

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Операційний автомат для багатозадачної системи масового обслуговування

Назва теми

КвРКІ. 190229.19.02.38 ПЗ

Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Виконав: студент IV курсу, група КІ2-19-2

Підпис

Левченко Д. В.

Ініціали, прізвище

Керівник

Підпис, дата

Кисіль Т. М.

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Підпис, дата

С.М. Лисенко

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Підпис

Т.О. Говорущенко

Ініціали, прізвище

«05» червня 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 11 ” 01 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Левченку Дмитрію Вікторовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Операційний автомат для багатофазної системи масового обслуговування

Керівник проекту (роботи) Кисіль Т.М., к.ф.-м.н., доц.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 1.03.2023 р. № 5

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОГО АВТОМАТУ БАГАТОФАЗНОЇ СМО

РЕАЛІЗАЦІЯ ОПЕРАЦІЙНОГО АВТОМАТУ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB





5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Q-схема

Двофазна СМО

Трифазна СМО

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 01 » 03 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	20.02.2022	виконав
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.03.2023	виконав
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	10.03.2023	виконав
4	Робота над розділом 2 – моделювання операційного автомату багатofазової СМО	20.04.2023	виконав
5	Робота над розділом 3 – реалізація операційного автомату в середовищі matlab	30.04.2023	виконав
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	24.05.2023	виконав
7	Попередній захист ВКР	25.05.2023	виконав
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2023 року	

Студент


Підпис

Левченко Д. В.

Ініціали, прізвище



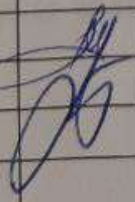
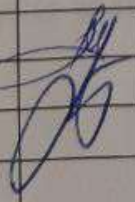
Керівник проекту (роботи)


Підпис

Т. М. Кисіль

Ініціали, прізвище

№ р я д к а	ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			Текстові документи			
1		КвРКІП 190229.19.02.38 ПЗ	Пояснювальна записка	62		
			Графічні матеріали			
2		КвРКІП 190229.19.02.38 ПЗ	Q-схема	1		
3		КвРКІП 190229.19.02.38 ПЗ	Двофазна СМО	1		
4		КвРКІП 190229.19.02.38 ПЗ	Трифазна СМО	1		

КвРКІП 190229.19.02.38 ВП					
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	
Розробив		Левченко			
Перевір.		Кисіль			
Н. контр.		Лисенко			
Запв.		Говорущенко		09.06	
Відомість проекту					
		Літера		Аркуш	Аркушів
		У		1	1
ХНУ, КІ2-19-2					

Дати 09.06.201

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Операційний автомат для багатофазної системи масового обслуговування».

Автор роботи: Левченко Дмитрій Вікторович.

Керівник роботи: Кисіль Тетяна Миколаївна.

Пояснювальна записка: 63 с., 29 рис., 5 табл., 3 дод., 30 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

Метою роботи по темі "Операційний автомат для багатофазової системи масового обслуговування" є розробка та моделювання операційного автомату, що використовується для управління багатофазовою системою масового обслуговування (СМО). Операційний автомат є ключовим елементом системи, який визначає логіку та поведінку СМО.

Основні цілі роботи включають:

1. Розробка моделі багатофазової СМО: Спочатку необхідно розробити модель багатофазової СМО, визначити її структуру та компоненти, такі як черги, сервери, генератори тощо. Це дозволить математично описати систему та визначити її основні характеристики.

2. Визначення логіки операційного автомату: Наступним кроком є визначення логіки та станів операційного автомату. Це включає визначення подій, переходів між станами, умов активації переходів та виконання дій у кожному стані. Операційний автомат повинен управляти процесом обслуговування заявок в СМО, враховуючи різні сценарії та умови.

Підпис студента



Дата 08.06.2023

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	3
ВСТУП	4
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ..	6
1.1 Операційний та керуючий автомати	6
1.2 Багатофазна система масового обслуговування	9
1.3 Висновки. Постановка задачі	13
2 МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОГО АВТОМАТУ БАГАТОФАЗНОЇ СМО	18
2.1 Операційний аналіз мереж систем масового обслуговування	18
2.2 Матричний аналіз мереж Петрі	21
2.3 Модульний принцип реалізації моделі багатофазної СМО	27
2.4 Висновок	36
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ	38
ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ	38
3.1 Основи роботи з середовищем.....	38
3.2 Операційний автомат в Simulink	40
3.3 Реалізація двофазної та трифазної СМО	45
3.4 Висновок	55
ВИСНОВКИ	57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	59
Додаток А Копія креслення «Q-схема».....	61
Додаток Б Копія креслення «Двофазна СМО».....	62
Додаток В Копія креслення «Трифазна СМО».....	63

КвРКП. 190229.19.02.38 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Операційний автомат для багатофазної системи масового обслуговування	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Левченко Д. В.						
Перевір.		Кисіль Т. М.						
Н.контр.		Лисенко С. М.						
Затверд.		Говорушенко Т. О.		09.01				ХНУ, КІ-19-2

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

ЦА – цифровий автомат

КА – керуючий автомат

ОА – операційний автомат

ПЛІС – програмована логічна інтегральна схема

АЛП – арифметико-логічний пристрій

ЦП – центральний процесор

ГСА – граф-схема алгоритму

ДДНФ – досконала диз'юнктивна нормальна форма

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

У сучасному світі, де швидкість та ефективність мають вирішальне значення, операційні автомати стають важливим інструментом для оптимізації процесів в різних сферах життя. Одним з важливих застосувань операційних автоматів є їх використання в багатофазових системах масового обслуговування.

Багатофазові системи масового обслуговування є складними системами, де задоволення потреб багатьох клієнтів вимагає обробки через кілька послідовних фаз або етапів. Наприклад, банківські системи, системи телекомунікаційного обслуговування та системи обслуговування клієнтів у ресторанах - це лише кілька прикладів таких систем.

Операційний автомат для багатофазової системи масового обслуговування - це математична модель, яка дозволяє аналізувати та оптимізувати продуктивність та ефективність таких систем. Використання операційних автоматів дозволяє враховувати різні параметри, такі як час обслуговування, кількість фаз, імовірність входу клієнтів та інші фактори, що впливають на процес обслуговування.

Застосування операційних автоматів у багатофазових системах масового обслуговування має великий потенціал для покращення якості обслуговування та зниження часу очікування клієнтів. Шляхом аналізу та оптимізації цих систем можна забезпечити оптимальне використання ресурсів, зменшити перевантаження та підвищити загальну продуктивність.

Розглянемо основні принципи та методики моделювання операційних автоматів для багатофазових систем масового обслуговування, а також їхнє застосування в реальних сценаріях. Вивчення цих аспектів допоможе зрозуміти потенціал операційних автоматів та їхню роль у покращенні ефективності та якості обслуговування у різних галузях діяльності.

Продовжуючи дослідження операційних автоматів для багатофазових систем масового обслуговування, важливо зазначити, що ці системи мають складну структуру, яка включає в себе кілька етапів обробки або послідовних фаз. Кожна фаза може мати власні характеристики, наприклад, тривалість

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
						4
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

обслуговування, кількість ресурсів, необхідних для проведення, та імовірність входу клієнтів.

Операційний автомат для таких систем моделює поведінку клієнтів та різних компонентів системи на кожному етапі обслуговування. Він дозволяє прогнозувати та аналізувати такі параметри, як час очікування клієнтів, середня тривалість обслуговування, завантаження ресурсів та інші показники ефективності системи. Це допомагає виявляти проблемні моменти та знаходити шляхи для їх вирішення.

Одним з основних застосувань операційних автоматів є оптимізація системи масового обслуговування. Шляхом визначення оптимальних параметрів на кожному етапі функціонування системи, таких як кількість ресурсів, призначених для кожної фази, алгоритми прийняття рішень та розподіл завдань між ресурсами, можна досягти підвищення продуктивності та зниження часу очікування клієнтів.

Крім того, операційні автомати дозволяють проводити різноманітні сценарійні аналізи та експерименти для оцінки різних стратегій обслуговування. Це дає змогу виявити оптимальний набір параметрів, що сприятимуть ефективному функціонуванню системи та задоволенню потреб клієнтів.

У підсумку, операційні автомати для багатофазових систем масового обслуговування відіграють ключову роль у покращенні продуктивності та якості обслуговування. Їхнє використання дозволяє розуміти та прогнозувати поведінку системи, знаходити оптимальні рішення та впроваджувати стратегії, спрямовані на поліпшення результатів. Таким чином, операційні автомати стають незамінним інструментом у сучасному управлінні багатофазовими системами масового обслуговування.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Операційний та керуючий автомати

Операційний автомат для багатофазової системи масового обслуговування є математичною моделлю, що дозволяє описати та аналізувати процеси обслуговування в системі з декількома фазами. Він складається з набору станів, подій та переходів між станами, що репрезентують різні етапи процесу обслуговування.

Операційний автомат дозволяє моделювати та вивчати різні аспекти багатофазової системи масового обслуговування.

Стани - кожен стан представляє фазу системи, в якій можуть відбуватись різні події або операції. Наприклад, можуть бути стани "очікування", "обробка", "відмова" тощо.

Події - які відбуваються в системі, наприклад, прихід заявок, закінчення обробки, перехід до наступної фази тощо.

Переходи - визначають умови, за яких система переходить з одного стану до іншого. Наприклад, можуть бути встановлені умови переходу після закінчення обробки заявки або в разі відмови.

Дії - які виконуються в кожному стані. Наприклад, це може бути обслуговування заявок, перехід до наступної фази, відхилення заявок тощо.

Керуючий автомат використовується для управління процесами в багатофазовій системі масового обслуговування. Він визначає правила обслуговування, призначення ресурсів та прийняття рішень щодо переходів між фазами.

Керуючий автомат може базуватись на різних алгоритмах та стратегіях, таких як алгоритми планування, розподіл ресурсів, пріоритети заявок тощо. Його мета полягає в забезпеченні оптимального використання ресурсів та покращенні продуктивності системи обслуговування.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

Операційний та керуючий автомати взаємодіють між собою, дозволяючи виконувати обслуговування заявок у різних фазах системи та забезпечувати ефективну роботу багатофазової системи масового обслуговування.

Вивчення та аналіз операційного та керуючого автоматів допомагає розуміти та вдосконалювати процеси обслуговування, впроваджувати оптимальні стратегії та досягати поставлених цілей продуктивності та якості обслуговування в багатофазовій системі масового обслуговування.

Операційний та керуючий автомати в багатофазовій системі масового обслуговування можуть бути використані для розв'язання різних завдань та досягнення певних цілей. Деякі з можливих застосувань.

Планування ресурсів - керуючий автомат може використовуватись для розподілу ресурсів між різними фазами системи обслуговування. Він може приймати рішення про виділення більше або менше ресурсів для кожної фази в залежності від потреб та пріоритетів.

Управління чергами - операційний автомат може використовуватись для керування чергами заявок в різних фазах системи обслуговування. Він визначає правила для прийняття нових заявок, вибору наступної заявки для обслуговування та перехід до наступної фази після обробки.

Оптимізація продуктивності - застосування операційного та керуючого автоматів дозволяє покращити продуктивність системи обслуговування. Шляхом аналізу та вдосконалення алгоритмів планування, розподілу ресурсів та стратегій переходів між фазами, можна досягти ефективного використання ресурсів та мінімізувати час обслуговування заявок.

Моделювання та прогнозування - операційний та керуючий автомати можуть використовуватись для моделювання роботи багатофазової системи масового обслуговування та прогнозування її продуктивності. Це дозволяє аналізувати вплив різних факторів, таких як інтенсивність приходу заявок чи розподіл часу обслуговування, на ефективність системи та приймати розумні рішення щодо оптимізації.

Операційний та керуючий автомати дозволяють вивчати, аналізувати та оптимізувати багатофазові системи масового обслуговування. Вони сприяють

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		7

покращенню якості обслуговування, підвищенню продуктивності та ефективності системи, а також забезпечують раціональне використання ресурсів.

Операційний та керуючий автомати можуть бути використані для вирішення таких завдань.

Аналіз ефективності - за допомогою операційного автомата можна оцінювати ефективність системи обслуговування. Шляхом збору та аналізу статистичних даних про прихід заявок, час обслуговування та час очікування, можна визначити показники продуктивності, такі як середній час обслуговування, середній час очікування та завантаження ресурсів.

Планування ємності - керуючий автомат може допомогти визначити оптимальну ємність системи обслуговування. Він дозволяє враховувати прогнозовану інтенсивність приходу заявок та розподіл часу обслуговування, щоб встановити необхідну кількість ресурсів та оптимальний розмір системи.

Управління пріоритетами. [4] Керуючий автомат може використовувати пріоритети для заявок та фаз системи обслуговування. Він дозволяє встановлювати правила, за якими заявки з вищим пріоритетом отримують перевагу у черзі та обслуговуються швидше.

Вивчення впливу змін - операційний та керуючий автомати можуть бути використані для дослідження впливу змін у системі, наприклад, зміни інтенсивності приходу заявок, розподілу часу обслуговування чи кількості ресурсів. Це дозволяє прогнозувати реакцію системи на зміни та розробляти ефективні стратегії управління.

Операційний та керуючий автомати є потужними інструментами для моделювання, аналізу та оптимізації багатофазових систем масового обслуговування. Вони допомагають покращити якість обслуговування, забезпечують оптимальне використання ресурсів та сприяють досягненню поставлених цілей продуктивності.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		8

1.2 Багатофазна система масового обслуговування

Багатофазна система масового обслуговування є особливим типом системи, який використовується для обробки великого потоку заявок за допомогою послідовності фаз обслуговування. Кожна фаза може мати власні характеристики та правила обслуговування, що робить систему більш гнучкою та ефективною.

У багатофазній системі масового обслуговування операційний автомат є одним із важливих компонентів. Він представляє собою абстрактну модель, яка регулює поведінку системи під час обробки заявок на різних фазах. Операційний автомат складається зі станів, переходів та дій, які виконуються на кожній фазі обслуговування.

Багатофазна система масового обслуговування (СМО) є важливим об'єктом дослідження та аналізу в області інженерії та управління. Вона використовується для моделювання та оптимізації різних процесів, які включають обслуговування потоку заявок або клієнтів у системі, що має кілька фаз або етапів.

У багатофазних СМО заявки пропускають через декілька послідовних етапів обслуговування, що можуть включати черги, канали обслуговування, переадресацію, чекання, відмову та інші. Кожен етап може мати свої власні характеристики, такі як середній час обслуговування, кількість ресурсів, ймовірність відмови, розподіл часу між етапами та інші параметри.

Розглядання багатофазної СМО дозволяє враховувати реалістичні умови та складності, що виникають у багатьох сучасних системах обслуговування. Наприклад, у банківських системах це може включати реєстрацію клієнтів, перевірку даних, обробку транзакцій та інші етапи. Виробничі лінії також можуть мати кілька фаз, які включають перевірку якості, упаковку, транспортування тощо.

Моделювання багатофазної СМО в Simulink надає можливість досліджувати та аналізувати ефективність та продуктивність таких систем. Використовуючи блоки та компоненти Simulink, можна побудувати детальну модель багатофазної СМО з урахуванням різних параметрів та впливу факторів.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		9

Результати моделювання в Simulink дозволяють оцінити ключові показники продуктивності СМО, такі як середній час обслуговування, кількість заявок в черзі, ймовірність відмови та інші. Це допомагає управлінцям та інженерам виявляти можливі проблеми, знаходити шляхи їх вирішення та оптимізувати роботу системи.

Загалом, моделювання багатофазної СМО в Simulink є потужним інструментом для вивчення та вдосконалення систем масового обслуговування. Він дозволяє проводити детальний аналіз, використовувати різні стратегії управління та впроваджувати оптимальні рішення для покращення продуктивності та задоволення потреб клієнтів.

Різні фази обслуговування в багатофазній системі представлені станами оперативного автомата. Кожен стан відповідає конкретній дії, яка виконується на цій фазі. Наприклад, стан "очікування" позначає, що заявка очікує своєї черги для обслуговування. Стани пов'язані між собою переходами, що відображають умови, за яких система переходить з одного стану в інший. Наприклад, після обробки заявки у стані "очікування", система може перейти до стану "обслуговування" або "видалення", залежно від певних умов.

У багатофазній системі масового обслуговування, крім оперативного автомата, також присутній керуючий автомат, який визначає стратегію керування заявками та ресурсами в системі. Керуючий автомат встановлює правила для прийому заявок, розподілу ресурсів між фазами та прийняття рішень щодо переходу між фазами.

Оперативний автомат співпрацює з керуючим автоматом з метою забезпечення ефективного та оптимального функціонування багатофазної системи масового обслуговування. Він виконує визначені дії відповідно до поточного стану та команд, отриманих від керуючого автомата. Ця взаємодія дозволяє системі ефективно керувати заявками, забезпечуючи мінімальний час обслуговування та оптимальне використання ресурсів.

Автоматичний контролер для системи масового обслуговування є потужним інструментом, що дозволяє моделювати, аналізувати та оптимізувати такі системи. Використання цього інструменту дозволяє [23] досліджувати різні

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		10

стратегії управління та розробляти оптимальні рішення для покращення продуктивності, скорочення часу очікування та підвищення якості обслуговування в системах масового обслуговування з багатьма фазами.

У різних сферах людської діяльності часто виникає значний попит на певні послуги. Системи, які задовольняють цей попит, називаються системами масового обслуговування. Ми зустрічаємось з такими системами щодня. Це можуть бути процеси обслуговування у магазинах, кафе, бібліотеках, на заправках, у транспортних системах, сервісних центрах та інших галузях. Навіть виробничі процеси можна розглядати як системи масового обслуговування. Моделі систем масового обслуговування мають велике значення як у теорії, так і в практиці.

Кожна система масового обслуговування складається з одного або кількох обслуговуючих пристроїв, і черги формуються згідно з запитом, які потрібно обслужити. Вимоги можуть бути представлені різними способами - повідомленнями, клієнтами, замовленнями, дзвінками і т.д. Правила або алгоритми, за якими взаємодіють обладнання та попит, називаються правилами обслуговування та організації черги.

Система масового обслуговування вивчається за допомогою теорії масового обслуговування (фахівці в західних країнах називають це теорією масового обслуговування). Важливим класом завдань теорії масового обслуговування є визначення місця накопичення попиту в системі обслуговування, наприклад, визначення необхідної кількості місць на полиці складу, кількості місць у лікарняній палаті тощо.

У більшості випадків системи масового обслуговування моделюються для визначення таких показників як:

- середня кількість запитів, які може обслужити система за одиницю часу;
- ймовірність того, що в обслуговуванні запиту буде відмовлено;
- середній час очікування заявок у черзі;
- середня кількість заявок у черзі;
- коефіцієнт завантаження обслуговуючого обладнання;

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		11

- середня кількість апаратів, зайнятих обслуговуванням;
- розподіл часу попиту в системі;
- розподіл часу очікування;
- розподіл кількості заявок в черзі.

