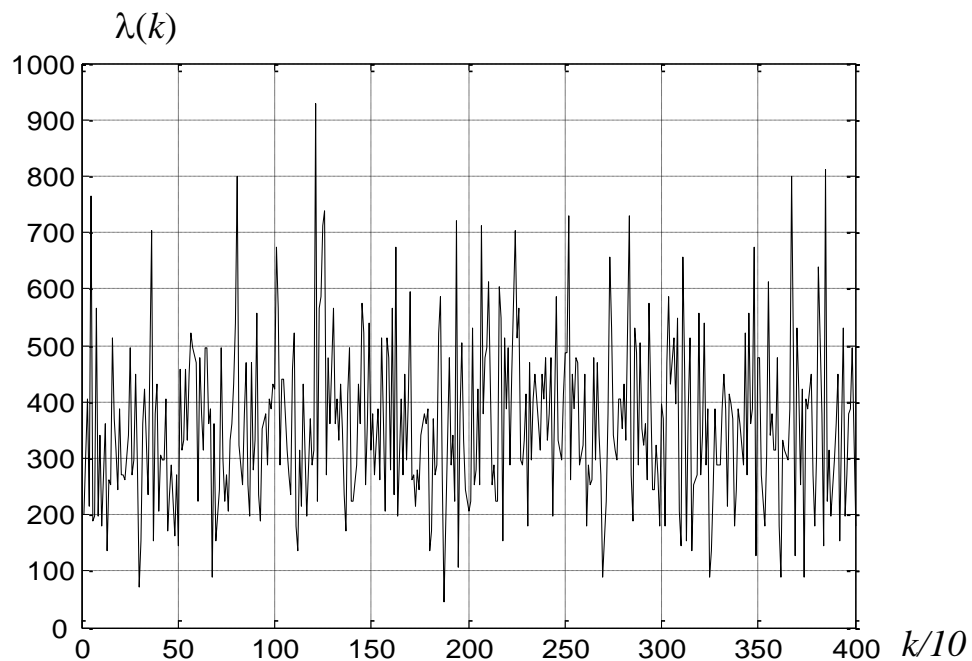


Рисунок А.1 – Відліки трафіку, що аналізується

Нехай базовий елемент еластичної хмарної системи (квант) забезпечує обробку 100 пакетів/сек. Тоді будемо мати  $N = 10$  квантів:

$$N_1 = [0; 100), N_2 = [100; 200), N_3 = [200; 300), \dots, N_{10} = [900; 1000).$$

При кожному наступному відліку значення інтенсивності трафіку або не змінюється, або переходить до іншого кванту, тобто у нашому прикладі маємо послідовність з 3999 значень міжквантових переходів.

Сформуємо тепер матрицю частот міжквантових переходів  $W = (w_{\xi,\eta})$ , де  $w_{\xi,\eta}$  – кількість переходів з  $\xi$ -го рівня квантування на  $\eta$ -й та відразу пронормуємо її по рядках. Отримуємо матрицю

$$W_{\eta}^{(n)} = \begin{pmatrix} 0 & 0.14 & 0.43 & 0.29 & 0.14 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.05 & 0.07 & 0.21 & 0.24 & 0.21 & 0.1 & 0.05 & 0.07 & 0 & 0 \\ 0.01 & 0.1 & 0.29 & 0.22 & 0.2 & 0.13 & 0.01 & 0.02 & 0.01 & 0.01 \\ 0.03 & 0.15 & 0.24 & 0.24 & 0.2 & 0.11 & 0.01 & 0.02 & 0 & 0 \\ 0.02 & 0.09 & 0.2 & 0.39 & 0.21 & 0.05 & 0.02 & 0.02 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.3 & 0.25 & 0.15 & 0.15 & 0.02 & 0.03 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.35 & 0.4 & 0.15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.05 & 0.05 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (\text{A.1})$$

Для прикладу розберемо, яким чином був сформований 3-й рядок цієї матриці. Із 3999 елементів послідовності переходів були обрані всі переходи із третього кванту, тобто  $3 \rightarrow 1, 3 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 3, 3 \rightarrow 4, \dots, 3 \rightarrow 9, 3 \rightarrow 10$ . Кількість переходів кожного з наведених типів була зафіксована в таблиці А.1.

