

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет

Центр післядипломної освіти

(повна назва)

Кафедра

Програмної інженерії

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти

другий (магістерський)

**Дослідження моделей ефективного адміністрування
систем масового обслуговування в інформаційних мережах**

(тема)

Виконав:

Студент 2 курсу, групи ІПЗдм-19-1

Ісаєв О.А.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність

121 Інженерія програмного
забезпечення

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми

освітньо-наукова

Керівник

проф. Шубін І.Ю.

(посада, прізвище)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

З.В. Дудар

(прізвище, ініціали)

2021

Харківський національний університет радіоелектроніки
 Факультет Центр післядипломної освіти
 (повна назва)

Кафедра Програмної інженерії
 (повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 121 Інженерія програмного забезпечення
 (код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова
 (освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інженерія програмного забезпечення
 (повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
 Зав.кафедри _____
 (підпис)
 « ____ » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студента Ісаєва Олексія Анатолійовича
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження моделей ефективного адміністрування систем масового обслуговування в інформаційних мережах
 затверджена наказом університету від 26.03.2021 № 34 Стз
2. Термін подання роботи до екзаменаційної комісії 18 05 2021р.
3. Вихідні дані до роботи проаналізувати існуючі алгоритми, що використовуються для вимог підтримки прийняття рішень, мови розробки програмного забезпечення
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі мета роботи, аналіз проблемної галузі і постановка задачі, опис запропонованих варіантів оптимізації, використовувані методи та алгоритми, опис розробленої програмної системи, опис застосованих програмних рішень, аналіз можливих застосувань
5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, слайдів, ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)
Мета завдання, обґрунтування доцільності розробки, постановка задачі, базові моделі, методи й алгоритми, структурно-логічна схема взаємодії даних, інтерфейс програмної системи, результати дослідної експлуатації програмної

системи, висновки

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
спецчастина	проф. Шубін І.Ю.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз предметної галузі	26 березня 2021 р.	виконано
2.	Огляд існуючих методів	31 березня 2021 р.	виконано
3.	Розробка алгоритмів, проектування та розробка ПЗ	15 квітня 2021 р.	виконано
4.	Підготовка пояснювальної записки	28 квітня 2021 р.	виконано
5.	Спецчастина	30 квітня 2021 р.	виконано
6.	Підготовка презентації та доповіді	05 травня 2021 р.	виконано
7.	Попередній захист	10 травня 2021 р.	виконано
8.	Нормоконтроль, рецензування	12 травня 2021 р.	виконано
9.	Занесення роботи в електронний архів	14 травня 2021 р.	виконано
10.	Допуск до захисту в зав. кафедри	16 травня 2021 р.	виконано

Дата видачі завдання _____ 2021р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Шубін І.Ю.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ /ABSTRACT

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра: 91 с, 5 табл., 46 рис., 6 дод., 33 джерела

ПОЛІНГОВІ СИСТЕМИ, СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ, НЕЧІТКА ЛОГІКА, ШЛЮЗОВИЙ РЕЖИМ ФУНКЦІОНУВАННЯ, ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ.

Метою роботи є розробка математичних моделей, алгоритмів і комплексу програм для ефективного адміністрування полінгових систем масового обслуговування.

Предметом дослідження є полінгіві системи масового обслуговування з обмеженим часом життя заявок.

Об'єктом дослідження є системи масового обслуговування в телекомунікаційних технологіях.

В результаті показана відсутність значимих відмінностей характеристик полінгових систем, що працюють у вичерпному й шлюзовому режимах

POLING SYSTEMS, MASS SERVICE SYSTEMS, FUZZY LOGIC, LOCKING MODE OF OPERATION, INFORMATION SYSTEMS.

The aim of the work is to develop mathematical models, algorithms and a set of programs for effective administration of polling queuing systems.

The subject of the study are polling systems of queuing with a limited lifetime of applications.

The object of study is queuing systems in telecommunications technology.

As a result, the absence of significant differences in the characteristics of polling systems operating in exhaustive and sluice modes is shown.

Я, Ісаєв Олексій Анатолійович, студент гр. ПЗЗдм-19-1, здобувач вищої освіти на другому (магістерському) рівні кафедри «Програмна інженерія», заявляю: моя кваліфікаційна робота на тему «Дослідження моделей ефективного адміністрування систем масового обслуговування в інформаційних мережах», що буде представлена в екзаменаційну комісію для публічного захисту, виконана самостійно, в ній не містяться елементи плагіату і вона може бути опублікована в електронному архіві відкритого доступу EIAr KhNURE. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Я ознайомлений з діючим положенням «Про протидію академічному плагіату в ХНУРЕ», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз стану розв'язання проблеми та обґрунтування цілей дослідження	11
1.1 Системи масового обслуговування	11
1.2 Полінгові системи масового обслуговування	16
1.3 Особливості впровадження полігону в інформаційні системи	23
1.4 Постановка цілей дослідження	25
2 Опис проведених теоретичних досліджень	28
2.1 Аналіз додатків полігону систем	28
2.2 Модель полігону системи з вичерпним режимом обслуговування	37
2.3 Нечіткі множини як інструмент в умовах дії факторів невизначеності	38
3 Аналіз результатів досліджень	42
3.1 Застосування методів на основі нечітких множин першого порядку	42
3.2 Розробка структури і алгоритму роботи багатоагентної системи	45
3.3 Імітаційне моделювання полігону систем	50
4 Розробка імітаційних моделей полігону систем.....	55
4.1 Імітаційне моделювання в системі Anylogic	55
4.2 Розробка імітаційних моделей	58
5 Опис можливості використання отриманих результатів.....	65
Висновки	68
Перелік джерел посилання	70
Додаток А Перелік джерел посилання за науковими напрямками керівника та науковців кафедри програмної інженерії	74
Додаток Б Звіт результатів перевірки на унікальність тексту	75
Додаток В Слайди презентації	77
Додаток Г Листінг модуля	86

Додаток Д Апробація роботи.....	88
Додаток Е Експертний висновок результатів перевірки кваліфікаційної роботи на відповідність оформлення вимогам ДСТУ	90

ВСТУП

Питання ефективного адміністрування систем, що обслуговують випадкові потоки різних типів заявок, виникають у ряді технічних, економічних, і соціальних систем, що визначає актуальність справжнього дослідження в цілому.

Полінгові системи – це особливий тип систем масового обслуговування (СМО), де єдине обслуговуюче обладнання обробляє заявки, що накопичуються в декілька чергах, що незалежно формуються. Вони застосовуються в ситуаціях, коли кілька користувачів конкурують за одержання доступу до загального ресурсу, який одночасно може бути доступний тільки одному з них. В останні два десятиліття інтерес до таких систем значно виріс. Це обумовлене, насамперед, бурхливим розвитком телекомунікаційних технологій і комп'ютерних мереж, робота яких побудована таким чином, що одне обслуговуюче обладнання (сервер) ухвалює у встановленому порядку пакети інформації від декількох незв'язаних між собою джерел.

Полінгові системи мають широкий спектр важливих додатків у сфері промислового виробництва, транспорту, телекомунікаційних технологій. У сфері комунікації й комп'ютерних мереж зокрема, системами політінгу є мережі з кільцевою топологією (token–ring networks), мережі із шинною топологією (token–bus networks), мережі волокнево-оптичного розподіленого інтерфейсу передачі даних (FDDI network), мережі DQDB (подвійна шина з розподіленою чергою), пасивні оптичні мережі (EPON networks), мережі Bluetooth, мобільні мережі (mobile networks), поромні бездротові мережі (ferry– based wireless networks), мережі MANET (бездротові децентралізовані мережі, що само організуються).

Метою роботи є розробка математичних моделей, алгоритмів і комплексу програм для ефективного адміністрування політінгових систем масового обслуговування.

Для рішення загальної проблеми й досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

– побудувати математичні моделі, що описують різні режими функціонування полігрових систем.

Об'єктом дослідження є системи масового обслуговування в телекомунікаційних технологіях.

Предметом дослідження є полігрові системи масового обслуговування з обмеженим часом життя заявок.

Засобами імітаційного моделювання встановлене, що в процесі функціонування полігрової системи спостерігається усереднення по ансамблю інтенсивностей вхідних потоків, що поповнюють черги.

Показана відсутність значимих відмінностей техніко–економічних характеристик полігрових систем, що працюють у вичерпному й шлюзовому режимах.

Розроблений алгоритм динамічної маршрутизації обслуговуючого обладнання, для полігрових систем, у яких доступна інформація про стан у режимі реального часу.

Розроблені нові прийоми ефективного адміністрування, що використовують близькість техніко–економічних характеристик систем полігрову, що функціонують у вичерпному й шлюзовому режимах обслуговування. Розроблені алгоритми, які дозволяють розширити можливості адміністрування полігрових систем масового обслуговування, зокрема знайдені умови, що допускають підключення до

Математичні моделі полігрових систем, що функціонують у вичерпному й шлюзовому режимах обслуговування. Ці моделі відрізняються дуже високим рівнем складності й більшість із них не можуть бути доведені до конкретних розрахункових схем, хоча й представляють безсумнівний теоретичний інтерес.

Побудована імітаційна модель циклічної полігрової системи, що має чотири незалежні черги, поповнювані пуассоновськими потоками заявок. На цій моделі

вивчалася поведінка й характер зміни таких характеристик полігрових систем, як час очікування обслуговування в чергах, час проходження циклу, навантаження системи, навантаження обслуговуючого обладнання, пропускна здатність системи. Отримані результати дозволили встановити залежність ефективності роботи системи від згаданих характеристик, що є актуальним для рішення завдань адміністрування.

Розроблено алгоритми імітаційного моделювання полігрових систем і одержання чисельних результатів, придатних для винесення обґрунтованих аналітичних суджень. Це особливо важливо в ситуаціях, коли складність аналітичної моделі така, що одержання на її основі розрахункової схеми прийнятної складності практично неможливо. Апарат імітаційного моделювання використовується для порівняння функціонування системи полігрову із класичної одно каналної СМО з однієї чергою необмеженої ємності, що поповнюється пуасоновським потоком заявок, інтенсивність якого дорівнює середньому значенню сумарної інтенсивності вхідних потоків, що поповнюють черги системи полігрову.

Побудована й проаналізована імітаційна модель функціонування керуючого блоку бездротової мережі, як багатоканальної системи масового обслуговування. У ході імітаційних експериментів особлива увага була приділена оцінці припустимого числа одночасних підключень і середнього часу перебування в мережі.

1 АНАЛІЗ СТАНУ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЦІЛЕЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Системи масового обслуговування

Сучасні корпоративні інформаційно-комунікаційні мережі (ІС) є одними із самих складних систем масового обслуговування, де надійність і ефективність компонентів відіграють дуже важливу роль. Для кращого розуміння й адміністрування таких систем доводиться мати справа з конструкціями математичних моделей, що описують стохастичне обслуговування випадкове вступників заявок. Теорія систем масового обслуговування є одним з найбільш використовуваних інструментів для оцінки продуктивності таких систем. Вона (теорія масового обслуговування) є розділом теорії імовірності, і виникла недавно, у результаті дослідження телефонних систем, у яких надходять випадкові потоки викликів абонентів, які, у свою чергу, зайняті телефонні лінії на випадкові періоди часу. На якийсь час пізніше, дослідники помітили, що досліджувані математичні моделі для опису телефонних систем, можуть бути застосовані для вивчення й опису інших систем, у яких потрібна ефективна організація черг [3].

Засновникам теорії систем масового обслуговування вважається датський математик А. К. Ерланг, він у своїй знаменитій статті «Теорія імовірності й телефонні розмови» на початку двадцятого століття заклав основи цієї теорії, і в його наступних статтях установив найважливіші концепції й багато її принципові результати, які використовуються в цей час. Необхідно відзначити що головним мотивом роботи Ерланга, а також і робіт інших дослідників у двадцятих і тридцятих роках минулого століття був практичні проблеми перевантаженості. У плинні наступних двох десятиліття багато вчених стали цікавитися цими проблемами, і розробили загальні моделі, які використовувалися в більш складних ситуаціях.

Із середини 70-х теорія масового обслуговування бурхливо розвивалася,

причиною цього став бурхливий розвиток в області обчислювальних систем, зокрема для моделювання комунікаційних мереж. Відтоді, дослідження в теорії масового обслуговування і її додатків стали дуже активними. Основними напрямками, де в цей час ведуться активні дослідження є наступні:

- моделі продуктивності провідних і бездротових мереж;
- моделі якості обслуговування QoS (Quality of Service);
- моделі компромісів продуктивності й надійності систем;
- моделі продуктивності голосових, відео, даних і р2р додатків;
- алгоритми планування;
- методи й інструменти імітаційного моделювання.

Керування чергами допомагає бізнесу надавати послуги в організаційному порядку. Формування черг, що є соціальним явищем, вигідно для суспільства, якщо його можна управляти так, щоб і клієнт, який чекає обслуговування, і той, який обслуговує, одержували максимальну вигоду.

Об'єкт, що вимагає обслуговування, будь то люди або інше, прийнято називати заявкою (клієнт, вимога або запит, залежно від області застосування). А об'єкт, що надає обслуговування – обслуговуюче обладнання (або сервер).

Ця термінологія використовується в загальному значенні незалежно від характеру фізичного контексту [4]. На рисунку 1.1. представлена схема багатоканальної системи масового обслуговування.

Аналізуючи численні приклади систем масового обслуговування, які зустрічаються в щоденному житті, можна ідентифікувати базові компоненти цих систем.

Потік вступу заявок або вхідний потік: якби вступу заявок і пропозиції обслуговування відбуваються строго за розкладом, то не було б необхідності у формуванні черг, але на практиці цього не відбувається. Майже у всіх випадках, вступу заявок є результатом впливу зовнішніх факторів. Тому краще всього описати вхідний потік заявок у термінах випадкових величин, які можуть бути або число

заявок, що надходять в одиницю часу або проміжок часу між послідовними вступами.

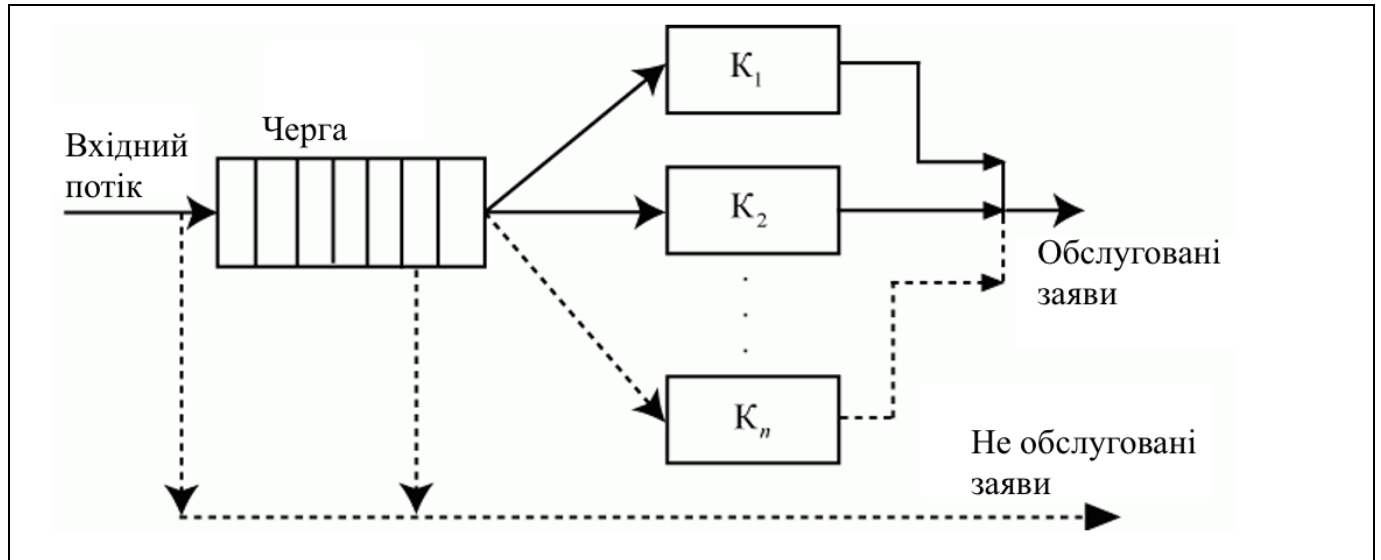


Рисунок 1.1 – Багатоканальна система масового обслуговування,

K_i – обслуговуюче обладнання

Обслуговування заявок: невизначеності, пов'язані з механізмом обслуговування полягають у кількості обслуговуючих обладнань (сервери), кількості заявок, що обслуговуються в одиницю часу, а також тривалість і режим обслуговування. Час обслуговування й число обслуговуючих обладнань можуть бути випадковими величинами при необхідності. Ємність системи визначає кількість місць очікування обслуговування.