Аналітичне моделювання систем масового обслуговування використовує математичні моделі для опису та аналізу таких систем. Однак, аналітичне моделювання можливе лише у певних випадках, коли виконуються певні припущення про систему. Наприклад, аналітичні моделі можуть бути застосовані, якщо потік подій є детермінованим [45] або стаціонарним, а також у деяких спеціальних випадках випадкових потоків подій.

Перші теоретичні результати про системи масового обслуговування були отримані Агнером Крарупом Ерлангом, датським вченим, на початку 20-го століття. Він вивчав проблеми, пов'язані з обслуговуванням телефонних дзвінків у Копенгагенській телефонній компанії.

Система масового обслуговування характеризується потоком вхідних заявок, правилами постановки та вибору заявок в чергу, правилами обслуговування і режимом роботи системи. Потік подій представляє собою послідовність однотипних ситуацій, що виникають одна за одною в будь-який момент часу. Наприклад, поява покупців у магазині може бути прикладом потоку подій.

Одним з головних параметрів потоку подій є інтенсивність (λ), яка представляє собою середню кількість подій, що відбуваються за одиницю часу. Інтенсивність може бути постійною ($\lambda = \text{const}$) або залежати від часу (t).

Детермінований потік подій має відомі інтервали часу між сусідніми подіями, які можуть бути регулярними, якщо ці інтервали однакові, або нерегулярними, якщо вони різні. Випадковий потік подій містить випадкові інтервали часу між сусідніми подіями. Стаціонарний потік [15] подій є таким, що його ймовірнісні властивості не залежать від часу.

Неперервний потік подій має властивість, що ймовірність настання певної кількості подій за заданий інтервал часу не залежить від кількості і часу настання

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
						12
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

подій, які вже відбулися в системі. Наприклад, потік миттєвостей часу елементарних частинок є неперервним. Дискретний потік подій включає окремі події, які відбуваються незалежно одна від одної, наприклад, потік автомобілів, що проїжджає повз спостерігача на односмуговій дорозі.

Стаціонарний пуассонівський або найпростіший потік це потік, який містить стаціонарність, окремість та відсутність післядії.

Коли мова йде про потік вимог, це означає, що події в потоці визначаються появою вимог. Щоб описати потік вхідних заявок, необхідно визначити закон надходження, який визначає часи надходження заявок до системи, а також вказати кількість заявок, які можуть надійти одночасно.

Закон надходження може бути класифікований як детермінований, коли заявки надходять в систему в строго визначені моменти часу, або ймовірнісний, коли міжзаявкові інтервали є випадковими величинами з певним розподілом.

Крім того, для повного опису потоку вхідних заявок необхідно вказати кількість заявок, які можуть надійти одночасно. У деяких системах заявки можуть надходити групами або пакетами, і такі системи називаються пакетними.

Стаціонарний пуассонівський (найпростіший) потік вимог має ключову роль серед інших потоків. Справа в тому, що коли накладається достатньо велика кількість незалежних потоків, то виникає потік, який є подібним до пуассонівського. На практиці припускають, що вхідний потік є пуассонівським, за умови якщо вимоги надходять до системи від чималої кількості незалежних джерел. Прикладом таких потоків можуть слугувати дзвінки абонентів у мережі або рух автівок біля спостерігача по одній смузі руху.

1.3 Висновки. Постановка задачі

Дослідження предметної області операційних автоматів для багатофазових систем масового обслуговування має на меті вивчення та розуміння принципів, методів та технік, які застосовуються у моделюванні [23] [1] [8] та оптимізації таких систем. Основною метою дослідження є поліпшення продуктивності та якості обслуговування у багатофазових середовищах.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		13

Однією з основних задач дослідження є аналіз та класифікація багатофазових систем масового обслуговування, зокрема їхніх структур, властивостей та особливостей. При цьому дослідники звертають увагу на кількість фаз, взаємозв'язки між ними, характеристики обслуговування та потоки клієнтів. Таке дослідження дозволяє отримати глибоке розуміння функціонування багатофазових систем та виявити їхні основні проблеми.

Іншою важливою задачею є розробка математичних моделей операційних автоматів для багатофазових систем масового обслуговування. Це включає формалізацію процесів, які відбуваються на кожній фазі, визначення ймовірностей, тривалостей обслуговування та інших параметрів, що впливають на роботу системи. Розроблення математичних моделей дозволяє проводити аналіз та експерименти з системою, робити прогнози та знаходити оптимальні стратегії її управління.

Постановка задачі полягає в визначенні конкретної проблеми, яку потрібно вирішити за допомогою операційного автомату для багатофазової системи масового обслуговування. Наприклад, це може бути оптимізація часу очікування клієнтів, зменшення завантаження ресурсів, покращення якості обслуговування або розробка ефективних алгоритмів розподілу завдань між фазами обслуговування. Постановка задачі [17] [16] [1] є важливим кроком у дослідженні, оскільки вона дозволяє сфокусуватися на конкретних цілях та вирішити практичні проблеми багатофазових систем масового обслуговування.

У підсумку, дослідження предметної області операційних автоматів для багатофазових систем масового обслуговування передбачає вивчення, моделювання та оптимізацію таких систем з метою покращення продуктивності та якості обслуговування. Постановка задачі уточнює конкретні цілі та проблеми, які дослідники прагнуть вирішити в цій області. Додатковою задачею в дослідженні предметної області операційних автоматів для багатофазових систем масового обслуговування є розробка методів оцінки та порівняння різних стратегій управління. Це включає розробку показників ефективності, які дозволяють оцінити результати роботи системи та зробити обґрунтовані висновки щодо найкращих підходів. Також, важливою задачею є визначення оптимальних

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		14

параметрів системи масового обслуговування. Це означає встановлення оптимальної кількості ресурсів для кожної фази, розробку ефективних алгоритмів розподілу завдань та прийняття рішень, а також оптимізацію процесів обслуговування для досягнення максимальної продуктивності. Додатковою задачею може бути розробка алгоритмів прогнозування та управління попитом. Це дозволяє системі адаптуватися до змінних умов та впливати на попит, щоб забезпечити оптимальне використання ресурсів та забезпечити задоволення клієнтів. Нарешті, важливою задачею є валідація розроблених моделей та стратегій на реальних даних або за допомогою симуляційних експериментів. Це дозволяє перевірити ефективність та працездатність розроблених рішень та забезпечити їхню практичну застосовність. Усі ці задачі в сукупності спрямовані на розвиток та вдосконалення операційних автоматів для багатофазових систем масового обслуговування з метою забезпечення ефективного та якісного обслуговування клієнтів. Дослідження в цій області має значний практичний потенціал для застосування у різних сферах, таких як транспорт, телекомунікації, логістика, медицина та інші.

Операційний автомат дозволяє враховувати різні стани, переходи між ними та дії, які здійснюються в кожному стані. Основні компоненти постановки задачі для операційного автомату багатофазової системи масового обслуговування можуть включати.

Визначення фаз системи - кожна фаза представляє певний стан системи, в якому можуть відбуватись різні події або операції.

Визначення подій - це події, що відбуваються в системі, наприклад, прихід заявки, обробка заявки, перехід між фазами тощо.

Визначення станів та переходів: Стани відображають різні умови або етапи процесу обслуговування. Переходи визначають умови, за яких система переходить з одного стану до іншого.

Визначення правил обслуговування - це правила, що встановлюють, які заявки обслуговуються в кожній фазі, якщо такі є.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		15

Визначення характеристик системи - це метрики, за допомогою яких оцінюються продуктивність та ефективність системи, такі як середній час обробки заявки, середній час очікування та інші.

Операційний автомат для багатофазової системи масового обслуговування є потужним інструментом для моделювання та аналізу процесів обслуговування в системах з декількома фазами. Він дозволяє визначити ефективність та продуктивність системи, ідентифікувати можливі проблеми та здійснювати оптимізацію процесів.

Він відіграє важливу роль у різних галузях, таких як телекомунікації, транспорт, логістика та багато інших. Його використання дозволяє аналізувати та вдосконалювати процеси обслуговування, забезпечувати оптимальне використання ресурсів та покращувати якість обслуговування.

Можна враховувати різні аспекти.

Тип системи - визначення, чи є система відкритою або закритою. У відкритій системі заявки надходять зовні, тоді як у закритій - заявки створюються в межах самої системи.

Характеристики заявок - опис властивостей заявок, таких як час приходу, час обробки, пріоритети тощо. Це допомагає врахувати різні типи заявок та їх вплив на процес обслуговування.

Розподіл часу обслуговування - визначення розподілу часу, необхідного для обробки заявок в кожній фазі. Це може бути розподіл Ерланга, розподіл Пуассона або інший відповідний розподіл.

Метрики продуктивності - визначення метрик, які дозволяють оцінити продуктивність системи, наприклад, середній час очікування, середній час обслуговування, інтенсивність обробки заявок та інші.

Методи аналізу - використання математичних методів, стохастичних процесів або симуляцій для моделювання та аналізу роботи системи, її стійкості, оптимальності та ефективності.

Операційний автомат для багатофазової системи масового обслуговування є потужним інструментом, що дозволяє вивчати та оптимізувати процеси обслуговування. Він допомагає вирішувати проблеми з чергами, розподілом

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		16

ресурсів та забезпечувати якість обслуговування з точки зору ефективності та заданих метрик продуктивності.

В рамках вивчення операційного автомату для багатофазової системи масового обслуговування, можна провести додатковий аналіз та розглянути такі аспекти:

Оптимізація процесів - [14] [22] [29] дослідження можливостей оптимізації процесів обслуговування, наприклад, застосування розподілу ресурсів між фазами, встановлення пріоритетів для заявок, впровадження різних алгоритмів планування, які покращують продуктивність та ефективність системи.

Чутливість до змін - вивчення реакції системи на зміни у вхідних параметрах, таких як інтенсивність приходу заявок, розподіл часу обслуговування або кількість ресурсів. Це дозволяє прогнозувати, як система буде вести себе у різних умовах та розробляти стратегії управління, що враховують змінні фактори.

Масштабування системи - розгляд можливостей масштабування системи для забезпечення обслуговування більшої кількості заявок або розширення функціональності. Це включає аналіз можливостей розширення ресурсів, оптимізацію алгоритмів та оцінку впливу змін на продуктивність системи.

Визначення оптимальних параметрів - встановлення оптимальних значень параметрів системи, таких як кількість фаз, кількість ресурсів, алгоритми планування тощо, з метою досягнення найкращих результатів у контексті заданих метрик продуктивності та ефективності.

Вивчення цих аспектів допомагає зрозуміти та вдосконалити роботу багатофазової системи масового обслуговування, сприяє підвищенню якості обслуговування та забезпеченню заданих цілей продуктивності.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
						17
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАЦІЙНОГО АВТОМАТУ БАГАТОФАЗНОЇ СМО

2.1 Операційний аналіз мереж систем масового обслуговування

Мережі систем масового обслуговування складаються з вузлів, які є простими системами масового обслуговування. Найпростішою мережею є послідовне з'єднання декількох таких систем, яка має назву багатофазної мережі. Втім, існують більш складні мережі. На рисунок 2.1 показано приклад мережі, що складається з чотирьох вузлів. Зовнішнє середовище позначене нулем, а стрілки виконують роль напрямку руху вимог.

Операційний аналіз мереж систем масового обслуговування застосовується до мереж з балансованим потоком вимог: число вимог, що залишають мережу протягом певного періоду часу, повинно дорівнювати числу вимог, що потрапляють до мережі за цей самий період часу. Тобто завдяки операційному аналізу можна досліджувати мережі, які працюють з перевантаженням, коли завжди є черга вимог. В цьому випадку, коли одна вимога залишає мережу, до неї негайно приходить інша вимога.

До того ж, щоб застосувати операційний аналіз до мереж систем масового обслуговування, існує припущення, що при процесі надходження вимог один вузол не залежить від довжини черг та часу обслуговування вимог в інших вузлах.

Операційний аналіз часто використовується, щоб визначити коефіцієнти завантаження вузлів мережі та аналізувати вузькі місця в ній.

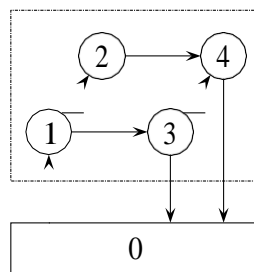


Рисунок. 2.1 - Завантаження вузлів мережі та аналізувати вузькі місця в ній

Визначимо основні змінні, які можна безпосередньо виміряти в реальній системі:

q_{0j} - ймовірність надходження вимог з зовнішнього середовища до j -го вузла мережі. Це вказує на ймовірність того, що вимога надійде до певного вузла мережі з зовнішнього середовища. Індекс j , який може мати значення від 1 до n , вказує на номер конкретного вузла, а n - загальна кількість вузлів у мережі.

q_{kj} - ймовірність надходження вимог від k -го до j -го вузла мережі. Це вказує на ймовірність того, що вимога перейде від вузла k до вузла j у мережі. Індеси k і j відповідають номерам вузлів мережі.

q_{k0} - ймовірність того, що після обслуговування у k -му вузлі вимоги покинуть мережу. Це вказує на ймовірність того, що після завершення обслуговування вузлом k вимоги залишаться в мережі, а не перейдуть до наступного вузла.

A_k - кількість вимог, що надійшли до k -го вузла протягом спостереження системи. Це загальна кількість вимог, що надійшли до конкретного вузла протягом певного періоду часу.

A_{0j} - кількість вимог, що надійшли з зовнішнього середовища до j -го вузла протягом спостереження системи. Це загальна кількість вимог, що надійшли з зовнішнього середовища. S_{kj} - кількість вимог, які покинули k -ий вузол і перейшли до j -го вузла мережі протягом спостереження системи. Це загальна кількість вимог, які покинули один вузол та перейшли до іншого вузла мережі.

S_{k0} - кількість вимог, які покинули k -ий вузол і повернулися до зовнішнього середовища протягом спостереження системи. Це загальна кількість вимог, які покинули вузол k та повернулися до зовнішнього середовища.

T - загальний час спостереження системи. Це період часу, протягом якого відбувалося спостереження за системою.

V_k - загальний час обслуговування вимог у k -ому вузлі. Це сумарний час, протягом якого вимоги перебували в обробці у вузлі k . Вузол вважається зайнятим, якщо в ньому присутня хоча б одна вимога.

У даному контексті, зовнішнє середовище позначається як "нуль", що вказує на початкову точку, з якої надходять вимоги до системи.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		19

C_k — вимоги, які залишили k -й вузол, A_0 — вимоги, які надійшли до вузлів мережі, C_0 — кількість вимог, які залишили мережу.

В операційному аналізі загальні співвідношення виражаються [2] у вигляді операційних залежностей. Щодо імовірності переміщення вимог між вузлами, можна сформулювати наступну математичну формулу

Останній вираз — це закон коефіцієнта використання вузла.

Рівність $A_0 = C_0$ є індикатором рівноваги [30] між вхідним та вихідним потоками вимог у мережі. Це означає, що кількість вимог, які надійшли з зовнішнього середовища до мережі (A_0), повинна бути рівною кількості вимог, які залишили мережу й повернулись у зовнішнє середовище (C_0).

Рівності $A_j = C_j$, де $j = 1, 2, \dots, n$, свідчать про збалансованість вхідних та вихідних потоків вимог для окремих вузлів мережі. Це означає, що кількість вимог, які надійшли до певного вузла (A_j), повинна бути рівною кількості вимог, які покинули цей вузол та перейшли до інших вузлів мережі (C_j).

У припущенні, що $A_j = C_j$, $j = 0, 1, \dots, n$, має місце система балансу потоків вимог. Поділивши всі рівняння останньої системи на T , отримаємо систему, що й потрібно було довести.

У вас є мережа систем (2.1) масового обслуговування з перевантаженням. Позначену символом ".". Задано середні часи обслуговування вимог у кожному вузлі: $S_1 = 0,05$, $S_2 = 0,03$, $S_3 = 0,09$, $S_4 = 0,01$. Вам потрібно виявити вузькі місця в мережі та визначити максимальну кількість вимог. Також вам потрібно обчислити коефіцієнти використання (рис. 2.2) для всіх вузлів мережі і вихідні потоки з кожного вузла для знайденої вхідної потоку (рис. 2.3).

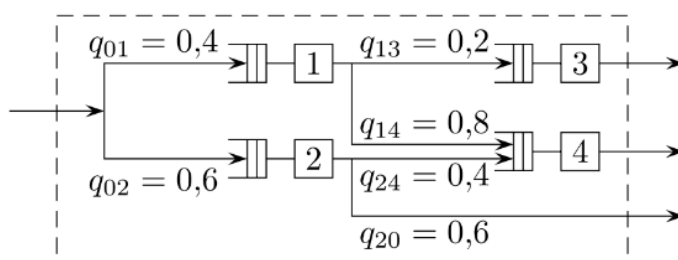


Рисунок. 2.2 - Вихідні потоки з кожного вузла для знайденої вхідної потоку

$$\begin{aligned}
X_0 &= X_3 + X_4 + 0,6X_2, \\
X_1 &= 0,4X_0, \\
X_2 &= 0,6X_0, \\
X_3 &= 0,2X_1, \\
X_4 &= 0,8X_1 + 0,4X_2
\end{aligned}
\tag{2.1}$$

За формулами (2.2) визначаємо коефіцієнти, що використовують вузли через інтенсивність вхідного потоку X_0 :

$$U_1 = 0,02X_0, \quad U_2 = 0,018X_0, \quad U_3 = 0,0072X_0, \quad U_4 = 0,0056X_0 \tag{2.2}$$

Після проведення розрахунків коефіцієнта [27] використання для кожного вузла, виявилось, що найвищим значенням є коефіцієнт використання першого вузла. Це свідчить про те, що саме перший вузол є найбільш навантаженим у мережі. Оскільки коефіцієнт використання вузла не може перевищувати 1, з рівняння $0,02X_0 = 1$ отримуємо значення $X_0 = 50$, що є максимальною інтенсивністю вхідного потоку. Тепер ми можемо розрахувати відповідні значення інтенсивностей вихідних потоків і коефіцієнтів використання для всіх вузлів мережі.

2.2 Матричний аналіз мереж Петрі

Мережі Петрі є одним з видів математичного моделювання, які використовуються, щоб моделювати асинхронні паралельні системи та процеси. Вперше мережі Петрі були згадані в докторській дисертації німецького математика Карла Адама Петрі в 1962 році.

Мережі Петрі [15] [11] застосовуються у багатьох галузях, включаючи дослідження і моделювання телекомунікаційних мереж, обчислювальних, виробничих і організаційних систем. Вони знаходять застосування, проектуючи мобільні телефони, системи електронних розрахунків, системи керування рухом

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		21

поїздів, системи безпеки та контролю доступу, а також плануючи військові операції і навчання.

Наш розгляд мереж Петрі буде оглядовим і зосередиться на їх найпростішому класичному розумінні. Повне викладення теорії мереж Петрі потребує окремої книги.

