

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

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Автоматизація та оптимізація роботи торгового центру на основі
теорії масового обслуговування»

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи КАМ-61
спеціальності 151 «Автоматизація

та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

Ремез А.В.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник

Трембач Р.Б.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль

Козбур В.Р.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри

Савків В.Б.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

Тотосько О.В.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Тернопіль
2021

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Ремез Андрій Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизація та оптимізація роботи торгового центру на основі теорії масового обслуговування»

Керівник роботи к.т.н., доцент Трембач Р.Б.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «01» жовтня 2021 року № 4/7-822

2. Термін подання студентом завершеної роботи 12 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики млина

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

1) аналітична частина; 2) науково – дослідна частина; 3) технологічна частина;
4) конструкторська частина; 5) спеціальна частина; 6) охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Презентація кваліфікаційної роботи 12 аркушів формату А4

АНОТАЦІЯ

Метою роботи є розробка програми оптимізації роботи ТЦ та пошуку показників підвищення ефективності роботи.

Для досягнення цієї мети розроблені наступні завдання:

- аналіз існуючих методів організації роботи комерційних підприємств та їх класифікація;
- визначення моделі роботи ТЦ як системи масового обслуговування;
- розробка системи методів оптимізації параметрів підприємства на основі теорії послідовності;
- моделювання магазину самообслуговування на основі моделювання окремих подій;
- розробка системного програмного забезпечення для оптимізації параметрів ТЦ;
- аналізувати отримані результати та давати рекомендації.

Темою дослідження є математичний метод аналізу та оцінки параметрів комерційної компанії.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Загальна характеристика об'єкта дослідження	8
1.2 Структура системи управління магазином самообслуговування	9
1.3 Проблеми в функціонуванні магазину самообслуговування	15
2 НАУКОВО – ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	17
2.1 Історія та предмет теорії масового обслуговування	17
2.2 Основні поняття теорії масового обслуговування	19
2.3 Потоки подій. Найпростіший потік та його властивості	20
2.4 Класифікація систем масового обслуговування	21
2.5 Показники ефективності систем масового обслуговування	23
2.6 Розрахунок параметрів багатоканальної системи масового обслуговування з очікуванням	26
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	29
3.1 Структура системи масового обслуговування	29
3.2 Формування математичної моделі СМО	30
3.3 Формування математичної моделі магазину самообслуговування	31
3.4 Вибір параметрів СМО (λ, μ, ν)	33
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	35
4.1 Імітаційне дискретне моделювання систем	35
4.2 Створення моделі магазину самообслуговування в середовищі Any Logic	43
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	52
5.1 Алгоритм і параметри розробки	52
5.2 Створення розробки засобами Borland C++ Builder	52

5.3 Аналіз одержаних результатів	55
6 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ	60
6.1 Охорона праці	60
6.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	68
ВИСНОВКИ	71
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	72
ДОДАТОК А. Кількість заявок та тривалість їх обслуговування по кожній з годин робочого дня	74
ДОДАТОК Б. Значення показників системи масового обслуговування, отримані шляхом ручної імітації	76
ДОДАТОК В. Схема алгоритму розробки	78
ДОДАТОК Г. Програмний код розробки	79
ДОДАТОК Д. Графіки залежностей вихідних показників від вхідних параметрів	82

ВСТУП

Структура середовища, в якій знаходиться комерційне підприємство, є стохастичною. Ситуація торгового підприємства та поведінка учасників ринку постійно змінюються; Характер ймовірності попиту, потреба в задоволенні, відмінності, зміна уподобань покупців, індивідуалізація споживання, зростання конкуренції - все це призводить до створення або вдосконалення нових методів визначення параметрів торгового центру.

Застарілі методи оцінки та аналізу діяльності торгової компанії можуть призвести до непередбачуваних наслідків, таких як втрата частини прибутку та зниження віддачі від інвестицій компанії. Незважаючи на великі математико-економічні дослідження, питання оптимізації параметрів комерційних підприємств до кінця не вирішено.

Метою професійної роботи є розробка програми оптимізації роботи ТЦ та пошуку показників підвищення ефективності роботи.

Для досягнення цієї мети в цьому документі викладені наступні завдання:

- аналіз існуючих методів організації роботи комерційних підприємств та їх класифікація;
- визначення моделі роботи ТЦ як системи масового обслуговування;
- розробка системи методів оптимізації параметрів підприємства на основі теорії послідовності;
- моделювання магазину самообслуговування на основі моделювання окремих подій;
- розробка системного програмного забезпечення для оптимізації параметрів ТЦ;
- аналізувати отримані результати та давати рекомендації.

Темою дослідження є математичний метод аналізу та оцінки параметрів комерційної компанії.

Об'єктом дослідження був середній торговий центр площею 100 м² з понад 8000 покупців.

Більшість економічних робіт пов'язані з системою черги. Використання теорії масового обслуговування в цій спеціальності може бути використане для оптимізації торгових центрів.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальна характеристика об'єкта дослідження

Супермаркети, що з'явилися в останні роки, орієнтовані на широку публіку. Вони стали мережею незалежних магазинів і почали досить динамічно розвиватися. Таким чином, вітчизняна роздрібна торгівля вступила на нову, більш просунуту стадію розвитку [18].

Звичайно, споживачі можуть скористатися наступними перевагами, тому вони почали активно користуватися послугами супермаркетів:

- у магазинах такого типу є товари для всіх соціальних груп, тому вони доступні для більшості споживачів;

- магазин дозволяє придбати всі необхідні товари в одному місці;

- магазин підходить за розташуванням території (зазвичай такі магазини будують у «спальній зоні»).

Об'єктом дослідження даної роботи є середній торговий центр площею 100 м² з понад 8000 клієнтів.

Супермаркет площею 100 квадратних метрів — це стандартний західний стиль самообслуговування з широким асортиментом товарів. Основним маркетинговим завданням такого підприємства є задоволення основних потреб замовника в продуктах харчування та побутовому вживанні. Варто зазначити, що магазини самообслуговування, зосереджені на середньому рівню доходу покупців, мають в середньому 8000-10000 покупців на день.

Існує також поняття гіпермаркету - оптово-роздрібною магазину, торгової площі далеко за межами супермаркету та більш широкого асортименту товарів. Потужність таких гіпермаркетів може досягати 15 000-30 000 покупців на добу.

На відміну від супермаркетів, гіпермаркети мають склади, де оптові покупці купують свої товари. Біля гіпермаркетів є стоянки для легкових,

вантажних автомобілів і навіть підземні гаражі, що охороняються. Через велику площу паркувальних місць гіпермаркети часто розташовуються на околицях міста, де є багато місця.

Супермаркети є найбільш продуктивною і перспективною формою бізнесу. Хоча цей тип магазинів не припинив існування ринків, кіосків та продуктових магазинів, він є дуже перспективною формою торгівлі, оскільки в ній переважає система самообслуговування для покупця.

1.2 Структура системи управління магазином самообслуговування

1.2.1 Характеристика системи управління торговим центром

В загальному принципова схема побудови системи управління супермаркетом має вигляд, що зображено на рис. 1.1.

Центром будь-якою з подібних систем завжди є могутній незалежний сервер, що зберігає інформацію про діяльність всіх підсистем супермаркету у вигляді сукупності розподілених баз даних. Кожна база даних (надалі – БД) містить одну або декілька інформаційних таблиць, зміст яких визначається назвою БД і може розрізнятися по внутрішніх характеристиках; одна і та ж база даних може використовуватися для роботи різних підсистем шляхом виділення з неї відповідної інформаційної таблиці[29].