Дисципліна обслуговування: правило за яким виходить обслуговуюче обладнання при прийманні заявок для обслуговування. Такі як, перший– прийшов, перший обслужений (first–come, first–served); останній прийшов, перший–обслужений (last–come, first–served); випадковий вибір заявка (random selection for service); вибір заявки за пріоритетом, і т.ін. [5].

Системи масового обслуговування класифікуються за ознаками, що впливають на їхнє функціонування, на рисунку 1.2 показані основні типи СМО, більш докладно про класифікацію СМО можна подивитися в роботах [6].



Рисунок 1.2 – Класифікація СМО

З метою полегшення й скорочення найменування СМО використовуються символіка, відома як класифікація Кендала, широко використовуються в описах систем масового обслуговування, вона мають загальний вигляд:

$$A/B/m/K/N/Z,$$

де: A –розподіл часу між вступами заявок,

B –розподіл часу обслуговування заявок,

m –число обслуговуючих обладнань: $01 \leq m \leq \infty$

K –ємність системи, тобто максимальне число місць очікування:

N –число джерел вступників заявок:

Z – позначається дисципліна обслуговування.

Кінцева мета аналізу систем масового обслуговування, полягає в тому, щоб

зрозуміти поведінку лежачих у їхній основі процесів, щоб прийняти обґрунтовані й розумні рішення їхнього керування. Можна виділити три типи проблем СМО:

Вивчення поведінкових проблем СМО спрямоване на розуміння того, як вони поводяться в різних умовах. Основна частина результатів аналізу теорії масового обслуговування заснована на дослідженнях поведінкових проблем. В аналізах використовуються математичні моделі імовірнісних відносин між різними елементами основного процесу системи. Як і в багатьох галузях науки, моделі вивчаються аналітично з надією на те, що інформація, отримана в результаті такого дослідження, буде корисна в процесі ухвалення рішення.

На додаток до числа заявок у черзі, яке прийнято називати довжиною черги, основними характеристиками є: час, протягом якого нова заявка, що зроблена, повинна чекати, поки не почнеться її обслуговування, цей час прийнято називати час очікування; час, протягом якого обслуговуюче обладнання постійно зайняте, прийнято називати час зайнятості. Характеристики розподілу стохастичних процесів і випадкових величин є необхідними для розуміння їх поведінки. Оскільки час є чинником, аналіз повинен проводити відмінність між залежним від часу й граничною поведінкою. За певних умов стохастичний процес може спиратися на те, що звичайно називають стійким станом або станом рівноваги, у якому властивості розподілу не залежать від часу.

Під статистичними проблемами включається аналіз емпіричних даних з метою виявлення правильної математичної моделі, а також методи перевірки, для визначення доцільності запропонованої моделі. У хронологічному порядку, статистичне дослідження передуює поведінковому дослідженню, для розуміння вибору правильної математичної моделі і її властивостей статистичне дослідження є фундаментальним. У процесі моделювання робиться кілька припущень щодо основних елементів моделі. Природно, повинен бути механізм, за допомогою якого можна було б перевірити ці припущення. Інші важливі питання, у яких статистичні процедури відіграють певну роль, стосуються визначення властивих їм залежностей

між елементами й залежності системи від часу.

Проблеми прийняття рішень – всі проблеми, які властиві роботі СМО. Деякі із цих проблем носять статистичний характер, інші пов'язані із проектуванням, керуванням і вимірюванням ефективності систем [7].

1.2 Полінгові системи масового обслуговування

Полінгові системи або системи впорядкованого опитування – це системи масового обслуговування, що складаються із декількох черг і одного обслуговуючого обладнання. Обслуговуюче обладнання за певним порядком відвідує й обслуговує черги, що мають у них заявки, також за певними правилами. Термін «полінг від англійського слова polling» береться зі схеми керування каналами передачі даних (Data link control scheme), у якій центральний комп'ютер циклічно опитує периферійні термінали по каналах зв'язку, щоб довідатися, є чи в них які-небудь дані для передачі. Коли термінали завершують передачу своїх даних, канал передачі може бути використаний для деяких службових програм, а потім центральний комп'ютер опитує наступний термінал. Такий додаток полінгових систем було вивчено на початку 1970-х років. Ситуації, представлені полінговими системами і їх варіаціями, проявляються не тільки в комп'ютерних і комунікаційних системах, але й в інших областях техніки, таких як виробничі й транспортні системи. Тому полінгові системи, у різних варіантах, були вивчено багатьма дослідниками з кінця 1950-х років, зосередивши увагу на додатках до технологій, що з'являються в кожний період. Наприкінці 1950-х років для дослідження проблем у британській бавовняній промисловості, у якій персонал, що ремонтує, патрулює установки, застосовувалася полінгова модель з чергами одиничної ємності. В 1960-х роках моделі полінгу із двома чергами застосовувалися для аналізу керування сигналом

дорожнього руху. В 1970-х роках з появою комп'ютерно-комунікаційних мереж було проведено велике дослідження зі схем полігону для передачі даних з периферійних терміналів на центральний комп'ютер по багато крапковим лініям. На початку 1980-х років такі ж схеми полігону були відроджені для протоколів передачі токенів (спеціальний набір бітів, який переміщається по token-ring та token-bus мережам і свідчить про наявність повноважень і діє як квиток, дозволяючи своєму власникові відправити повідомлення по мережі) у локальних мережах (Lans) [8].

Наприкінці 1990-х років системи полігону з додатковими функціями керування (наприклад, пріоритет, обмеження за часом) застосовувалися до протоколів доступу до комунікаційних каналів у міських мережах MANs (Metropolitan area networks), високошвидкісних локальних мережах, у цифрових мережах з інтеграцією служб ISDN (Integrated services digital network), у наземних мобільних мережах, і в мережах супутникової радіо зв'язки.

В останні роки одним з основних напрямків розвитку мережної індустрії стає бездротові мережі передачі даних. Сучасні мережі забезпечують користувачам широкий набір послуг, таких, як електронна пошта, передача голосових і відео повідомлень, робота з вилученими базами даних у реальному масштабі часу, служби новин і інші послуги. На базі мереж передачі даних реалізуються: дистанційне навчання, телемедицина, телеконференції, пошукові системи, соціальні мережі, онлайн відео гри, електронні магазини, каталоги товарів і послуг, електронні ЗМІ і т.д.

Швидкий зріст числа комп'ютерних мереж, успіх у розвитку провідних і бездротових засобів зв'язку супроводжуються безперервною зміною мережових технологій, спрямованої на підвищення швидкодії й надійності мереж, можливості інтегрованої передачі даних, голосу й відеоінформації. Застосування бездротової технології дозволяє в найкоротший термін і з невеликими витратами об'єднати вилучені локальні мережі й робочі станції в єдину мережу передачі даних, забезпечити вилучений стаціонарний доступ користувачів локальних мереж до

мережі Інтернет.

Полінгові системи застосовуються для оцінки характеристик бездротових мереж [9]. У теперішні час можна впевнено сказати, що полінгові системи стали потужним інструментом аналізу ефективності й продуктивності широкого сектору важливих додатків. Хидеакі Такагі (він є одним з батьків успіху полінгових систем) сказав [10]: «Аналіз полінгових систем набрав обороти як системи масового обслуговування, які легко зрозуміти, проаналізувати й розширити. Дослідження прискорилося в основному за рахунок застосування в моделюванні комунікаційних, виробничих і транспортних системах. Я вважаю, що полінгові системи є одним з деяких успішних теоретичних моделей оцінки ефективності, розроблених в останні десятиліття».

Полінгові системи застосовуються в тих ситуаціях, коли кілька користувачів конкурують для одержання доступу до загального ресурсу, який одночасно може бути доступний тільки одному користувачеві.

Найпростішим видом систем полінігу є так звана класична система полінігу, вона складається з одного обслуговуючого обладнання й числа N ($N > 1$) черг із необмеженою кількістю місць для очікування (див. рисунок 1.3). У кожному чергу Q_i ($i = 1, 2, \dots, N$) надходить потік заявок з інтенсивністю λ_i . Обслуговуюче обладнання за циклічним порядком відвідує черги, обслуговує заявки, що перебувають у них. По класифікації Кендала, це система масового обслуговування класу $M/G/1$. Класична система вже добре вивчена й проаналізована багатьма дослідниками, і існує величезна література, що розглядає дану систему [11].

У цей час технологічні досягнення в області інформаційно-комунікаційних технологій приводять до формування більш просунутих моделей полінігу з новими функціями й доповненнями, які не були включені в класичних системах. Вивчення й формування нових систем з новими особливостями, які можуть забезпечити різні вимоги інформаційно-комунікаційних систем і систем інших галузей техніки, усе це призводить до різних наукових викликів.

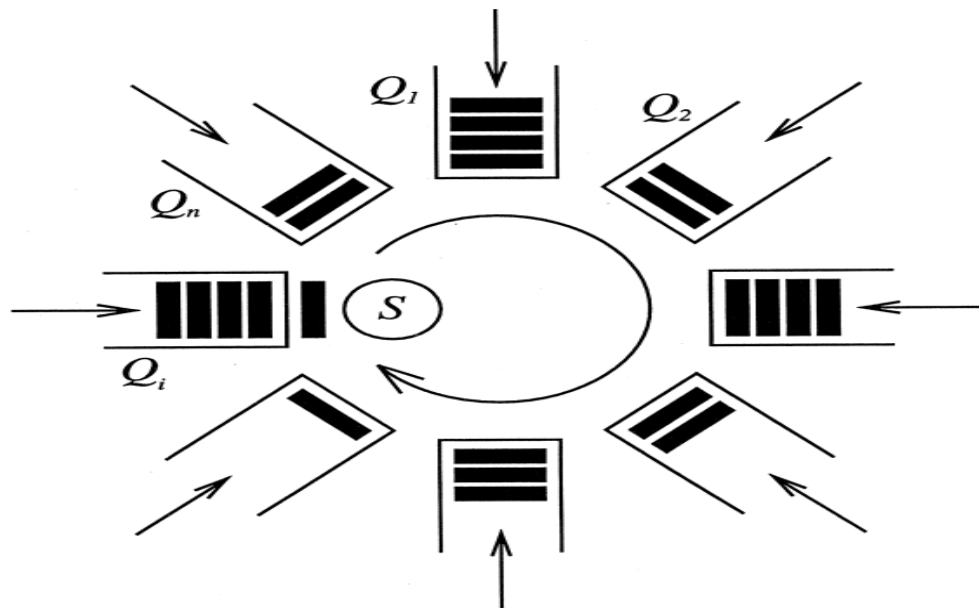


Рисунок 1.3 – Система політгу [11]

Основними характеристиками політгових систем є потоки поповнення черг, ємність черг (число місць для очікування), дисципліна обслуговування заявок, маршрутизація обслуговуючого обладнання, режим обслуговування черг, час перемикання обслуговуючого обладнання між чергами, число обслуговуючих обладнань, число черг. По конструкції політгової системи, потоки поповнень черг, режим обслуговування черг і час перемикання більше впливають на продуктивність системи, але не можуть повністю її ідентифікувати. Продуктивність сильно залежить від інших параметрів, згаданих вище.

Процес входу заявок: у більшості досліджень політгових систем, потоки заявок, що поповнюють черги передбачаються пуасонівськими. У багатьох випадках потоки поповнення дійсно можуть бути адекватно описані пуасонівськими процесами, наприклад, у випадку телефонних дзвінків і дорожно-транспортних подій. Через властивість відсутності наслідку пуасонівського процесу, системи політгу з пуасонівським потоком входу дозволяють провести аналіз, що простежується [10].

Однак у реальному житті зустрічаються системи, для яких така гіпотеза вважається дуже сумнівною, або не прийнятною взагалі, наприклад, у випадку

інтенсивного трафіка (передача голосу або відео). У полігрових системах майже завжди передбачається що запити (повідомлення, заявки) надходять із якоїсь зовнішньої нескінченної популяції, але в деяких додатках це припущення не реалістичне, наприклад, у сервісних центрах і у відділах тех. підтримки. Моделі полігру з безперервним потоком вступників заявок детально проаналізовані в роботі [11], отримані результати порівнювали з результатами дискретних моделей.

Ємність черг: це число місць для очікування обслуговування в черзі, у більшості полігрових систем передбачається що ємність черг не обмежена, але в деяких додатках ємність повинна бути обмеженою, наприклад, у транспортних і виробничих системах. Існують також додатки систем полігру, у яких черги мають одиничний розмір, тобто кожна черга може розмістити тільки одну заявку за раз [12].

Маршрутизація обслуговуючого обладнання (порядок опитування): це порядок по якому обслуговуюче обладнання відвідує черги для обслуговування. Маршрутизації обслуговуючого обладнання можна умовно розділити на статичній і динамічній. При статичній маршрутизації вибір черги для обслуговування не залежить від стану системи, і правила вибору черг для обслуговування не змінюються в ході роботи системи. Динамічна маршрутизація залежить від стану системи. Вибір наступної черги на обслуговування залежить від деякої інформації доступної обслуговуючому обладнанню, такі як довжина черги, вступу повідомлень із високим пріоритетом і т.д.

Виділяються наступні види маршрутизації обслуговуючого обладнання:

Циклічна маршрутизація, згідно з якою обслуговуюче обладнання після завершення обслуговування черги перемикає на сусідню в порядку проходження. Це означає, що обслуговуюче обладнання із черги Q_i переходить до черги Q_{i+1} і із черги Q_{i+1} до черги Q_{i+2} і так далі до черги Q_N , а потім із черги Q_N до черги Q_1 і т.д. ($i = 1, 2, \dots, N$).

Періодична маршрутизація, задається таблицею полігру (polling table)

$$(T(1), T(2), T(3), \dots, T(M))$$

довжини M ($M \geq N$), $T(i) \in \{1, 2, \dots, N\}$, $I = 1, M$, обслуговуюче обладнання відвідує черги один по одному $QT(1), QT(2), QT(3), \dots, QT(M), \dots$ при цьому передбачається, що таблиця політінгу містить номери всіх черг у системі.

Пріоритетна маршрутизація, це маршрутизація, при якій система має черги різних пріоритетів і деяка черга може бути обслугована, якщо більш пріоритетні черги не містять заявок [13].

Режим обслуговування черг, або дисципліна обслуговування черг, визначає кількість заявок у черзі, які будуть обслуговані обслуговуючим обладнанням у данім відвідуванні. Виділяють чотири найпоширеніші дисципліни:

– вичерпний режим, це режим, при якому обслуговуюче обладнання обслуговує заявки поки черга не спорожніє;

– шлюзовий режим обладнання, що обслуговує, обслуговує тільки ті заявки, які перебували в черзі до поточного відвідування. Заявки, що потрапили в чергу після початку процесу обслуговування черги, будуть обслужені тільки в наступному циклі. Існує й глобальна шлюзова дисципліна обладнання, що коли обслуговує, обслуговує тільки ті заявки, які перебували в чергах на початку циклу опитування;

– обмежений режим, при відвідуванні черги, кількість заявок, яка обслуговує обслуговуюче обладнання обмежене k ($k \geq 1$), при обмеженій дисципліні обслуговуюче обладнання буде обслуговувати черга доти, поки не відбудеться одне із двох подій: або будуть обслужені k заявок, або черга спорожніє;

– обмежений за часом режим (обмежений режим) обладнання, що обслуговує, продовжує обслуговувати заявки в черзі доти, поки не буде минати заздалегідь певне час або черга не спорожніє, у залежності якої із цих подій відбудеться першим [13].

З метою оптимізації й підвищення ефективності системи, іноді застосовуються гібридні варіанти дисципліни обслуговування, тобто в системі можуть бути кілька дисциплін і кожна черга може бути обслугована по своїй дисципліні (залежно від

пріоритету черги) [14]. Для підвищення ефективності системи полігугу з обмеженим режимом обслуговування використовувалися нейронні мережі для добору оптимального числа заявок k .

Дисципліна обслуговування заявок у черзі, визначає в якому порядку обслуговуюче обладнання буде обслуговувати заявки, що перебувають у черзі. Найпоширенішою дисципліною є перший прийшов перший обслуговується FCFS (First come first served). Оптимізації дисципліни обслуговування заявок у полігугових системах може суттєво підвищувати їхню продуктивність без необхідності придбання додаткових ресурсів. Розподіл довжини черги не залежить від порядку обслуговування, і так само, за законом Літла, середній час очікування (за умови, що порядок обслуговування не залежить від часу обслуговування). Однак розподіл часу очікування залежить від порядку обслуговування.

Час перемикавання – це час, необхідний обслуговуючим обладнанням для переходу з однієї черги до іншої, у деяких випадках воно вважається нульовим, тобто миттєве перемикавання. Час перемикавання вважається незалежним від стану системи.