Мережа Петрі це орієнтований дводольний граф, який складається з чотирьох базових елементів: вузлів, переходів, дуг і маркерів. У літературі вузли іноді мають назви позицій або вершин, дуги - ребер, а маркери - фішок. Дводольний граф - це тип графу, у якому вершини можна розділити на дві неперетинаючі множини, і жодне ребро не з'єднує вершини з однієї множини. В такому графі використовуються два типи вершин - вузли і переходи, що відображають різні стани або елементи мережі.

Переходи є активними елементами мережі і представлені прямокутниками або рисками. Вони визначають дії, що відбуваються при спрацьовуванні переходів. Вузли відображають стани, в яких може перебувати мережа або її частина, і позначаються кружками. Для з'єднання елементів протилежних типів (вузол з переходом або перехід з вузлом) використовуються дуги. Дуги - це лінії зі стрілками на кінцях, які вказують напрямок переходу.

Також можна використовувати маркери в мережі для позначення кількості елементів або ресурсів. Маркери можуть бути розміщені всередині вузлів і переміщуватись по мережі шляхом активації переходів. Якщо кількість маркерів велика, то вузли можуть відображати число, що відповідає кількості маркерів, замість крапок.

Дуги в мережі можуть [16] [5] бути простими або кратними, залежно від того, чи дозволяється багаторазове проходження через них. Давайте спочатку розглянемо випадок з простими дугами.

Простий перехід вважається дозволеним (активованим), якщо всі вхідні вузли містять маркери. На рисунках 2.4 і 2.5 представлені приклади дозволених та недозволених переходів.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		22

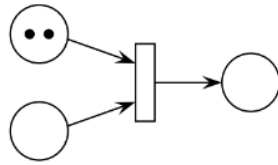


Рисунок. 2.4 - Дозволений перехід

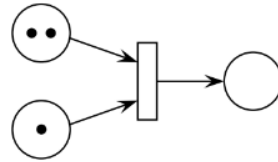


Рисунок. 2.5 - Недозволений перехід

Якщо дозволений перехід активується, він виконує свою функцію. При активації переходу з простими дугами, з кожного вхідного вузла вилучається по єдиному маркеру, і в кожному вихідному вузлі розміщується по одному маркеру (див. рисунок. 2.6).



Рисунок. 2.6 - Графічне зображення спрацювання переходу

Для найбільш точного моделювання об'єктів, зручно використовувати кратні дуги. У графічному представленні [19] [21] кратні дуги зазвичай зображаються як одна дуга з вказаною кратністю. Це означає, що між двома вершинами може існувати кілька дуг, які представляються як одна дуга (рис. 2.7) з кратністю, що вказує на кількість таких дуг. Такий граф мережі фактично є мультиграфом, де кратність дуги відображається як її вага або кількість повторень.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



Рисунок. 2.7- Графічне зображення спрацювання переходу

Для того, щоб перехід у випадку кратних дуг (рис. 2.8) був дозволений, в кожному вхідному вузлі цього переходу повинно бути принаймні стільки маркерів, яка відповідає кратності відповідної дуги. При активації цього переходу з кожного вхідного вузла видаляються маркери у кількості, що відповідає кратності дуги, а в кожному вихідному вузлі розміщується стільки маркерів, яка відповідає кратності дуги з переходу до цього вузла.

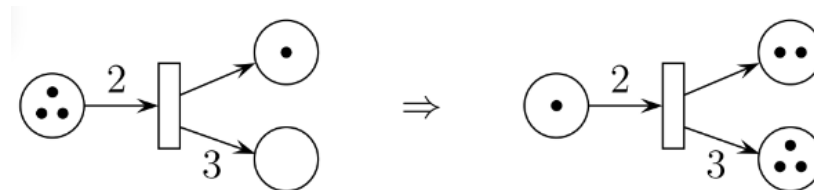


Рисунок. 2.8 - Активації переходу

У класичній мережі (Петрі) перехід спрацьовує миттєво і швидко. У один і той же момент часу може бути кілька дозволених переходів, але тільки один з них спрацьовує, випадковим чином. Вибір переходу для спрацювання є недетермінованим і залежить від випадкових факторів у мережі. Після спрацювання переходу в мережі знову можуть з'явитися один або кілька дозволених переходів, з яких буде обрано лише один.

Мережа Петрі дозволяє описати різні допустимі варіанти поведінки модельованих систем. Іноді може статися так, що спрацювання певного переходу (або послідовності переходів) призводить систему до тупикової ситуації, коли жоден перехід не може бути активований. Побудова та аналіз мереж Петрі допомагає виявити всі можливі варіанти поведінки реальних систем, включаючи

тупикові ситуації. У мережах Петрі (рис. 2.9) можуть існувати петлі, але таку мережу завжди можна подати у вигляді мережі без петель, додавши додатковий вузол і перехід.

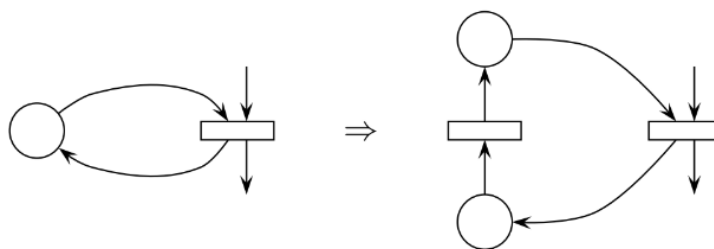


Рисунок. 2.9 - Вузли співвідношення з умовами

Класичні мережі Петрі є дискретно-ймовірнісними моделями, що означає, що вони враховують ймовірність виникнення певних подій.

Давайте розглянемо приклад мережі Петрі N_1 (рис. 2.10), яка використовується для передачі односторонніх повідомлень та підтвердження їх прийняття.

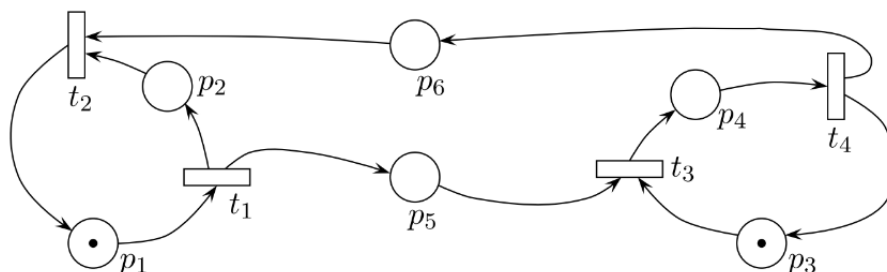


Рисунок. 2.10 - Мережа N_1

Мережа Петрі N_1 , зображена на рисунку 2.2.9, складається з чотирьох переходів та вузлів, які відображають дії пов'язані з відправленням і прийманням повідомлень, а також підтвердженням їх прийняття. Послідовність переходів у цій мережі є циклічною: t_1, t_3, t_4, t_2 .

Формальне визначення мережі Петрі та її матричне подання зазвичай описуються наступним чином: мережа Петрі $G = (P, T, F)$, де $P = \{p_i\}, i = 1, 2, \dots, m$, представляє собою непорожню скінчену множину вузлів, $T = \{t_j\}, j = 1, 2, \dots, n$, представляє собою непорожню скінчену множину переходів, а F - функція

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

інцидентності, яка встановлює зв'язок між елементами множини P і T . Функція $F : P \times T \cup T \times P \rightarrow N_0$, де $N_0 = N \cup \{0\}$, визначає наявність і кратність дуг.

Мережу Петрі також можна розглядати з точки зору її розмітки (маркування), яка визначає розміщення маркерів у вузлах. Розміткою мережі Петрі є відображення $M : P \rightarrow N_0$, де M_0 - початкова розмітка. Значення розмітки для кожного вузла відповідають кількості маркерів у цьому вузлі.

Отже, мережу Петрі N_1 можна формально записати таким чином, використовуючи вищезгадані позначення та визначення.

$$\begin{aligned} N_1 &= (P, T, F, M_0), \\ P &= \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6\}, \quad T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}, \\ F(p_1, t_1) &= 1, \quad F(p_2, t_2) = 1, \quad F(p_3, t_3) = 1, \quad F(p_4, t_4) = 1, \\ F(p_5, t_3) &= 1, \quad F(p_6, t_2) = 1, \quad F(t_1, p_2) = 1, \quad F(t_1, p_5) = 1, \\ F(t_2, p_1) &= 1, \quad F(t_3, p_4) = 1, \quad F(t_4, p_3) = 1, \quad F(t_4, p_6) = 1, \quad M_0(p_3) = 1. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Для скорочення обсягу запису вказуються лише ненульові значення функцій F і M_0 , які відповідають кратним дугам. В такому випадку, значення функції F будуть більшими за одиницю, щоб відображати кратність дуги.

Матричне подання використовується разом із графічним і теоретико-множинним визначенням мереж Петрі. Функцію інцидентності F можна представити у вигляді матриць B і D .

Матриця B представляє зв'язки між позиціями (рядками) і переходами (стовпцями) мережі Петрі. Елемент $B[i][j]$ вказує, скільки разів дуга виходить з позиції i і входить в перехід j .

Матриця D представляє зв'язки між переходами (рядками) і позиціями (стовпцями) мережі Петрі. Елемент $D[i][j]$ вказує, скільки разів дуга виходить з переходу i і входить в позицію j .

Таким чином, матричне подання забезпечує зручний спосіб визначення зв'язків і кратності дуг в мережі Петрі.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		26

Матрицю B називають матрицею входів, а матрицю D — матрицею виходів. Для мереж без петель замість матриць B і D можна використовувати одну матрицю $C = D - B$. Її називають матрицею змінювань.

2.3 Модульний принцип реалізації моделі багатофазної СМО

Застосування блокового принципу при побудові моделюючого алгоритму дозволяє ефективно зменшити час, витрачений на моделювання системи S . Це досягається шляхом організації програмних модулів, що уникне повторного перегляду ситуацій. Блокова схема моделюючого алгоритму також є більш простою, ніж підхід без виокремлених модулів. Автономність процедур підмодуля C_2 дозволяє їх паралельне програмування і налагодження, при цьому описані процедури можуть бути стандартизовані і використовуватись для автоматизації процесу моделювання системи.

Щодо перспектив, блоковий підхід створює прекрасну основу для автоматизації імітаційних експериментів з системними моделями. Ця автоматизація може охоплювати формалізацію процесу функціонування системи S , підготовку вихідних даних для моделювання, аналіз властивостей машинної моделі MM системи, планування і проведення машинних експериментів, а також обробку та інтерпретацію результатів моделювання. Ці машинні експерименти мають науковий характер і повинні пропонувати методи не лише для розв'язання конкретних завдань, але й для визначення меж ефективного використання цих методів і оцінки їх можливостей. Тільки [25] шляхом автоматизації процесу моделювання створюються перспективи використання моделювання як інструмента повсякденної роботи системних спеціалістів.

Розглянемо використання Q -схем для формального опису функціонування системи S , де виникають заявки на обслуговування та завершення обслуговування випадковим чином, що характеризує стохастичний процес їх руху. Зазвичай вхідні потоки заявок зовнішнього середовища E та вихідні потоки обслугованих заявок утворюються через моменти надходження та завершення обслуговування.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		27

Для формалізації [25] [29] реальної системи за допомогою Q-схеми необхідно побудувати її структуру. У структурі Q-схеми використовуються елементи трьох типів: Д (джерела), Н (накопичувачі) та К (канали обслуговування заявок). На рисунку 2.2.10 наведений приклад структури системи S у вигляді Q-схеми. Поміж ліній, що відображають рух заявок у Q-схемі, можуть існувати різні керуючі зв'язки. Наприклад, блокування обслуговуючих каналів (на вході та на виході) представлені у вигляді трикутників, а керуючі зв'язки показані пунктирними лініями. Блокування каналу на вході означає його відключення від вхідного потоку заявок, а блокування каналу на виході показує, що заявка, яка вже обслугована цим каналом, залишається в ньому до зняття блокування (відкриття трикутника). Відсутність блокування перед накопичувачем може призвести до переповнення, що спричинить втрату заявок. Крім вихідного потоку [18] обслугованих заявок (рис. 2.11) може існувати також потік втрачених заявок.

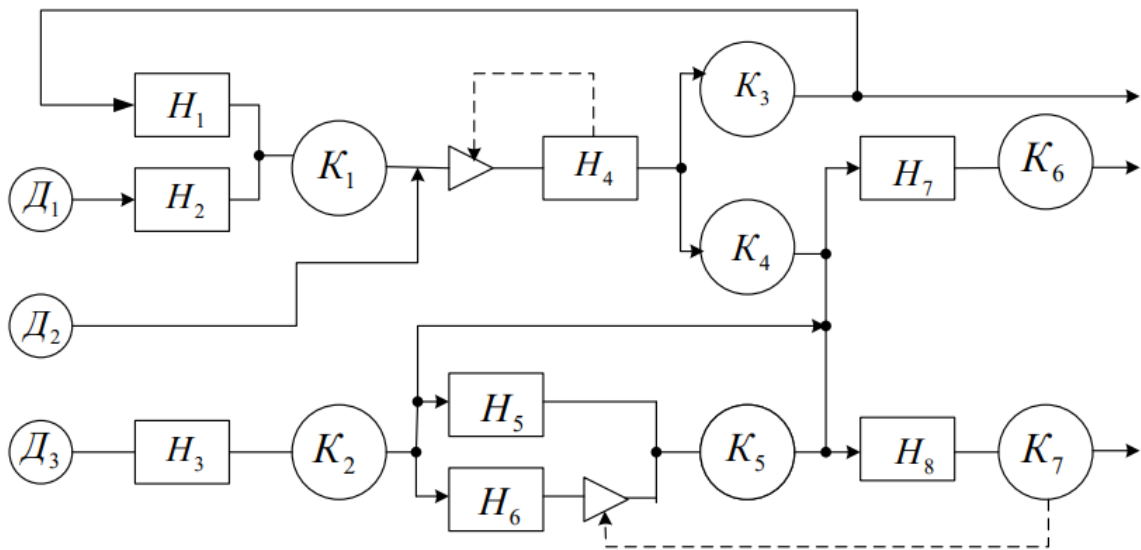


Рисунок. 2.11 - Структура системи, представленої у вигляді Q-схеми

Вище зазначено, що для задання Q-схеми необхідно включити наступні елементи.

1. Потоки подій - це вхідні потоки заявок і потоки обслуговування для кожної фази Н і каналів обслуговування К. Вони [26] [13] характеризуються інтенсивністю, розподілом міжприходних часів та розподілом розмірів заявок.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

2. Структура системи S - це опис структури системи, включаючи кількість фаз (L), кількість каналів обслуговування (KL) і кількість накопичувачів (LH) для кожної фази обслуговування заявок. Також визначається зв'язок між джерелами (D), фазами (H) і каналами обслуговування (K).

Алгоритми функціонування системи визначають правила, які впливають на очікування заявок у фазі H , вибір заявок для обслуговування в каналі K і виходу заявок з фази H і каналу K . Ці правила можуть включати такі концепції, як черги, пріоритети, алгоритми вибору та інші.

Тепер розглянемо, як можна формалізувати впливи зовнішнього середовища E у Q -схемах у вигляді джерел (D). Джерела відображають зовнішні впливи, що впливають на систему. Вони можуть бути подіями, що відбуваються у середовищі або вхідними потоками заявок. Формування однорідних потоків подій, які задаються у загальному вигляді багатовимірними інтегральними законами або щільностями розподілу ймовірностей, можна реалізувати за допомогою методів машинної імітації k -мірних векторних величин, про які ми розмовляли раніше.

При моделюванні у форматі Q -схеми часто виникають задачі імітації потоків заявок з різними обмеженнями. Це може спростити як математичний опис, так і програмну реалізацію цих потоків.

При розробці модельних алгоритмів для Q -схем важливо забезпечити, щоб вони адекватно відображали процес функціонування системи S і не створювали складнощів при машинній реалізації моделі MM . Основні вимоги до модельних алгоритмів включають.

Універсальність стосовно структури, алгоритмів функціонування і параметрів системи S .

Забезпечення одночасної (в один і той же момент системного часу) і незалежної роботи необхідної кількості елементів системи S .

Використання прийнятних витрат ресурсів ЕОМ (машинного часу і пам'яті) для реалізації машинного експерименту.

При розробці Q -схеми важливо розбивати її на автономні логічні частини, що дозволяє побудувати блокову структуру алгоритму. Це дозволяє розбити

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		29

систему на окремі блоки, які відповідають певному функціоналу або логічній частині системи. Це полегшує аналіз, моделювання та розуміння роботи системи в цілому.

Крім того, важливо гарантувати виконання рекурентного правила в Q-схемі. Це означає, що подія, яка відбувається в певний момент часу t_k , може бути моделювана лише після врахування всіх подій, що сталися в попередній момент часу $t_{k-1} < t_k$. Це забезпечує послідовність обробки подій і коректність моделювання системи.

Крім того, важливо [16] [25] враховувати, що поява однієї заявки в потоці заявок в певний момент часу t може призвести до зміни стану не більше ніж одного елемента в Q-схемі. Однак завершення обслуговування заявки до послідовної зміни станів кількох елементів (фаз N та каналів K) може призвести до розповсюдження змін станів в напрямку, протилежному руху заявок у системі S . Це означає, що зміна стану може вплинути на елементи, які знаходяться далі по потоці заявок.

Процедура обслуговування заявок каналами $K_{k,j}$ представлена у вигляді підпрограми "WORK K K J[(,)]". Ця підпрограма використовує генератор випадкових чисел з відповідним законом розподілу, щоб визначити тривалість інтервалу обслуговування наступної заявки $t_{k,j}$ в даному каналі $K_{k,j}$.

Закінчення обслуговування заявки в каналі $K_{k,j}$ в певний момент часу t може викликати розповсюдження змін станів елементів системи в напрямку, протилежному руху заявок у системі. Це означає, що зміна стану може впливати на елементи, розташовані далі по потоці заявок.

Під час моделювання системи необхідно пройти через всі фази N та канали K , починаючи з останнього обслуговуючого каналу 3-ї фази і рухаючись в зворотному напрямку, від накопичувача 1-ї фази. Після налаштування вихідних даних та встановлення початкових умов перевіряється [23] умова завершення моделювання системи. Потім переходимо до імітації обслуговування заявок у каналі $K_{3,1}$ 3-ї фази Q-схеми. Якщо обслуговування в K_3 (рис. 2.12),1 завершено, фіксується вихід з системи для обслугованої заявки, а потім канал $K_{3,1}$ звільняється.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
						30
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Після реалізації [15] [19] моделювання роботи каналів першої фази Q-схеми (зображених на рисунку 11, а), ми переходимо до моделювання роботи каналів другої фази (зображених на рисунку 11, б).