Із-за некритичності АСУ, що розглядається в часі (певні затримки у виконанні тих або інших операцій не загрожують системі аварійним збоєм і не піддають небезпеки життя людей), система не містить об'єднаного пульта

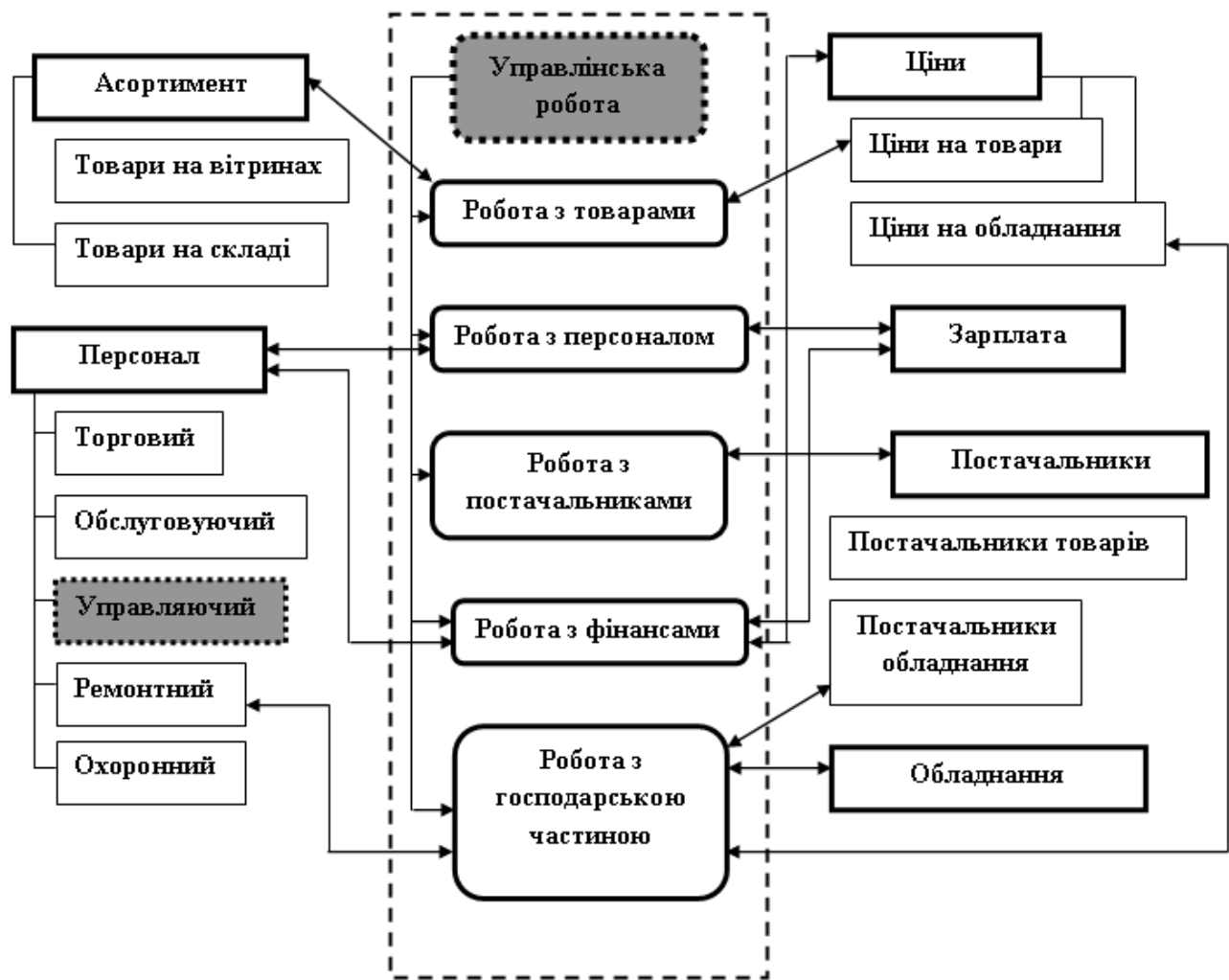


Рисунок 1.1 – Структурна схема системи управління торговим підприємством.

управління, інформація на який виводиться зі всіх інтегрованих підсистем і піддається посекундному контролю досвідчених операторів; натомість кожна з підсистем включає певну кількість обладнаних дисплеями крайових робочих місць, на які виводяться інформація і яка знімається з них, строго систематизована по своєму характеру.

Кожна з підсистем супермаркету включає програмне і апаратне забезпечення, що забезпечують:

- а) запит даних з БД, пов'язаних з відповідною підсистемою;
- б) запис в БД змінених або нових даних;

в) зв'язок із зовнішніми пристроями, необхідними для функціонування підсистеми.

Розділення супермаркету на підсистеми необхідне для реалізації на базі кожної з підсистем певної підмножини функцій, схожих по наочній області; подібне розділення також необхідне з метою організації підрозділів системи, що контролюють підзвітну кожному підрозділу підсистему. Не дивлячись на те, що підсистеми зв'язані між собою спільно використовуваними базами даних, розділення по наочній області чітко визначає круг завдань, що виконуються кожній з підсистем[29].

1.2.2 Функції, що реалізуються підсистемами

По характеру своїй діяльності супермаркет - організація, метою якої є продаж населенню продуктів і інших товарів широкого споживання з метою отримання прибутку. У зв'язку з цим природним представляється відведення більшості функцій, що реалізуються системою, відповідній підсистемі.

– генерація списків товарів, присутніх на складах. Ця функція необхідна для швидкого визначення товарів, запас яких, що закінчився, на вітринах може бути оперативно поповнений без необхідності замовлення нових партій товару постачальнику;

– генерація списків товарів, які відсутні на складах, для оформлення постачальнику відповідного замовлення;

– генерація списків товарів, що є в наявності на складах і на вітринах, термін придатності яких закінчився; ця функція необхідна для списання відповідних товарів і оформлення постачальнику нових замовлень на ці товари; при цьому вартість списаних товарів зараховується в чистий збиток супермаркету;

– зміна цін товарів в БД при зміні останніх;

– автоматизоване нарахування націнок на товари відповідно до поточного економічного стану супермаркету;

– занесення до товарної БД найменувань товарів, відсутніх в ній раніше, під час вступу відповідних товарів від постачальника з подальшим призначенням цим товарам унікальних ідентифікаційних номерів і цін, визначуваних постачальником; збільшення числа товарних одиниць під час вступу від постачальника товарів, присутніх в БД;

– генерація списків унікальних ідентифікаційних номерів для розклеювання на відповідні товари;

– звірка ідентифікаційних номерів товарів при покупці останніх користувачем супермаркету, автоматичне визначення цін товарів по цих номерах і зменшення числа відповідних одиниць товару в БД відповідно до розміру зробленої користувачем покупки. При цьому вартість куплених товарів записується в чистий прибуток супермаркету[29].

Всі вказані функції, окрім останньої, виконуються операторами складського терміналу; остання функція виконується операторами торгового залу.

Зв'язок супермаркету із зовнішнім світом відбувається через постачальників, що організують доставку певних товарів в певні терміни по замовленнях, що пред'являються їм. Також в системі, що розглядається, грає роль поняття «Постачальники устаткування» - організації, що підтримують функціонування технічних систем супермаркету постачанням і ремонтом відповідної апаратури. Стабільність роботи супермаркету в дуже великому ступені залежить від чіткості і узгодженості постачань товарів і устаткування; функції, що реалізуються даною підсистемою, такі:

– автоматизоване складання списку постачальників, робота з якими доцільна по комплексному показнику, що формується групою експертів по вивченню ринку;

– автоматизована генерація договорів з вибраними постачальниками на постачання товарів певного асортименту на певний термін;

– автоматизоване продовження договорів з постачальниками, що зарекомендували себе, і розірвання договорів з постачальниками, що не

виправдали покладеної на них довіри. Оформлення за списками товарів, відсутніх на складах або прострочених, замовлень тим постачальникам, договори з якими на постачання цих товарів були поміщені; при цьому вартість вказаних в договорі товарів зараховується в чистий збиток супермаркету;

- автоматичне складання списків дат прибуття транспорту з проведеними замовленнями для здійснення прийому цих замовлень і відвантаження їх на склад або відправки на вітрини відповідно до списків наявних в даних місцях товарів;

- автоматизоване складання списків устаткування, що вимагає ремонту у зв'язку із закінченням амортизаційних термінів, і складання по цих звітах замовлень постачальникам устаткування на заміну відпрацьованих агрегатів новими або ремонту відповідних агрегатів по встановленому кошторису; при цьому вартість ремонту або вартість нових агрегатів за вирахуванням вартості старих зараховується в чистий збиток супермаркету.