Число обслуговуючого обладнання: збільшення числа обслуговуючих обладнань вважається одним з напрямків оптимізації полігугових систем, на яке дослідники повинні звернути більше уваги. Мобільні й бездротові мережі є одними їх тих областей, для яких системи полігугу з декількома обслуговуючими обладнаннями життєво необхідно для збільшення пропускної здатності й надійності передачі даних. Наприклад, для збільшення надійності і якості передачі, використовуються кілька антен (MIMO), дозволяючи користувачам одночасно використовувати кілька мобільних мереж.

У самому загальному випадку полігугові системи повністю описуються числом черг і обслуговуючих обладнань, порядком опитування й режимами обслуговування черг, параметрами вхідних потоків, обслуговування й перемикавання обслуговуючого обладнання між чергами.

1.3 Особливості впровадження політгу в інформаційні системи

Отже, плануючи проект впровадження, керівництво підприємства зустрічається із завданням багато-критеріального й багато-альтернативного вибору, а так само оцінкою можливих наслідків від реалізації цього вибору. Виходить, що необхідно виробити (сформуванати) методику, за допомогою якої буде здійснюватися вибір найбільш ефективної з економічної точки зору корпоративної інформаційної системи, що відповідає всім вимогам підприємства, чому буде присвячено подальше дослідження.

Існування таких аспектів проекту впровадження ІС приводить до необхідності перетворення окремих процедур планування й реалізації проекту впровадження, а також формування чіткої системи взаємозв'язки й гнучких структур корпорації, оскільки кожний агент (експерт) окремо не в змозі розв'язати загальну (більшу й важку) завдання впровадження інформаційної системи на підприємстві. З урахуванням цих особливостей представимо загальну схему мультиагентної системи проекту впровадження.

Розглядаючи проект впровадження ІС з погляду ситуаційного аналізу, слід розкрити ще одну сторону цього багатогранного процесу. Проект впровадження ІС на підприємство виступає як об'єкт інвестицій, оскільки він спрямований на придбання нових конкурентних переваг з метою одержання реальної економічної віддачі від вкладених коштів. Виходячи із чого, обов'язковим елементом планування проекту впровадження буде оцінка економічної ефективності й ризику.

Кількісний аналіз – визначення ймовірності або можливості того, що отриманий результат виявиться менше необхідного значення (наміченого, планованого, прогнозованого):

- зниження ризиків – мінімізація проектних ризиків;

– керування ризиками – сукупність методів аналізу й нейтралізації факторів ризиків, об'єднаних у систему планування, моніторингу й коригувальних впливів.

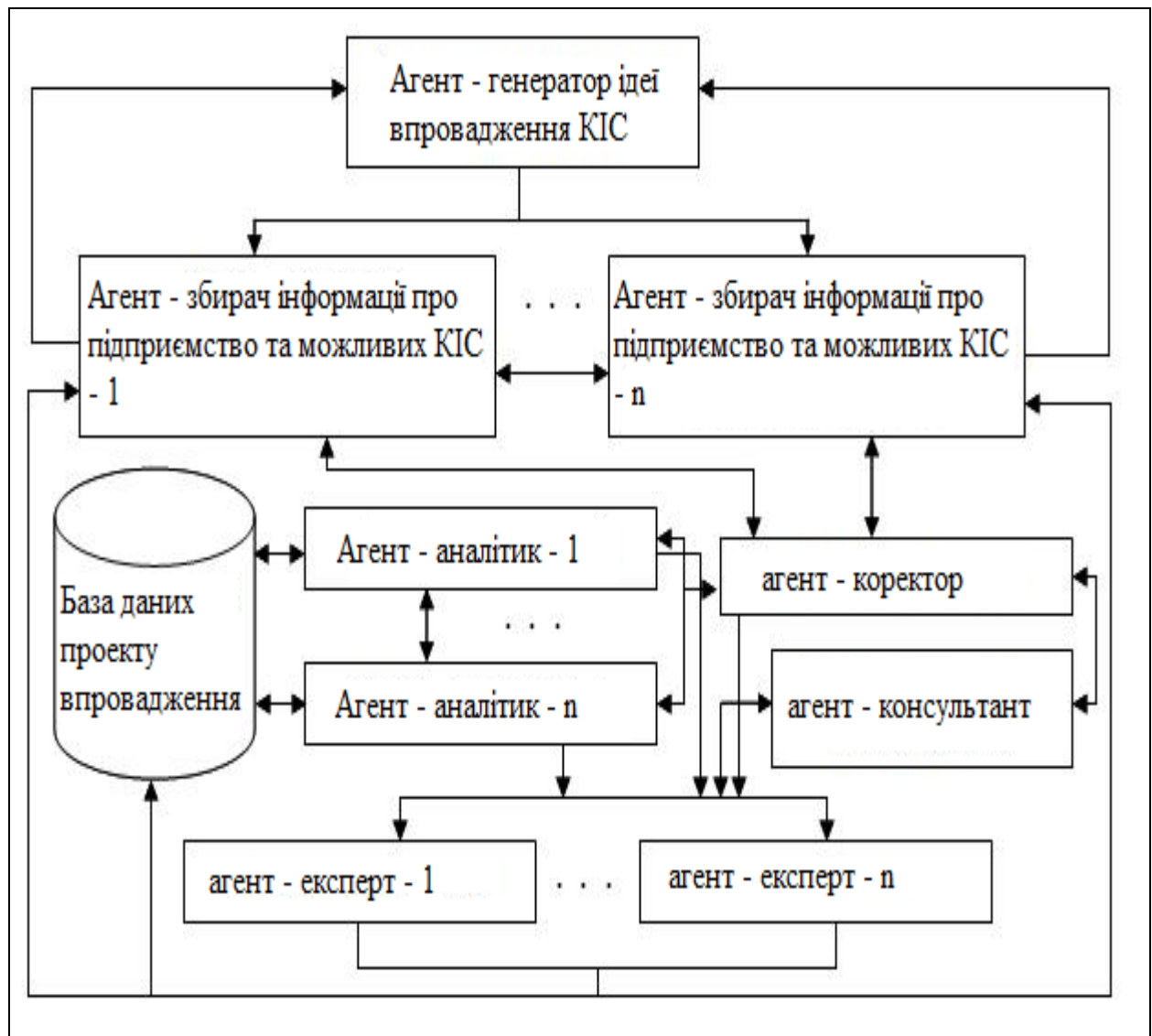


Рисунок 1.4 – Загальна схема мультиагентної системи проекту впровадження з погляду системного (ситуаційного) аналізу

Оскільки зниження ризиків, а так само керування ними відбувається після затвердження проекту на реалізацію, те далі нас буде більш докладно цікавити якісний і кількісний аналізи ефективності й ризиків при впровадженні ІС, тому що саме ці результати можуть вплинути на висновок про потенційної привабливості тієї або іншої системи.

1.4 Постановка цілей дослідження

Імітаційне моделювання перевершує аналітичне моделювання якщо:

- у моделі втримуються змінні з нелінійними відносинами;
- у моделі втримуються випадкові елементи;
- у моделі потрібні візуалізації динаміки змін системи для розуміння її поведінки;
- у моделі втримується безліч паралельна функціонуючих взаємодіючих елементів;

На практиці, у багатьох випадках імітаційне моделювання є ефективним, а іноді і єдиним способом одержання достовірної вислови й аналізу поведінки складної системи.

До теперішнього часу з'явилася величезна безліч програмних продуктів, що дозволяють побудувати імітаційні моделі для дослідження різних типів технологічних систем, у тому числі, системи масового обслуговування. З існуючого безлічі різноманітних інструментів імітаційного моделювання будемо дивитися ті, які становлять найбільший інтерес.

У процесі виконання кваліфікаційної роботи необхідно виконати наступні завдання.

Провести огляд систем масового обслуговування, виконаний за матеріалами літературних джерел. Позначити основні напрямки, де в цей час ведуться активні дослідження, з використанням апарата теорії масового обслуговування, як інструмента рішення завдань.

Провести аналіз полігрових систем. Провести аналіз досвіду використання полігрових систем у комунікаційній, інформаційно-комунікаційних, виробничих, транспортних, та ряді інших областей.

Співставити методи й інструменти їх моделювання, обґрунтована доцільність

використання апарата імітаційного моделювання.

Згідно аналізу, за оцінкою ефективності ІТ-проектів, виявляється, що більшість прогнозних розрахунків занадто ідеалізовані й далекі від практики, тому багато фірм і корпорацій воліють працювати на основі досвіду й інтуїції, що обумовлене наступними основними причинами [14]:

- специфікою предметної області дослідження, тому що вона перебуває на стику сучасної прикладної математики, інформатики, економіки й психології;
- відносною новизною й недостатньою пропрацьованістю математичних методів для побудови моделей підтримки прийняття рішень при підготовці проектів впровадження ІС в умовах невизначеності;
- низькою поінформованістю керівництва підприємств і фахівців в області аналітики про нові математичні підходи формалізації й одночасної обробки різномірної інформації (детермінованої, інтервальної, лінгвістичної, статистичної) і про можливості побудови на базі цих підходів спеціалізованих методик.

Спроба використання класичних статистичних методів для рішення такого роду завдань є не що інше, як перехід до добре структурованих (добре формалізованих) завданням, при цьому такого роду перехід суттєво спотворює вихідну постановку завдання. Обмеження й недоліки застосування «класичних» формальних методів при рішенні слабо структурованих завдань є наслідком сформульованого основоположником теорії нечітких множин «принципу несумісності»: «при збільшенні складності системи наша здатність робити точні й упевнені висновки про її поведінку зменшуються до певного порога, за яким точність і впевненість стають майже взаємовиключними поняттями» .

Вивчення функціональних можливостей ІС і їх класифікації дає можливість провести оцінку готових рішень систем, пропонованих інформаційним ринком, а при створенні власної системи – орієнтуватися, якого класу система планується й з яким функціоналом. Виходячи із цього при підготовці проекту впровадження корпоративної інформаційної системи необхідно сформулювати систему критеріїв

оцінки розглянутих варіантів оцінки (проектних альтернатив), які формуються на основі потреб і особливостей підприємства.

Для вирішення проблем необхідно розробити структуру МАС підтримки прийняття рішень, яка дозволить виявити в повному обсязі причинно-наслідкові зв'язки, що виникають при підготовці проекту впровадження ІС, що забезпечує коректну оцінку економічної ефективності й ризику проекту впровадження.

2 ОПИС ПРОВЕДЕНИХ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Аналіз додатків полінгових систем

Полінгові системи мають широкий спектр важливих додатків у сфері промислового виробництва, транспорту, телекомунікаційних технологій.

Системи полінгу мають широке застосування в області комп'ютерно-комунікаційних систем, де ресурси (наприклад, пропускна здатність, потужність ЦП) розподілені між різними користувачами.

Комп'ютерні системи з поділом часу є класичними додатками систем полінгу, вони складаються з декількох терміналів підключених до центрального комп'ютера по багато точковим лініям. Передача даних з терміналів на комп'ютер і назад контролюється за допомогою схеми опитування (полінгу), у якій комп'ютер обстежує термінали, запитуючи їх дані, по одному терміналу за раз. У таких додатках, сервер являє собою центральний комп'ютер, черги представляють термінали й заявки представляють дані [18].

У комунікаційних мережах, різні термінали конкурують між собою за одержання доступу до загального середовища. Якщо кілька терміналів одночасно передають або ухвалюють дані, то можуть виникати перешкоди й зіткнення пакетів. Для уникнення цих зіткнень і перешкод була запропонована безліч протоколів керування доступом до середовища (МАС) для різних мережевих технологій, які у свою чергу приводили до формування полінгових моделей.

Мережі з кільцевою топологією (Token-ring networks): полінгові моделі використовуються для вивчення ефективності схем передачі токенів у локальних мережах (ЛМ), де токен – надає право на передачу – поширюється серед різних користувачів [18]. У таких випадках, схема передачі токенів звичайно конфігурується в кільцевою або шинною топологією. Мережа з кільцевою топологією може бути охарактеризована як безліч або набір станцій, підключених до

загального середовища передачі в кільцевій топології. Усі повідомлення передаються по фіксованому маршруту від станції до станції по контуру (рисунок 2.1). Токен може бути у двох станах: зайнятий або вільний. Станція з даними для передачі зчитує вільний токен і змінює його стан у зайняте перед його повторною передачею.

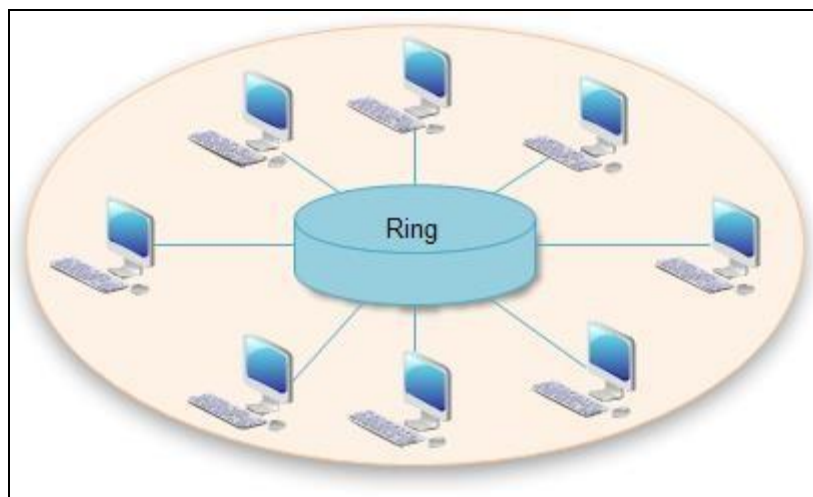


Рисунок 2.1 – Мережа з кільцевою топологією [18]

Потім зайнятий токен включається як частина заголовка даних, переданих на кільці станцією. Таким чином, інші станції на кільці можуть уважати заголовок, помітити зайнятий токен і втримуватися від передачі. Коли токен вертається на станцію, яка змінила його стан на зайнятий, і станція вирішує передати право на передачу на іншу станцію, вона змінює стан олін на вільний. Мережа дозволяє передавати пакети без конфліктів. Однак передача пакетів може як і раніше завершитися невдачею через помилки й викривлень на самому кільці. Як правило, ці помилки є рідкістю, і для їхнього усунення використовуються так звані Selective–Repeat ARQ (SR–ARQ). У такій схемі, станція, що одержує помилкове повідомлення, передає на передавальну станцію негативна відповідь, що вказує на необхідність ретрансляції повідомлення. Для аналізу продуктивності SR–ARQ схем, використовуються моделі поліну, у якій кожна станція представлено двома чергами: одна для повідомлень, які необхідно відправити, а інша для негативних відповідей, які будуть відправлені назад при одержанні помилкових повідомлень

[19].

Мережа із шинною топологією складається з безлічі станцій, підключених друг до друга в шинній топології. Метою цього методу є комбінація привабливих особливостей шинної топології з функціями протоколу безконфліктного (без колізійного) доступу до середовища. У шині олін, у міру передачі олін, формується логічне кільце. Тому що топологія шини не нав'язує ніякого послідовного упорядкування станцій, логічне кільце визначається послідовністю адрес станцій. Концептуально, передача олін по шинах і кільцям дуже схожа, і для опису цих методів можна використовувати ту саму модель продуктивності. Відмінність між кільцевому й шинним токенами з погляду моделювання полягає в тому, що сервер у мережі кільцевою топологією відвідує черги циклічним чином, у той час як у моделі шинної топології сервер переміщається уздовж черг, такий тип переміщення може бути змодельований за допомогою таблиці поліну. Мережі із шинною топологією, де комунікаційна мережа становить середовище передачі між головним обладнанням і безліччю периферійних контролерів.

Вони працюють у такий спосіб: головне обладнання по черзі опитує кожний з периферійних контролерів, потім, головне обладнання одержує відповідь, що вказує на те, чи має периферійний контролер деякий пакет для відправлення, якщо це так, пакет відправляється на головне обладнання. Після опитування периферійних контролерів, головне обладнання перевіряє свою власну чергу на наявність вихідних пакетів, а якщо ця черга не порожня, то одержує керування шиною. Перевага цієї системи полягає в тому, що вона забезпечує швидке відправлення вихідних повідомлень і запобігання блокувань повідомлень у центральному обладнанні керування (тобто головному контролері). У літературі, ця схема опитування називається зоряним опитуванням [19].

Мережі волокно-оптичного розподіленого інтерфейсу передачі даних: це протокол передачі токенів у локальній мережі з кільцевою топологією, в якій доступ до кільця передачі контролюється так званим протоколом синхронізованого олін

доступу, тобто коли час передачі для кожної станції обмежене. Даний тип моделей приводить до формування полігрових систем з обмеженим часом обслуговування [19].