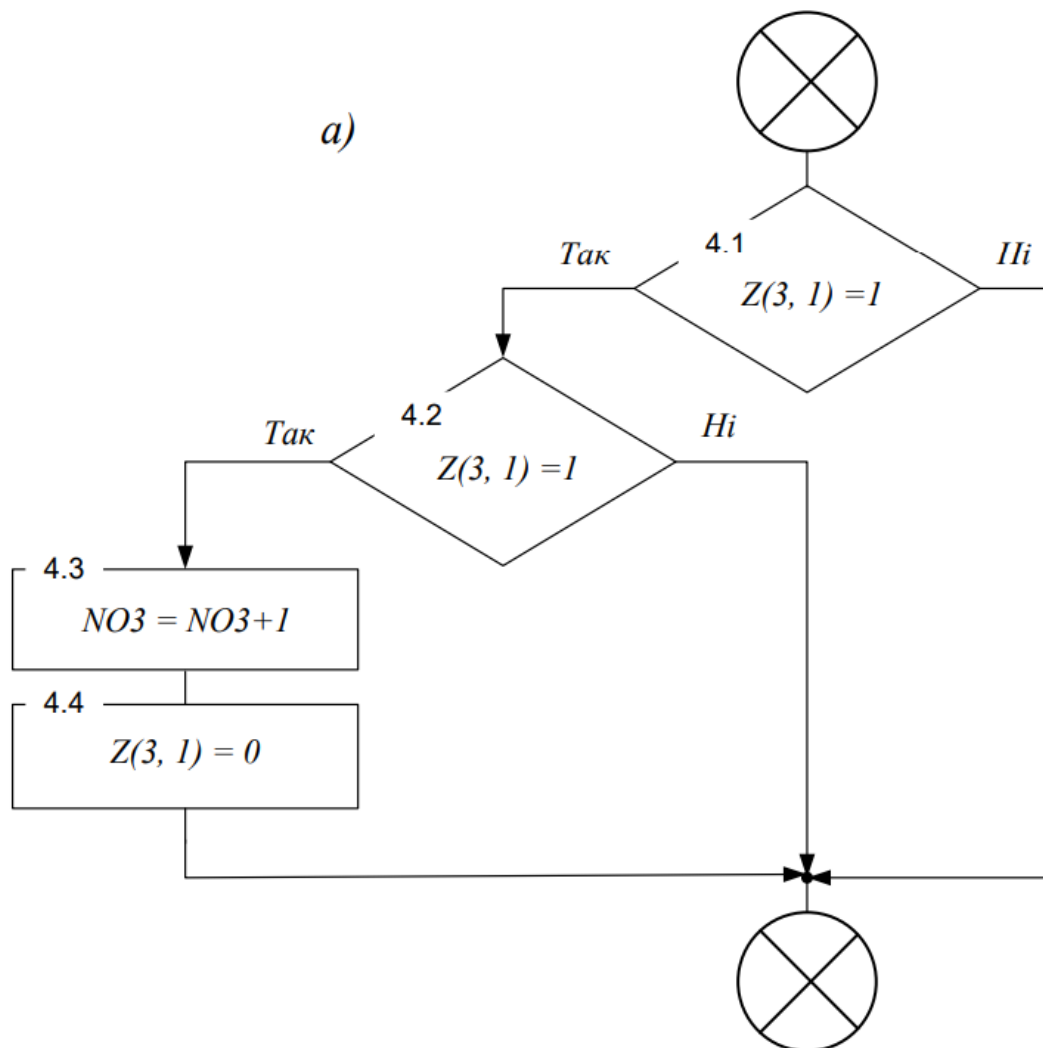


Рисунок. 2.12 - Схеми алгоритмів блоку 3 (а), блоку 5 (б), блоку 6 (в), блоку 7 (г), блоку 8 (д), блоку 9(е) (рисунок 3.2.4)

Якщо в момент часу t_n є заявки, які потребують обслуговування в каналі КЗ,1, і цей канал вільний (оператор 5.4), то ми вибираємо одну з цих заявок відповідно до обраної дисципліни обслуговування.

У мережах Петрі вузли співвідносяться з умовами, що містять маркери, а переходи представляють події. Залежно від комбінації маркерів у вузлах відбуваються певні події, які можуть змінити стан умов мережі. Стан мережі визначається кількістю маркерів у кожному вузлі і називається розміткою.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

б)

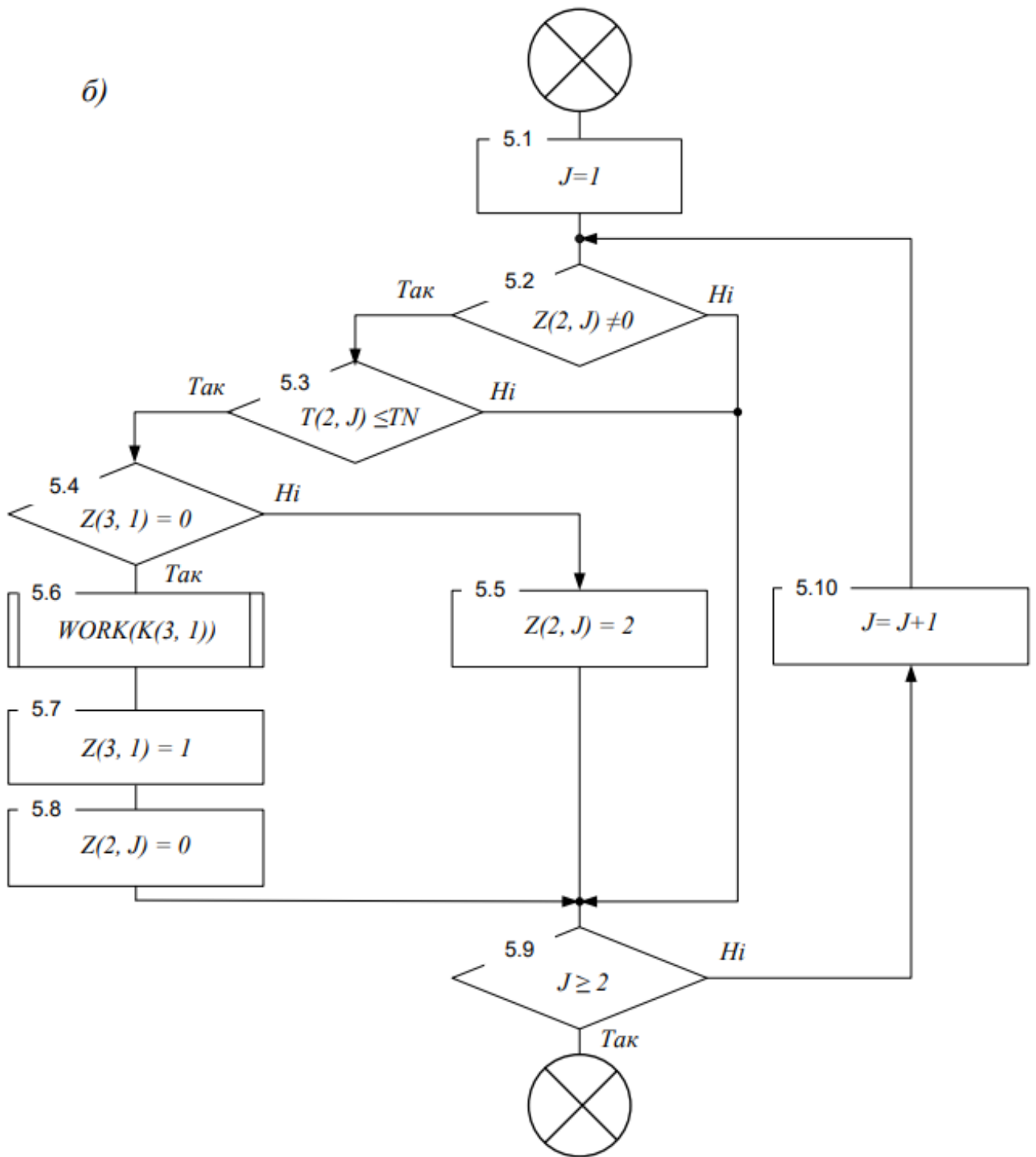


Рисунок. 2.13 - Схеми алгоритмів блоку 3

Після імітації взаємодії між накопичувачами та каналами другої фази, ми переходимо до наступних дій.

Перевіряється наявність заявок у накопичувачі Н2 (оператор 6.2) та наявність вільних каналів другої фази (оператор 6.3).

Процедура генерації заявок джерелом (Д) представлена у вигляді підпрограми "D ТМ()". Ця підпрограма визначає момент надходження наступної заявки t_m в Q-схему і використовується для моделювання процесу надходження заявок в систему.

Якщо є заявки в [14] [27] накопичувачі Н2 та є вільні канали другої фази, то моделюється обслуговування заявки одним із вільних каналів (оператори 6.4, 6.5) та звільнення місця у накопичувачі Н2 (оператор 6.6).

Потім проводиться імітація взаємодії конкретного каналу першої фази та накопичувача другої фази Н2.

Перевіряється [16] [28] наявність заявок, які потребують обслуговування, у каналі першої фази (оператори 7.3 та 7.4).

Якщо відсутні вільні канали другої фази (оператор 7.5), але є вільні місця у накопичувачі Н2 (оператор 7.6), то моделюється запис заявки у Н2 (оператор 7.7) та звільнення конкретного каналу першої фази (оператор 7.8).

Також якщо недоступні (рис. 2.14) вільних місць у накопичувачі Н2, то фіксується блокування каналу першої фази (оператор 7.9).

Якщо є вільні канали [24] другої фази, здійснюється обслуговування заявки (рис. 2.15) фіксується зайнятість одного з каналів другої фази (оператор 7.11) та звільнення одного з каналів першої фази (рис. 2.16), Після цього оператори 7.3 та 7.4 повторюються, оскільки одночасно з першої фази можуть переміститися дві заявки в другу фазу. Коли вони виконуються втретє, управління передається до наступного блоку 8 відповідно до умови "Так" (див. рисунок 2.14). Кожен крок моделювання виконується за один процес.

Перевіряється потреба обслуговування заявок з накопичувача Н1 каналами $K_{j,1}$ (оператори 8.2 та 8.3). Якщо у Н1 є [15] заявки та принаймні один з каналів $K_{j,1}$ вільний, то імітується обслуговування заявки в першій фазі (оператор 8.4). Після цього фіксується зайнятість конкретного каналу (оператор 8.5) та звільнення одного місця у Н1 (оператор 8.6).

Потім імітуємо взаємодію в процесах обслуговування заявок у накопичувачі та каналах першої фази (оператори 8.1, 8.7 та 8).

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		33

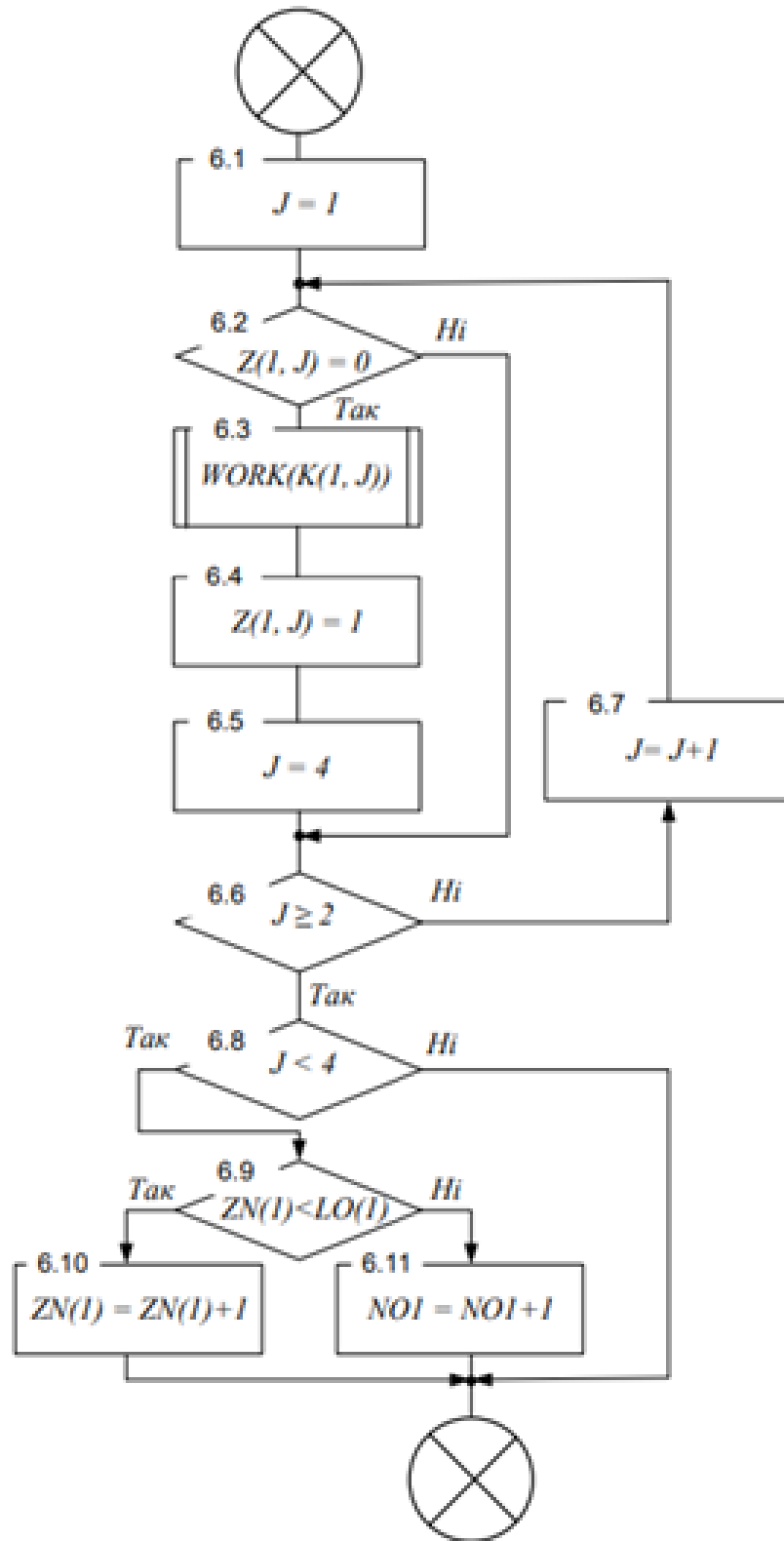


Рисунок. 2.14 - Схеми алгоритмів блоку 3

Це допомагає удосконалювати роботу систем масового обслуговування та підвищувати їх продуктивність і ефективність.

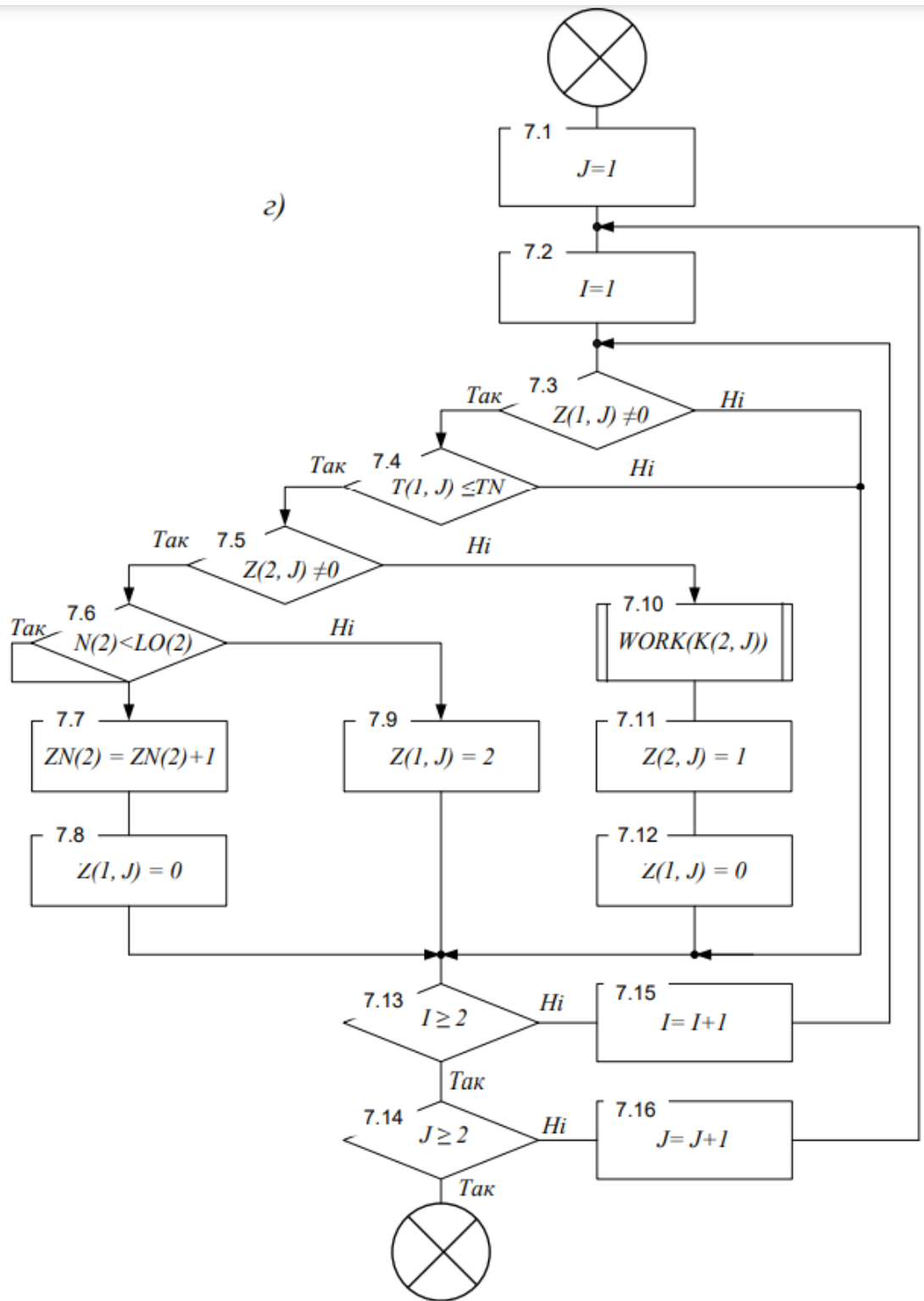


Рисунок. 2.15 - Схеми алгоритмів блоку 4

Моделювання ОА багатофазної СМО дозволяє визначити оптимальні параметри системи, виявити можливі проблеми та розробити стратегії оптимізації. Використання середовища Matlab та інструментів Simulink і SimEvents дозволяє зручно та ефективно побудувати, симулювати та аналізувати модель багатофазної СМО з використанням ОА.