Не дивлячись на те, що робота супермаркету відбувається під контролем автоматизованої системи управління, робоча сила знаходить в ній вельми широке застосування - як для виконання операцій, що безпосередньо впливають на функціонування системи (введення даних на терміналах і т.д.), так і для різної роботи, не пов'язаної безпосередньо з автоматизацією (обслуговування, наладка і ремонт устаткування торгових залів і складів, прибирання приміщень, розвантаження та ін.). Контроль робочої сили виконується підсистемою роботи з персоналом, що включає наступні функції:

- ведення списків співробітників супермаркету, додавання до відповідної БД нових записів під час вступу на роботу нових співробітників і видалення записів з БД відповідно звільненим співробітникам;

- автоматизоване ведення допоміжної інформації про співробітників (нагороди, заохочення, недоліки, зауваження, догани), необхідної для формування довідок, з'ясування відповідної інформації начальником відділу кадрів, звільнення співробітників, що не зарекомендували себе, і відправки на пенсію співробітників, відпрацьованих свій термін;

– щоденне формування списків співробітників, що підлягають звільненню, а також списків вакансій, що підлягають заповненню за рахунок запрошення нових співробітників;

– ведення списків обов'язків співробітників супермаркету; автоматизоване формування на їх основі посадових інструкцій для безпосереднього донесення інформації, що міститься в них, до співробітників;

– формування на основі вектора економічного розвитку супермаркету посад, заповнення яких передбачається в майбутньому; додавання списків обов'язків для цих посад до відповідної БД;

– щоденне автоматизоване формування і видача торговому персоналу завдань з обробки товарів (очищенню вітрин від прострочених товарів, перевезенню з складів і розміщенню на вітринах нових товарів, зміні цінників товарів) заснованих на списках, що згенерували в підсистемі роботи з товарами;

– щоденне формування і видача ремонтному персоналу завдань по огляду і заміні відпрацьованих деталей механізмів (формування проводиться на основі списків, що ведуться підсистемою роботи з господарською частиною);

– щомісячна видача охоронному і обслуговуючому персоналу плану дій на черговий місяць;

– автоматизована генерація документації, необхідної для оформлення відпусток, лікарняних і відгулів.

Результати даної кваліфікаційної роботи будуть безпосередньо впливати на ланку управлінської роботи, оскільки саме від управляючого персоналу залежить прийняття рішень щодо створення ефективного функціонування супермаркету з одночасною мінімізацією втрат.

1.3 Проблеми в функціонуванні магазину самообслуговування

Як і любе інше підприємство, торговий центр має свої проблеми в функціонуванні, серед яких наступні:

- взаємовідносини всередині колективу;
- злагодженість роботи, відповідність дій персоналу очікуванням клієнта;
- прострочення товару, що призводить до збитків;
- рівень обслуговування в торговому залі;
- розкрадання і крадіжки.

Зупинимось на останній проблемі, оскільки вона найбільш гостро стоїть при оцінці роботи супермаркету.

Залежно від типу супермаркету (продуктовий, промтоварний, побутової техніки і так далі) збитки, заподіяні розкраданнями, складають в середньому від 10 відсотків всіх втрат, при цьому в продуктивних супермаркетах ця цифра складає близько 30 відсотків. У товарному виразі втрати супермаркетів від розкрадань і крадіжок складають від 0,5 до 3 % товарообігу, проте, цей показник не є об'єктивним, оскільки власники і персонал супермаркетів не розголошують інформації щодо власних втрат, бо діє в умовах конкуренції.

Розкрадання діляться на наступні види:

- а) крадіжки, що здійснюються покупцями, відвідувачами.
- б) розкрадання, що здійснюються безпосередньо персоналом.
- в) розкрадання, що здійснюються в змові між персоналом супермаркету і покупцями, або злочинні групи, що організувалися безпосередньо в супермаркеті (склад груп може бути різний: касир - покупець, експедитор - вантажник, охоронець - продавець, бухгалтер - товарознавець і так далі).

Найбільш характерні способи здійснення розкрадань покупцями:

– розкрадання з подальшим вживанням продуктів харчування, напоїв безпосередньо в самому супермаркеті (торговому залі, підсобних, службових або складських приміщеннях) і відповідно без подальшої оплати товару.

– розкрадання дрібного, малогабаритного товару з приховуванням у власному одязі або речах, крадіжка товару з магазину шляхом надягання на себе декілька пар одягу.

– приміщення покупцем дрібного товару в упаковку з-під крупного товару, у разі коли в касовій зоні касир не перевіряє, що знаходиться усередині упаковки а лише прочитує штрих-код наданого товару, захований товар викрадається покупцем без оплати.

– підміна товару покупцем, коли останній переключає з дешевого товару, що знаходиться в асортименті на дорожчий штрих-код і таким чином здійснює розкрадання дорожчого товару.

– крадіжки з торгового залу, коли товар викрадається з подальшим винесенням минувши касову зону через суміжні, складські приміщення та ін.

Слід зазначити, що вищезгадані види розкрадання характерні як для покупців, так і для персоналу супермаркету.

Отже, з метою мінімізації витрат і відшкодування збитку, заподіяного розкраданнями, персоналу, що управляє супермаркетом, доводиться не тільки збільшувати товарообіг, але часто і підвищувати ціни, збільшуючи тим самим норму прибутку, що ставить їх в свідомо не вигідне положення перед конкурентами.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Історія та предмет теорії масового обслуговування

Теорія масового обслуговування - це математична дисципліна, яка вивчає проблеми обслуговування масового потоку вимог випадкового характеру.

За останні роки область застосування математичних методів теорії масового обслуговування безперервно розширюється і все більше виходить за межі задач, пов'язаних з “обслуговуючими організаціями” в буквальному смислі слова. Більшість задач автоматизації виробництва виявляються близькими до теорії масового обслуговування: потоки деталей, які поступають на виконання над собою різних операцій, можуть розглядатися як “потоки вимог”, ритмічність надходження яких порушується за рахунок випадкових причин. Своєрідні задачі теорії масового обслуговування виникають у зв'язку з проблемою організації транспорту і системи повідомлень. Близькими до теорії масового обслуговування виявляються задачі, які відносяться до надійності технічних пристроїв: такі їх характеристики як середній час безвідмовної роботи, потрібна кількість запасних деталей, середній час простою у зв'язку з ремонтом і т.д., визначаються методами, які безпосередньо запозичені з теорії масового обслуговування[1].

Проблеми, близькі до задач масового обслуговування, постійно виникають в воєнній справі. Канали наведення, лінії зв'язку, аеродроми, пристрої для збору та обробки інформації представляють собою своєрідні системи масового обслуговування зі своїм режимом роботи й пропускною здатністю.

Робота будь-якої СМО полягає в виконанні потоку вимог, що поступили на неї, причому вимоги поступають одна за одною у випадкові моменти часу. Обслуговування вимоги, яка поступила, продовжується деякий час, після чого

канал звільняється і стає готовим для прийому наступної заявки. Кожна СМО в залежності від числа каналів та їх продуктивності володіє деякою пропускнуою здатністю, яка дозволяє їй більш-менш справлятися з потоком вимог[5].

Предметом теорії масового обслуговування є встановлення залежності між характером потоку вимог, продуктивністю окремого каналу, числом каналів та ефективністю обслуговування. В більшості випадків всі параметри, що описують системи масового обслуговування, є випадковими величинами або функціями, тому ці системи відносяться до стохастичних систем.

В якості характеристик ефективності обслуговування можуть застосовуватися різні величини і функції, наприклад:

- середній процент вимог, які отримали відмову і залишили СМО необслуженими;
- середній час очікування в черзі;
- середній час простою окремих каналів і системи в цілому;
- ймовірність того, що вимога, що поступила, негайно буде обслуговуватися;
- закон розподілу довжини черги та ін[8].

Кожна з даних характеристик описує ступінь пристосування системи до виконання потоку вимог, іншими словами – її пропускну здатність.

Під пропускнуою здатністю зазвичай розуміють середнє число вимог, які система може обслужити в одиницю часу. Існує також поняття відносної пропускнуої здатності – середнє відношення числа вимог, які вже обслужили, до тих, які подані на обслуговування. Пропускна здатність в загальному випадку залежить не лише від параметрів системи, а також від характеру потоку вимог. Якби вимоги поступали через строго визначені проміжки часу, і обслуговування кожної вимоги також мало б строго визначену довжину, розрахунок пропускнуої здатності не був би важким. Проте на практиці ці два параметри випадкові. У зв'язку з цим процес роботи системи відбувається нерегулярно: в потоці вимог утворюються місцеві згущення й розрідження. Згущення можуть призвести до відмов в обслуговуванні, або ж до утворення

черг. Розрідження – до непродуктивних простоїв окремих каналів або системи в цілому. На ці випадки, пов'язані з неоднорідністю потоку вимог, накладаються ще такі випадки, пов'язані з затримками обслуговування окремих вимог. Таким чином, процес функціонування системи масового обслуговування являє собою випадковий процес. Для того, щоб дати рекомендації по раціональній організації системи, вивчити її пропускну здатність і пред'явити до неї вимоги, потрібно визначити випадковий процес, що протікає в системі, й описати його математично. Цим і займається теорія масового обслуговування[1].

2.2 Основні поняття теорії масового обслуговування

Теорія масового обслуговування включає наступні елементи: джерело вимог, вхідний потік вимог, черга, обслуговуючий пристрій (канал обслуговування), вихідний потік вимог.

Вимога (заявка) – кожен окремий запит на виконання якої-небудь роботи. В даному дипломному проекті під заявкою будемо розуміти покупця, що підходить до каси для обслуговування.