Мережі подвійної шини з розподіленою чергою: протокол подвійної шини з розподіленою чергою (Distributed queue dual bus, DQDB) – це шина стандарту IEEE 802.6, він являє собою протокол багаторазового доступу комунікаційних мереж, що полягають із двох односпрямованих шин, які несуть інформації в протилежних напрямках. Станції розподілені по двом шинам і мають можливість передавати / одержувати до/з обох шин. Протокол DQDB призначений для інтеграції даних, голосового й відео трафіка в єдину комунікаційну мережу. Системи полігрову використовуються для вивчення механізмів доступу до середовища однієї станції в мережі DQDB [20].

Схеми довільного доступу: на відміну від запланованих протоколів множинного доступу, це протоколи випадкового множинного доступу, де об'єкт відправляє своє повідомлення незалежно від можливих зіткнень. Схеми доступуALOHA являє приклад схем довільного доступу, як тільки пакет надходить на станцію, він передається. Якщо передача завершується невдало, наприклад, через те, що були передані інші пакети в той же час, викликавши зіткнення, передача пакета планується через випадковий період часу. Альтернативою для цієї схеми є так звана схема доступуALOHA резервування. У цій схемі, станції представляється виключне право на передачу без який–небудь втручання інших станцій, у плинні певного періоду часу. Коли передавальна станції більше не резервує канал, деякі або всі станції починають боротися, щоб захопити канал. Тривалість періоду конкуренції за одержання каналу є випадковою, а наступна станція, яка захопить канал також є випадковою. Цей тип протоколів, природно, приводить до формування полігрових систем з випадковою маршрутизацією [21].

Додатки полігрових систем є також в області пасивних оптичних мереж, де пакети з різних оптичних мережевих одиниць ONUs (Optical network units) ділять

пропускну здатність каналу. EPON являє собою мережа із множинним доступом (мережа багато крапкова – це особливий тип з'єднань, при який здійснюється підключення вигляду один–багатьом, позначається як P2MP, від англійського point-to-multipoint), тобто мережа із прямими й зворотними потоками даних. Для реалізації динамічного розподілу пропускну здатність використовуються полігрові системи.

Блютуз – це стандарт бездротової технології, використовуваної для обміну даними між мобільними обладнаннями, такими як мобільні телефони, ноутбуки й гарнітури. Ці обладнання утворюють невеликі мережі, називані бездротовими персональними мережами WPANs (Wireless private area networks). Основною топологією мережі Bluetooth є піконет (piconet), що полягає з одного головного обладнання й до семи підлеглих обладнань. Структура piconet, що полягає з N підлеглих обладнань, може бути адекватно змодельована з використанням полігрових систем, що полягають із $2N$ черг. Для кожної лінії зв'язку між головним і підлеглими використовується одна черга (master-to-slave), і для кожної лінії між підлеглими й головним (slave-to-master) використовується одна додаткова черга [22].

Полігрові системи застосовуються також у мобільних мережах, де різні користувачі конкурують за доступ до загальних обмежених радіо ресурсам. У таких середовищах, основна станція звичайно відповідає за призначення тимчасових інтервалів різним користувачам, у цьому контексті, сервер надає право на передачу, а клієнти надають пакети для передачі. Типові приклади механізму полігрову зустрічаються в контексті HSPA (High speed packet access) на основі CDMA (Code division multiple access), де контролер основної станції надає доступ до середовища. Існують різні механізми планування визначення того, який з терміналів одержує доступ до середовища протягом одного інтервалу часу. Загальною реалізацією є просте планування, де доступ до середовища поширюється серед терміналів не залежно від якості сигналу [23]. Це відразу ж приводить до моделей полігрову з

обмеженням обслуговування й циклічною маршрутизацією сервера.

Прямим розширенням RR-планування є планування, яке приводить до формування моделей полігону з періодичною маршрутизацією сервера. Для підвищення ефективності доступу до середовища в HSPA мережах, були запропоновані високотехнологічні механізми планування каналів, що представляють тимчасові інтервали терміналам на основі обмірюваних миттєвих співвідношень сигнал / шум (Signal-to-noise ratios) кожного з терміналів. Уроджена випадковість в умовах каналу, і, отже, у тому порядку в якому станції одержують доступ до середовища приводить до формування моделей полігону з випадкової або Марковською маршрутизацією сервера [24].

У промисловому виробництві полігони системи застосовуються для рішення завдання оптимального планування виробів. Це завдання пов'язана з виробництвом декількох стандартизованих продуктів на одній машиною з обмеженою ємністю, при випадкових попитах на продукти, випадкових часом установки, випадковим часом виробництва. На практиці, такі мережі є розповсюдженим завданням, що займається виробництвом продуктів (виробництво на склад). Що точно еквівалентно класичній олін говій системі. Машина відіграє роль обслуговуючого обладнання, а продукти, вироблені цієї машиною роль черг [25].

Однією важливою областю, у якій часто полігони системи застосовуються, є транспортні системи. У дорожньому русі, полігони система є природнім способом моделювати ситуації, коли утворюються черги через те, що потоки транспортних засобів повинні розділяти одну дорожню смугу руху. Найпростіша форма цієї проблеми є двох смугової дорогою із двобічним рухом, яка часто заблокується через аварію або технічне обслуговування дороги. Також системи полігону мають місце й для будь-якого загального дорожнього перетинання (перехрестя).

Крім дорожнього руху, полігони системи використовуються в транспортних системах, що полягають із безпілотних електромобілів, які рухаються по заздалегідь заданій доріжці. Таке транспортування здійснюється так званими автоматизованими

керованими транспортними засобами (Automated Guided Vehicles, AGV). Перша AGV система була просто евакуатором, який ішов за проведенням на підлозі, у цей час. Системи AGV в основному орієнтовані на лазерну навігацію. Системи AGV використовуються для транспортування матеріалів у виробничих системах і на складах і контейнерних терміналах, а також в інших областях, таких як системи суспільного транспорту, наприклад, в аеропортах. У звичайній системі AGV, кожна машина може підняти навантаження з однієї станції й доставити її на будь-яку станцію. Щоб уникнути зіткнень транспортних засобів, більшість систем використовують концепцію блокування зон, коли вся система розділена на зони. Система керування дозволяє одночасно тільки одній машині перебувати в кожній зоні.

Відділення медичної швидкої допомоги може бути змодельоване олін говій системою з декількома обслуговуючими обладнаннями – у відділенні швидкої допомоги прибувають різні види пацієнтів, які розміщуються в чергах залежно від типу необхідної хірургічної процедури. Кожна екстрена хірургічна процедура має окрему чергу необмеженою ємністю. Кількість кімнат у відділенні обмежено, і кожна кімната моделюється обслуговуючим обладнанням у олін говій системі. Оскільки процес установки хірургічних процедур займає більше часу, чому самі фактичні процедури, то час обслуговування в олін говій системі набагато менше ніж час перемикання обслуговуючого обладнання між чергами. Нарешті, кожному пацієнтові привласнюється параметр терміновості, який визначає наявність (локальних) рівнів пріоритету в кожній черзі. Автор роботи пропонував попереднє дослідження того, як спроектувати відділення швидкої допомоги таким чином, щоб у найбільш термінових пацієнтів був самий короткий час очікування.

У цей час моделюванням є технологія рішення завдань, тому воно як дисципліна: вивчає способи рішення завдань, тобто, є інженерною наукою; є універсальним інструментом, що гарантують рішення будь-яких завдань незалежно від предметної області. Моделюванням систем є найскладніший багатоетапний

процес дослідження систем, спрямований на виявлення властивостей і закономірностей, властивих досліджуваним системам з метою створення або модернізації цих систем [18].

Моделювання класифікується по різних ознаках, однак, ми обмежимося двома найбільш актуальними на сьогоднішній день:

- по характеру процесів, що протікають у системі;
- по способу реалізації моделей;

На рисунках 2.2 і 2.3 показані типи моделей за відповідною ознакою класифікації. Більш докладно про класифікацію моделей і моделювання можна знайти в роботах [2].

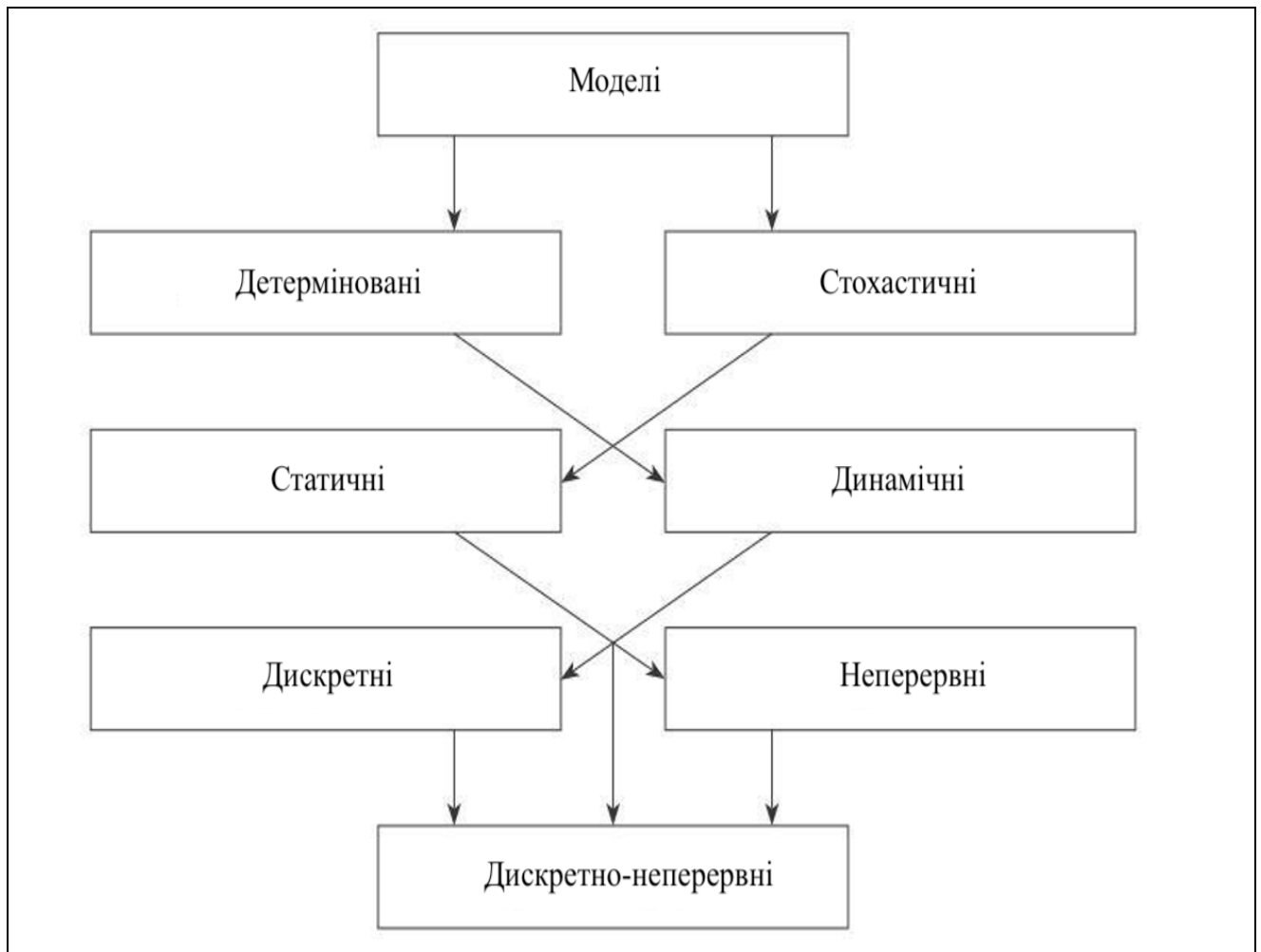


Рисунок 2.2 – Класифікація моделей по характеру процесів

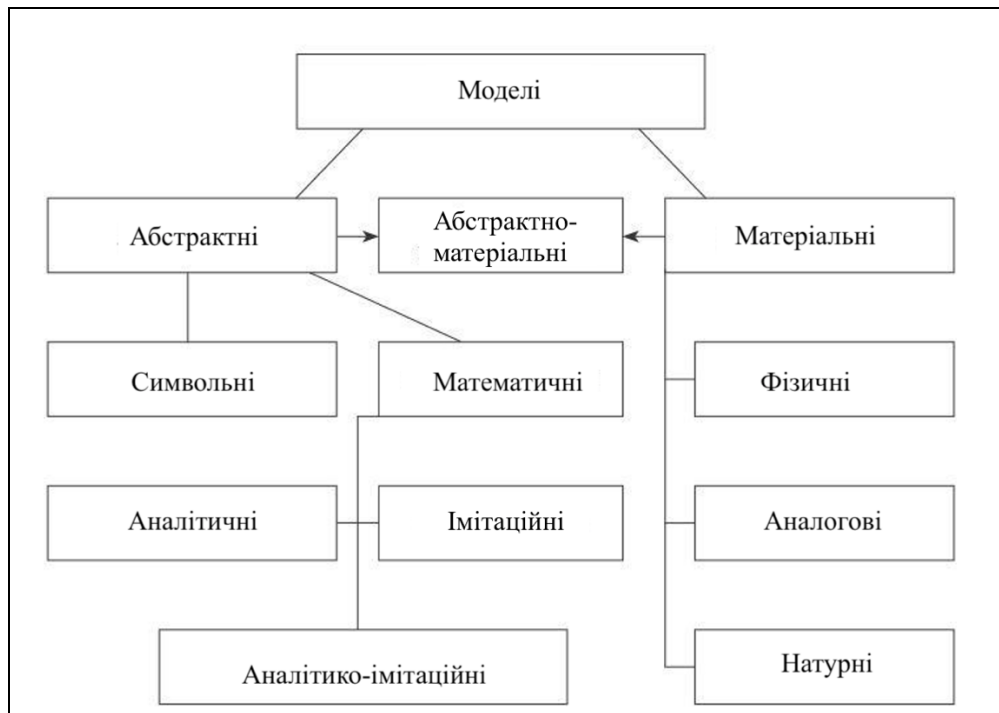


Рисунок 2.3 – Класифікація моделей по способу їх реалізації

Під математичним моделюванням розуміється процес установлення відповідності моделюємому об'єкту деякої математичної конструкції, якої називається математичною моделлю. Досліджуючи цієї моделі можна одержати характеристики модельованого об'єкта. Аналітичними моделями є функціональні співвідношення, вони представляються у вигляді формул, нерівностей, систем лінійних і не лінійних рівнянь.

У реальному житті системи масового обслуговування складаються з більшого числа елементів, які мають складні між собою зв'язки. Використання аналітичних моделей у таких випадках не дозволяє одержати достовірних результатів і найчастіше для побудови й вивчення систем масового обслуговування переходять до імітаційного моделювання [24].

Імітаційне моделювання – це процес розробки й виконання комп'ютерної програми (алгоритму), яку відбиває поведінка й структуру досліджуваного об'єкта або явища. Така комп'ютерна програма (алгоритм) називається імітаційною моделлю модельованого об'єкта або явища. Сутності й об'єкти імітаційної моделі

представляють сутності й об'єкти реальної системи, а зв'язки структурних елементів об'єкта моделювання проявляються у вигляді оліній зв'язків аналогічних об'єктів моделі. Таким чином, імітаційна модель є спрощеною подобою реального існуючого (або якого планується створити в майбутньому) об'єкта. Звичайно, імітаційна модель представляється комп'ютерною програмою, виконання якої можна вважати імітацією поведінки модельованої системи в часі [25].

2.2 Модель полігової системи з вичерпним режимом обслуговування

Метою методу аналізу середніх є обчислення характеристик системи в довільний момент часу, тому необхідно знати, крім середньої тривалості відвідування черги обслуговуючим обладнанням, середнє, що залишилося або минулий час відвідування черги.

Метод аналізу середніх припускає, що якщо режим обслуговування вичерпний, то величина тривалості відвідування V_i дорівнює сумі часу перемикання обслуговуючого обладнання до черги S_i і часу обслуговування всіх заявок у черзі. Якщо в системі режим обслуговування шлюзовий, то величина V_i рівняється сумі часу підключення обслуговуючого обладнання до наступної $(i + 1)$ -ї черги S_{i+1} і часу обслуговування заявок у черзі. Виходячи з такої інтерпретації тривалості відвідування кількість заявок у черзі дорівнює нулю в момент початку опитування черги (при шлюзовому режимі обслуговування) або в момент обладнання, що коли обслуговує, залишає черга (при вичерпним режимі обслуговування).