д)

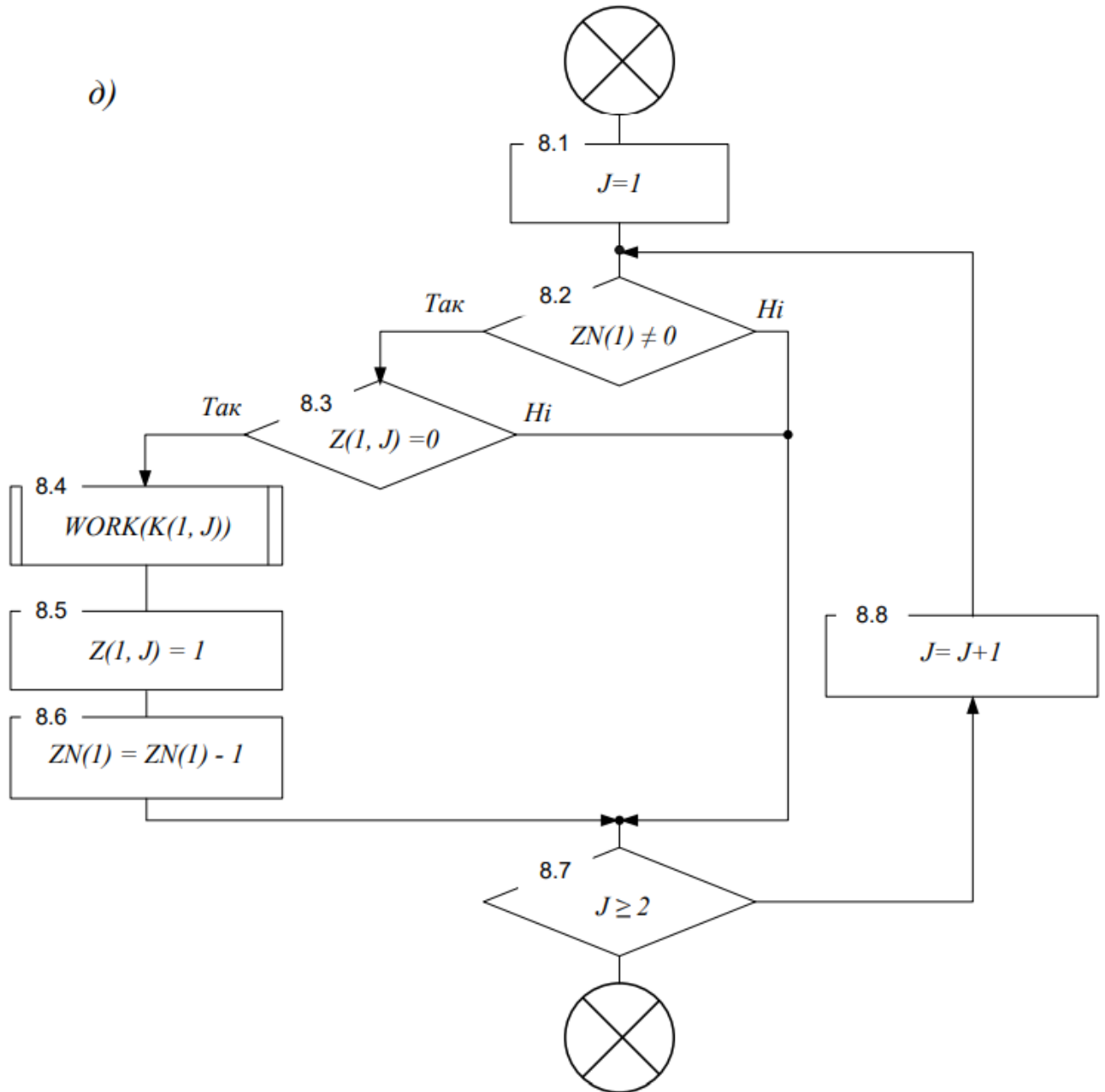


Рисунок. 2.16 - Схеми алгоритмів блоку 4

2.4 Висновок

Моделювання операційного автомату (ОА) багатофазної системи масового обслуговування (СМО) є важливим інструментом для аналізу та оптимізації роботи таких систем. Використовуючи середовище Matlab та інструменти, такі як Simulink і SimEvents, можна побудувати імітаційну модель багатофазної СМО з використанням ОА.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Процес моделювання ОА багатофазної СМО включає наступні етапи:

1. Визначення фаз та станів - вибираються фази, що характеризують різні етапи процесу обслуговування. Кожна фаза має визначені стани, наприклад, стан очікування, стан обслуговування та стан завершення.

2. Визначення подій - встановлюються події, що можуть спричинити перехід між станами. Наприклад, подія прибуття заявки до СМО або подія завершення обслуговування.

3. Встановлення умов переходу - визначаються умови, при яких відбувається перехід між станами. Наприклад, перехід зі стану очікування до стану обслуговування може відбутися, якщо пристрій обслуговування вільний.

4. Реалізація дій: Визначаються дії, які відбуваються при переході між станами. Наприклад, при переході зі стану обслуговування до стану завершення може відбутися запис даних про завершену заявку.

5. Симуляція та аналіз після побудови моделі ОА багатофазної СМО можна виконати симуляцію для спостереження та аналізу поведінки системи. Можна оцінити показники продуктивності, такі як середній час очікування, середній час обслуговування та завантаження пристрою обслуговування.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		37

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ

3.1 Основи роботи з середовищем

MATLAB є математичним [28] пакетом прикладних програм, який базується на роботі з матрицями. Його назва є скороченням від MATrix LABoratory (МАТрична ЛАБораторія). У MATLAB є багато спеціалізованих програм (функцій) і власна мова програмування високого рівня. Він також надає потужні можливості для візуалізації двовимірних і тривимірних даних. У MATLAB є спеціалізовані пакети, відомі як Toolbox, які містять функції для розв'язування конкретних класів задач, наприклад, PDE Toolbox, Spline Toolbox та інші.

MATLAB розвивається протягом багатьох десятиліть, з урахуванням потреб користувачів. Сьогодні в університетському середовищі розвинених країн MATLAB є стандартним інструментом для навчання основам чисельних методів та проведення наукових досліджень в різних галузях прикладної математики. Використання MATLAB [24] [29] спрощує розв'язування прикладних задач, оскільки він забезпечує автоматизацію рутинних обчислень і дозволяє зосередитись на особливостях конкретної задачі та візуалізації результатів.

MATLAB - це потужне середовище та мова програмування, які надають широкі можливості в багатьох галузях, включаючи моделювання, візуальне моделювання та робототехніку. Можливості Matlab у цих областях.

1. Моделювання систем - Matlab надає великий набір інструментів для моделювання різних систем, включаючи системи масового обслуговування, електричні системи, механічні системи, економічні системи та інші. Завдяки своїм потужним обчислювальним можливостям та багатому набору функцій, Matlab дозволяє створювати складні математичні моделі та проводити аналіз їх поведінки.

2. Візуальне моделювання - Matlab Simulink є інтегрованим середовищем для візуального моделювання та симуляції систем. За допомогою Simulink, ви можете створювати блок-схеми, які відображають взаємодію між

різними компонентами системи. Це дозволяє швидко створювати та тестувати складні системи без необхідності вписувати код вручну.

3. Робототехніка - Matlab має спеціалізовані пакети та інструменти для робототехніки, такі як Robotics System Toolbox. Ці інструменти дозволяють моделювати та аналізувати робототехнічні системи, включаючи кінематику, динаміку, планування траєкторій, сприймання об'єктів та багато іншого. Використовуючи Matlab, ви можете створювати та тестувати алгоритми керування роботами, включаючи взаємодію з симуляторами роботів.

4. Аналіз даних - Matlab має потужні інструменти для аналізу даних, включаючи статистичний аналіз, обробку сигналів, машинне навчання та багато іншого. Ви можете використовувати ці інструменти для обробки та аналізу великих обсягів даних, виявлення закономірностей та здійснення прогнозування.

5. Симуляція систем - завдяки вбудованому середовищу симуляції в Matlab, ви можете створювати та виконувати симуляції різних систем, включаючи фізичні системи, електричні мережі, комп'ютерні мережі та інші. Це дозволяє вам тестувати та оптимізувати системи перед їх фізичною реалізацією.

6. Системи штучного інтелекту - Matlab має розширені функціональність для роботи з системами штучного інтелекту, включаючи нейронні мережі, глибоке навчання, генетичні алгоритми та інші. За допомогою спеціалізованих пакетів, таких як Neural Network Toolbox та Deep Learning Toolbox, ви можете створювати та навчати складні моделі штучного інтелекту для розпізнавання образів, класифікації даних, прогнозування та багато іншого.

7. Системи управління - Matlab також дозволяє моделювати та аналізувати системи управління. Ви можете створювати математичні моделі систем управління та використовувати інструменти для проектування та налагодження контролерів. Зокрема, Control System Toolbox надає широкий спектр функцій для аналізу та оптимізації систем управління.

8. Робототехніка та симуляція - Matlab має інтегрований пакет Robotics System Toolbox, який дозволяє моделювати та симулювати робототехнічні системи. Ви можете створювати моделі роботів, визначати їх кінематику та

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		39

динаміку, виконувати планування траєкторій та виконувати різні завдання контролю.

9. Розробка програмного забезпечення - Matlab може бути використаний для розробки програмного забезпечення в різних галузях. Ви можете створювати свої власні функції, класи та пакети, розробляти графічні інтерфейси користувача та виконувати автоматизоване тестування програм.

Matlab має широкий спектр [21] [30] можливостей в моделюванні, візуальному моделюванні, робототехніці та інших областях. Його потужність, гнучкість та розширюваність роблять його популярним інструментом серед інженерів, науковців та дослідників для розв'язання складних завдань і аналізу даних.

3.2 Операційний автомат в Simulink

Simulink – графічне середовище імітаційного моделювання аналогових та дискретних систем. Вона надає [24] [27] користувачеві графічний інтерфейс для конструювання моделей зі стандартних блоків, без жодного рядка коду. Simulink працює з лінійними, нелінійними, безперервними, дискретними та багатовимірними системами. Система MATLAB/Simulink має вбудовану підтримку для генерації апаратного опису мовою HDL (Simulink HDL Coder) і може використовуватись для симуляції VHDL-коду за допомогою симулятора ModelSim. Simulink HDL Coder є програмним засобом, призначеним для генерації VHDL-коду з Simulink-моделей та Stateflow-діаграм.

Одна з основних переваг Simulink HDL Coder полягає в тому, що він дозволяє генерувати VHDL-код, незалежний від конкретної архітектури ПЛІС та платформи. Це означає, що ви можете [26] розробляти та тестувати свої алгоритми на високому рівні абстракції у Simulink, а потім згенерувати відповідний VHDL-код для реалізації на конкретній апаратній платформі.

Система MATLAB/Simulink також надає підтримку для проектування цифрових фільтрів з метою реалізації їх на базі ПЛІС та процесорів цифрового сигналу (ЦОС). Для цього використовується модуль Filter Design HDL Coder. Цей

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		40

модуль дозволяє розробляти та оптимізувати цифрові фільтри у Simulink, а потім генерувати VHDL-код для їх реалізації на апаратних пристроях.

ModelSim — найпоширеніший у світі VHDL та VHDL/Verilog-симулятор. Популярність ModelSim відображає прагнення фірми Mentor Graphics надати користувачам передову технологію моделювання, високу продуктивність і повну технічну підтримку. Сімейство ModelSim має унікальну архітектуру, засновану на принципі "оптимізованої прямої компіляції" та "єдиному ядрі моделювання".

Архітектура, що базується на принципі оптимізованої прямої компіляції, є технологією нового покоління HDL-моделювання. Вона є основою всіх продуктів сімейства ModelSim. Відповідно до цього принципу вихідний VHDL- або Verilog-код компілюється в машинно-незалежний об'єктний код, що виконується на будь-якій підтримуваній платформі (САПР БІС або ПЛІС). Безпосередньо скомпіловані HDL-об'єкти автоматично оптимізуються для будь-якої підтримуваної платформи в момент запуску програми ModelSim.

Багато САПР БІС, наприклад, Mentor Graphics (HDL Designer) [2, 3] і САПР ПЛІС, такі як Foundation фірми Xilinx (система синтезу FPGA Express Synthesis, розроблена компанією Synopsys) [4], StateCAD фірми Visual Software Solutions [5], Quartus II (версія 7.2) фірми Altera, що також містять вбудовані засоби проектування цифрових автоматів, дозволяють задавати цифровий автомат графом переходів [6, 7] та отримувати автоматично код мови VHDL або Verilog. Загальний недолік — їхня вузька спрямованість (проектування ВІЛ або розробка цифрових пристроїв у базисі ПЛІС на функціональному та логічному рівнях проектування).

В даний час система MATLAB/Simulink активно використовують на системному рівні проектування (Electronic System Level, ESL). ESL-проектування, або проектування зверху вниз, засноване на імітаційному моделюванні. Ключ до реалізації ESL-підходу - моделювання на більш високих рівнях абстракції. Простіше і швидше розробляти моделі на більш високих рівнях абстракції, ніж на рівні реєстрових передач (рівень RTL, або різновид стилю мови HDL). Загалом ESL-проектування спрямовано скорочення термінів проектування. Ідеальною є

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		41

методологія послідовного переходу на нижчі рівні абстракції: від функціональної до RTL-моделі [8].

Моделювання СМО в Simulink має наступні переваги.

1. Гнучкість - Simulink надає широкі можливості для налаштування моделі СМО. Ви можете змінювати параметри системи, встановлювати різні режими роботи, включати або виключати деякі компоненти системи, щоб досліджувати різні сценарії та варіанти роботи.

2. Інтеграція з іншими інструментами - Simulink і Matlab мають багатий набір функціональностей та інструментів. Ви можете використовувати інші модулі Matlab для аналізу даних, оптимізації алгоритмів, розв'язання задач оптимізації, статистичного аналізу тощо. Це робить моделювання СМО в Simulink більш гнучким та потужним.

3. Візуалізація результатів - Simulink надає можливість візуалізувати результати моделювання за допомогою графіків, діаграм, анімації та інших засобів. Це дозволяє зрозуміти та представити результати моделювання зручним та зрозумілим способом.

4. Масштабованість - Simulink дозволяє моделювати СМО різної складності, від простих однофазних систем до складних багатofазних систем з багатьма чергами та серверами. Ви можете розширювати та змінювати модель в залежності від потреб дослідження.

5. Можливість реалізації реальних систем - моделювання в Simulink може бути використано для реалізації реальних систем масового обслуговування. Ви можете побудувати апаратні засоби або інтегрувати зовнішні пристрої для експериментів та валідації моделі.

Узагальнюючи, моделювання СМО в Simulink є потужним інструментом, що дозволяє аналізувати та оптимізувати продуктивність та ефективність систем масового обслуговування. Він надає гнучкість, інтеграцію з іншими інструментами, можливість візуалізації результатів та масштабованість для різних типів СМО.

Крім зазначених переваг, моделювання СМО в Simulink також має додаткові корисні особливості.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		42

1. Підтримка відкритого коду - Simulink базується на середовищі Matlab, яке має велику спільноту користувачів та розробників. Це означає, що ви можете знайти різноманітні ресурси, документацію, приклади та підручники, які допоможуть вам розв'язати конкретні проблеми та вдосконалити свої моделі.

2. Можливість проведення часових аналізів - Simulink дозволяє виконувати детальний часовий аналіз системи, що допомагає виявляти можливі бутлеку, перевантаження та затримки. Ви можете відстежувати динаміку подій, стану черг та серверів, а також оцінювати часові характеристики процесу обслуговування.

3. Можливість реалізації адаптивного управління - Simulink дозволяє реалізувати адаптивні стратегії управління в системах масового обслуговування. Ви можете використовувати розумні алгоритми та адаптивні регулятори для автоматичного налаштування параметрів системи на основі отриманих даних та поточних умов.

4. Інтеграція з іншими інструментами Matlab - Simulink легко інтегрується з іншими інструментами Matlab, такими як статистичні пакети, інструменти машинного навчання, аналітичні бібліотеки тощо. Це дозволяє використовувати багатofункціональність Matlab для аналізу та обробки результатів моделювання СМО.

Загалом, моделювання СМО в Simulink дозволяє отримувати докладні та реалістичні результати, використовувати різні методи аналізу та оптимізації, інтегрувати з іншими інструментами та використовувати гнучкі стратегії управління. Це робить його цінним інструментом для вивчення та вдосконалення систем масового обслуговування.

На системному рівні проектування проводиться верифікація алгоритмів, як правило, за допомогою мови програмування C/C++ або спеціальних засобів типу MATLAB/Simulink або SPW (Signal Processing WorkSystems фірми Cadence Design Systems) із залученням радіочастотних, комунікаційних, мультимедійних та інших бібліотек. У процесі виконання робіт на системному рівні формується опис апаратної частини проекту в RTL-кодах, що спрощує процес підготовки технічного завдання для етапів функціонального та логічного проектування.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		43

Summit Design та CoWare (Cadence Design Systems) – одні з найсильніших компаній, виробників засобів ESL-проекткування.

Операційний [14] автомат (ОА) можна реалізувати в середовищі Simulink за допомогою блоків Stateflow. Stateflow - це інструмент, який дозволяє моделювати та симулювати реактивні системи, включаючи ОА.

Для реалізації ОА в Simulink зазвичай використовуються наступні елементи:

1. Блоки станів (State blocks). Блоки станів представляють окремі стани ОА. Ви можете визначити різні стани, такі як початковий стан, стани переходу, стани завершення тощо. Кожен блок стану має входи та виходи, які дозволяють визначити умови переходу між станами.

2. Події (Events). Події використовуються для виклику переходів між станами. Ви можете визначити різні події, які спричиняють перехід з одного стану в інший.

3. Умови переходу (Transition conditions). Умови переходу визначають, за яких умов перехід між станами відбувається. Ви можете використовувати логічні вирази або умовні операції для задання умов переходу.

4. Дії (Actions). Дії виконуються при переході між станами. Ви можете визначити дії, які повинні виконуватися при вході в стан, виході зі стану або під час переходу.

5. Граф переходів (Transition chart). Граф переходів відображає зв'язки між станами та умови переходу між ними. Ви можете візуалізувати та редагувати граф переходів для зручності моделювання та аналізу ОА.

За допомогою блоків [26] [28] Stateflow в Simulink ви можете побудувати імітаційну модель ОА, задати вхідні сигнали, спостерігати за поведінкою автомата під час симуляції та аналізувати його роботу. Це дозволяє вам вивчати та валідувати роботу ОА перед його фізичною реалізацією.

3.3 Реалізація двофазної та трифазної СМО

У середовищі Matlab Simulink існує [24] [26] [30] бібліотека SimEvents, яка дозволяє проектувати і моделювати випадкові динамічні системи з неперервними та дискретними компонентами, використовуючи дискретні події та дискретний час. Ця бібліотека забезпечує можливість моделювання розподілених систем управління, апаратних конфігурацій, мереж збору та передачі інформації та інших схожих систем.