Таблиця А.1 – Кількість переходів

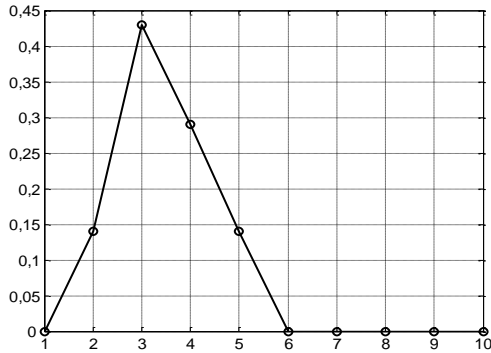
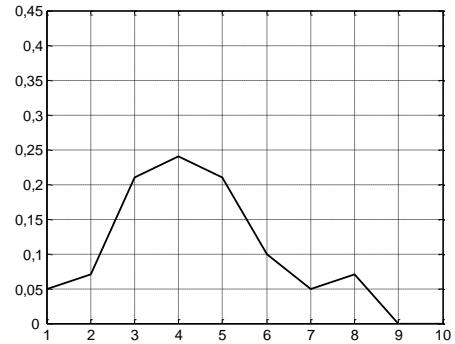
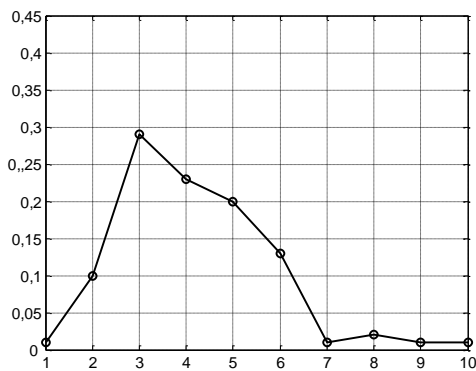
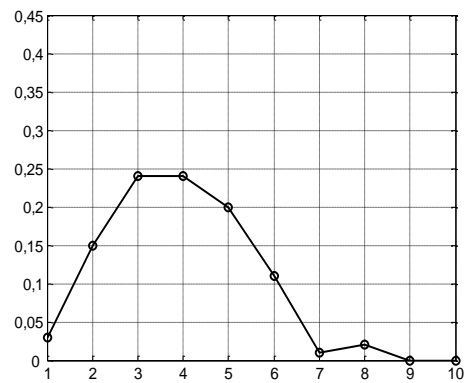
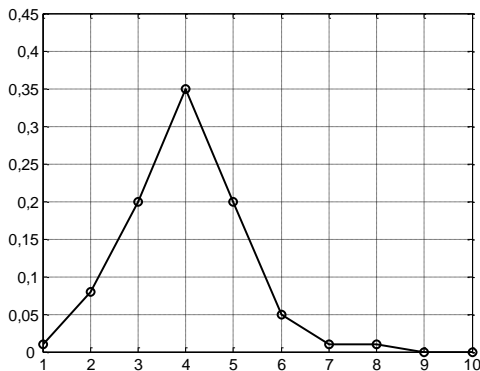
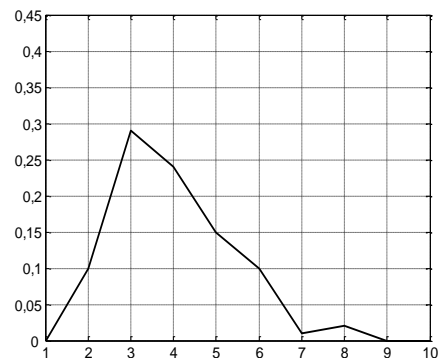
Перехід	$3 \rightarrow 1$	$3 \rightarrow 2$	$3 \rightarrow 3$	$3 \rightarrow 4$	$3 \rightarrow 5$	$3 \rightarrow 6$	$3 \rightarrow 7$	$3 \rightarrow 8$	$3 \rightarrow 9$	$3 \rightarrow 10$
Кількість	5	50	145	110	100	65	5	10	5	5

Всього таких переходів було 500 (сума елементів другого рядка таблиці А.1), тому для розрахунку частоти переходів кожне число з другого рядка поділили на 500 та отримали рядок частот переходів із кванту 3 (табл. А.2)

Таблиця А.2 – Частоти переходів

Перехід	$3 \rightarrow 1$	$3 \rightarrow 2$	$3 \rightarrow 3$	$3 \rightarrow 4$	$3 \rightarrow 5$	$3 \rightarrow 6$	$3 \rightarrow 7$	$3 \rightarrow 8$	$3 \rightarrow 9$	$3 \rightarrow 10$
Кількість	0.01	0.1	0.29	0.22	0.2	0.13	0.01	0.02	0.01	0.01

Отже, кожен рядок матриці (А.1) відповідає розподілу частот переходів відповідного кванту, що відображено на Рисунок А.2.