Вхідний потік вимог – кількість вимог, що поступають від всіх джерел в обслуговуючу систему.

Час обслуговування – час, протягом якого виконується (обслуговується) заявка. Ця величина може бути як не випадковою, так і випадковою. Більш загальним є випадковий час обслуговування.

Інтенсивність обслуговування – кількість вимог, що обслуговуються одним каналом обслуговування в одиницю часу.

Математична модель СМО – це сукупність математичних виразів, що описують вхідний потік вимог, час обслуговування і їх взаємозв'язок[4].

2.3 Потоки подій. Найпростіший потік та його властивості

Під потоком подій в теорії ймовірності розуміють послідовність подій, які відбуваються одне за одним в якісь моменти часу. Прикладами можуть бути: потік викликів на телефонній станції, потік заявок на обслуговування в СМО та ін[25].

Потік подій є регулярним, якщо події настають одне за одним через строго визначені проміжки часу. В реальних системах такі потоки зустрічаються досить рідко.

Існує ряд наступних подій, які володіють деякими простими властивостями:

– ординарний потік (однорідний). Потік подій є ординарним, якщо ймовірність попадання на інтервал $(t, t + x)$ двох або більше подій є малою в порівнянні з ймовірністю попадання однієї події. В даному випадку всі заявки рівноправні, розглядаються лише моменти часу надходження заявок, тобто факти заявок без уточнення деталей кожної конкретної заявки.

– потік без післядії, якщо число подій будь-якого інтервалу часу $(t, t + x)$ не залежить від числа подій на будь-якому іншому непересічному з нашим $(t, t + x)$ інтервалі часу.

– стаціонарний потік. Потік заявок стаціонарний, якщо ймовірність появи n подій на інтервалі часу $(t, t + x)$ не залежить від часу t .

– найпростіший потік. Якщо потік подій володіє стаціонарністю, ординарністю та не має післядії, він є найпростішим (або стаціонарним пуассонівським). Число m подій такого потоку, випадних на інтервал t , розподілене за законом Пуассона:

$$P_m(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^m}{m!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.1)$$

де λ – середнє число подій, що приходить на одиницю часу.

Пуасонівській потік заявок зручний при розв'язку задач ТМО. Хоча дані потоки рідкісні на практиці, багато модельованих потоків допустимо розглядати як найпростіші.

Випадковий характер потоку заявок, а також, в загальному випадку, і тривалість обслуговування призводить до того, що в системі масового обслуговування відбувається випадковий процес. По характеру випадкового процесу, що відбувається в системі масового обслуговування, розрізняють марківські і немарківські системи. У марківських системах вхідний потік вимог і потік обслужених вихідних заявок є пуасонівським.

Пуасонівські потоки дозволяють легко описати і побудувати математичну модель системи масового обслуговування. Дані моделі мають достатньо прості рішення, тому більшість відомих додатків теорії масового обслуговування використовують марківську схему. У разі немарківських процесів завдання дослідження систем масового обслуговування значно ускладнюються і вимагають застосування статистичного моделювання, чисельних методів з використанням ЕОМ[25].

2.4 Класифікація систем масового обслуговування

Системи масового обслуговування класифікують за різними ознаками.

а) по умові очікування вимоги початку обслуговування системи поділяються на наступні види:

- системи масового обслуговування з втратами (відмовами);
- системи масового обслуговування з очікуванням;
- системи масового обслуговування з обмеженою довжиною черги;
- системи масового обслуговування з обмеженим часом очікування.

Системи масового обслуговування, в яких вимоги, що поступають в момент, коли всі канали обслуговування зайняті, дістають відмову і втрачаються, називаються системами з втратами або відмовами.

Системи масового обслуговування, в яких можлива поява як завгодно довгої черги вимог до каналу обслуговування, називаються системами з очікуванням.

Системи масового обслуговування, що допускають чергу, але з обмеженим числом місць в ній, називаються системами з обмеженою довжиною черги.

Системи масового обслуговування, що допускають чергу, але з обмеженим терміном перебування кожної вимоги в ній, називаються системами з обмеженим часом очікування.

б) по числу обслуговуючих пристроїв системи діляться на:

- одноканальні;
- багатоканальні (системи, в яких вимога, яка поступила, може бути обслужена одним з декількох каналів, що входять в блок обслуговування).

в) по місцю знаходження джерела вимог системи масового обслуговування діляться на:

- розімкнуті, коли джерело знаходиться поза системою;
- замкнуті, коли джерело знаходиться в самій системі. До цього вигляду відноситься, наприклад, верстатна ділянка, в якій верстати є джерелом несправностей, а отже, і вимог на їх обслуговування[17].

В системах з очікуванням велике значення має так звана „дисципліна черги”. Заявки, які очікують своєї черги, можуть викликатися на обслуговування як в порядку черги (раніше прибула – раніше вибула), так і випадково, в неорганізованому порядку. Існують системи масового обслуговування „з перевагами”, де деякі заявки обслуговуються першочергово порівняно з іншими (“генерали і полковники поза чергою”). Кожний тип системи з очікуванням має свої особливості і свою математичну теорію.

Приведена класифікація СМО є умовною. На практиці найчастіше системи масового обслуговування виступають як змішані системи. Наприклад, заявки чекають початки обслуговування до певного моменту, після чого система починає працювати як система з відмовами.

Однією з форм класифікації систем масового обслуговування є кодова (символьна) класифікація Д. Кендалла. При цій класифікації характеристики системи записують у вигляді трьох, чотири або п'яти символів, наприклад $A \setminus B \setminus S$, де A - тип розподілу вхідного потоку вимог, B - тип розподілу часу обслуговування, S - число каналів обслуговування. Для експоненційного розподілу приймають символ M , для будь-якого (довільного) розподілу - символ G . Запис $G/M/3$ означає, що вхідний потік вимог є пуассонівським (найпростішим), час обслуговування розподілений по експоненціальному закону, в системі є три канали обслуговування. Четвертий символ вказує допустиму довжину черги, а п'ятий - порядок відбору (пріоритету) вимог[5].

2.5 Показники ефективності систем масового обслуговування

Показники ефективності діляться на показники, що характеризують якість і умови роботи обслуговуючої системи, і показники, що відображають економічні особливості системи[22].

Показники першої групи зазвичай формують на основі отриманої з розрахунків значень ймовірності станів системи. Показники другої групи розраховують на основі показників першої групи.

Для обрахунку показників системи першої групи будемо оперувати наступними вхідними параметрами системи:

λ – інтенсивність вхідного потоку вимог (середнє число вимог, що поступають в одиницю часу – в годину), потік заявок;

μ – інтенсивність обслуговування (середнє число обслужених вимог в одиницю часу – в годину), потік звільнень:

$$\mu = \frac{1}{T_{ob}}, \quad (2.2)$$

де T_{ob} – час обслуговування одної заявки;

ν – інтенсивність потоку звільнення заявки, що стоїть в черзі:

$$v = \frac{1}{T_{o4}}, \quad (2.3)$$

де T_{o4} – час очікування заявки, що стоїть в черзі, на обслуговування.

Очевидно, що при $v \rightarrow \infty$ – система з відмовами; а при $v \rightarrow 0$ – система з очікуванням.

N – кількість каналів обслуговування.

Серед показників, що характеризують якість і умови роботи обслуговуючої системи можна виділити наступні.

У стаціонарному режимі функціонування (умова $\frac{\rho}{N} < 1$) багатоканальна система масового обслуговування з очікуванням може бути описана за допомогою системи алгебраїчних рівнянь (при $1 \leq i \leq N-1$):

$$\begin{cases} -\lambda \cdot P_0 + \mu \cdot P_1 = 0 \\ \lambda \cdot P_{i-1} - (\lambda + i \cdot \mu) \cdot P_i + (i+1) \cdot \mu \cdot P_{i+1} = 0 \\ \lambda \cdot P_{N-1} - (N \cdot \mu + v) \cdot P_N = 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

Розв'язок системи наступний:

а) ймовірність того, що всі канали вільні P_0 :

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^N \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^N}{N!} \cdot \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\rho^s}{\prod_{m=1}^s (N + m \cdot \beta)}} \quad (2.5)$$

де i – кількість зайнятих каналів обслуговування (при умові, що черга відсутня);

$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, ρ – середнє число заявок, що приходиться на середній час обслуговування одної заявки.

s – кількість заявок, що стоять в черзі. Очевидно, що даний ряд є збіжним, і при збільшенні s він приймає малі значення, отже для спрощення

розрахунків знайдемо деяке число кінцевого значення s , при якому значення суми на загальну формулу практично не впливає.

$$\beta = \frac{\nu}{\mu}, \quad \beta - \text{середнє число звільнень заявки, що стоїть в черзі, що}$$

приходиться на середній час обслуговування одної заявки.