При створенні складних моделей імітації іноді потрібно використовувати інші основні бібліотеки графічної мови Simulink, такі як Math Operations (математичні операції), Signals (сигнали), Ports & Subsystems (порти та підсистеми) та інші. Вони допомагають у створенні складних функціональних моделей, що використовуються разом з основними компонентами бібліотеки SimEvents.

У бібліотеці [27] SimEvents для дискретного моделювання на основі подій основними поняттями.

1. Entity (сутність). Представляє об'єкт або об'єкти, які перебувають у системі. Наприклад, в контексті системи масового обслуговування, сутність може бути замовленням або клієнтом.

2. Event (подія). Миттєва дискретна подія, яка змінює стан системи або є причиною інших подій. Наприклад, подія може бути прибуттям замовлення, початком обслуговування або закінченням обробки.

Бібліотека SimEvents включає наступні інструментальні бібліотеки блоків для моделювання систем масового обслуговування.

1. Attributes (атрибути). Визначає параметри або характеристики сутностей, наприклад, час прибуття замовлення.

2. Event Translation (перетворення подій). Дозволяє перетворити сигнал події у одну або декілька функцій для обробки.

3. Generators (генератори). Містить блоки для генерації нових сутностей або подій, наприклад, блок генератора замовлень.

4. Queues (черги). Використовується для моделювання черги, де сутності чекають на обслуговування.

5. Servers (сервери). Представляє обладнання або ресурси, які обробляють сутності або виконують певні функції обслуговування.

6. SimEvents Ports and Subsystems (порти та підсистеми). Використовується для створення ієрархічних структур моделі, що дозволяє організувати компоненти системи.

7. SimEvents User Defined Funct (визначення атрибутів сутності за допомогою функції). Дозволяє визначити власні функції для обчислення атрибутів сутності.

8. Entity Management (управління потоками сутностей). Забезпечує можливість об'єднання або розподілення сутностей в системі.

Ці компоненти [22] [27] дозволяють моделювати та аналізувати системи масового обслуговування з використанням бібліотеки SimEvents. Реалізація двофазної системи масового обслуговування (СМО) в середовищі Matlab Simulink з використанням бібліотеки SimEvents включає наступні кроки.

1. Створення моделі. Відкриємо середовище Simulink і створимо нову модель. Додавимо блок SimEvents до моделі.

2. Визначення сутностей. Визначемо типи сутностей, які будуть перебувати в системі. Наприклад, у двофазній СМО можуть бути замовлення, які потрапляють до системи.

3. Визначення атрибутів сутностей. Визначемо атрибути (параметри) сутностей, які впливають на поведінку системи. Наприклад, атрибутами можуть бути час прибуття замовлення та тривалість обслуговування.

4. Генерування сутностей. Використовуємо блоки генераторів (Generators) для створення нових сутностей. Налаштуємо їх параметри, такі як розподіл прибуття замовлень.

5. Очікування та черги. Використовуємо блоки черг (Queues) для моделювання черги замовлень, що очікують обслуговування. Налаштуйте параметри черги, наприклад, її ємність.

6. Сервери. Використовуємо блоки серверів (Servers) для моделювання процесу обслуговування замовлень. Налаштуйте параметри сервера, наприклад, його пропускну здатність.

7. Логіка переходів. Визначемо логіку переходів між станами системи, що відбуваються під час обслуговування замовлень. Використовуємо блоки подій (Events) для зміни стану сутностей та спрацьовування подій.

8. Аналіз та валідація. Запустимо симуляцію моделі і проаналізуємо результати. Переконаємося, що система працює відповідно до очікувань.

Це загальна [18] процедура для реалізації двофазної СМО (рис. 3.1) з використанням бібліотеки SimEvents в Matlab Simulink. Залежно від специфіки системи масового обслуговування, можуть бути потрібні додаткові кроки та блоки для відповідного моделювання та аналізу.

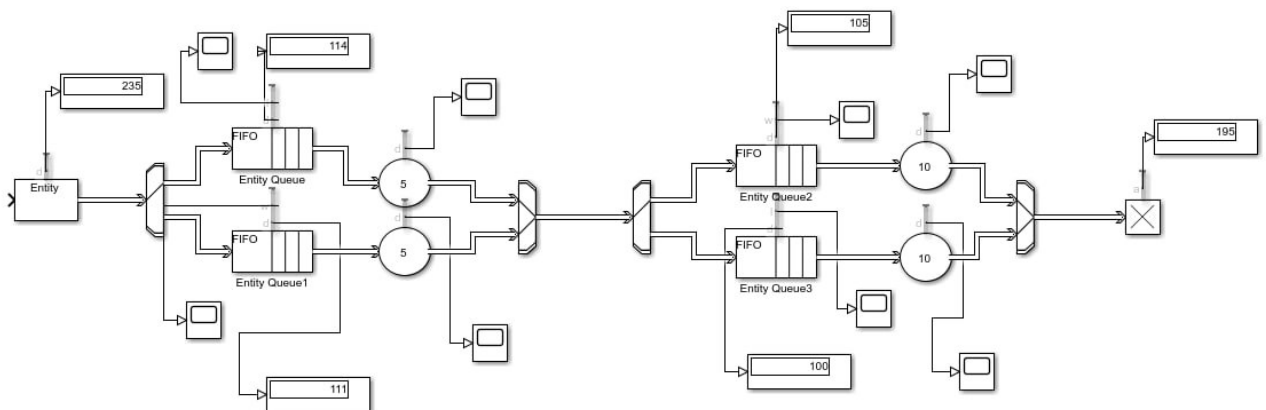


Рисунок 3.1 – Двофазна СМО

Реалізація трифазної [17] [19] системи масового обслуговування (рис. 3.2) (рис. 3.3) (рис. 3.4) в середовищі Matlab Simulink з використанням бібліотеки SimEvents включає наступні кроки.

1. Створення моделі. Відкрити середовище Simulink і створити нову модель. Додайте блок SimEvents до моделі.

2. Визначення сутностей. Визначити типи сутностей, які будуть перебувати в системі. Наприклад, у трифазній СМО можуть бути замовлення або клієнти, які потрапляють до системи.

3. Визначення атрибутів сутностей. Визначити атрибути (параметри) сутностей, які впливають на поведінку системи. Наприклад, атрибутами можуть бути час прибуття замовлення, тривалість обслуговування та пріоритет сутностей.

4. Генерування сутностей. Використовуємо блоки генераторів (Generators) для створення нових сутностей. Налаштуємо їх параметри, такі як розподіл прибуття замовлень до кожної фази.

5. Очікування та черги. Використовуємо блоки черг (Queues) для моделювання черги замовлень, що очікують обслуговування в кожній фазі. Налаштуйте параметри черг, наприклад, їх ємність.

6. Сервери. Використовуємо блоки серверів (Servers) для моделювання процесу обслуговування замовлень в кожній фазі. Налаштуємо параметри серверів, наприклад, їх пропускну здатність.

7. Логіка переходів.. Визначимо логіку переходів між станами системи, що відбуваються під час обслуговування замовлень в різних фазах. Використовуємо блоки подій (Events) для зміни стану сутностей та спрацьовування подій.

8. Аналіз та валідація. Запустимо симуляцію моделі і проаналізуємо результати. Переконаємося, що система працює відповідно до очікувань.

Це загальна процедура [25] для реалізації трифазної СМО з використанням бібліотеки SimEvents в Matlab Simulink. Залежно від специфіки системи масового обслуговування, можуть бути потрібні додаткові кроки та блоки для відповідного моделювання та аналізу.

Результатом моделювання системи масового обслуговування (рис. 3.5) в Simulink є отримання імітаційної моделі, яка відображає поведінку та характеристики СМО в різних умовах. Основні результати моделювання СМО в Simulink включають.

Графіки та графічні візуалізації: (рис. 3.6) Simulink дозволяє побудувати графіки залежностей, діаграми станів та інші графічні візуалізації, які

демонструють поведінку СМО. Наприклад, можна відображати залежність середнього часу очікування від навантаження або зміну кількості заявок у черзі з часом.

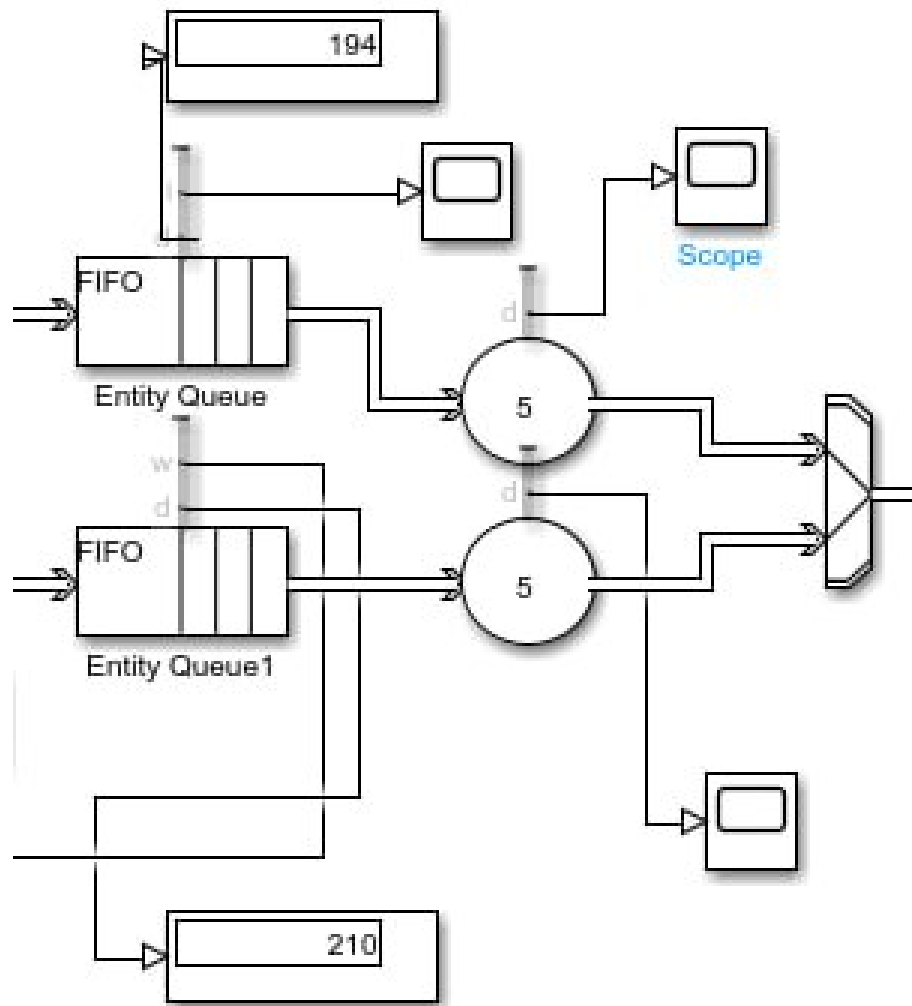


Рисунок 3.2 – Перша фаза СМО

Графіки та графічні візуалізації: (рис. 3.6) Simulink дозволяє побудувати графіки залежностей, діаграми станів та інші графічні візуалізації, які демонструють поведінку СМО. Наприклад, можна відображати залежність середнього часу очікування від навантаження або зміну кількості заявок у черзі з часом.

Статистичні показники: (рис. 3.7) Модель СМО в Simulink може генерувати статистичні показники, такі як середні значення, дисперсії, інтенсивності

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

обслуговування тощо. Ці показники дозволяють оцінити ефективність та продуктивність СМО.

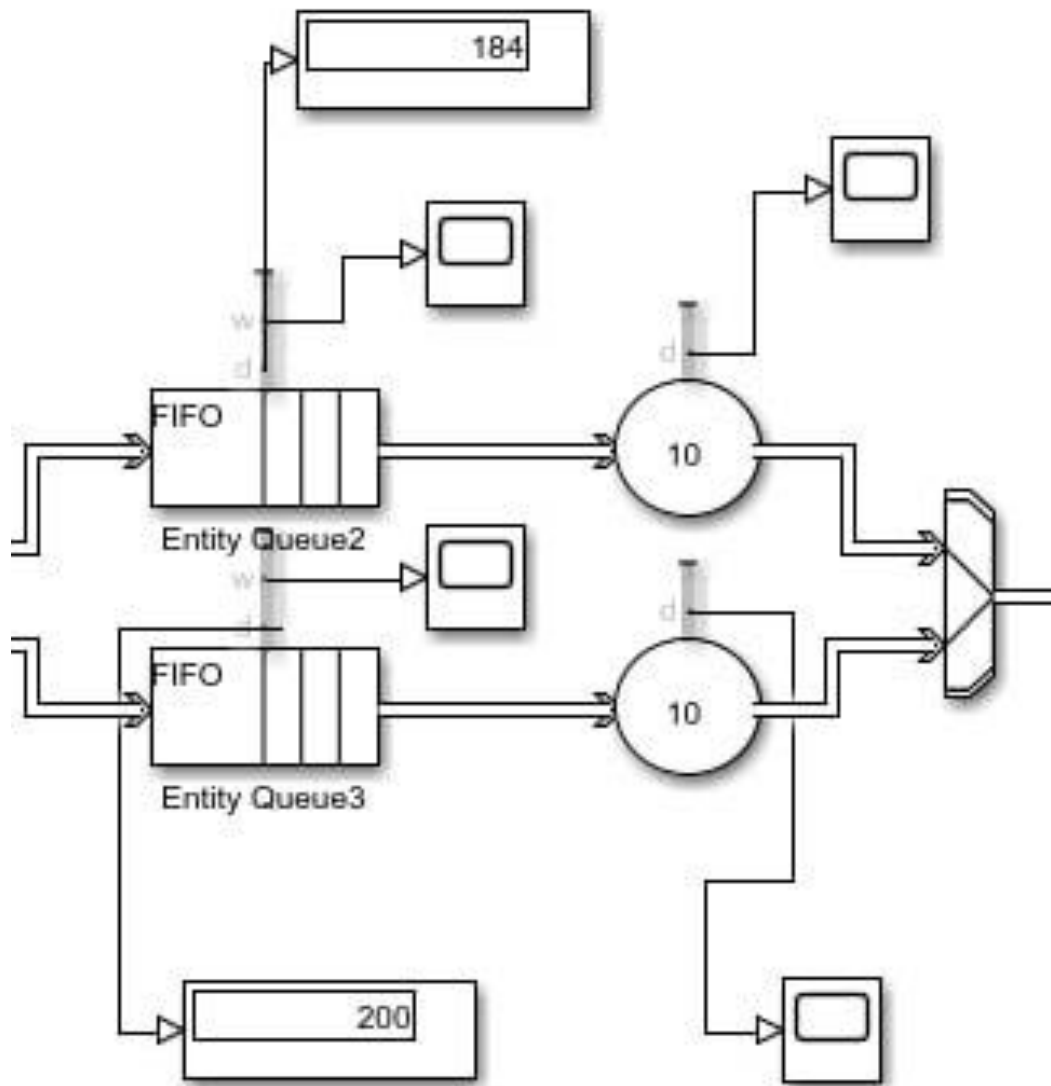


Рисунок 3.3 – Друга фаза СМО

Аналіз та оптимізація: (рис. 3.8) З використанням Simulink можна виконувати аналіз різних параметрів та стратегій обслуговування, щоб виявити проблеми та знайти оптимальні рішення. Можна порівнювати різні сценарії, проводити чутливість до змін параметрів та тестування на різних умовах.

Валідація та верифікація: (рис. 3.9) Модель СМО в Simulink може бути використана для валідації та верифікації системи. Це дозволяє перевірити

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

правильність роботи системи та порівняти результати моделювання з експериментальними даними.

