


ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи



Харківський національний університет
радіоелектроніки

Кафедра електронних обчислювальних машин

Кваліфікаційна робота
перший (бакалаврський) рівень

**Метод забезпечення надійності контейнеризованого додатка в
розподіленому середовищі Docker**

Виконав:
здобувач групи КІУКІ-21-5
Романенко Богдан Володимирович

Керівник:
ас. кафедри ЕОМ
Чепурна Ірина Сергіївна

Мета роботи

Розробка методу забезпечення надійності контейнеризованого вебдодатку в розподіленому середовищі Docker

Основне завдання роботи полягає у забезпеченні надійності контейнеризованого вебдодатку за рахунок використання інструменту Docker Swarm для забезпечення стабільної та безперервної роботи додатку в умовах змінного навантаження та обмежених апаратних ресурсів

Особливості розподілених систем

- Надійність: автоматичне відновлення та реплікація даних.
- Масштабованість: підтримка вертикального й горизонтального масштабування.
- Синхронізація: узгодження станів між вузлами.
- Гнучкість: можливість адаптації до зміни навантаження.
- Розподілене зберігання: локальні та мережеві сховища.

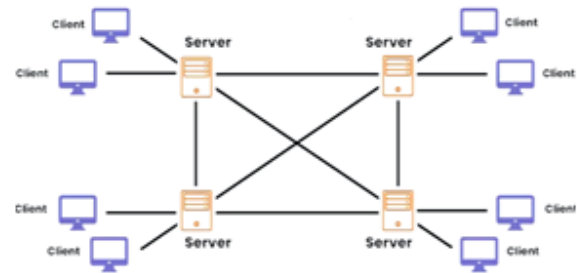
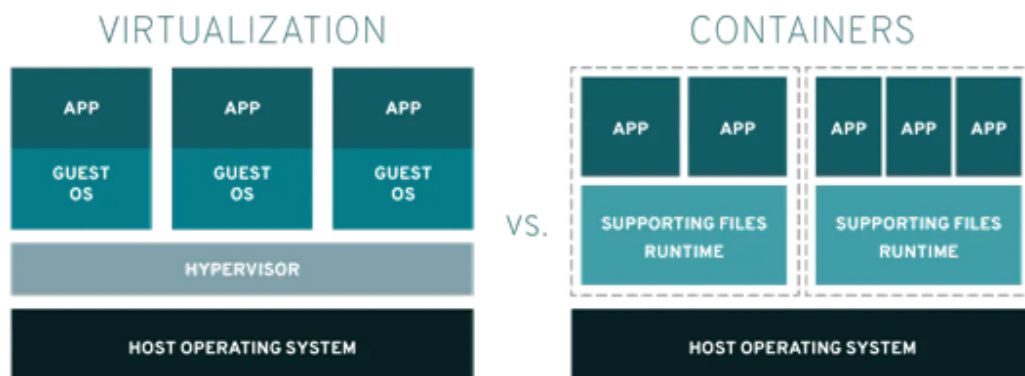