Розглядається полігова система з вичерпним режимом обслуговування. Проводиться стеження за довільну вступну заявку в момент її вступу в чергу, допустимо, в i -ту. До одержання обслуговування, дана заявка буде чекати обслуговування всіх заявок, що перебувають у черзі в момент її вступу, а час, що

також залишився, циклу. Обслуговуюче обладнання, у момент вступу заявки, може перебувати в одному із трьох станів:

– воно обслуговує заявку в i -й черзі з імовірністю ρ_i , і заявка за якою ми стежимо, повинна очікувати крім обслуговування всіх заявок, що перебувають перед нею, що залишився час до завершення поточного обслуговування.

– воно перемикається до i -ї черги з імовірністю s_i/C час, який заявка повинна очікувати збільшується на залишковий час перемикавання до i -ї черги.

– воно звернене до якоїсь (відмінної від i -ї) черги, і обслуговування заявки буде затримуватися доти, поки обслуговуюче обладнання знову не відвідає i -ту чергу. Тривалість такого періоду часу дорівнює сумі часу, що залишився до завершення $(i + 1, N - 1)$ -го періоду, і часу перемикавання до i -ї черги.

Оскільки при вичерпній дисципліні обслуговування в черзі не залишаються заявки обладнання, що коли обслуговує, залишає чергу, те можна використовувати наступну властивість. Кількість заявок, присутніх, допустимо, в i -й черзі, у довільний момент часу $(i + 1, j)$ -го періоду дорівнює кількості заявок, що зробили протягом цього періоду. Тому що розподіл тривалості цього періоду збігається з розподілом його часу, що залишився,

2.3 Нечіткі множини як інструмент в умовах дії факторів невизначеності

Методи, що базуються на теорії нечітких множин, ставляться до методів оцінки й прийняття рішень в умовах невизначеності. Основна їхня суть полягає у формальному описі вихідних параметрів і цільових показників ефективності проєктів впровадження у вигляді нечіткого інтервалу (вектора інтервальних значень), влучення в кожний проміжок якого можна охарактеризувати деяким ступенем невизначеності. Реалізуючи арифметичні й ол. операції з такими

нечіткими інтервалами за правилами нечіткої математики, експерти й особи, що ухвалюють рішення (керівники підприємств, аналітики й інвестори), одержують результуючий нечіткий інтервал для цільового показника. На основі вихідної інформації, досвіду, інтуїції експерти часто можуть досить упевнено кількісно охарактеризувати границі (інтервали) можливих (припустимих) значень параметрів і області їх найбільш можливих (кращих) значень. В основу таких методів покладена нечітка множина першого порядку:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}, \quad (2.2)$$

де $\mu_A(x)$ – функція приналежності, що вказує, у якому ступені елемент x належить нечіткій множині A .

Функція приналежності при цьому приймає значення, що належать деякій лінійно впорядкованій множині M , яка називається множиною приналежностей і найчастіше представляється як відрізок. Тим самим було розширене класичне поняття «множина», допустивши, що характеристична функція (функція приналежності елемента множини) може містити будь-які значення в інтервалі, а не тільки значення 0 або 1. Чисельне значення функції приналежності для кожного окремого елемента визначає ступінь приналежності даного елемента до множини [16].

Для побудови функцій приналежності використовують наступні методи:

- побудова на основі парних порівнянь;
- побудова лінгвістичних термів на основі статистичних даних (лінгвістичний терм – конкретне значення нечіткої змінної, яку описує нечітка множина);
- побудова на основі експертних оцінок;
- параметричний підхід;
- побудова на основі інтервальних оцінок.

Носієм нечіткої множини A називається чітка (звичайна) множина, яка повинна задовольняти наступній умові (див. рис. 2.4):

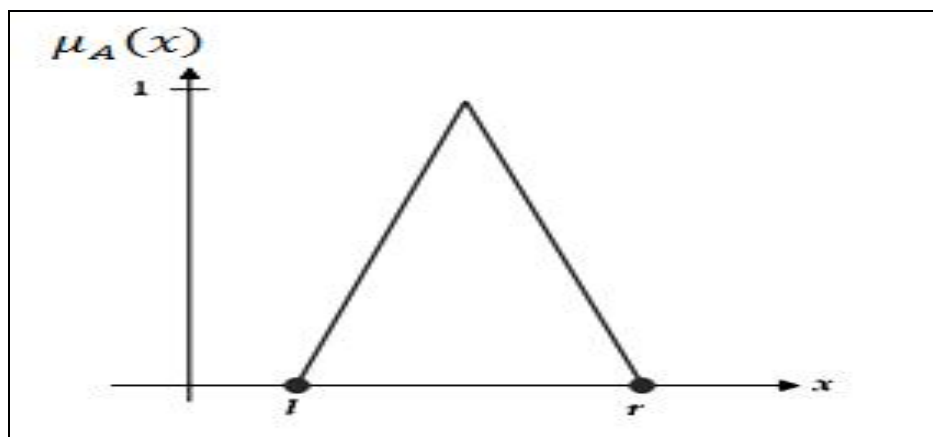


Рисунок 2.4 – Функція приналежності нечіткої множини A

Носій нечіткої множини $Supp A$ – фактично така підмножина універсальної множини X , для елементів якого значення функцій приналежності позитивні

$$SuppA = \{ x : \mu_A(x) > 0 \mid x \in X \}.$$

Ядром нечіткої множини A , яка визначена на універсальній множині X , називається певна (звичайна) множина $core A$, елементи якої повинні задовольняти наступній умові: $core A = x \in X \mid \mu_A(x) = 1$.

Границею нечіткої множини A , певного на універсальному множині X , називається чітка множина $front A$, елементи якого задовольняють наступній умові:

$$frontA = x \in X \mid 0 < \mu_A(x) < 1.$$

Основними операціями, проведеними над нечіткими множинами, є перетинання, об'єднання й доповнення. Для нечітких множин розроблено

повнофункціональну теорію, що містить такі операції, як різниця, декартов добуток, опукла комбінація, концентрації й розтягання.

У практичних завданнях апарат теорії нечітких множин більш ефективно використовувати самостійно, тому що це дає широкий ряд можливостей у порівнянні з теорією імовірності й не має таких серйозних обмежень щодо обліку невизначеності, що виникає в багатьох практичних завданнях. Це обумовлене наступними перевагами апарата нечітких множин [26]:

- можливість оперувати вхідними даними, значення яких неможливо задати однозначно (значення прогнозних параметрів, що задаються експертами);

- можливість нечіткої формалізації критеріїв оцінки й порівняння, тобто оперування якісними поняттями, які найчастіше зустрічаються в процесі аналізу проекту впровадження;

- можливість формалізувати більш гнучкі зв'язки між параметрами, що більшою мірою відповідає природі досліджуваних реальних явищ і опису взаємодій природною мовою;

- можливість проведення якісних оцінок як вхідних даних, так і вихідних результатів, оскільки можна оперувати не тільки вихідними значеннями даних, але й ступенем їх вірогідності;

- можливість проведення досить швидкого моделювання складних динамічних систем і їх порівняльний аналіз із заданим ступенем точності.

3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Застосування методів на основі нечітких множин першого порядку

Вибір інформаційної системи з погляду відповідності цілям одержання корпорацією стратегічних ринкових переваг (зокрема прямі економічні ефекти) – один з найбільш «робітників» методів оцінки ефективності й ризиків проекту впровадження КІС запропонований у роботі [17], основна ідея якого полягає в тому, щоб провести кваліметрію, тобто розпізнавання якісного рівня комплексної властивості досліджуваного об'єкта на основі відповідного нечіткого класифікатора по декільком розрізам: опціональні ефекти від впровадження, інформаційні ефекти, господарські ризики. Необхідно враховувати появу додаткового рівня невизначеності, пов'язаного з неточністю виміру якісних факторів. Тому з портфеля всіляких послідовностей впровадження модулів інформаційної системи можна виділити підмножину Парето, якщо розглядати його в координатах «інтегральний ефект – невизначеність виміру ефекту» [18].

Алгоритм реалізації даного методу. На першому етапі необхідно ідентифікувати мети всіх осіб, що ставляться до корпорації інтереси, що й мають свої, щодо впровадження корпоративної інформаційної системи, тобто стейкхолдерів. Найчастіше слід виявляти як явні (у руслі компанії), так і тіньові (ідуть у розріз основним напрямкам підприємства) мети.

Оскільки КІС є інструментом реалізації стратегічних планів корпорації й контролю ефективності їх виконання, то на наступному етапі необхідно побудувати систему збалансованих показників для цілей стратегічного планування, яка була б досить чутлива до результатів впровадження КІС. При цьому ідентифікуючи ефекти й ризики ІТ-проекту, найбільше ефективно представляти корпорацію як чотири ієрархії стратегічних показників: прямі ефекти, опціони, інформаційні ефекти й ризики. Усі ці показники мають якісний вимір у п'ятирівневій шкалі (1 – дуже

низький рівень, 2 – низький рівень, 3 – середній, 4 – високий, 5 – дуже високий). Для проведення подальшої оцінки слід також виявити наступні показники:

- поточний стан корпорації, обмірюване в запропонованих показниках низового рівня ієрархії;
- то, куди б корпорація прагла прийти через кілька років розвитку (цільові рівні стратегічних показників);
- системи переваг одних показників іншим для комплексної оцінки.

Після цього слід зробити агрегування інформації й одержати інтегральні фактори ефектів і ризиків.

На заключному етапі розглянутого методу необхідно встановити черговість впровадження окремих модулів обраної ІС, для цього використовується розміщення пріоритетів за допомогою аналізу портфелів впровадження у двовимірному координатному просторі «ефект – визначеність ефекту» при побудові множини недомінованих альтернатив Э. Парето.

Нечітко-множинний підхід до моделювання ефективності витрат на корпоративні інформаційні системи полягає в тому, що фінансова складова ефективності впровадження корпоративної інформаційної системи є лише невеликою частиною загального сукупного ефекту від впровадження, тому пропонується враховувати зміни якісних і ризикових показників.

Розглянуто результати впровадження в рамках чотирьох ієрархій факторів: прямі економічні ефекти, опціонні ефекти, інформаційні ефекти й ризики. Крім цього пропонується розглядати соціальний ефект від впровадження КІС (інформаційна система корпорації є автоматизованою й залежить від людського фактора). Основне завдання, що поставлене у моделі, полягає в консолідації сукупного ефекту за рахунок локальної оцінки ефектів у рамках ієрархії факторів, при цьому використовуються як кількісні, так і якісні показники (див. рис 3.1) [19].

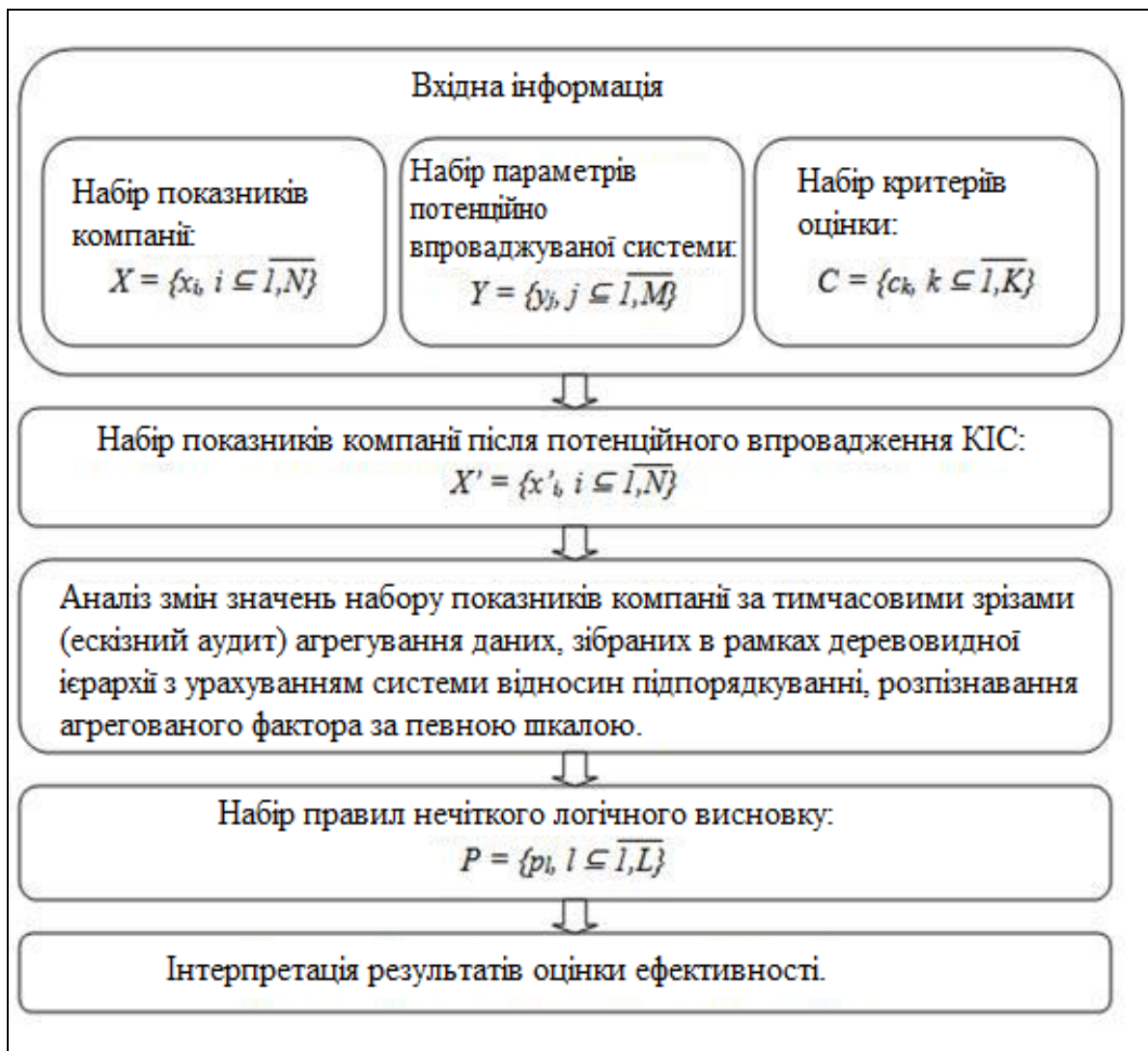


Рисунок 3.1 – Алгоритм моделювання ефективності витрат на ІС

На першому етапі відбувається виявлення можливих основних цілей впровадження КІС як досить конкретних, так і найбільш загальних, для більшої актуальності отриманих результатів оцінки. Далі формується база вхідних даних: набір оцінюваних показників різного роду (економічних, експлуатаційних і ол.), а також критерії їх оцінки.

На наступному етапі експерти проводять оцінку якісних і кількісних характеристик підприємства, а також планованої для впровадження КІС. У результаті виходить множина наборів експертних висновків. Далі зібрані дані проходять обробку на основі правил нечіткого логічного висновку, що зводить завдання до багатокритеріального вибору альтернатив в умовах невизначеності.

На заключному етапі отримані результати інтерпретуються й дається підсумковий висновок по ухваленню інвестиційного рішення.

Виходячи з вище наведеного опису пропонованої методики, можна зробити висновок про те, що основна її ціль це оцінка витрат на впровадження КІС. При оцінці ефективності проекту впровадження корпоративної інформаційної системи, крім економічної підстави, слід розглядати ризики (негативні критерії оцінки), які неминуче виникають у цьому процесі, а також очікувані результати впровадження (позитивні критерії оцінки), заради чого здійснюється впровадження корпоративної інформаційної системи на підприємстві. Та й не всі можливі фактори невизначеності беруться в увагу, що не дає адекватної оцінки досліджуваного об'єкта.

3.2 Розробка структури і алгоритму роботи багатоагентної системи

Процес планування й реалізації проекту впровадження КІС полягає у взаємодії великої кількості учасників (агентів), які функціонують із урахуванням особливостей зовнішнього й внутрішнього середовища підприємства, на якому планується впровадження ІС. Для обліку невизначеності, що присутня у цьому процесі (доведене в попередніх розділах роботи), доцільне використання теорії нечітких множин і зокрема нечітких множин першого й другого порядків.

Об'єднання в рамках однієї моделі методології багатоагентних систем (МАС) і теорії нечітких множин дозволить одержати нові можливості для розробки моделей підтримки прийняття рішень при підготовці проектів впровадження КІС.

Оскільки в ході дослідження було визначено, що підготовку проекту впровадження ІС можна розглядати як багатоагентну систему, то далі слід розглянути МАС із погляду експертного аналізу й технічних систем, а також

особливості їх застосування до досліджуваного завдання, тобто підготовка проекту впровадження КІС (оцінка ефективності й ризику можливих альтернатив).

Багатоагентні системи (мультиагентні системи) – «напрямок штучного інтелекту, в якому для рішення складного завдання або проблеми використовує системи, що складаються із множини взаємодіючих агентів» [16].

Базові основи, закладені в МАС, були взяті з таких напрямків, як:

- теорії систем;
- теорії колективної поведінки;
- розподіленого колективного інтелекту.