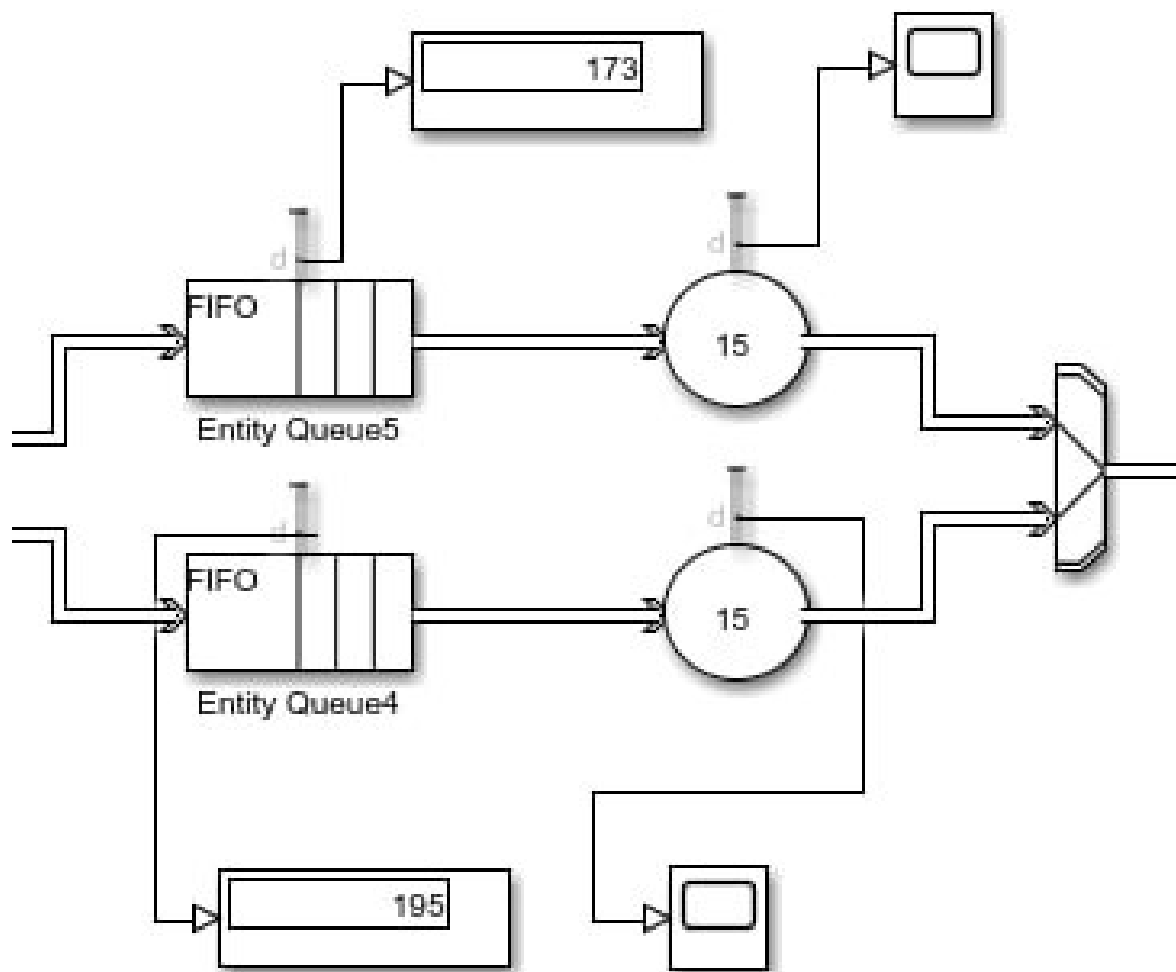


Рисунок 3.4 – Третя фаза СМО

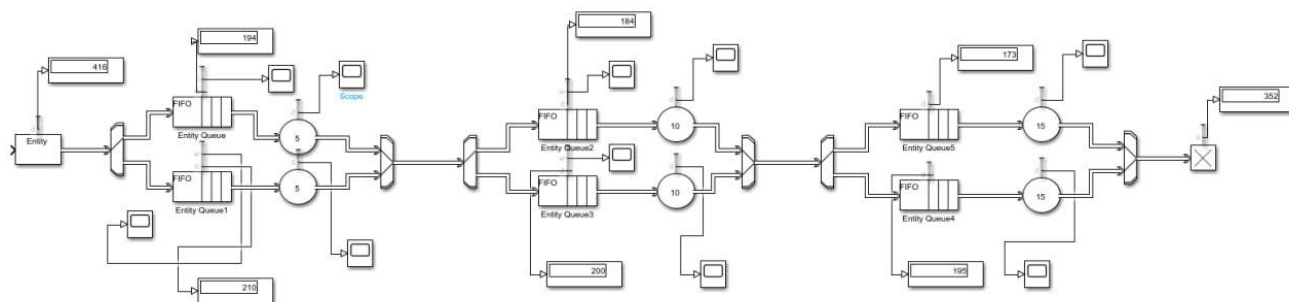


Рисунок 3.5 – Трифазна СМО

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

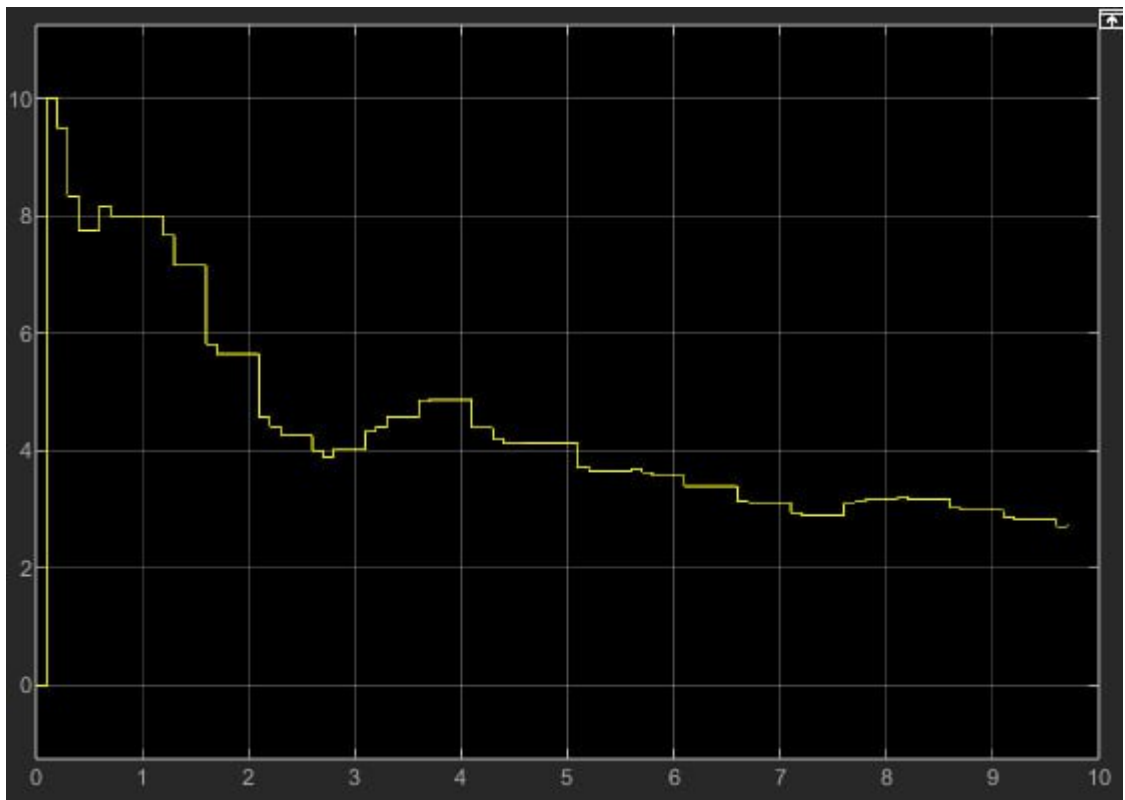


Рисунок 3.6 – Середня довжина черги

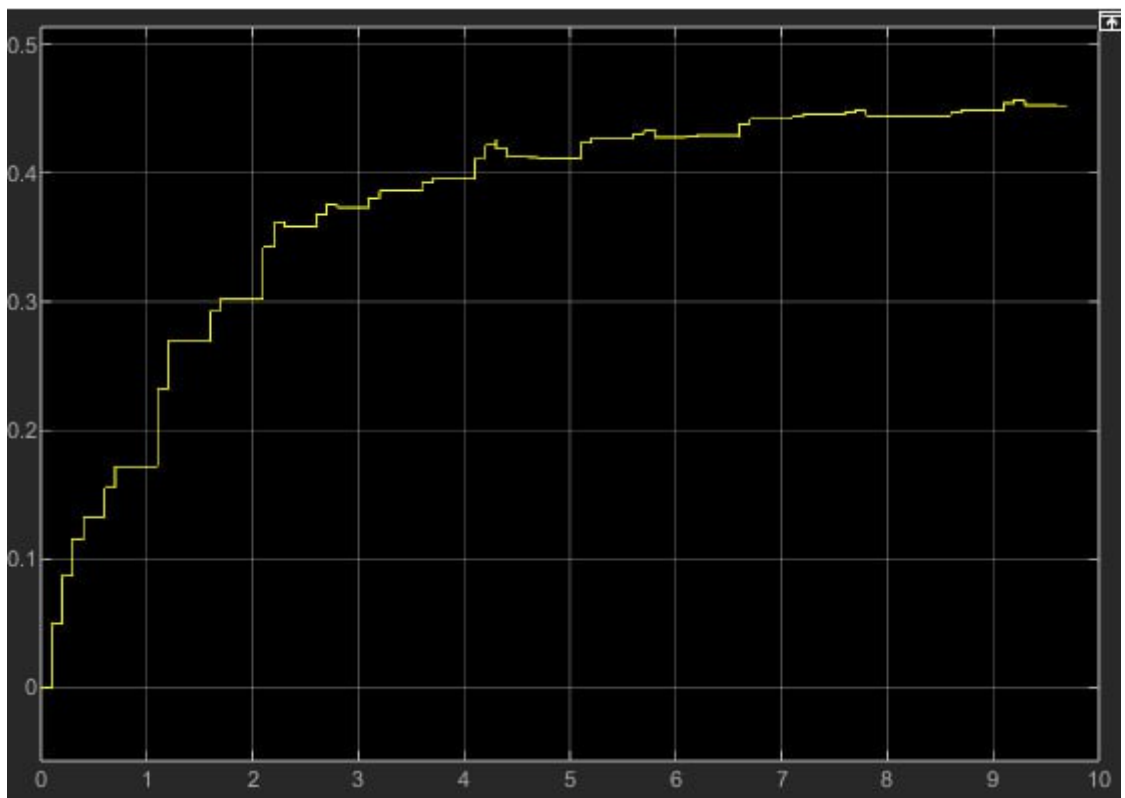


Рисунок 3.7 – Середній час очікування

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

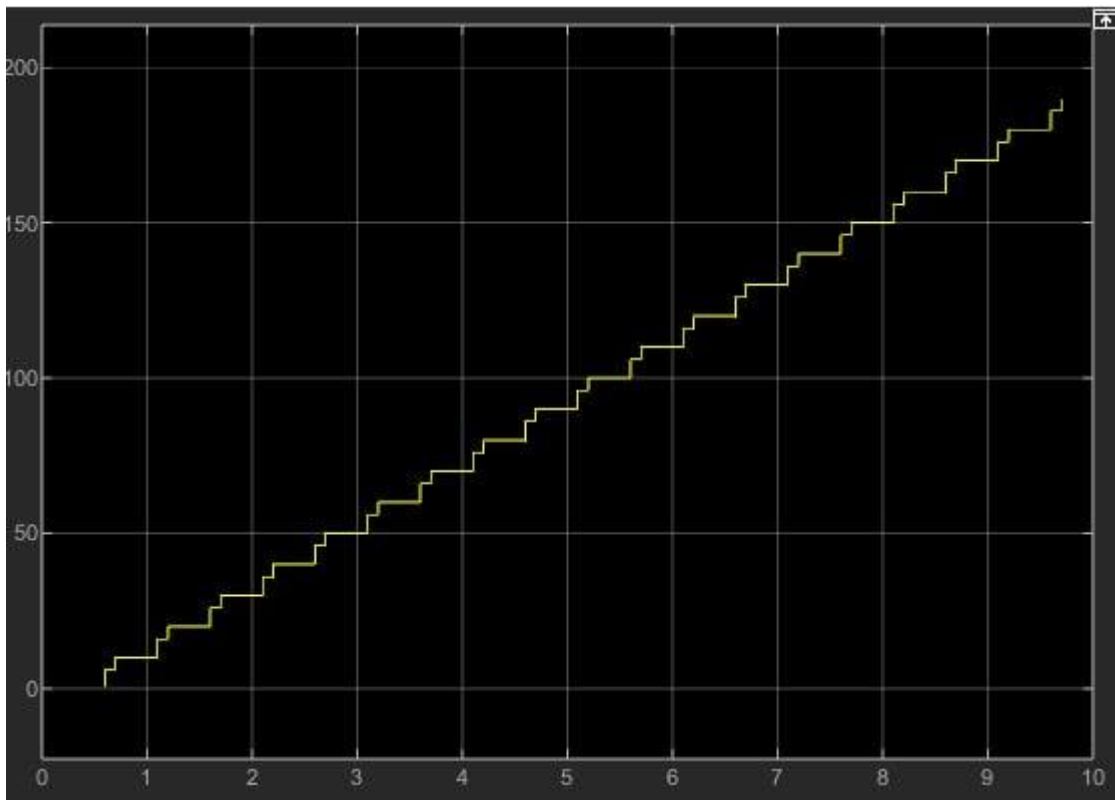


Рисунок 3.8 – Кількість опрацьованих запитів сервером

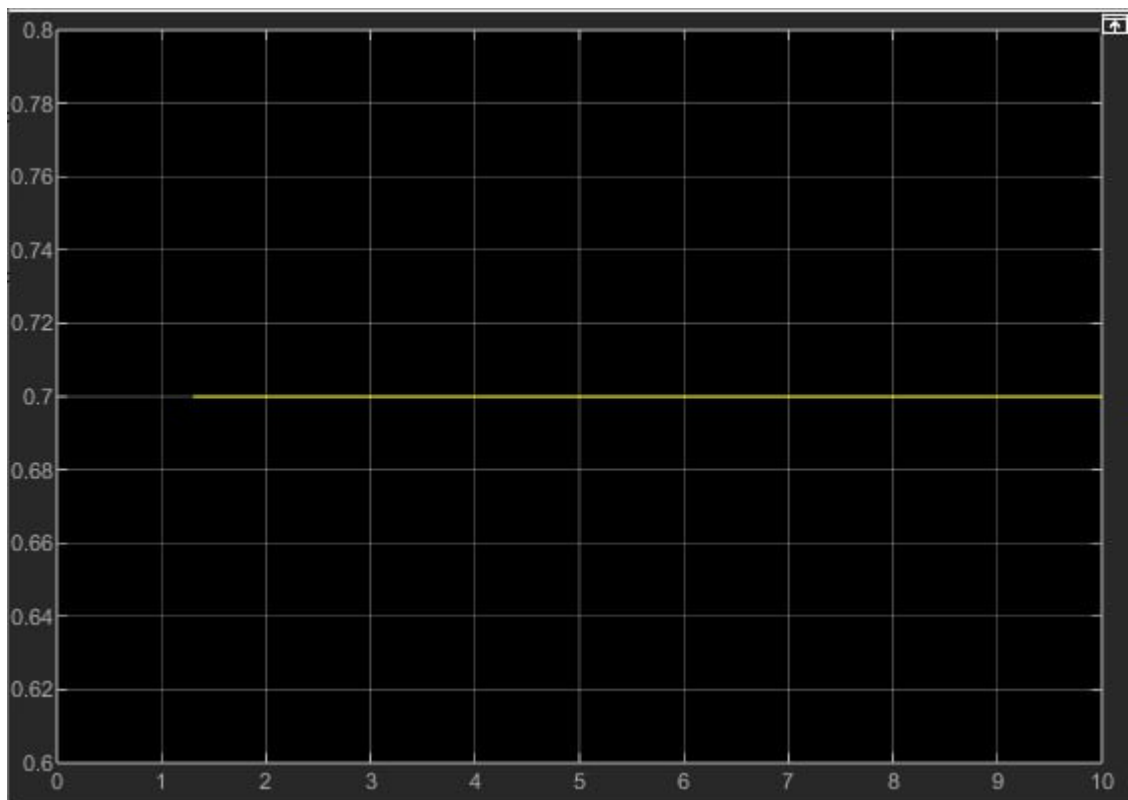


Рисунок 3.9 – Час на обробку запитів сервером (за налаштування він однаковий і становить 0.7с)

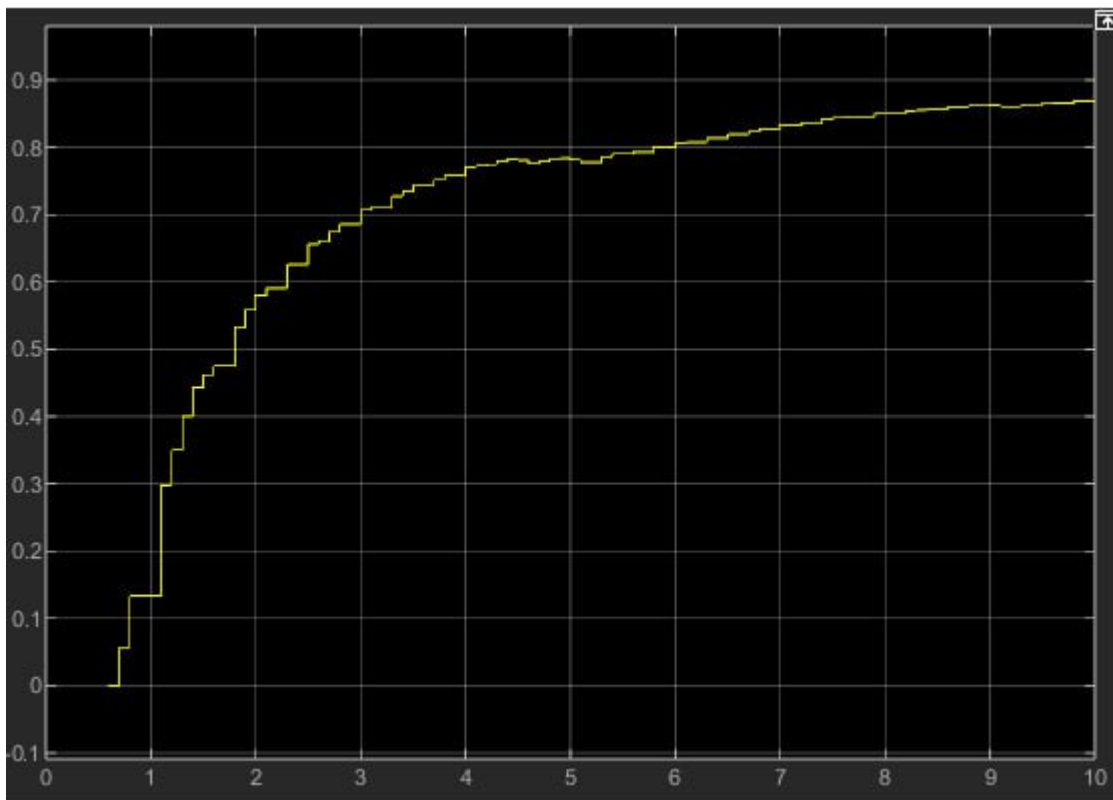


Рисунок 3.10 – Використання ресурсів сервера (де 1=100% продуктивність)

Результати моделювання СМО в Simulink допомагають зрозуміти та вивчити поведінку системи, здійснити аналіз та оптимізацію, а також зробити обґрунтовані рішення щодо поліпшення продуктивності та ефективності СМО.

Результати моделювання СМО в Simulink можуть бути досить різноманітними і залежать від конкретної моделі та її налаштувань. Основні результати моделювання СМО в Simulink.

Аналіз продуктивності. Модель СМО в Simulink дозволяє оцінити продуктивність системи, таку як середній час обслуговування, середній час очікування, завантаження серверів та черги, кількість обслугованих та відхилених заявок тощо. Ці показники можуть допомогти визначити ефективність системи та виявити можливі проблеми.

Оптимізація параметрів. Зміна параметрів моделі, таких як інтенсивність надходження заявок, кількість серверів або розмір черги, дозволяє провести експерименти та знайти оптимальні значення для системи. Модель дозволяє відстежувати залежність між параметрами та продуктивністю системи.

Валідація моделі. Модель СМО в Simulink може бути використана для порівняння з реальними даними або аналітичними розрахунками. Це дозволяє перевірити коректність моделі та її відповідність реальній системі.

Розробка стратегій управління. Модель СМО в Simulink може бути використана для розробки та випробування різних стратегій управління, таких як розподіл заявок між серверами, вибір черги для обслуговування тощо. Модель дозволяє відтворити різні сценарії та оцінити їх вплив на продуктивність системи.

Візуалізація результатів. Simulink надає засоби візуалізації результатів моделювання, такі як графіки, діаграми, анімація тощо. Це дозволяє зрозуміти та проаналізувати результати моделювання більш ефективно.

Моделювання СМО в Simulink дозволяє отримати важливі інсайти щодо продуктивності та ефективності системи, а також розробити та перевірити різні стратегії управління. Це може бути корисним інструментом при проектуванні та оптимізації систем масового обслуговування.

3.4 Висновок

Реалізація систем масового обслуговування (СМО) в середовищі Matlab+Simulink є потужним інструментом для моделювання та аналізу різноманітних динамічних систем з дискретними подіями та дискретним часом. Бібліотека SimEvents надає широкий спектр блоків та інструментів для моделювання різних аспектів СМО, таких як генерація сутностей, управління чергами, обслуговування, логіка переходів та інші.

Завдяки графічному інтерфейсу Simulink та можливості програмування на Matlab, реалізація СМО стає зручною та ефективною. Моделі можуть бути створені, налаштовані та симульовані з високою точністю та гнучкістю.