б) ймовірності станів системи P_i при $0 \leq i \leq N$ (P_1 – ймовірність того, що 1 канал зайнятий при умові відсутності черги, P_2 – ймовірність того, що 2 канали зайняті при умові відсутності черги, і т. д.) :

$$P_i = \frac{\frac{\rho^i}{i!}}{\sum_{i=0}^N \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^N}{N!} \cdot \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\rho^s}{\prod_{m=1}^s (N + m \cdot \beta)}} \quad (2.6)$$

Формули (2.6) називаються формулами Ерланга. Вони дають закон розподілу числа зайнятих каналів в залежності від характеристик потоку заявок і продуктивності системи обслуговування[1].

Формули Ерланга справедливі для показового закону розподілу часу обслуговування. Проте дослідження останніх років показали, що ці формули також правдиві при будь-якому законі розподілу при умові пуасонівського вхідного потоку.

Знаючи ймовірності всіх станів системи, можна визначити інші характеристики, такі, як:

в) ймовірність того, що вимога залишить систему необслуженою (ймовірність відмови) P_n :

$$P_n = \frac{\beta}{\rho} \cdot \frac{\frac{\rho^i}{i!} \cdot \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s \cdot \rho^s}{\prod_{m=1}^s (N + m \cdot \beta)}}{\sum_{i=0}^N \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^N}{N!} \cdot \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\rho^s}{\prod_{m=1}^s (N + m \cdot \beta)}} \quad (2.7)$$

г) середня кількість вимог, що чекають на обслуговування (довжина черги) L :

$$L = \frac{\frac{\rho^i}{i!} \cdot \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s \cdot \rho^s}{\prod_{m=1}^s (N + m \cdot \beta)}}{\sum_{i=0}^N \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^N}{N!} \cdot \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\rho^s}{\prod_{m=1}^s (N + m \cdot \beta)}} , \quad (2.8)$$

д) відносна пропускна здатність системи q :

$$q = 1 - P_n ; \quad (2.9)$$

абсолютну пропускну здатність системи знаходять по формулі:

$$A = \lambda ; \quad (2.10)$$

е) середнє число зайнятих обслуговуванням каналів N_z у разі експоненціального характеру потоку вимог і часу обслуговування:

$$N_z = \rho \cdot q , \quad (2.11)$$

ж) загальну кількість вимог L_s , що знаходяться в системі, визначають таким чином:

$$L_s = N_z + L , \quad (2.12)$$

з) середній час очікування початку обслуговування (середня тривалість перебування заявки в черзі) можна визначити по формулі:

$$W_q = \frac{L}{\lambda} ; \quad (2.13)$$

і) середня тривалість перебування заявки в системі масового обслуговування визначається за формулою:

$$W_s = W_q + T_{ob} . \quad (2.14)$$

2.6 Розрахунок параметрів багатоканальної системи масового обслуговування з очікуванням

Якщо час очікування заявки в черзі нічим не обмежено, система називається „чистою системою з очікуванням”. Якщо ж він обмежений будь-якими умовами, то система носить назву „змішаного типу”. Це проміжний

випадок між чистою системою з відмовами та чистою системою з очікуванням. На практиці найбільший інтерес представляють системи змішаного типу.

Система масового обслуговування називається системою з очікуванням, якщо вимога стає в чергу і чекає, доки не звільниться який-небудь канал з усіх, що були зайнятими. Проте реальні системи масового обслуговування з очікуванням при деяких обставинах можуть стати змішаною системою. Тому ймовірність відмови існує, і в даному дипломному проекті вона буде врахована при розрахунку параметрів торгового центру[23].

Обмеження, які накладаються на очікування, можуть бути різного типу. Часто буває, що обмеження накладається на час очікування заявки в черзі; рахується, що він обмежений зверху деяким строком $T_{оч}$, який може бути як строго визначеним, так і випадковим. При цьому обмежується тільки строк очікування в черзі, а почате обслуговування доводиться до кінця незалежно від того, скільки часу відбувалося очікування (наприклад, клієнт в перукарні, сідаючи в крісло, як правило вже не йде до кінця обслуговування). В інших задачах краще накласти обмеження не на час очікування в черзі, а на загальний час перебування заявки в системі. Можна розглядати й таку змішану систему (вона найближча до типу торгівельних підприємств, які торгують предметами першої необхідності), коли вимога стає в чергу тільки в тому випадку, коли довжина черги є не дуже великою.

Тут обмеження накладається на кількість каналів обслуговування, час обслуговування однієї вимоги та час очікування в черзі.

Нехай в системі масового обслуговування, що розглядається в даному дипломному проекті, вхідний і вихідний потоки є пуассоновськими з інтенсивностями λ і μ відповідно. Час обслуговування однієї заявки – $T_{об}$ – показовий (експоненційний). Якщо всі канали зайняті, вимога стає в чергу і очікує на обслуговування; час очікування в черзі обмежений деяким випадковим строком $T_{о4}$, який також розподілений по показовому закону. Система має N каналів обслуговування.

За умови простого потоку вимог і експоненціального закону розподілу часу очікування в черзі та часу обслуговування однієї вимоги отримаємо наступні характеристики даної системи:

- ймовірність того, що всі канали вільні P_0 (2.5);
- ймовірності станів системи P_i (2.6);
- ймовірність відмови P_n (2.7);
- довжина черги L (2.8);
- відносна пропускна здатність системи q (2.9);
- абсолютна пропускна здатність системи A (2.10);
- середнє число зайнятих обслуговуванням каналів N_z (2.11);
- загальна кількість вимог, що знаходяться в системі L_s (2.12);
- середня тривалість перебування заявки в черзі W_q (2.13);
- середня тривалість перебування заявки в системі W_s (2.14).

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Структура системи масового обслуговування

Як вже згадувалося вище, системами масового обслуговування є такі системи, в яких з одного боку, виникають масові заявки (вимоги) на виконання яких-небудь видів послуг, а з іншого боку – відбувається задоволення цих заявок.

СМО складається з обслуговуваної і обслуговуючої систем. Обслуговувана система включає сукупність джерел вимог і вхідного потоку вимог. Обслуговуюча система складається з накопичувача і механізму обслуговування[17].

Оптимізація роботи магазину самообслуговування полягає в наступному. Якщо, наприклад, в СМО працює лише одна каса, а покупці заходять часто, то виникне черга покупців, які чекають на обслуговування. Якщо ж, навпаки, покупці заходять рідко, а касирів декілька, то виникне черга касирів, що очікують на покупця. В обох випадках магазин несе втрати: у першому випадку тому, що не всі охочі купити товар будуть обслужені, а в другому - тому, що касирів дуже багато і частина фонду їх заробітної плати витратиться марно. Тому, в даному випадку критерієм правильності організації роботи магазину може служити середня сума часу очікування покупця і часу очікування касира. Робота магазину організована найкращим чином, якщо ця величина мінімальна[18].

Для оцінки СМО застосовуються також показники її пропускної здатності: абсолютною (середнє число заявок, яке може бути обслужене за одиницю часу) і відносною (середня частка обслуговуваних заявок в загальній кількості тих, що поступають в систему).

3.2 Формування математичної моделі СМО

Для того, щоб достатньо повно сформулювати математичну модель СМО, зазвичай необхідно задати основні компоненти системи масового обслуговування, якими є:

- вхідний потік вимог, що поступають, або заявок на обслуговування (або характеристика середовища);
- дисципліна черги;
- характеристика механізму обслуговування.

Вхідний потік вимог. Для опису вхідного потоку потрібно задати ймовірнісний закон, що визначає послідовність моментів надходження вимог на обслуговування і вказати кількість таких вимог в кожному черговому надходженні. При цьому, як правило, оперують поняттям “ймовірнісний розподіл моментів надходження вимог”. Тут можуть поступати як одиничні, так і групові вимоги (вимоги поступають групами в систему). У останньому випадку зазвичай йдеться про систему обслуговування з паралельно-груповим обслуговуванням[5].

Дисципліна черги - це важливий компонент системи масового обслуговування, він визначає принцип, відповідно до якого заявки, що поступають на вхід обслуговуючої системи, підключаються з черги до процедури обслуговування. Найчастіше використовуються дисципліни черги, визначувані наступними правилами:

- першим прийшов - перший обслуговуєшся;
- прийшов останнім - обслуговуєшся першим;
- випадковий відбір заявок;
- відбір заявок по критерію пріоритетності;
- обмеження часу очікування моменту настання обслуговування (має місце черга з обмеженим часом очікування обслуговування, що асоціюється з поняттям “допустима довжина черги”).