Основний принцип, на яким базуються МАС, полягає в тому, що кожний агент у такій системі має всього лише певне коло знань уявлення про розв'язуване завдання, у зв'язку із чим він має можливість розв'язати тільки обмежену частину глобальної проблеми. Отже, для рішення загального завдання необхідна множина таких агентів, які б ефективно взаємодіяли між собою. У МАС кожний агент вважається членом групи та усі завдання, поставлені перед групою за певними правилами, розподіляються між агентами, тобто кожному агентові привласнюється конкретна роль, складність якої визначається з його можливостей.

Виходячи з описаного принципу, можна виділити основні компоненти МАС:

- множина системних одиниць – агенти;
- середовище, у якому функціонують агенти;
- множина завдань (ролей, функцій);
- множина відносин;
- множина організаційних структур (конфігурацій);
- множина дій агентів (можливостей моделі поведінки).

Процес розподілу завдань між агентами в МАС можна представити як [18]:

– систему розподіленого рішення проблеми, що базується на принципах системного аналізу, тобто глобальне завдання зазнає процесу декомпозиції, відбувається розподіл на підсистеми й виявлення конкретних завдань, а потім

агрегування знайдених рішень, і все це під керуванням деякого єдиного «цента» (проектування МАС строго зверху вниз);

– децентралізований штучний інтелект – розподіл завдань відбувається під час взаємодії агентів і по більшій частині є випадковим, у зв'язку із чим у таких МАС виникають резонансні, синергетичні ефекти.

При розробці системи підтримки ухвалення рішення по проекту впровадження корпоративної інформаційної системи слід використовувати перший підхід, оскільки він більшою мірою відповідає логічній структурі процесу впровадження КІС. Це можна пояснити тим, що при підготовці проекту впровадження потрібне єдине керування, а додавання додаткової невизначеності й випадковості тільки ускладнить цей і без того досить трудомісткий і довгий процес.

Ще однією важливою особливістю МАС, яку слід ураховувати в досліджуванім завданні, є перехід від пасивних сутностей, представлених в виді класів об'єктів в об'єктно-орієнтованому підході, до активних сутностей, які в системах описуються як агенти, які відповідно до їхніх призначених ролей можуть відобразити різні сутності досліджуваної нами предметної області. У цьому випадку активність агента полягає в його можливості відтворювати в програмних засобах поведінкові характеристики реальних сутностей, що визначаються в першу чергу бізнес – логікою.

Основний складової будь-якої багатоагентної системи є менеджер знань, який працює із трьома зовнішніми компонентами:

– інформаційна модель предметної області у вигляді сукупності моделей вистави підприємства, а також набору якісних і кількісних показників досліджуваних альтернатив;

– засобу технічної й програмної підтримки;

– множина типів користувачів (керівник, координатор, експерт, аналітик, консультант).

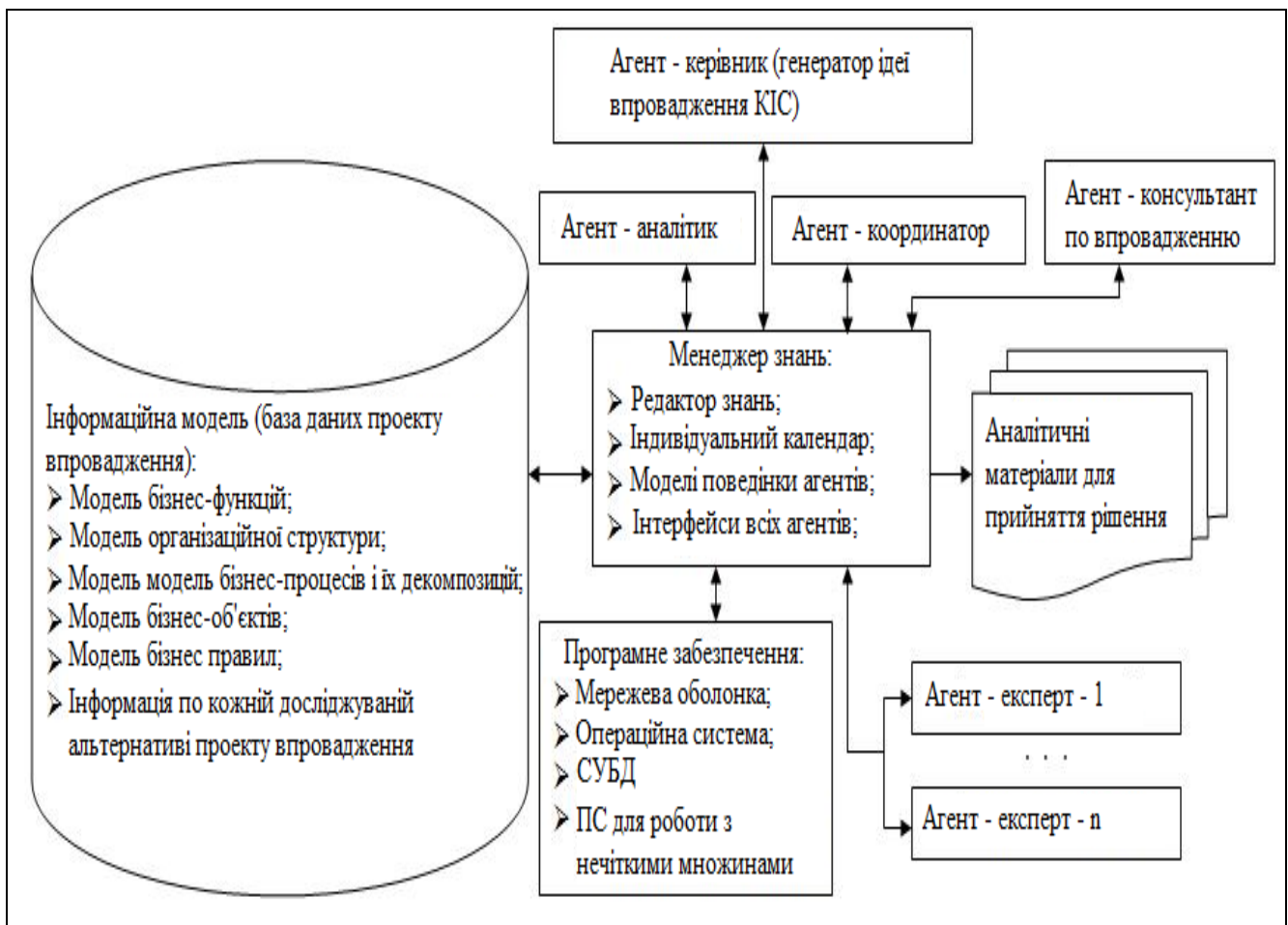


Рисунок 3.2 – Структура багатоагентної системи підтримки прийняття рішень при підготовці проекту впровадження ІС на підприємстві

Результатом роботи багатоагентної системи підтримки прийняття рішень при підготовці проекту впровадження ІС на підприємстві буде узгодження експертиз, наданих експертами, на основі яких проводиться багатокритеріальне ранжирування можливих варіантів проекту впровадження й ухвалення остаточного рішення про варіант реалізації.

Основну роль у представленій МАС відіграє експерт, тому що саме він буде проводити експертизу альтернативних проектів впровадження на основі оцінок використовуваних для цієї мети показників. Оскільки експертним оцінкам властива невизначеність, обумовлена їхньою експертною природою й тим, що вони

переважно ставляться до майбутніх інтервалів часу, процедури обробки експертних оцінок слід засновувати на апараті НМ1 і НМ2.

Плануючи проект впровадження КІС, слід провести повне обстеження діяльності підприємства, і одержати інформаційну модель, на основі якої формується множина альтернативних варіантів проекту впровадження й множина критеріїв їх оцінки.

Для коректного ухвалення рішення при підготовці проекту впровадження КІС повинна бути розроблена система критеріїв для оцінки відповідності розглянутих альтернатив поставленим цілям. Ці критерії можна розділити на дві групи:

– експертні критерії оцінки відповідності, які задаються експертами різних груп у бально-числовій або вербальній формі на основі досвіду, інтуїції або припущення, наприклад, функціональність може бути задовільної, достатньої, надлишкової й т.п. При цьому кожній із цих оцінок може бути поставлена у відповідності бальна оцінка, наприклад «задовільна = 3». Крім того, дану групу можна підрозділити на дві частини:

– критерії, якими можуть бути оцінені позитивні ефекти від впровадження КІС;

– критерії, якими можуть бути оцінені негативні ефекти (можливість виникнення додаткових витрат, прямо не пов'язаних із впровадженням ІС, виникнення напруженості через перспективу збільшення навантажень через впровадження ІС і т.п.);

– критерії, оцінки по яких обчислюються в процесі експертизи альтернатив, і в процесі обчислень використовуються змінні, значення яких принципово є приблизними, очікуваними, прогнозовані, тому що ставляться до майбутніх інтервалів часу. Наприклад, величина грошового потоку, який може виникнути при впровадженні ІС.

Особливість формування такої системи критеріїв оцінки полягає в узгодженні думок різних груп експертів, серед яких можна виділити внутрішніх – працівники

підприємства, зовнішніх – фахівці із впровадження й представники постачальника ІС, а також керівництво підприємства. При цьому кожна із цих груп спочатку формує свій список критеріїв з відповідними оцінками важливості, після чого необхідно їх об'єднати шляхом узгодження.

Далі на основі отриманої системи критеріїв слід робити оцінку альтернативних варіантів проекту впровадження ІС, з урахуванням різної природи критеріїв і невизначеності, що неминуче виникає при оцінці довгострокових фінансових проектів. Для цього минулого розроблені відповідні процедури, які будуть докладно описані в наступних розділах даної глави. Отже, робота багатоагентної системи, призначеної для підтримки прийняття рішень при підготовці проекту впровадження КІС на підприємстві, повинна здійснюватися згідно із запропонованим алгоритмом, тобто необхідно проводити оцінку альтернативних проектів впровадження КІС по декільком групам (видам) критеріїв, для обробки оцінок по яких у силу різної природи їх виникнення потрібні різні математичні методи.

3.3 Імітаційне моделювання полігрових систем

Швидкий зріст числа комп'ютерних мереж, успіхи в розвитку провідних і бездротових засобів зв'язку супроводжуються безперервною зміною мережевих технологій, спрямованої на підвищення швидкодії й надійності передачі даних у мережах, можливості інтегрованої передачі даних, голосу й відеоінформації. В останні роки одним з основних напрямків розвитку мережної індустрії стають бездротові мережі передачі інформації. Для оцінки характеристик бездротових мереж широко застосовуються стохастичні полігрові моделі.

При вивченні й дослідженні полігрових систем у бездротових мережах велика увага приділяються час відгуку (або час очікування запитів у чергах, позначено W) і

час циклу обслуговуючого обладнання (час циклу, позначено C) і їх залежності від коефіцієнта навантаження обслуговуючого обладнання (позначено P_c).

Використовується імітаційне моделювання для дослідження основних характеристик полігрової системи. Розроблені імітаційні моделі двох полігрових систем, перша система складається із чотирьох черг ($N = 4$) з обмеженою ємністю місць очікування, і одного обслуговуючого обладнання, у кожен чергу надходить пуассонівський потік заявок з інтенсивністю λ_i обладнання, що обслуговує, відвідує черги від Q1 до Q4 за циклічним порядком і обслуговує кожен чергу по шлюзовому режиму обслуговування, заявки в чергах обслуговуються за принципом FCFS, час обслуговування заявок розподілений за рівномірним законом, час перемикання обслуговуючого обладнання між чергами не враховується. Результати моделювання представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати імітаційного моделювання

P_c	W_1	W_2	W_3	W_4	C
0.64	0.23	1.08	1.08	1.44	2.00
0.75	0.45	2.09	2.00	2.19	4.55
0.85	1.55	3.29	4.42	4.79	10.89
0.92	3.33	7.09	7.51	9.78	22.76
0.96	8.80	11.43	12.90	18.97	42.80

На рисунку 3.3 представлені графіки залежності часу очікування заявок у кожній черзі від завантаження обслуговуючого обладнання. Із графіка бачимо, що час очікування заявок зростає зі збільшенням завантаження обслуговуючого обладнання, і це зростання прямо пропорційно інтенсивності вступників заявок у черзі. Оскільки в черзі заявки надходять із різними інтенсивностями, те й значення середнього часу очікування в кожній із черг будуть різними.

Інтенсивності потоків, що поповнюють черги: $\lambda_1 = 1$; $\lambda_2 = 2$; $\lambda_3 = 3$; $\lambda_4 = 4$;

Друга важлива характеристика полігрових систем є часовим циклом

обслуговуючого обладнання. Час циклу визначається періодом часу, за який сервер відвідує й обслуговує всі черги від Q_1 до Q_N включаючи час перемикання між чергами. На рисунку 3.3 показаний графік залежності час циклу від завантаження сервера, при високого завантаження сервера, період часу циклу значно збільшується й навпаки.

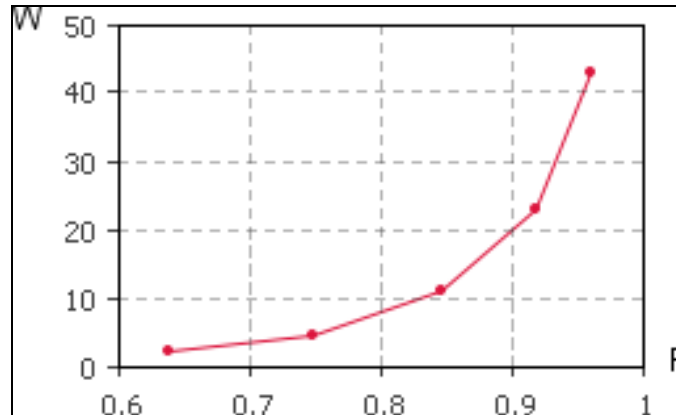


Рисунок 3.3 – Графік залежності тривалості часу циклу від завантаження сервера

Друга модель має такі ж параметри, як і перша модель, за виключення режиму обслуговування черг, сервер обслуговує черги по вичерпному режиму обслуговування. У даній моделі більше увага приділяємо пропускнуї здатності систем полігугу і її залежності від інтенсивності вступу запитів/од. часу й від навантаження системи, результати виконання імітаційної моделі наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати імітаційного моделювання олін говій системи

Інтенсивність вступу	Навантаження системи	Пропускна здатність
0.2	0.05	0.881
0.4	0.1	1.036
0.6	0.152	1.858
0.8	0.204	2.004
1	0.25	2.281
1.2	0.306	2.384

Кінець таблиці 3.2

1.4	0.352	2.435
1.6	0.41	2.769
1.8	0.464	2.996
2	0.499	3.187
2.2	0.557	3.227
2.4	0.609	3.348
2.6	0.652	3.548
2.8	0.719	3.542

Пропускна здатність — це середнє число обслугованих запитів за одиницю часу, і є одним з основних показників продуктивності не тільки систем політгу але бездротових мереж у цілому.

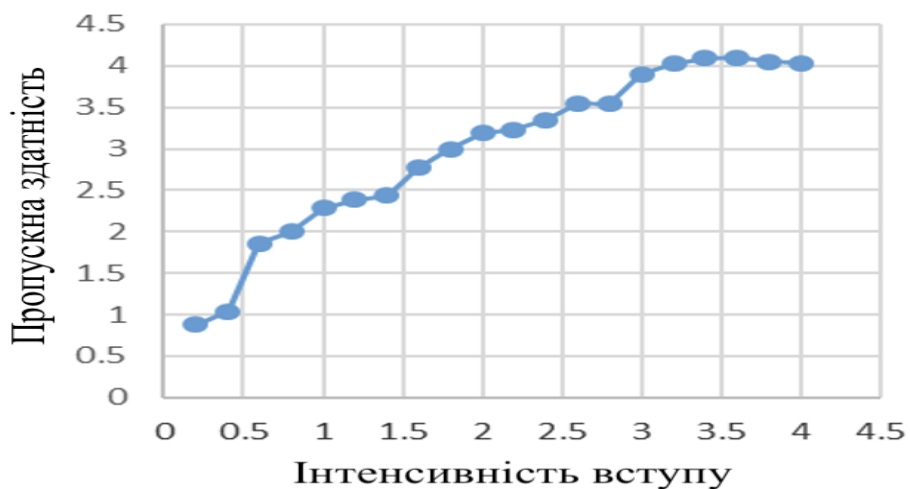


Рисунок 3.5 – Графік залежності пропускної здатності від інтенсивності вступу

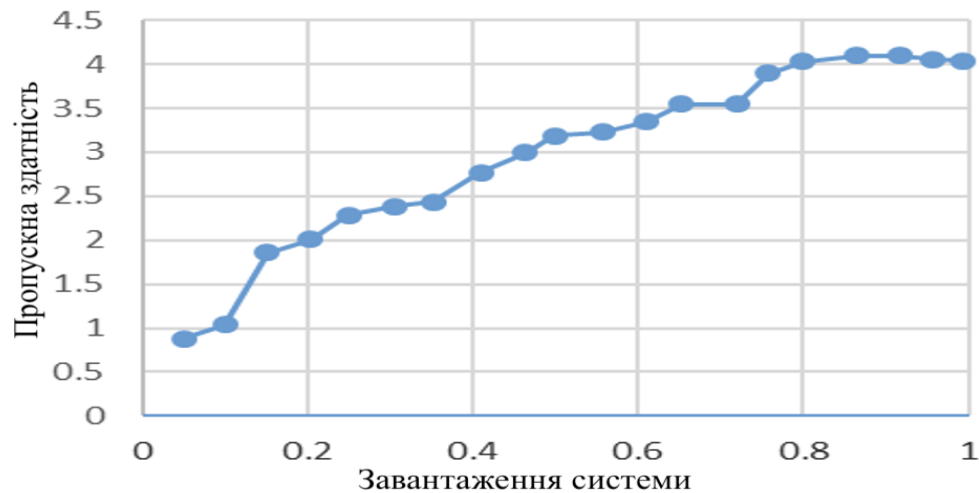


Рисунок 3.6 – Графік залежності пропускної здатності від навантаження системи

Залежність пропускної здатності від навантаження системи так само збільшується зі збільшенням навантаження, і досягає максимального значення при наближенні навантаження до одиниці, на рисунку 3.6 показано, що максимальне значення пропускної здатності майже досягається при навантаженні 0.8.