Схема клієнт-серверної архітектури

3

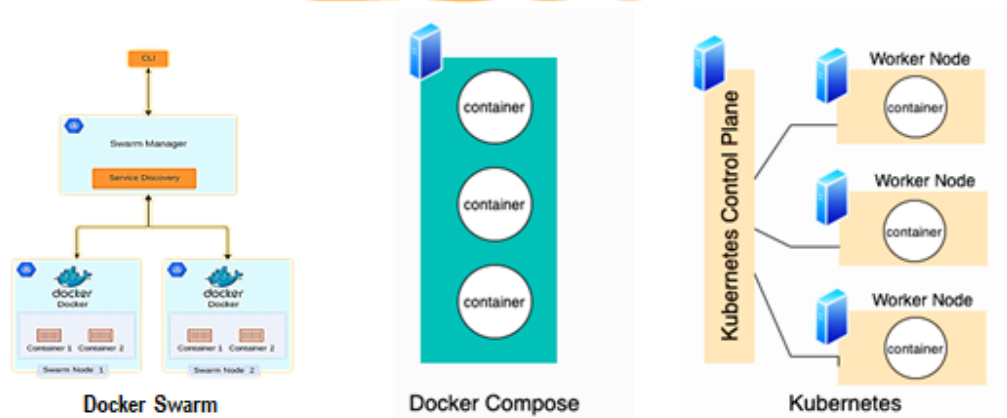
Контейнеризація



Порівняння архітектури віртуальної машини та контейнерів

4

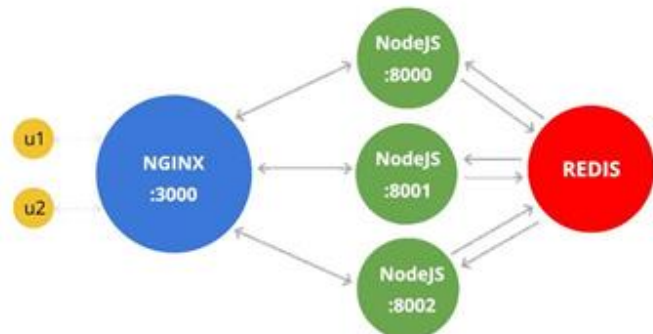
Інструменти оркестрації в Docker



5

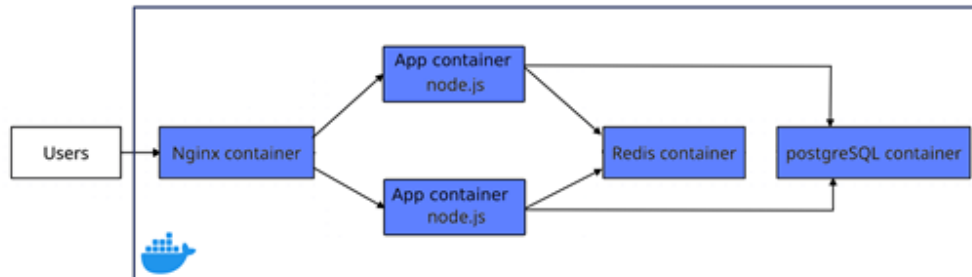
Методи забезпечення стабільної та безперервної роботи додатку

- Масштабування (вертикальне та горизонтальне)
- Балансування навантаження
- Кешування



6

Схема сегменту контейнеризованого додатку на базі Docker



7

Тестування додатку на стійкість до збоїв

• Примусове завершення репліки Node.js

```

root@ubuntu:~/docker-412-412# docker kill Ba029875be
Ba029875be
root@ubuntu:~/docker-412-412# docker service ps undergradua_theis_app
ID           NAME          IMAGE          NODE          DESIRED STATE   CURRENT STATE   ERROR
-----
Ba029875be  undergradua_theis_app.1  undergradua_theis:latest  docker-desktop  Running          Running 4 minutes ago
c44242964a  undergradua_theis_app.2  undergradua_theis:latest  docker-desktop  Running          Starting 8 seconds ago
f1214f103d  \_ undergradua_theis_app.2  undergradua_theis:latest  docker-desktop  Shutdown        Failed 11 seconds ago   "task: non-exi
s t exit (137)"
  
```

• Падіння контейнера PostgreSQL

```

root@ubuntu:~/docker-412-412# docker ps --filter "name=undergradua_theis_db"
CONTAINER ID   IMAGE          COMMAND                  STATUS   PORTS   NAMES
Ba029875be    postgres:14-alpine  "docker-entrypoint.s..."  4 minutes ago  5432/tcp  undergradua_theis_db.1_2e11c9a4b1f9b0eb
Ba029875be
root@ubuntu:~/docker-412-412# docker service ps undergradua_theis_db
ID           NAME          IMAGE          NODE          DESIRED STATE   CURRENT STATE   ERROR
-----
c44242964a  undergradua_theis_db.1  postgres:14-alpine  docker-desktop  Running          Running less than a second ago
f1214f103d  \_ undergradua_theis_db.1  postgres:14-alpine  docker-desktop  Shutdown        Failed 6 seconds ago   "task: non-exi
s t exit (137)"
c44242964a  \_ undergradua_theis_db.1  postgres:14-alpine  docker-desktop  Shutdown        Failed 6 minutes ago   "task: non-exi
s t exit (137)"
root@ubuntu:~/docker-412-412# docker exec -it Ba029875be --filter "name=undergradua_theis_db" -c shell -i sh
sh
root@13a.281:
Type "help" for help.

root@13a.281:~# PSQL user=postgres
sh: 1: PSQL user=postgres: not found
sh: 1: PSQL
  