Застосування такої реалізації СМО в Matlab Simulink дозволяє проводити дослідження та оптимізацію різних параметрів системи, аналізувати її продуктивність та ефективність, а також прогнозувати поведінку системи в різних сценаріях. Це особливо корисно для проектування та оптимізації систем масового

обслуговування в різних галузях, таких як телекомунікації, транспорт, логістика, обслуговування клієнтів та багато інших.

Загалом, реалізація СМО в Matlab Simulink з використанням бібліотеки SimEvents є потужним інструментом для моделювання та аналізу систем масового обслуговування, що дозволяє отримати цінні результати та рекомендації для оптимізації та покращення реальних систем обслуговування.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		56

ВИСНОВКИ

Операційний автомат для багатофазової системи масового обслуговування є потужним інструментом, що допомагає покращити продуктивність та якість обслуговування. Вивчення предметної області та дослідження цих систем дозволяють розуміти їхню структуру та особливості, а також розробляти ефективні стратегії управління.

Застосування операційних автоматів у багатофазових системах масового обслуговування дозволяє аналізувати та прогнозувати поведінку системи, оптимізувати параметри обслуговування, знижувати час очікування клієнтів та забезпечувати оптимальне використання ресурсів. Вони також допомагають вирішувати проблеми розподілу завдань, управління попитом та покращення загальної ефективності системи.

Постановка задачі є важливим кроком у дослідженні операційних автоматів для багатофазових систем масового обслуговування, оскільки вона дозволяє конкретизувати цілі дослідження та фокусуватися на розв'язанні практичних проблем. Розробка математичних моделей та алгоритмів управління є необхідною для ефективного функціонування системи та досягнення поставлених цілей.

В результаті дослідження предметної області та застосування операційних автоматів для багатофазових систем масового обслуговування можна зробити висновок, що вони є потужним інструментом управління, який допомагає покращити якість обслуговування, ефективно використовувати ресурси та забезпечити задоволення потреб клієнтів. Це важливий напрямок дослідження, який має великий практичний потенціал у різних галузях та може сприяти розвитку сучасних систем масового обслуговування.

Додаткове дослідження в області операційних автоматів для багатофазових систем масового обслуговування може спрямовуватися на розробку нових алгоритмів та стратегій управління. Наприклад, можна досліджувати ефективні методи прийняття рішень щодо розподілу завдань між фазами обслуговування або встановлення пріоритетів в обслуговуванні клієнтів.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		57

Також, варто досліджувати можливості використання новітніх технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання та інші аналітичні методи, для покращення ефективності та точності операційних автоматів. Це може включати розробку прогностичних моделей, адаптивних алгоритмів та систем самонавчання, що сприятимуть оптимізації процесів обслуговування та адаптації до змінних умов.

Крім того, важливим аспектом дослідження є врахування соціально-економічних аспектів. Дослідники можуть вивчати вплив операційних автоматів на клієнтів, працівників та загальну динаміку системи масового обслуговування. Це дозволить зрозуміти соціальні наслідки впровадження таких систем та розробити ефективні стратегії для забезпечення справедливості та задоволення потреб усіх зацікавлених сторін.

					КвРКІП. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. S. Shi; Pan Fang; Y. Hou. Multi-phase composite synchronization of three vibrators in a space far-resonant vibration system. Journal. *ISA Transactions*. 2023. ISSN 0019-0578. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019057823001209>.
2. E.A. Kanin; A.A. Osiptsov; A.L. Vainshtein; E.V. Burnaev. A predictive model for steady-state multiphase pipe flow: Machine learning on lab data, Journal. *Petroleum Science and Engineering*. Volume 180. 2019. Pages 727-746. ISSN 0920-4105. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.05.055>.
3. A. Wodołażski. Metaheuristic optimization of CFD–multiphase population balance and biokinetics aeration stirrer tank bioreactor of sludge flocs for scale-up study with bio(de/re)floculation. Journal. *Biochemical Engineering*. Volume 184. 2022. 108477. ISSN 1369-703X. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108477>.
4. C.A. Silva; L.B. Varela; F.O. Kolawole; A.P. Tschiptschin; Z. Panossian. Multiphase-flow-induced corrosion and cavitation-erosion damages of API 5L X80 and API 5DP grade S steels. Journal. *Wear*. Volumes 452–453. 2020. 203282. ISSN 0043-1648. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203282>.
5. S. Peng; Zhe Zhang; E. Liu; W. Liu; W. Qiao. A new hybrid algorithm model for prediction of internal corrosion rate of multiphase pipeline. Journal. *Natural Gas Science and Engineering*. Volume 85. 2021. 103716. ISSN 1875-5100. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103716>.
6. H. Zahid; A. Altamimi; Syed Ali Abbas Kazmi; Zafar A. Khan. Multi-phase techno-economic framework for energy wheeling via generation capacity design of microgrids and virtual power plants. Journal. *Energy Reports*. Volume 8. 2022. Pages 5412-5429. ISSN 2352-4847. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.04.013>.
7. Q. Zheng; Y. Xu; P. Zhang; J. Bian, F. Wang; Identification of gas-liquid two-phase flow regime in pipelines with low liquid holdup based on ResNet1D-34. Journal. *Flow Measurement and Instrumentation*. Volume 88. 2022. 102249. ISSN 0955-5986. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2022.102249>.

					КВРКІІІ. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		59

8. C. Gorges; K. Öztürk; R; Liebich. Impact detection using a machine learning approach and experimental road roughness classification. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Volume 117. 2019. Pages 738-756. ISSN 0888-3270. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.07.043>.
9. X. Peng, Zicheng Liu, Dong Jiang. A review of multiphase energy conversion in wind power generation. *Journal. Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Volume 147. 111172. ISSN 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111172>.
10. E.A. Kanin, A.A. Osiptsov, A.L. Vainshtein, E.V. Burnaev. A predictive model for steady-state multiphase pipe flow: Machine learning on lab data. *Journal. Petroleum Science and Engineering*. 2019. Volume 180. Pages 727-746. ISSN 0920-4105. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410519305091>.
11. C.A. Silva, L.B. Varela, F.O. Kolawole, A.P. Tschiptschin, Z. Panossian. Multiphase-flow-induced corrosion and cavitation-erosion damages of API 5L X80 and API 5DP grade S steels. *Journal. Wear*. 2020. Volumes 452–453. 203282. ISSN 0043-1648. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164819315091>).
12. Shanbi Peng, Zhe Zhang, Enbin Liu, Wei Liu, Weibiao Qiao. A new hybrid algorithm model for prediction of internal corrosion rate of multiphase pipeline. *Journal Natural Gas Science and Engineering*. 2021. Volume 85. 103716. ISSN 1875-5100. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103716>.
13. Wenshan Peng, Xuewen Cao, Jian Hou, Li Ma, Ping Wang, Yichun Miao. Numerical prediction of solid particle erosion under upward multiphase annular flow in vertical pipe bends. *International Journal. Pressure Vessels and Piping*. 2021. Volume 192. 104427. ISSN 0308-0161. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030801612100123X>.
14. D. Painuli; S. Bhardwaj; U. köse. Recent advancement in cancer diagnosis using machine learning and deep learning techniques: A comprehensive review. *Journal. Computers in Biology and Medicine*. Volume 146. 2022. 105580. ISSN 0010-4825. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2022.105580>.
15. T. Rymarczyk; G. Kłosowski; A. Hoła, J. Sikora; P. Tchórzewski; Ł. Skowron. Optimising the use of Machine learning algorithms in electrical tomography

					КВРКІІІ. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		60

of building Walls: Pixel oriented ensemble approach. Journal. *Measurement*. Volume 188. 2022. 110581. ISSN 0263-2241. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110581>.

16. A. Choubineh; J. Chen; F. Coenen; F. Ma; D. A. Wood. Chapter Three - Machine learning to improve natural gas reservoir simulations. Editor(s): David A. Wood, Jianchao Cai. In *The Fundamentals and Sustainable Advances in Natural Gas Science and Eng. Sustainable Natural Gas Reservoir and Production Engineering*. Journal. *Gulf Professional Publishing*. Volume 1. 2022. Pages 55-82. ISBN 9780128244951. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824495-1.00011-5>.

17. E. Huang; W. Lee; S. S. Singh; P. Kumar; C. Lee; T. Lam; H. Chin; B. Lin; K. Liaw. Machine-learning and high-throughput studies for high-entropy materials. Journal. *Materials Science and Engineering: R: Reports*. Volume 147. 2022. 100645. ISSN 0927-796X. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2021.100645>.

18. Z. Hua; Z. Zheng; E. Pahon; M. Péra; F. Gao. A review on lifetime prediction of proton exchange membrane fuel cells system. Journal. *Power Sources*. Volume 529. 2022. 231256. ISSN 0378-7753. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231256>.

19. A. Daneshi; B. Azarhoushang. 16 - Machinability of materials. Editor(s): Bahman Azarhoushang, Ioan D. Marinescu, W. Brian Rowe, Boris Dimitrov, Hitoshi Ohmori. *Tribology and Fundamentals of Abrasive Machining Processes (Third Edition)*. Journal. *William Andrew Publishing*. 2022. Pages 591-612. ISBN 9780128237779 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823777-9.00010-0>.

20. J. Baek Jang; P. Korambath; G. Morales-Guio; F. Davis; D. Christofides. Digitalization of an experimental electrochemical reactor via the smart manufacturing innovation platform. Journal. *Digital Chemical Engineering*. Volume 5. 2022. 100050. ISSN 2772-5081. <https://doi.org/10.1016/j.dche.2022.100050>.

21. P. Jarmatz, H. Wittenberg, V. Jafari, A. Sharma, F. Maurer, N. Wittmer, P. Neumann. MaMiCo 2.0: An enhanced open-source framework for high-performance molecular-continuum flow simulation. Journal. *SoftwareX*. Volume 20. 2022. 101251. ISSN 2352-7110. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101251>.

					КВРКІІІ. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		61

22. A. Vecchi; K. Knobloch; T. Liang; H. Kildahl; A. Sciacovelli; K. Engelbrecht; Y. Li; Y. Ding. Carnot Battery development: A review on system performance, applications and commercial state-of-the-art. Journal. *Energy Storage*. Volume 55. Part D. 2022. 105782. ISSN 2352-152X. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105782>.

23. R.G.M. van der Sman. MULTICUBED: Multiscale-multiphysics simulation of food processing. Journal. *Food Structure*. Volume 33. 2022. 100278. ISSN 2213-3291. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2022.100278>.

24. A. Hodorog; I. Petri, Y. Rezgui. Machine learning and Natural Language Processing of social media data for event detection in smart cities. Journal. *Sustainable Cities and Society*. Volume 85. 2022. 104026. ISSN 2210-6707. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104026>.

25. D.I. Wilson; G. Christie; P.J. Fryer; I.M. Hall; J.R. Landel; K.A. Whitehead. Lessons to learn from roadmapping in cleaning and decontamination. Journal. *Food and Bioproducts Processing*. Volume 135. 2022. Pages 156-164. ISSN 0960-3085. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.07.011>.

26. Y. Deng; C. Avila; H. Gao, I. Mantilla; R. Eden; S. Cremaschi. A hybrid modeling approach to estimate liquid entrainment fraction and its uncertainty. Journal. *Computers & Chemical Engineering*. Volume 162. 2022. 107796. ISSN 0098-1354. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2022.107796>.

27. M. Mohanpurkar; A. Ouroua; R. Hovsapiian; Y. Luo; M. Singh; E. Muljadi; V. Gevorgian; P. Donalek. Real-time co-simulation of adjustable-speed pumped storage hydro for transient stability analysis. Journal. *Electric Power Systems Research*. Volume 154. 2018. Pages 276-286. ISSN 0378-7796. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2017.08.010>.

28. Z. Gao; L. Wang; F. Lyu; Y. Zhang; T. Liu; X. Zhan. Temperature variation and mass transport simulations of invar alloy during continuous-wave laser melting deposition. Journal. *Optics & Laser Technology*. Volume 152. 2022. 108163. ISSN 0030-3992. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.108163>.

29. C. Sheng, J. Fu, D. Li, C. Jiang, Z. Guo, B. Li, J. Lei, L. Zeng, Z. Deng, X. Fu, Xi Li. Energy management strategy based on health state for a PEMFC/Lithium-ion

					КВРКІІІ. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		62

batteries hybrid power system. Journal. *Energy Conversion and Management*. Volume 271. 2022. 116330. ISSN 0196-8904. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116330>.

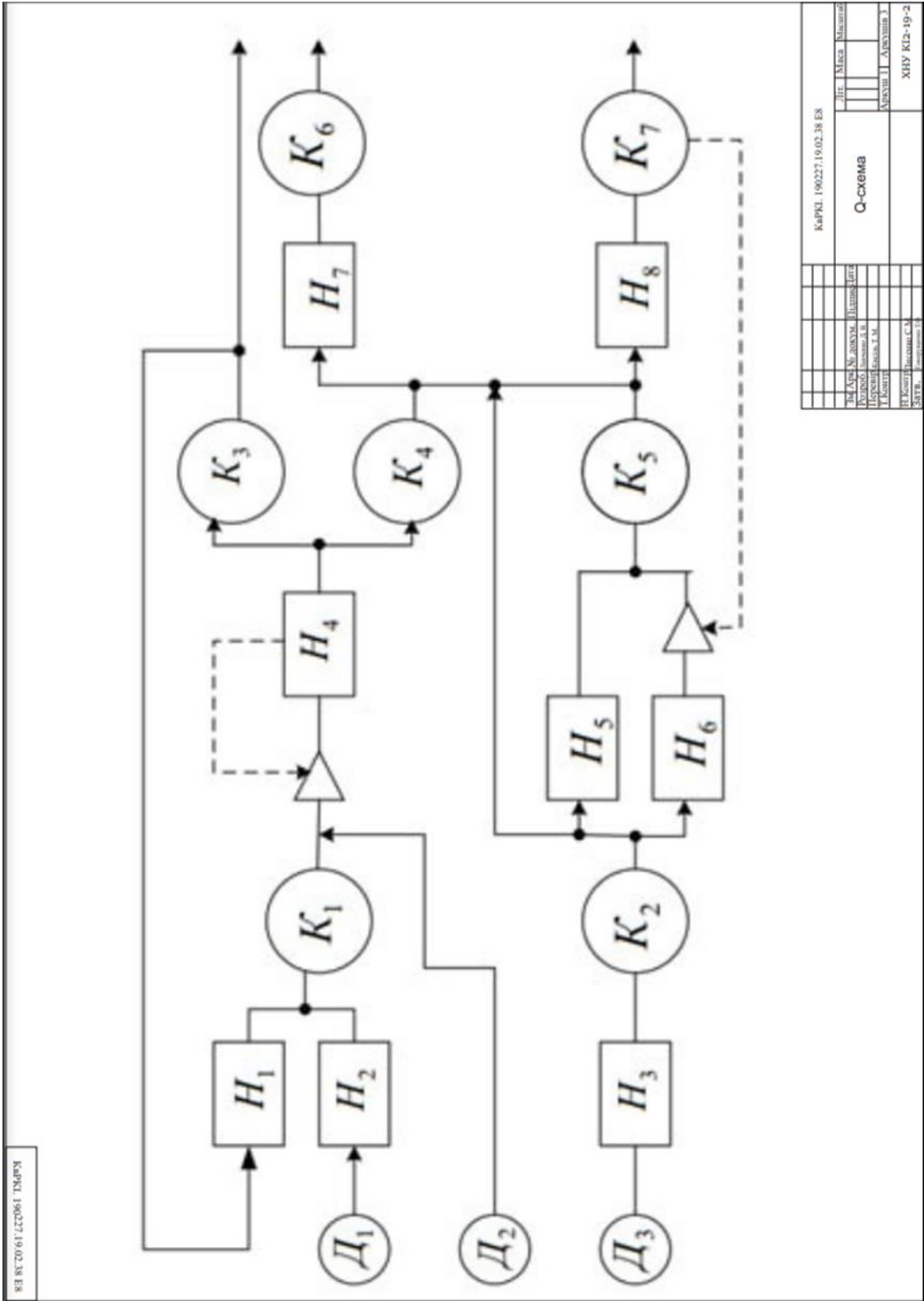
30. C. Chang; Tan J. Ding; Tan J. Ping; Kang C. Chao; Mohammad A. Sobhan Bhuiyan. Getting more from the wind: Recent advancements and challenges in generators development for wind turbines. Journal. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Volume 53, Part C. 2022. 102731. ISSN 2213-1388. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102731>.

					КвРКІІ. 190229.19.02.38 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		63

Додаток А

(обов'язковий)

Копія креслення «Q-схема»



User name:
Кафедра КІ

Check date:
08.06.2023 14:08:04 EEST

Report date:
08.06.2023 14:08:20 EEST

Check ID:
1015506555

Check type:
Doc vs Internet + Library

User ID:
100005591

File name: **Левченко_Операційний автомат для багатофазової системи масового обслуговування**
Page count: **59** Word count: **11298** Character count: **87549** File size: **1.50 MB** File ID: **1015161957**

2.86% Matches

Highest match: **0.92%** with Internet source (http://elar.khmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/10296/1/%d0%9a%d0%86_17_3_)

2.63% Internet sources 98 Page 61

1.9% Library sources 134 Page 62

0.26% Quotes

Quotes 3 Page 63

References 1 Page 63

0% Exclusions

No exclusions

Modifind

Text modifications detected. Find more details in the online report.

Replaced characters 61

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 11%

ID: 115230 Назва: БКР Операційний автомат для багатозафазової системи масового обслуговування Додано в БД: 2023-06-08 Автора: Левченко Д. В. Керівники: Кисіль Т. М. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	80163	674	763 (1%)	16 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Левченко Дмитрій Вікторович

Тема: Операційний автомат для багатофазної системи масового обслуговування

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 55

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є синтез та моделювання операційного автомату для багатофазної системи масового обслуговування
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області: оглянуто теоретичні засади та понятійний автомат системи масового обслуговування та автоматичного підходу до моделювання. В другому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто різні підходи до моделювання операційного автомату як то операційний аналіз, мереж Петрі, модульний принцип реалізації багатофазової системи масового обслуговування, Q-схеми. В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано реалізацію операційного автомату багатофазової системи масового обслуговування засобами Matlab/Simulink.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.
5. Негативні сторони роботи: описано можливість моделювання операційного автомату засобами Simulink HDL Coder, але не реалізовано.
6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре/С/4.00

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Федун Микола Васильович, к.м.н. доцент кафедри АКТ

"08" червня 2023 р.

Фд (підпис)

Завідувачу кафедри КПС
д-р.техн.наук, проф. Говорушенко Т. О.

Левченко Дмитрій Вікторович

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-19-2

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

22 квітня 2023 року

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Операційний автомат для багатофазної системи масового обслуговування

Автор: Левченко Дмитрій Вікторович

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Кисіль Тетяна Миколаївна, к.ф.-м.н., доц.

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:


- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з багатьма джерелами на один фрагмент речення;

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 2,86% і адресується до 98 першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС



Т. М. Кисіль

С. М. Лисенко

Т. О. Говоруценко