З результатів моделювання витікає, що пропускна здатність прямо пропорційна інтенсивності вступу запитів, збільшується зі збільшенням інтенсивності. Коли пропускна здатність наближається до максимального значення, подальше збільшення інтенсивності не призводить до підвищення значення пропускної здатності.

4 РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ПОЛІНГОВИХ СИСТЕМ

4.1 Імітаційне моделювання в системі Anylogic

Бурхливий розвиток інформаційних технологій, спостережуване останнім часом, призвело до серйозних революційних змін у предметній області по моделюванню систем. Встають актуальні питання на вибір системи моделювання під конкретну предметну область моделювання й швидкому навчанню моделюванню в обраній системі. У цей час імітаційним комп'ютерним моделюванням є найбільш зручний спосіб моделювання складних систем.

Система Anylogic – це сучасне середовище розробки й дослідження імітаційних моделей, розроблена компанією «The Anylogic Company» на основі сучасних концепцій в області інформаційних технологій і результатів досліджень у теорії гібридних систем і об'єктно-орієнтованого моделювання. Anylogic розроблена мовою Java і охоплює три основні напрямки імітаційного моделювання: дискретно-подієвого, агентне, і системної динаміки. Система Anylogic підтримує різні типи експерименту (симуляції, оптимізації, метод Монте-Карло), аналіз чутливості, створення алгоритмів користувача.

Основні переваги системи:

- об'єктно-орієнтований підхід моделювання: цей підхід робить систему доволі зручною для моделювання складних систем, тому що, він інтуїтивно зрозумілий для користувачів системи. Об'єктно-орієнтований підхід у середовищі Anylogic дозволяє розроблювачам організувати мислення, структурувати розробку, і це, у свою чергу, приводить до прискорення й спрощенню розробки моделей;
- інтеграція й вбудована Javac: інтеграція з Java-середовищем забезпечує широкі можливості при розробці моделей;
- зручний і зрозумілий графічний інтерфейс: крім цього, у систему існує набір

бібліотек взаємодіючих функціонуючих блоків;

– багатоплатформовий програмний продукт: система працює на найбільш популярних операційних системах, Windows, Linux, MacOS;




– велика можливість анімації й візуального зображення результатів;

– багатий і зручний довідковий матеріал: крім довідкового матеріала, система забезпечує зручний спосіб документування моделі на різних стадіях розробки й виконання;

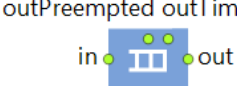
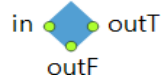
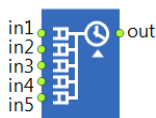








– Anylogic Cloud – сервіс, що працює на основі хмарних обчислень, дозволяє запускати кілька експериментів одночасно;

Система Anylogic містить у собі сукупність бібліотек, доступні користувачу з «палітрою компонентів моделей», бібліотеки розділені по тематичних категоріях. Основною бібліотекою системи називається «бібліотека моделювання процесів», вона складається з будівельних блоків, за допомогою яких будуються структурні схеми моделі. Короткий опис цих блоків наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Блоки бібліотеки моделювання процесів

Найменування та зображення	Функція
<p>Source</p> 	Генерує нові заявки
<p>Sink</p> 	Знищує заявки,
<p>Delay</p> 	Затримує заявки на заздалегідь вказаний період часу

Продовження табл. 4.1

<p>Queue</p> 	<p>Місце очікування обслуговування. Він, у певному порядку, зберігає заявки, що переходять до нього й очікують свого обслуговування</p>
<p>SelectOutput</p> 	<p>По виконанню заданої умови, або по заздалегідь певній імовірності направляє вхідні заявки в один із двох вихідних портів</p>
<p>Assembler</p> 	<p>Із вступників, з різних джерел, заявок, здійснює створення однієї нової заявки, і направляє її на вихідний порт out</p>
<p>MoveTo</p> 	<p>Переміщає заявку в нове місце.</p>
<p>Conveyor</p> 	<p>Імітує конвеєр, тобто, по маршруту із заданою швидкістю переміщає заявки, зберігаючи при цьому їх послідовність і порядок.</p>
<p>Enter</p> 	<p>Вставляє вже існуючі заявки в певне місце усередині процесу</p>
<p>Exit</p> 	<p>Витягає вхідні в блок заявки із процесу, дозволяючи користувачеві самому розв'язати, що зробити далі із цими заявками</p>
<p>Dropoff</p> 	<p>Видаляє вибрані заявки із вхідного контейнера заявок і відправляє їх через outdropoff порт</p>
<p>Pickup</p> 	<p>цей блок виконує зворотну функцію блоку Dropoff, тобто додає заявки до вмісту вхідного контейнера заявок</p>
<p>TimeMeasureStart</p> 	<p>Утворює із блоком Timemeasureend пари блоків, що дозволяє вимірювати час, Проведений заявкою між ними.</p>
<p>TimeMeasureEnd</p> 	<p>Обчислює тривалість часу, проведеного заявкою між блоком Timemeasurestart і блоком Timemeasureend</p>

4.2 Розробка імітаційних моделей

Імітаційна модель завжди є моделлю, що виконується, при її запуску будується траєкторія змін стану системи. Можна подумати про імітаційну модель як про набір правил, які показують, як перейти від поточного стану системи до майбутнього стану. Правила можуть ухвалювати різні форми, включаючи диференціальні рівняння, статичні діаграми, блок-схеми процесів і розкладу. Результати й вихідні дані моделі проводяться й спостерігаються в міру запуску моделі.

Для таких складних систем як полігрові системи, що полягають із більшого числа елементів, які мають складні між собою зв'язки, використання аналітичних методів для їхнього дослідження не дозволяє одержати достовірні практичні результати, тому що, математичні моделі, що описують ці системи відрізняються дуже високим рівнем складності й більшість із них не можуть бути доведені до конкретних розрахункових схем, тому єдиним засобом одержання практичних результатів, що стосуються функціональних характеристик полігрових систем є імітаційне моделювання.

У даному розділі будемо розглядати процес розробки, побудови й виконання імітаційних моделей полігрових систем масового обслуговування, що функціонують у вичерпному й шлюзовому режимах обслуговування, у середовищі Anylogic. Система Anylogic як і будь-яке сучасне інтегроване середовище розробки має зручний і зрозумілий графічний інтерфейс, побудований по парадигму об'єктно-орієнтованого програмування. Нова модель створюється з меню File, внаслідок, відкриється новий проект із графічним інтерфейсом, що включає кілька панелей: проекти, палітра, властивості, помилки, графічний редактор (див. рис. 4.1).

Панелі проекти й палітра знаходяться у лівій частині вікна, за допомогою панелі проекти здійснюється навігація між моделями, а також навігація по елементах моделей. Кожна модель складається з декількох елементів (експерименти, класи активних об'єктів, Java класи і т.д.), організовані ієрархічно, відображених у вигляді дерева. У панелі палітра витримується всі блоки й елементи необхідних для побудови імітаційної моделі, розділені по категоріях (такі як, блоки моделювання процесів, системна динаміка, діаграма станів, діаграма дій, статистика, презентація, зовнішні дані, картинки). Для додавання чи елемента блоку в модель необхідно витягти елемент із панелі палітра на графічний редактор (графічна діаграма) типу агента (заявки) або на графічний редактор експерименту.

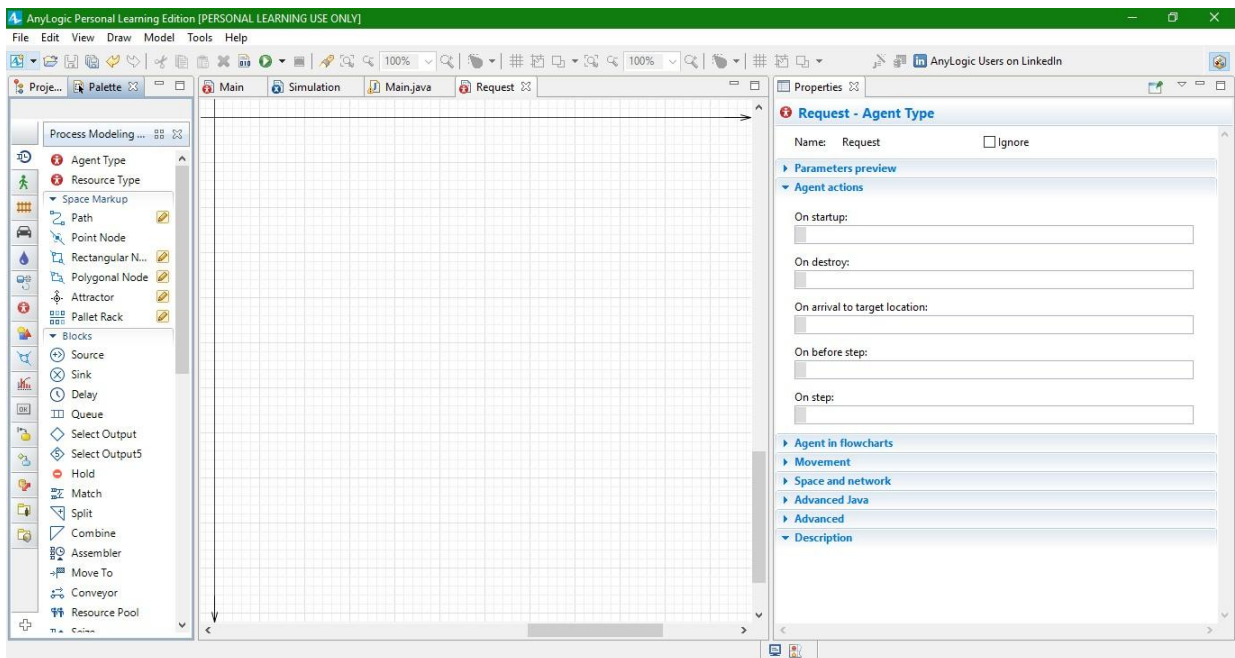


Рисунок 4.1 – Головне вікно моделі Anylogic

Відразу після додавання елемента на графічний редактор з'являється й активується панель властивості для обраного елемента. У панелі властивості задаються або змінюються властивості елементів. Вона складається з декількох внесків (їх число й типи залежить від типу обраного в цей момент елемента), кожен внесок включає елементи керування, необхідні для перегляду й зміни властивостей елемента.

Етапи компіляції й побудови моделі аналогічні компіляції й побудові програми в будь-якому іншому середовищі розробки. На цих етапах проходить перевірка синтаксису Java програми, синтаксису діаграм, усіх типів і параметрів. Помилки, виявлені на етапах компіляції й побудови відображаються в панелі Помилки.

Розглянуто процес розробки імітаційної модель політгової системи, що полягає із чотирьох черг із необмеженим числом місць очікування, у кожен з яких надходить пуасоновський потік заявок. Структурна схема цієї системи показано на рисунку 4.2. Розглядаємо докладніше всі її елементи, зв'язки між ними, і як вони утворюють повну робочу систему політгу.

З рис. 4.2, витікає структура моделі в режимі редагування, усі елементи послідовно з'єднані між собою, кожен блок є входом для наступного блоку.

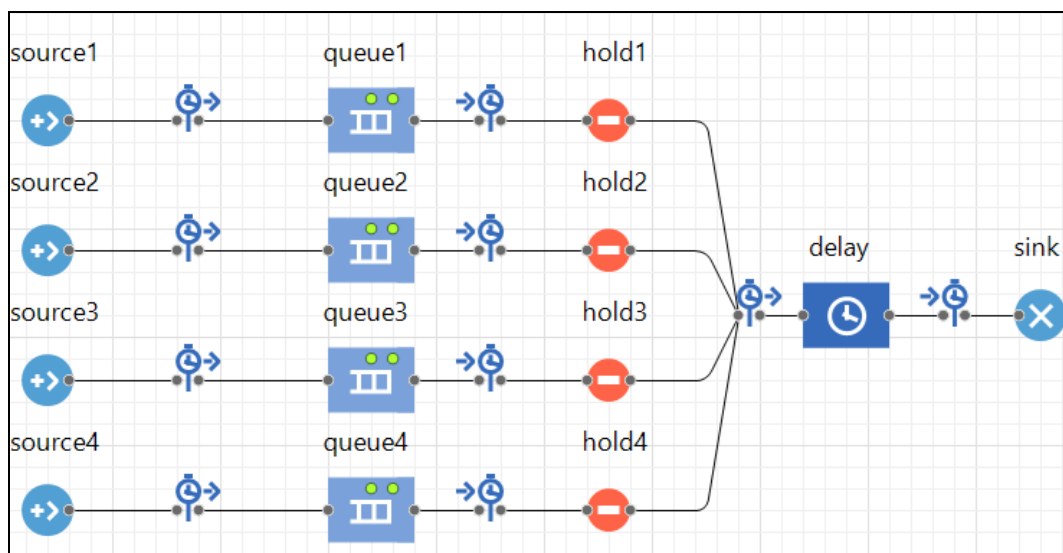


Рисунок 4.2 – Структурна схема політгової системи

Блоки source є вхідними точками системи, вони генерують заявки й виштовхують їх на наступний блок. Блок source генерує заявки по заздалегідь вказаним правилам, ці правила задаються в панелі властивості блоку. У нашому випадку, генерація заявок відбувається згідно пуасоновському закону з інтенсивністю вступу λ , яку можна змінити до запуску моделі або під час виконання моделі.

Заявки, що виходять із блоку `source`, відразу надходять у блок `queue`, тобто, у чергу. Черга є однією з найважливіших частин будь-якої системи масового обслуговування. У черги, заявки накопичуються й чекають відвідування обслуговуючого обладнання, яке буде їх обслуговувати по заздалегідь вказаним правилам.

Елементи `TimeMeasureStart` (розташований перед блоками `queue`) і `TimeMeasureEnd` (розташований після блоків `queue`) призначені для обчислення часу очікування обслуговування в чергах.

Основну роль в організації маршрутизації обслуговуючого обладнання системи відіграють блоки `hold`. Цей блок визначає й контролює схему маршрутизації обслуговуючого обладнання до черг, тобто по якому порядкове обслуговуюче обладнання відвідує черги для їх обслуговування, за циклічним порядком або по динамічному. Блок `hold` також визначає й контролює режими обслуговування черг.

Якщо обслуговуюче обладнання обслуговує черги по вичерпній дисципліні, то блок `hold` пропускає всі заявки із блоку `queue` на блок `delay` (обслуговуюче обладнання), коли число заявок у блоці `queue` дорівнює нулю, блок `hold` блокується й відразу знімається блокування наступного `hold` блоку для того, щоб обслуговуюче обладнання перемикалося до наступної черги. У випадку шлюзового обслуговування, блок `hold` буде пропустити тільки ті заявки, які перебували в черзі до моменту перемикавання обслуговуючого обладнання до даної черги, а заявки, що зробили в чергу в час її обслуговування обслуговуючим обладнанням, будуть очікувати наступного сеансу.

Відкриття й закриття блоку `hold` відбуваються під керуванням спеціалізованих функцій мовою програмування Java, код основних керуючих функцій наведений у додатку.