Механізм обслуговування визначається характеристиками самої процедури обслуговування і структурою обслуговуючої системи. До характеристик процедури обслуговування відносяться: тривалість процедури обслуговування і кількість вимог, що задовольняються в результаті виконання кожної такої процедури. Для аналітичного опису характеристик процедури обслуговування оперують поняттям “ймовірнісний розподіл часу обслуговування вимог”.

Слід зазначити, що час обслуговування заявки залежить від характеру самої заявки або вимог клієнта та від стану і можливостей обслуговуючої системи. У ряді випадків доводиться також враховувати вірогідність виходу обслуговуючого приладу з ладу по закінченню деякого обмеженого інтервалу часу.

3.3 Формування математичної моделі магазину самообслуговування

Визначимо вхідний потік вимог на обслуговування. На практиці часто зустрічаються потоки заявок, які можуть розглядатися як стаціонарні (принаймні, на обмеженій ділянці часу). Наприклад, потік вимог на обслуговування на ділянці часу від 17⁰⁰ до 19⁰⁰ годин може вважатися стаціонарним. Той же потік протягом робочого дня вже не може вважатися стаціонарним (вранці щільність вимог значно нижча, ніж вдень і ввечері). Проте в багатьох завданнях ТМО представляється інтерес проаналізувати роботу системи за постійних умов; тоді завдання вирішується для стаціонарного потоку заявок. Отже, вхідний потік для конкретного випадку є стаціонарним.

З іншого боку, заявки в торговий центр поступають незалежно один від одного. Потік вимог, що поступає в магазин самообслуговування, можна вважати потоком без післядії тому, що причини, що зумовили прихід окремої заявки саме в той, а не в інший момент, як правило, не пов'язані з аналогічними

причинами для інших заявок. Отже, вхідний потік для даної СМО володіє умовами стаціонарності і відсутністю післядії.

По-третє, заявки, поступають в торговий центр поодиноці, а не парами, трійками, тобто володіють властивістю ординарності. Неординарним можна вважати, наприклад, потік клієнтів, що прямують в ЗАГС для реєстрації шлюбу.

Виходячи з вищеописаного, можна зробити висновок, що вхідний потік вимог на обслуговування володіє всіма властивостями (стаціонарністю, відсутністю післядії і ординарністю) простого потоку. А ймовірнісний закон, що визначає послідовність моментів надходження вимог на обслуговування і тривалість обслуговування кожної заявки в магазині самообслуговування - показовим.

Отже, обслуговуваною системою у випадку з магазином самообслуговування буде вхідний найпростіший потік вимог.

Обслуговуюча система складається з накопичувача обслуговування – черги та каналу обслуговування: касового боксу, комп'ютера, сканера, деяких інших обслуговуючих пристроїв та робочого місця касира.

Заявки надходять в систему зазвичай у випадкові моменти часу. Час обслуговування кожної вимоги також випадковий: одній заявці знадобиться 1 хвилина для обслуговування, а іншій – 2.5 хвилини.

Структура обслуговуючої системи визначається кількістю і взаємним розташуванням каналів обслуговування (у нашому випадку - кас). Дана система обслуговування має не один канал обслуговування, а декілька, отже, система такого роду здатна обслуговувати одночасно декілька вимог, тобто вона є багатоканальною з кількістю кас $N=6$.

Оскільки у вибраній СМО буде присутня черга вимог до обслуговуючого пристрою, вважатимемо її системою з очікуванням.

3.4 Вибір параметрів СМО (λ, μ, ν)

Параметрами даної системи будемо вважати вхідні дані, а показниками (або характеристиками) – вихідні дані, що характеризують якість обслуговування та ефективність функціонування системи.

Параметри λ – інтенсивність потоку замовлень, μ – інтенсивність обслуговування та ν – припустимий час очікування будемо вибирати наступним чином.

Провівши деякі спостереження і збір даних, були отримані результати, що містяться в додатку А.

Дані для дослідження будемо визначати таким чином: знаючи наступні вхідні параметри системи, такі, як:

Σ_{λ} – сума кількості заявок по кожній з годин робочого дня.

$m(T_{ob})$ – середнє значення часу обслуговування по кожній з годин;

N – число годин, на протязі яких проводився експеримент;

S_{λ} – загальне число заявок в хвилину на протязі кожної години;

$S_{T_{ob}}$ – загальний час обслуговування заявок по N годинам,

обчислимо:

– значення інтенсивність вхідного потоку вимог λ :

$$\lambda_{сер} = \frac{S_{\lambda}}{N} = \frac{96}{16} = 6 \text{ (заявки в хвилину)}$$

– значення часу обслуговування T_{ob} :

$$T_{ob_сер} = \frac{S_{T_{ob}}}{N} = \frac{32}{16} = 2 \text{ (хвилини)}$$

Результати обчислення даних для дослідження представлені в таблиці 3.1.

Надалі в кваліфікаційній роботі інтенсивність вхідного потоку вимог λ буде приймати значення $\lambda_{сер}$, а час обслуговування $T_{ob} - T_{ob_сер}$.

Таблиця 3.1 – Результати обчислення даних для дослідження

Визначення λ			Визначення T_{ob}	
N	S_λ , заявки	$\lambda_{сер}$, заявок/ хвилину	$S_{T_{ob}}$	$T_{ob_{сер}}$, хвилин
16	96	6	32	2

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

Моделювання є загально визнаним засобом пізнання дійсності. Цей процес складається з двох великих етапів: розробки моделі і аналізу розробленої моделі. Моделювання дозволяє досліджувати суть складних процесів і явищ за допомогою експериментів не з реальною системою, а з її моделлю. Відомо, що для ухвалення розумного рішення по організації роботи системи не обов'язкове знання всіх характеристик системи, завжди достатній аналіз її наближеного уявлення[14].

У даній роботі ми розглянемо основні питання імітаційного моделювання.

4.1 Імітаційне дискретне моделювання систем

Імітаційне моделювання – це розробка і виконання на ЕОМ програмної системи, що відображає поведінку і структуру модельованого об'єкту. Комп'ютерний експеримент з моделлю полягає у виконанні на комп'ютері даної програми з різними значеннями параметрів (початкових даних) і аналізі результатів цих виконань. Імітаційне моделювання є могутнім інструментом дослідження поведінки реальних систем. Методи імітаційного моделювання дозволяють зібрати необхідну інформацію про поведінку системи шляхом створення її комп'ютеризованої моделі. Ця інформація використовується потім для проектування системи. Імітаційне моделювання не вирішує оптимізаційних завдань, а швидше є технікою оцінки значень функціональних характеристик модельованої системи[28].

Імітаційне моделювання може використовуватися при ухваленні рішень на стадіях проектування і аналізу виробничих систем (наприклад, конвеєрних ліній або складських приміщень), транспортних систем (автомагістралей, портів, метрополітену), різних організацій, що надають сервіси масового обслуговування (магазинів самообслуговування, перукарень, центрів обробки замовлень по

телефону, автозаправок, банків), соціальних і фінансових систем і тому подібне.

У багатьох випадках імітаційне моделювання - це єдиний спосіб отримати уявлення про поведінку складної системи і провести її аналіз.

Сучасне імітаційне моделювання застосовується в основному для дослідження ситуацій і систем, які можна описати як системи масового обслуговування. Це не обмежує застосування імітаційного моделювання, оскільки на практиці будь-яку ситуацію дослідження операцій або ухвалення рішень можна в тій чи іншій мірі розглядати як систему масового обслуговування. З цієї причини методи імітаційного моделювання знаходять широке застосування в завданнях, що виникають в процесі створення систем масового обслуговування, систем зв'язку; в економічних та комерційних завданнях, включаючи оцінки поведінки споживача, визначення цін, економічне прогнозування діяльності фірм; у соціальних і соціально-психометричних завданнях; у завданнях аналізу військових стратегій і тактик[16].

Попередником сучасного імітаційного моделювання вважається метод Монте-Карло, основна ідея якого полягає у використанні вибірки випадкових чисел для отримання імовірнісних або детермінованих оцінок яких-небудь величин. Використання сучасних імітаційних моделей базується, в основному, на ідеї методу Монте-Карло. Єдина відмінність полягає в тому, що сучасна імітаційна модель зазвичай пов'язана з вивченням реально існуючої системи, поведінка якої є функцією часу, а в імітації методом Монте-Карло час не є обов'язковим чинником, а отримувані оцінки – статичні.