 $k = 1$  $k = 2$  $k = 3$  $k = 4$  $k = 5$  $k = 6$

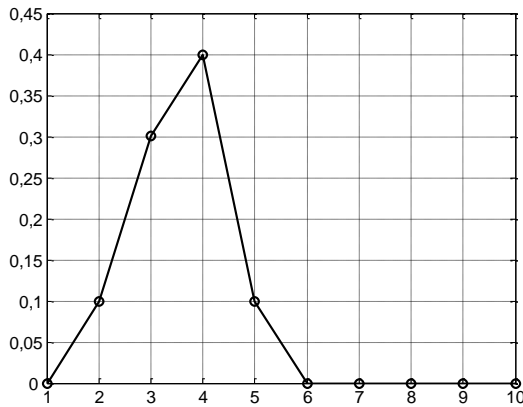
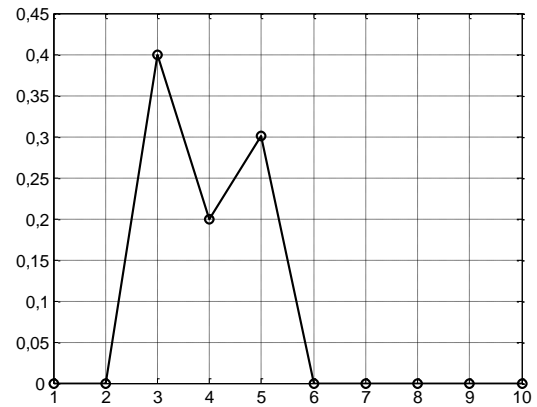
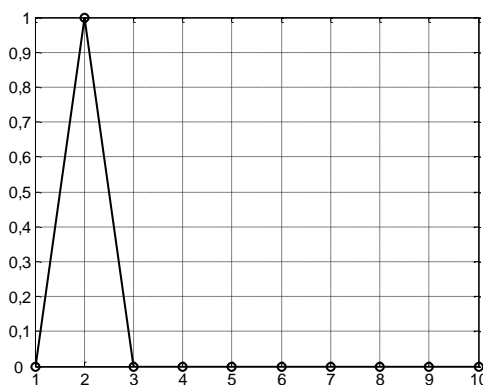
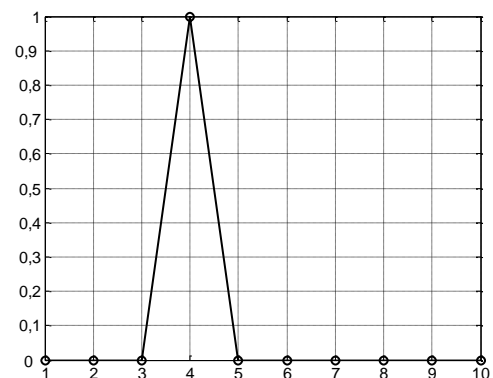
 $k = 7$  $k = 8$  $k = 9$  $k = 10$ 