Блок `delay` відіграє роль обслуговуючого обладнання, він обслуговує вхідні в нього заявки по заздалегідь вказаних законах. У нашої політінгової системі, час

обслуговування заявок може бути розподілене по рівномірному, експонентному або по зрізаному експонентному закону розподілу, тобто з обмеженим часом життя заявок. Закон розподілу часу обслуговування вибирається на сторінці експерименту до запуску моделі. Блок sink є кінцевою точкою моделі, він знищує оброблені заявки, що зробили із блоку delay. Елементи Timemeasurestart (розташований перед блоком delay) і Timemeasureend (розташований за блоком delay) призначені для обчислення часу обслуговування заявок в обслуговуючому обладнанні.

У системі Anylogic існує широкий набір елементів, призначених для обробки, відображення й зберігання результатів виконання моделі, такі як, текстові поля, кнопки, параметри, змінні, функції, події, набір даних (dataset), дані гістограми, бази даних, з'єднання із зовнішніми базами даних, різні види графіків, і багато інше.

У вікні експерименту задаються необхідні параметри моделі. При виявленні помилки, система буде показувати відповідні повідомлення у вікно помилки. Вікно експерименту є одним з головних вузлів моделі, з його допомогою можна конфігурувати виконання моделі відповідно до наших вимог. На вікні експерименту існує кнопка «Запустити модель», натисканням якої призводить запуск моделі на виконання.

Після того, як модель запускалася, спостерігається, у режимі реального часу, хід виконання експерименту, зміни стану системи, візуалізація й відображення результатів і вихідних даних на елементах, призначених для візуалізації й презентації результатів, такі як гістограми, текстові поля й набори даних.

У відображенні вікна презентації виконання моделі, відображено структурну схему полігрової системи із усіма її елементами в режимі реального часу, де на вході й на виході кожного блоку показується число заявок, що входять і вихідних з даного блоку. На графіку показані гістограми розподілу часу обслуговування заявок. Інші інформації відображаються у відповідних полях.

Для ефективного адміністрування систем, що обслуговують випадковий потік користувачів, імітаційне моделювання є зручним, а іноді єдиним способом виявлення оптимального режиму роботи й адміністрування системи.

Розглянуто імітаційну модель файлового сервера певної організації, що обробляє запити вступників з комп'ютерів співробітників цієї організації, інтенсивність отриманих запитів розподілена за експонентним законом з інтенсивністю один запит в 10 од. часу. Час обслуговування запитів файловим сервером розподілене за експонентним законом із середнім значенням 10 од. часу. Ємність вхідного буфера файлового сервера L_q запитів.

Дана система представляється собою одноканальну систему масового обслуговування з обмеженою чергою (з відмовами). При заповненій черзі запити залишають чергу через вихід *outpreempted*, тобто витиснутим іншим запитом, що зроблено.

Для того щоб врахувати середній час обробки одного запиту (математичне очікування), яке визначається як відношення сумарного часу обробки всіх запитів N до їхньої кількості необхідно знати час обробки цього запиту. Час обробки одного запиту – це час із моменту виходу запиту із блоку *source* до моменту виходу із системи (входу в блок *sink*), тобто по наступному відношенню:

$$\text{Час обробки} = \text{час виходу} - \text{час входу}$$

Додаючи це значення в об'єкт «Дані гістрограми», який запам'ятовує значення часу для кожного запиту, ми одержуємо статичні дані в тому числі середній час обробки одного запиту. Імовірність обробки запитів рахується по відношенню:

$$\text{Кількість оброблених запитів} / \text{кількість усіх запитів, що зроблено}$$

Для того щоб було зрозуміле, як оптимально використовувати систему, були проведено кілька експериментів змінюючи при цьому довжину черги (обсяг буфера сервера, L_q) і середній час обслуговування запиту (t_s), результати імітаційного

моделювання наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати імітаційного моделювання файлового сервера

№		Кількість оброблених запитів	Ймовірність обробки запитів	Середній час обробки одного запиту	Середня довжина черги	Показник використання сервера	Кількість загублених запитів
1	$L_q = 100$ $t_s = 10$	94	0,949	29,344	2,066	0,824	0
2	$L_q = 10$ $t_s = 10$	94	0,949	29,344	2,066	0,824	0
3	$L_q = 5$ $t_s = 10$	90	0,926	27,32	1,693	0,802	1
4	$L_q = 10$ $t_s = 15$	78	0,835	43,229	2,768	0,89	17
5	$L_q = 10$ $t_s = 20$	47	0,702	147,97	7,213	0,964	44

Додаючи це значення в об'єкт «Дані гістограми», одержано середню ймовірність обробки запитів.

З результатів видно, що при зменшенні середнього часу обслуговування й збільшенні довжини черги (пам'ять сервера) збільшується середня ймовірність обробки запитів і кількість оброблених запитів, зменшується середній час обробки запиту й практично відсутні загублених запитів.

При збільшенні довжини черги (L_q) у два або вдесятеро більше не змінюючи при цьому середній час обслуговування (t_s) результати майже однакові, тобто збільшення довжини черги на більших відсотках не впливає на результати.

5 ОПИС МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

При збільшенні середнього часу обслуговування запиту, значно збільшуються середня час обробки й кількість загублених запитів, а кількість оброблених запитів значно зменшується. Коли зменшується середній час обслуговування значно зменшується й показник використання сервера, тобто сервер більше половини часу вільний, а це з технічної точки зору не вигідно.

Виходячи з результатів моделювання, експериментом 6 є самим оптимальним режимом роботи сервера.

Можна стверджувати, що імітаційне моделювання дозволяє виявляти оптимальний режим використання й адміністрування систем, що обслуговують випадковий потік запитів, на основі теорії систем масового обслуговування.

У реальному житті фіксована циклічна маршрутизація обслуговуючого обладнання не завжди реальна, існують більш складні системи, у яких така схема маршрутизації не вважається прийнятною, прикладом таких систем є бездротові мережі з довільним доступом, бездротові сенсорні мережі. Тому дослідники намагаються розробити нові схеми маршрутизації, які можуть забезпечити й гарантувати надійну й ефективну роботу таких складних систем. У зв'язку з розвитком бездротових мереж, останнім часом, самими перспективними схемами маршрутизації вважаються динамічні схеми маршрутизації обслуговуючого обладнання. Динамічна маршрутизація залежить від стану системи. Вибір наступної черги на обслуговування залежить від деякої інформації доступної обслуговуючому обладнанню, такі як довжина черги, вступу повідомлень із високим пріоритетом і т.ін.

З метою підвищення ефективності роботи полінових систем, для яких можливий збір інформації про їхній стан у режимі реального часу, пропонуємо систему поліну з динамічною маршрутизацією обслуговуючого обладнання,

заснована на наявності інформації про довжини черг. обслуговуюче обладнання може перемикається із черги Q_i на будь-яку Q_j ($1 \leq i, j \leq N$). Час між завершенням обслуговування черги Q_i і початком перемикавання на Q_j називається точкою (або моментом) ухвалення рішення. У цих моментах ухвалення рішення обладнання, що обслуговує, використовує доступну йому інформацію про стан системи для визначення наступної черги на обслуговування. Для того, щоб наша модель не приводилася до неможливого часу обчислення, ми обмежимо змінні на основі, яких обслуговуюче обладнання ухвалює рішення, яка черга буде обслуговуватися наступної, ми обмежимося на довжину черги. Обслуговуючому обладнанню доступна інформації про довжини всіх черг у системі, воно одержує цю інформацію відразу після завершення обслуговування черги Q_i і до того, як воно перемикається на наступну.

Відразу після завершення обслуговування черги Q_i , система проводить аналіз усіх черг (крім тієї, у якій тільки що обслуговуюче обладнання завершило обслуговування) і порівнює їхні довжини, і в кожній точці прийнятті рішення обслуговуюче обладнання вибирає чергу з найбільшою довжиною, якщо довжини двох або більше черг рівні, то вибере найближчу йому черга якщо довжини двох найближчі обслуговуючому обладнанню черг рівні, то воно вибере наступну по індексу.

Система складається із чотирьох черг ($N = 4$) з обмеженою ємністю місць очікування, і одного обслуговуючого обладнання, у кожную чергу надходить пуасонівський потік заявок з інтенсивністю λ_i обладнання, що обслуговує, відвідує черги за динамічною схемою маршрутизації й обслуговує кожную чергу. Заявки обслуговуються за принципом FCFS (перший прийшов – перший обслужений), час обслуговування запитів розподілене за рівномірним законом з інтервалом часу $\Delta[\min, \max]$ од. часу.

Особлива увага має бути направлена на аналіз обсягу роботи, що залишився у

системи, тобто ця кількість роботи, яку обслуговуюче обладнання повинне виконати, і чим менше значення цієї величини, тим ефективніше вважається система. Результати імітаційного моделювання показали, що система з динамічною маршрутизацією при $\rho < 1$ виправляється з кількістю роботи краще, ніж в циклічній маршрутизації, при сильно навантаженій системі ($\rho = 0.98$) ця перевага губиться.

Коефіцієнт навантаження обслуговуючого обладнання й пропускна здатність системи практично не відрізняються у всіх розглянутих типах маршрутизації.

ВИСНОВКИ

Даний опис і подібний аналіз сучасного середовища розробки й дослідження імітаційних моделей Anylogic, як основного інструмента справжнього дослідження. Установлені її основні переваги перед іншими існуючими системами, обґрунтований її вибір для розробки імітаційних моделей полігрових систем масового обслуговування.

Апарат імітаційного моделювання використовується для порівняння функціонування системи полігру із класичної одно каналної СМО з однієї чергою необмеженої ємності, що поповнюється пуасоновським потоком заявок, інтенсивність якого дорівнює середньому значенню сумарної інтенсивності вхідних потоків, що поповнюють черги системи полігру.

Проаналізована імітаційна модель функціонування керуючого блоку бездротової мережі, як багатоканальної системи масового обслуговування.

Розроблений алгоритм схеми динамічної маршрутизації обслуговуючого обладнання, для систем, де можливий моніторинг їх стану в режимі реального часу.

Побудовані математичні моделі полігрових систем масового обслуговування, що функціонують у вичерпному й шлюзовому режимах.

Розроблені моделі ефективного адміністрування полігрових систем з обмеженим часом життя заявок.

Розроблені алгоритми чисельного дослідження поведінки полігрових систем для різних варіантів їх функціонування. Доведено, що в умовах практичної експлуатації техніко-економічні показники полігрових систем, що діють у вичерпному й шлюзовому режимах обслуговування, відрізняються одна від одної дуже незначно.

Розроблені алгоритми, які дозволяють розширити можливості адміністрування полігрових систем масового обслуговування, зокрема знайдені умови, що

допускають підключення до обслуговування додаткової черги.

Розроблений алгоритм схеми динамічної маршрутизації обслуговуючого обладнання, для систем, де можливий моніторинг їх стану в режимі реального часу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Gupta, D. Polling systems with state-dependent setup times / D. Gupta, M.M. Srinivasan // *Queueing Systems*. – 1996. – Vol. 22. – № 3-4. – P. 403–423.
2. Haan, R. de. A polling model with an autonomous server / R. de Haan, R.J. Boucherie, J.-K. van Ommeren // *Queueing Systems*. – 2009. – Vol. 62. – № 3. – P. 279–308.
3. Hofri, M. On the optimal control of two queues with server setup times and its analysis / M. Hofri, K.W. Ross // *SIAM Journal on computing*. – 1987. – Vol. 16. – № 2. – P. 399–420.
4. Fishman, G.S. *Discrete-event simulation: modeling, programming, and analysis* / G.S. Fishman. – New York: Springer Science & Business Media, 2013. – 553 p.
5. Якимов, И.М. Сравнение результатов имитационного моделирования вероятностных объектов в системах: Anylogic, Arena, Bizagi Modeler, Gpss W / И.М. Якимов, А.П. Кирпичников, Ю.Г. Исаева // *Вестник технологического университета*. – 2015. – Т. 18. – № 16. – С. 260-264.
6. Рыков, В.В. К анализу поллинг-систем / В.В. Рыков // *Автоматика И Телемеханика*. – 2009. – № 6. – С. 90-114.
7. Клейнок, Л. Теория массового обслуживания: Пер. с англ. Теория массового обслуживания / Л. Клейнок, И.И. Грушко. – Машиностроение, 1979. – 432 с.
8. Алиев, Т.И. Моделирование: задачи, задания, тесты / Т.И. Алиев, Л.А. Муравьева-Витковская, В.В. Соснин. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 197 с.
9. Алиев, Т.И. Основы моделирования дискретных систем / Т.И. Алиев. – Санкт-Петербург: СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
10. Боев, В.Д. Компьютерное моделирование в AnyLogic7 / В.Д. Боев. –

СП6.:BAC, 2014. – 432 с.

11. Lee, T.Y. Analysis of single buffer random polling system with state-dependent input process and server/station breakdowns / T.Y. Lee // International Journal of Operations Research and Information Systems (IJORIS). – 2018. – Vol. 9. – № 1. – P. 22–50.

12. Miculescu, D. Polling-systems-based autonomous vehicle coordination in traffic intersections with no traffic signals / D. Miculescu, S. Karaman // arXiv preprint arXiv:1607.07896. – 2016.

13. Fishman, G.S. Discrete-event simulation: modeling, programming, and analysis / G.S. Fishman. – New York: Springer Science & Business Media, 2013. – 553 p.

14. Czerniak, O. Analysis of a TCP system under polling-type reduction-signal procedures / O. Czerniak, E. Altman, U. Yechiali // Proceedings of the Fourth International ICST Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2009. – P. 22.

15. Manfield, D. Analysis of a priority polling system for two-way traffic / D. Manfield // IEEE Transactions on Communications. – 1985. – Vol. 33. – № 9. – P. 1001–1006.

16. Marsan, M.A. Analysis of symmetric nonexhaustive polling with multiple servers /

17. M.A. Marsan, L.F. de Moraes, S. Donatelli, F. Neri // Proceedings, IEEE INFOCOM '90, Ninth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies. The Multiple Facets of Integration Proceedings, IEEE INFOCOM '90,

18. Ninth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies. The Multiple Facets of Integration. – 2018. – Vol. 1. – P. 284-295.

19. Srinivasan, M.M. Non-deterministic polling systems / M.M. Srinivasan // Management Science. – 1988. – Vol. 37. – № 6. – P. 667–681.

20. Sztrik, J. Basic queueing theory / J. Sztrik // University of Debrecen, Faculty of Informatics. – 2012. – Vol. 193.
21. Sztrik, J. Queueing Theory and its Applications, A Personal View / J. Sztrik // Proceedings of the 8th International Conference on Applied Informatics. – 2010. – Vol. 1. – P. 9–30.
22. Takagi, H. Analysis and application of polling models / H. Takagi // Performance Evaluation: Origins and Directions. – 2000. – P. 423–442.
23. Saffer, Z. Unified analysis of BMAP/G/1 cyclic polling models / Z. Saffer, M. Telek // Queueing Systems. – 2010. – Vol. 64. – № 1. – P. 69–102.
24. Sevick, K.C. Cycle time properties of the FDDI token ring protocol / K.C. Sevick, M.J. Johnson // IEEE Transactions on Software Engineering. – 1987. – № 3. – P. 376–385.
25. Shapira, G. On fairness in polling systems / G. Shapira, H. Levy // Annals of Operations Research. – 2015. – P. 1–33.
26. Avrachenkov, K. Finite-buffer polling systems with threshold-based switching policy / K. Avrachenkov, E. Perel, U. Yechiali // TOP. – 2019. – Vol. 24. – № 3. – P. 541–571.
27. Allen, A.O. Probability, statistics, and queueing theory: with computer science applications / A.O. Allen. – Academic Press, 2019. – 747 p.
28. DTD for XML Schema // World Wide Web Consortium, - August 2002. <http://www.w3.org/TR/xmlschema-1/#nonnormative-schemadtd>
29. XSL Transformations (XSLT), W3C Recommendation // World Wide Web Consortium, - November 2009. <http://www.w3.org/TR/2009/Rec-xslt-19991116>.
30. Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification, W3C Recommendation // World Wide Web Consortium, - February 1999. <http://www.w3.org/TR/2019/Rec-rdf-syntax-19990222/>.

31. Resource Description Framework (RDF) Schema Specification 1.0, W3C Candidate Recommendation // World Wide Web Consortium, - March 2020. <http://www.w3.org/TR/2020/Cr-rdf-schema-20000327/>.

32. G.G. Chetverikov, I.D. Vechirska, S.S.Tanyanskiy, “The methods of algebra finite predicates in the intellectual system of complex calculations of telecommunication companies,” International Conference Proceedings Crimean Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 6959425, 2014, pp.

33. Shubin, I., Snisar, S., Zhyrnov, V., Slavhorodskyi, V.// Practical Application of Formal Representation of Information for Intelligent Radar Systems 2018 International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2018 - Proceedings, 2019, pp. 433-436, 8632103