Дискретні моделі мають справу з системами, поведінка яких змінюється лише в задані моменти часу. Типовим прикладом такої моделі є черга. При цьому завдання моделювання полягає в оцінюванні операційних характеристик обслуговуючої системи, таких, наприклад, як середній час очікування заявки або середня довжина черги. Такі характеристики системи масового обслуговування змінюють свої значення або у момент появи клієнта, або при

завершенні обслуговування. У інших випадках в системі нічого істотного не відбувається. Такі моменти часу, в які в системі відбуваються зміни, визначають події моделі (наприклад, прихід або відхід клієнта). Те, що ці події відбуваються в дискретні моменти, вказує на те, що процес протікає в дискретному часі, звідки і з'явилася назва дискретне моделювання.

4.1.1 Дискретне моделювання подій

Всі імітаційні моделі з дискретними подіями описують прямо або побічно ситуації з чергою, в яку клієнти прибувають, при необхідності чекають в ній, потім обслуговуються перед тим, як залишити систему.

Імітаційна модель з дискретними подіями насправді є композицією черг. В цілях збору статистичних даних (показників функціонування системи) відмітимо, що зміни в системі (наприклад, зміна довжини черги або стани каналів обслуговування) виникають лише тоді, коли клієнт поступає в чергу або покидає систему після обслуговування. Це означає, що двома головними подіями в будь-якій дискретній імітаційній моделі є прибуття і відхід клієнтів. Це єдині показники, по яких необхідно досліджувати систему. У інші моменти часу ніяких змін, що впливають на статистичні дані системи, не відбувається[2].

Визначивши основні події імітаційної моделі, покажемо тепер, як модель функціонує. На рис. 4.1 дано схематичне представлення типових місцезнаходжень подій на шкалі часу імітації.

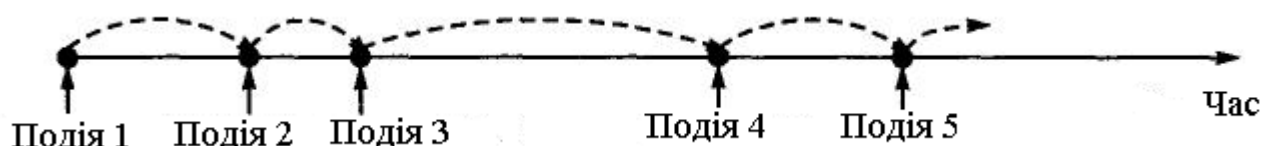


Рисунок 4.1 – Події на шкалі часу

Після виконання всіх дій, пов'язаних з поточною подією, імітаційна

модель “перестрибує” до іншої події, яка безпосередньо за ним слідує. По суті, імітація виникає в ті моменти, коли відбуваються події.

В системі події, пов'язані з прибуттям, визначаються часом між надходженнями клієнтів, а події, пов'язані з їх відходом, - часом обслуговування. Час настання цих подій може бути детермінованим (наприклад, прибуття поїздів метро на станцію кожні п'ять хвилин) або випадковим (наприклад, прибуття заявок в систему масового обслуговування). Якщо час між настаннями подій є детермінованим, то процедура визначення часу їх настання проста. Якщо ж вказаний час є випадковим, то використовується спеціальна процедура для набуття вибірових значень часу між подіями в системі, відповідній заданому імовірнісному розподілу[2].

4.1.2 Експоненційний розподіл вхідних параметрів системи

Припустимо, що час t між прибуттям клієнтів в СМО розподілений по експоненціальному закону з математичним очікуванням $M(t) = \frac{1}{\lambda}$ одиниць часу, тобто щільність ймовірності задається наступною формулою:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}, t > 0. \quad (4.1)$$

Знайдемо випадкове значення часу t . Функція розподілу обчислюється стандартним чином:

$$F(t) = \int_0^t \lambda \cdot e^{-\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda t}, t > 0. \quad (4.2)$$

Якщо R - випадкове число з інтервалу $[0;1]$, то якщо $R = F(t)$, отримаємо:

$$t = -\left(\frac{1}{\lambda}\right) \cdot \ln(R). \quad (4.3)$$

Нехай в імітаційній моделі події відбуваються через t одиниць часу. Тоді, згідно (4.3), наприклад, при $\lambda = 6$ відвідувача в хвилину та $R = 0.47$ інтервал часу між прибуттям заявок обчислюється таким чином:

$$t = -\left(\frac{1}{6}\right) \cdot \ln(0,47) = 0,125 \text{ хвилин або } (7,5 \text{ секунд}).$$

Значення R , використовувані для отримання послідовних випадкових чисел, повинні вибиратися випадковим чином з інтервалу $[0,1]$, підкоряючись рівномірному закону розподілу[2].

4.1.3 Ручна імітація магазину самообслуговування

В даному підрозділі спробуємо вручну зімітувати модель торгового центру, маючи шість каналів обслуговування. Час між надходженням вимог в магазин самообслуговування є випадковою величиною, що змінюється по експоненційному закону з математичним очікуванням 6 заявок в хвилину. Час обслуговування однієї заявки має рівномірний розподіл на інтервалі від 1.2 до 2.5 хвилин. Заявки обслуговуються по черзі. Проведемо імітаційне моделювання для тридцяти заявок.

Потрібно визначити наступні параметри роботи магазину самообслуговування та в разі потреби зробити відповідні висновки для оптимізації потреби:

- а) середню довжину черги.
- б) середній час очікування заявки в черзі.
- в) середній час перебування заявки в системі.

Роботу імітаційної моделі можна описати в подіях, пов'язаних з прибуттям і відходом заявок (рис.4.3).

Позначимо через p та q випадкові значення часу між прибуттям клієнтів і їх обслуговуванням відповідно.

Беремо результати розрахунків підрозділу 4.1.2, отримуємо:

$$p = -\frac{1}{6} \cdot \ln(R)$$

$$q = 1.2 + 1.3 \cdot R$$

при умові, що $0 \leq R \leq 1$.

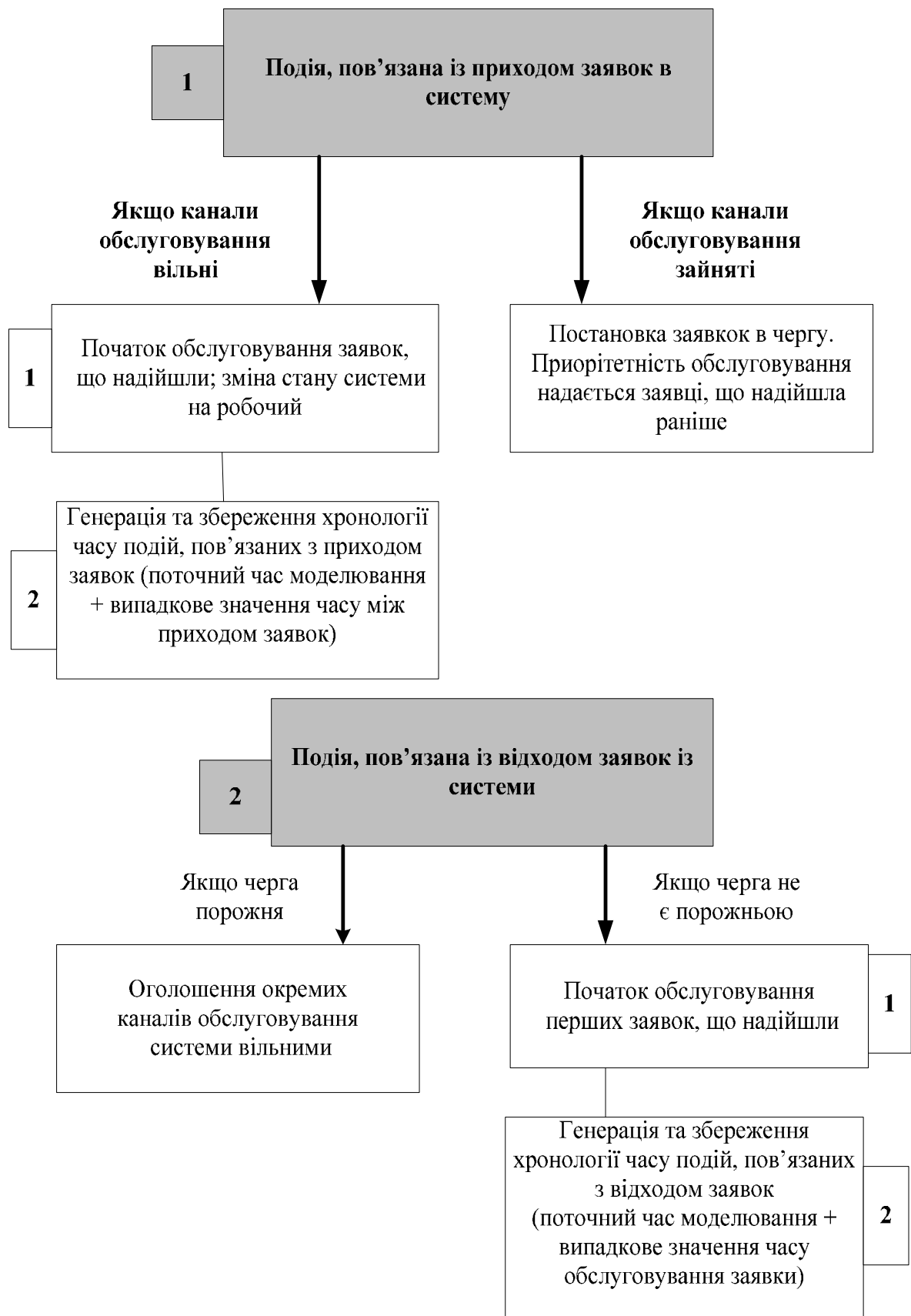


Рисунок 4.3 – Структурна схема механізму імітаційного моделювання.