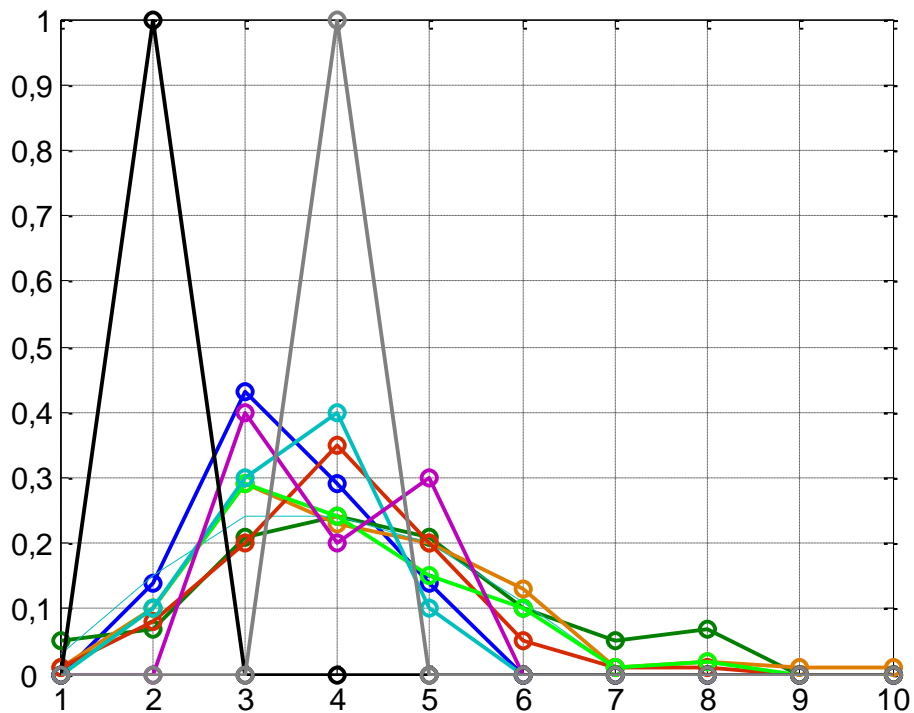
Рисунок А.2 – Розподіл частот переходів по рівнях квантів

Сформована матриця (А.1) дозволяє визначити функцію щільності ймовірностей для трафіка, що досліджується. Для цього сформуємо вектор частот квантових станів, склавши у кожному стовпчику матриці всі елементи та поділивши результат на кількість квантів ( $N = 10$ ):

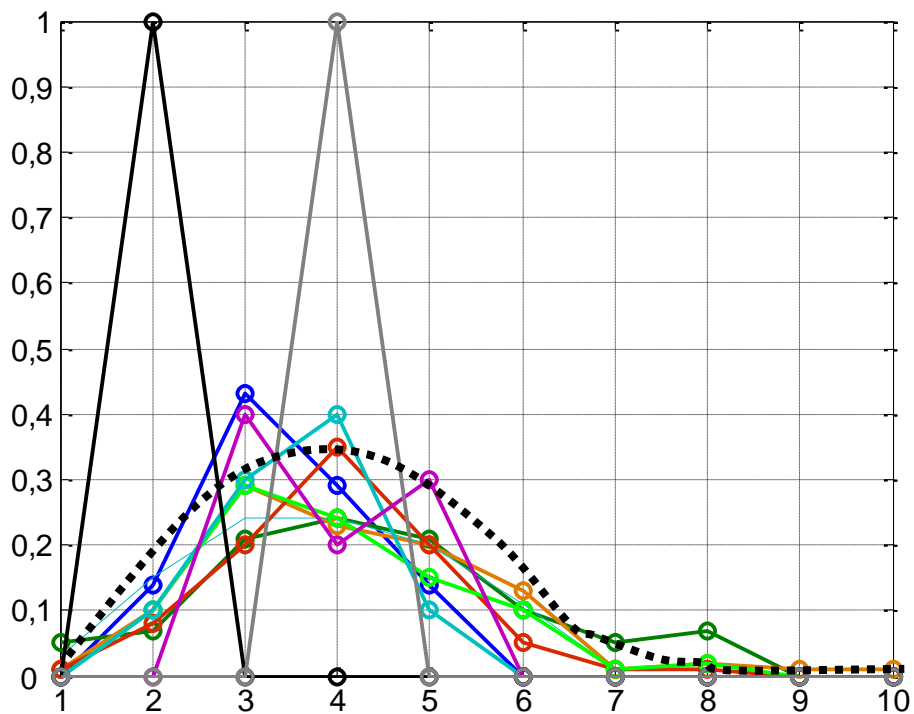
$$V = (0.011; 0.166; 0.242; 0.323; 0.156; 0.059; 0.016; 0.016; 0.001; 0.001). \quad (A.2)$$

Вектор (А.1) відповідає дискретному ряду розподілу квантованого трафіку. Провівши інтерполяцію цього дискретного ряду на множині значень інтенсивностей в границях кожного кванту отримаємо прогнозовану функцію

щільності розподілу трафіка (рисунок А.3).



а – переводимо всі графіки Рисунок А.2 до однієї системи координат



б – результат апроксимації (жирні точки)

Рис А.3 – Прогноз функції щільності розподілу трафіка