```

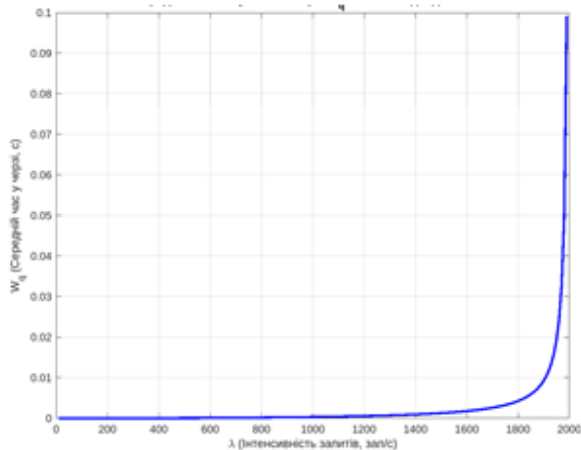
• Оновлення всіх сервісів додатку

```

root@ubuntu:~/docker-412-412# docker service update --force undergradua_theis_app
undergradua_theis_app
update progress: 2 out of 2 tasks
[1/1] running: [.....]
[2/1] running: [.....]
notary: Service statechanged
root@ubuntu:~/docker-412-412# docker service ps undergradua_theis_app
ID           NAME          IMAGE          NODE          DESIRED STATE   CURRENT STATE   ERROR
-----
c44242964a  undergradua_theis_app.1  undergradua_theis:latest  docker-desktop  Running          Running 15 seconds ago
Ba029875be  \_ undergradua_theis_app.1  undergradua_theis:latest  docker-desktop  Shutdown        Shutdown 46 seconds ago
c44242964a  undergradua_theis_app.2  undergradua_theis:latest  docker-desktop  Running          Running about a minute ago
c44242964a  \_ undergradua_theis_app.2  undergradua_theis:latest  docker-desktop  Shutdown        Shutdown about a minute ago
f1214f103d  \_ undergradua_theis_app.2  undergradua_theis:latest  docker-desktop  Shutdown        Failed 6 minutes ago   "task: no
n-exist exit (137)"
  
```

8

Тестування додатку в умовах підвищеного навантаження



Графік залежності середньої затримки від кількості запитів в системі

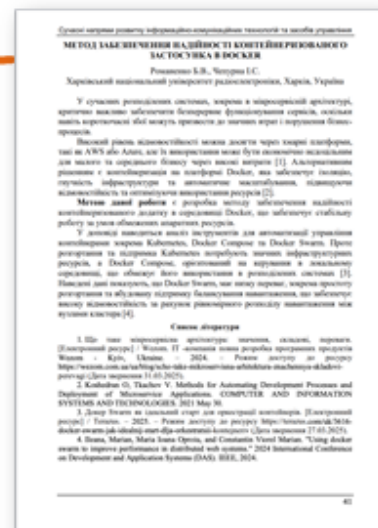
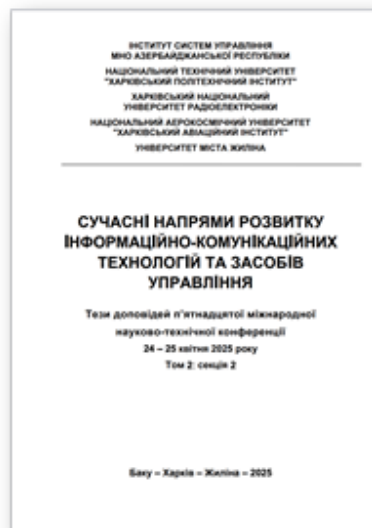
Результати експериментального тестування

```
Running 30s test @ http://localhost
4 threads and 100 connections
Thread Stats Avg Stdev Max +/- Stdev
  Latency 49.40ms 31.39ms 308.20ms 71.48%
  Req/Sec 527.04 167.47 1.60k 85.00%
63134 requests in 30.09s, 15.46MB read
Requests/sec: 2098.04
Transfer/sec: 526.20KB
```

Показник	позначення	Теоретичне значення	Практичне значення
Коефіцієнт навантаження	ρ	0.5000	0.2635
Ймовірність черги	Pq	0.3333	-
Середня кількість запитів в черзі	Lq	0.3333	0.0260
Середня кількість у системі	L	1.3333	26.04
Середній час у черзі	Wq	0.000333	0.0000484
Середній час у системі	W	0.001333	0.0494

9

Апробація результатів кваліфікаційної роботи



10

Висновок

- В результаті виконання роботи було розроблено сегмент контейнеризованого вебдодатку на основі мікросервісної архітектури з використанням Docker Swarm.
- Запропонований метод забезпечує стабільну та безперервну роботу вебдодатку в умовах обмежених ресурсів та динамічної зміни навантаження.

ДОДАТОК Б

Тези доповіді

до XV міжнародної науково–технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно–комунікаційних технологій та засобів управління»

**ІНСТИТУТ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ
МНО АЗЕРБАЙДЖАНСЬКОЇ РЕСПУБЛІКИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ"**

УНІВЕРСИТЕТ МІСТА ЖИЛІНА

**СУЧАСНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ
УПРАВЛІННЯ**

**Тези доповідей п'ятнадцятої міжнародної
науково-технічної конференції**

24 – 25 квітня 2025 року

Том 2: секція 2

Баку – Харків – Жиліна – 2025

МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ КОНТЕЙНЕРИЗОВАНОГО ЗАСТОСУНКА В DOCKER

Романенко Б.В., Чепурна І.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

У сучасних розподілених системах, зокрема в мікросервісній архітектурі, критично важливо забезпечити безперервне функціонування сервісів, оскільки навіть короточасні збої можуть призвести до значних втрат і порушення бізнес-процесів.

Високий рівень відмовостійкості можна досягти через хмарні платформи, такі як AWS або Azure, але їх використання може бути економічно недоцільним для малого та середнього бізнесу через високі витрати [1]. Альтернативним рішенням є контейнеризація на платформі Docker, яка забезпечує ізоляцію, гнучкість інфраструктури та автоматичне масштабування, підвищуючи відмовостійкість та оптимізуючи використання ресурсів [2].

Метою даної роботи є розробка методу забезпечення надійності контейнеризованого додатку в середовищі Docker, що забезпечує стабільну роботу за умов обмежених апаратних ресурсів.

У доповіді наводиться аналіз інструментів для автоматизації управління контейнерами зокрема Kubernetes, Docker Compose та Docker Swarm. Проте розгортання та підтримка Kubernetes потребують значних інфраструктурних ресурсів, а Docker Compose, орієнтований на керування в локальному середовищі, що обмежує його використання в розподілених системах [3]. Наведені дані показують, що Docker Swarm, має низку переваг, зокрема простоту розгортання та вбудовану підтримку балансування навантаження, що забезпечує високу відмовостійкість за рахунок рівномірного розподілу навантаження між вузлами кластера [4].

Список літератури

1. Що таке мікросервісна архітектура: значення, складові, переваги. [Електронний ресурс] / Wezom. IT -компанія повна розробка програмних продуктів Wezom - Kyiv, Ukraine. – 2024. – Режим доступу до ресурсу <https://wezom.com.ua/ua/blog/scho-take-mikroservisna-arhitektura-znachennya-skladovi-perevagi> (Дата звернення 31.03.2025).
2. Koshedran O, Tkachov V. Methods for Automating Development Processes and Deployment of Microservice Applications. COMPUTER AND INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES. 2021 May 30.
3. Docker Swarm як ідеальний старт для оркестрації контейнерів. [Електронний ресурс] / Terazus. – 2025. – Режим доступу до ресурсу <https://terazus.com/uk/3616-docker-swarm-jak-idealnij-start-dlja-orkestratsii-kontejneriv> (Дата звернення 27.03.2025).
4. Peana, Marian, Maria Ioana Oproiu, and Constantin Viorel Marian. "Using docker swarm to improve performance in distributed web systems." 2024 International Conference on Development and Application Systems (DAS). IEEE, 2024.

УЧАСНИКИ КОНФЕРЕНЦІЇ (секція 2)

Aghayev F.G. 96	Khaligov G. 88	Sahibcanov A.E. 96
Azizullayev M.G. 96	Khoma D. 119	Shuryliuk M. 61
Babayev S.M. 87	Kiiko A. 116	Vorozhko M. 128
Biesova A.O. 107	Kolomiitsev O.V. 107	Zmiyevska I. 121
..... 108	..... 108	Айзацький О.М. 71
Borysov P. 126	..... 109	Андрусенко Ю.О. .. 6
Dubinin V. 67	..... 110	..... 136
Gorbachov V. 62	Kolomiitsev V.O. 107	Анікін А.М. 75
Guliev R. 85	Kuznietsov O.L. 110	Бабич М.Г. 12
..... 86	Levchenko D. 120	Безсонов В.О. 33
Hasanov A.H. 92	Liubchenko O.V. 107	Бельорін-
Hashimov E.G. 90	..... 108	Еррера О.М. ... 132
Hazarkhanov A. 87	..... 109	Беліков А.О. 14
Hlavchev D. 126	Martovytskyi V. 61	Биков О.М. 117
..... 128	Muradov T. 89	Бичкова І.В. 71
..... 130	Ni O. 51	Біленко М.К. 52
Hunko M. 64	Nosko S. 111	Бовчалюк С.Я. 16
Huseynov A.G. 85	Piskarev O. 51	..... 17
..... 86	Podorozhniak A. 116	..... 18
..... 91	..... 119	Богомолов Д.О. 105
Ibrahimov B.G. 94	..... 120	Богущький С.М. 104
..... 100	..... 121	Бондаренко І.С. 12
..... 90	Ponomarenko O. 62	Бочко В.О. 55
Isayev Y.S. 98	Puhach D. 67	Бояков І.С. 32
Ismayilov I.I. 94	Rafizade U.R. 102	Брестовицький Р.М. 7
Javadova M.M. 100	Rahimli V.E. 96	Брюховецький О.С. 83
Kalchenko I.Y. 66	Rudakov I.S. 107	Бугрименко А.Ю. .. 15
Karimov E.Y. 89	..... 108	Бугрій А.М. 8
Karlov V.D. 110	Rustamov A.R. 96	Буслов П.В. 59

Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління

Маровтій Я.С.	40	Прокидянич Д.Д. .	58	Філімончук Т.В.	32
Маслов М.К.	63	Пугачов Р.В.	115	.....	33
Матвеев М.І.	135	Рибкін Д.В.	39	.....	34
Машталяр С.В.	23	Рогозянський Б.Ю. .	19	.....	35
Мезенцев М.В.	125	Рожнова Т.Г.	23	.....	36
Мироненко М.В.	47	.....	25	.....	37
Михайліченко І.В. .	43	Романенко Б.В.	41	.....	38
Мірошніченко Г.А. .	77	Романенков Ю.О. .	42	.....	39
Момот М.О.	68	Рустамов Х.Ф.	78	.....	63
Мороз А.В.	47	Савченко Є.Ю.	55	Хаханов В.І.	28
Морозов К.І.	34	Самоїленко В.А. ...	56	.....	29
Мухін Є.І.	36	Самоїлов І.А.	7	Хилько Д.О.	7
Наумов А.В.	31	Світенко Г.М.	42	Царенко Д.О.	37
Неізнестний С.С.	124	Севостьянова О.М. .	31	Чепела С.П.	132
Нестеренко С.М.	21	Серпухов О.В.	104	Чепурна І.С.	41
Ні Я.С.	45	Сітніков В.І.	49	.....	44
Носов Д.Ю.	72	Смідович Л.С.	80	.....	65
Оліфір М.В.	125	Смотрова А.О.	20	Чумак Д.С.	48
Ольховик Д.В.	22	Соробей Б.В.	7	Чумаченко С.В.	26
Онїщук Р.	78	Станенко М.С.	17	Шаповал Л.О.	118
Остапенко О.С.	114	Стоянов Д.О.	38	Шашунькін К.А.	54
Паненко Д.Б.	56	Стрільковський Є. ...	57	Шилів О.Г.	55
Партика С.О.	52	Тимошенко Д.О.	48	Шкурапет М.О.	84
.....	54	Ткаченко О.В.	44	Щолкін М.М.	10
.....	57	Ткаченко Т.А.	43	Янакаєв А.А.	11
.....	58	Ткачов В.М.	50	Янковський О.А.	46
Пироженко С.С.	137	Трач Є.А.	105	.....	55
Подорожняк А.О. ...	115	Турбаба Д.В.	25	.....	56
Показій К.О.	48	Уточкін К.М.	45	Яременко А.С.	74
Пономарьова В.І. ...	29	Федоров В.М.	9	Ярошевич Р.О.	14
Порошенко А.І.	59	Фесенко А.М.	60	.....	15
Пришляк І.В.	117	Філімончук Т.В.	31	Ярошевич Р.О.	50

ДОДАТОК В

Лістинг коду файлу docker-compose.yml

```
version: "3.8"

services:
  nginx:
    image: nginx:latest
    ports:
      - "80:80"
    volumes:
      - ./nginx/nginx.conf:/etc/nginx/nginx.conf:ro
    depends_on:
      - app
    networks:
      - app-network
    deploy:
      replicas: 5
      restart_policy:
        condition: on-failure
      resources:
        limits:
          cpus: "2.0"
      update_config:
        parallelism: 1
        delay: 5s

  app:
    image: undergraduate_thesis
    environment:
      - REDIS_HOST=redis
      - REDIS_PORT=6379
      - PG_HOST=db
      - PG_PORT=5432
      - PG_USER=postgres
      - PG_PASSWORD=postgres
      - PG_DATABASE=appdb
    networks:
      - app-network
    deploy:
      replicas: 1
      restart_policy:
        condition: on-failure
      update_config:
        parallelism: 1
        delay: 10s
      resources:
        limits:
          cpus: "0.5"
```

```
        memory: 512M
healthcheck:
  test: ["CMD", "curl", "-f", "http://localhost:3000"]
  interval: 30s
  timeout: 10s
  retries: 3
  start_period: 10s

redis:
  image: redis:7-alpine
  networks:
    - app-network
  deploy:
    replicas: 1
    restart_policy:
      condition: on-failure

db:
  image: postgres:14-alpine
  environment:
    POSTGRES_USER: postgres
    POSTGRES_PASSWORD: postgres
    POSTGRES_DB: appdb
  volumes:
    - db-data:/var/lib/postgresql/data
  networks:
    - app-network
  deploy:
    replicas: 1
    restart_policy:
      condition: on-failure

networks:
  app-network:
    driver: overlay

volumes:
  db-data:
```

ДОДАТОК Г

Лістинг коду розрахунку показників аналітичного моделювання

```

lambda = 1000;
mu = 1000;
n = 2;

% Розрахунок завантаження системи
rho = lambda / (n * mu);

% Перевірка стійкості
if rho >= 1
    error('Система нестійка: завантаження >= 1');
end

% Обчислення P0 (ймовірність простою)
sumPart = 0;
for k = 0:n-1
    sumPart = sumPart + (lambda/mu)^k / factorial(k);
end
lastPart = ((lambda/mu)^n / (factorial(n) * (1 - rho)));
P0 = 1 / (sumPart + lastPart);

% Ймовірність черги
Pq = ((lambda/mu)^n / (factorial(n) * (1 - rho))) * P0;

% Середня кількість заявок у черзі
Lq = Pq * rho / (1 - rho);

% Середня кількість заявок у системі
L = Lq + lambda / mu;

% Середній час перебування в системі
W = L / lambda;

% Середній час очікування в черзі
Wq = Lq / lambda;

% Вивід результатів
fprintf('--- Результати для M/M/%d ---\n', n);
fprintf('Інтенсивність надходження λ: %.2f зап/с\n', lambda);
fprintf('Інтенсивність обслуговування μ: %.2f зап/с\n', mu);
fprintf('Коефіцієнт завантаження ρ: %.4f\n', rho);
fprintf('Ймовірність черги (Pq): %.4f\n', Pq);
fprintf('Середня кількість заявок у черзі (Lq): %.4f\n', Lq);
fprintf('Середня кількість у системі (L): %.4f\n', L);
fprintf('Середній час у черзі (Wq): %.6f с\n', Wq);
fprintf('Середній час у системі (W): %.6f с\n', W);

```