Час настання події, пов'язаної з приходом наступної заявки відносно попередньої:

$$p_i = p_{i-1} + p. \quad (4.4)$$

Час настання події, пов'язаної з відходом заявки:

$$q_i = q_{i-1} + Tob_i. \quad (4.5)$$

Наступна таблиця показує хронологічний порядок подій. Значення в таблиці ві 4.1 дповідають часу. Початковий час дорівнює нулю.

Таблиця 4.1 – Таблиця хронологічно пов'язаних подій

Каси	p		q		p		q		p		q	
	i={1;6}			i={7;12}			i={13;18}					
1	0	1	1,36	1,68	8	3,39	2,55	15	5,31			
2	0,35	2	1,81	2,07	10	4,26	2,91	17	6,33			
3	0,48	3	2,08	2,08	11	3,87	2,65	16	5,36			
4	0,54	4	1,21	1,55	7	3,01	2,4	14	4,74			
5	1,51	5	1,53	1,75	9	2,93	2,32	13	4,9			
6	1,55	6	2,47	2,21	12	4,36	2,97	18	6,28			

Каси	p		q		p		q	
	i={19;24}			i={25;30}				
1	3,82	21	6,67	4,95	26	8,49		
2	4,76	24	8,15	5,61	30	10,08		
3	4,17	22	7,31	5,48	28	9,73		
4	3,07	19	5,97	4,89	25	8,06		
5	3,73	20	6,84	5,07	27	8,16		
6	4,26	23	7,55	5,49	29	9,36		

Значення стовпчиків між колонками p і q означають перевагу заявок по принципу FIFO (першим прийшов – перший пішов). Наприклад, четвертий канал обслуговування, що звільнився раніше інших (про що свідчить час – 1,21

хвилини) буде обслуговувати сьому заявка, що прийшла одразу після шостої.

Для визначення параметрів роботи магазину самообслуговування проведемо обробку статистичних даних.

Середню довжину черги отримаємо з наступної формули:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^{30} Wq_i}{\max(q)} \quad (4.6)$$

де $\max(q)$ – останній в хронологічному порядку максимальний час відходу заявки зі СМО.

З таблиці 4.1 видно, що $\max(q) = 10,08$ (хвилин).

Wq_i – час перебування в черзі кожної заявки.

$$Wq_i = q_i - p_i - T_{ob} \quad (4.7)$$

Середній час очікування заявки в черзі визначимо таким чином:

$$W_q = \frac{\sum_{i=1}^{30} Wq_i}{i_{\max}} \quad (4.8)$$

де i_{\max} – значення за номером останньої заявки, що залишила СМО.

Середній час перебування заявки в системі визначимо таким чином:

$$W_s = \frac{\sum_{i=1}^{30} Ws_i}{i_{\max}} \quad (4.9)$$

Значення часу обслуговування (T_{ob}), часу перебування в черзі (W_q) та в системі (W_s) кожної заявки наведені в додатку Б.

Згідно (4.6), (4.8), (4.9) визначимо вищевказані показники системи.

$$L = \frac{23,98}{10,08} = 2,38 \text{ (заявки)}$$

$$W_q = \frac{23,98}{30} = 0,8 \text{ (хвилин)}$$

$$W_s = \frac{68,82}{30} = 2,29 \text{ (хвилин)}$$

В таблиці 4.2 наведені результати обчислень статистичних даних.

Таблиця 4.2 – Результати обчислень статистичних даних

$\sum W_{q_i}$	$\sum W_{s_i}$	$\sum T_{ob}$	L	$W_q, \text{хв.}$	$W_s, \text{хв.}$
23.98	68.82	53.85	2.38	0.8	2.59

Отже, в результаті проведення імітаційного моделювання магазину самообслуговування вручну були визначені такі характеристики системи: середня довжина черги, середній час очікування заявки в черзі, середній час перебування заявки в системі.

Загалом результати є дость правдоподібними. Для зменшення довжини черги можна збільшити на декілька одиниць число каналів обслуговування.

4.2 Створення моделі магазину самообслуговування в середовищі Any Logic

В попередньому підрозділі було розглянуте імітаційне дискретне моделювання, а також був проведений експериментальний дослід такого моделювання на прикладі магазину самообслуговування.

В даному підрозділі буде розглянутий спеціально призначений для імітаційного моделювання програмний продукт під назвою AnyLogic - вітчизняний професійний інструмент імітаційного моделювання нового покоління, який істотно спрощує розробку моделей і та аналіз[21].

AnyLogic – перший та єдиний інструмент імітаційного моделювання, який об'єднав методи системної динаміки, процесного дискретно-подійного та агентного моделювання в одній мові та середовищі розробки. Гнучкість даного програмного комплексу дозволяє відображати динаміку складних та різноманітних економічних та соціальних систем на будь-якому бажаному рівні абстракції. AnyLogic включає набір примітивів та бібліотечних об'єктів для ефективного моделювання виробництва і логістики, бізнес-процесів та

персоналу, фінансів, ринку споживачів та ін. Мовою для опису структур даних, дій, правил та алгоритмів в Anylogic є мова Java[21].

Базові засоби AnyLogic для побудови моделей дискретно-подієвих систем можуть бути використані в широкому діапазоні абсолютно різних додатків імітаційного моделювання. Проте існує область додатків дискретно-подієвого моделювання, в якій єдина парадигма дозволяє застосувати, фактично, одну і ту ж методологію до вирішення безлічі важливих практичних проблем. Ця область - масове обслуговування. Традиційним підходом до моделювання завдань масового обслуговування є розробка бібліотеки багаторазового використання об'єктів, за допомогою яких можуть бути зібрані абсолютно різні моделі. В AnyLogic такий традиційний шлях вирішення класу завдань реалізується дуже просто: створюється бібліотека типових блоків, збираючи які в зв'язані структури і налаштуючи їх параметри можна значно прискорити розробку моделей цього класу.

Саме для подібних цілей в AnyLogic була створена бібліотека Enterprise Library. Вона надає високорівневий інтерфейс для швидкого створення дискретно-подієвих моделей за допомогою блок-схем[16].

Побудуємо за допомогою елементів бібліотеки модель системи масового обслуговування та знайдемо деякі характеристики її роботи .

Найбільш типовою метою дослідження в подібних завданнях масового обслуговування є оцінка ефективності системи, тобто знаходження числових значень характеристик, що описують якість обслуговування системою потоку відвідувачів. Такими характеристиками є час, проведений покупцем в торговому центрі, довжина черги, яку він відстояв, відсоток часу зайнятості обслуговуючого персоналу.

Постановка задачі була сформульована в підрозділі 4.1.3. Час між надходженням вимог в магазин самообслуговування є випадковою величиною, що змінюється по експоненційному закону з математичним очікуванням 6 заявок в хвилину. Час обслуговування однієї заявки має рівномірний розподіл на інтервалі від 1.2 до 2.5 хвилин (від 72 до 150 секунд). Заявки

обслуговуються по черзі.

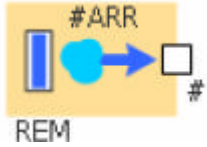
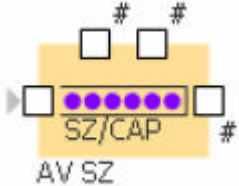

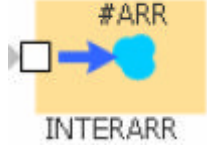
Структура імітаційної моделі, яка дасть відповідь на поставлені питання, повинна відображати структуру реальної системи масового обслуговування: заявки (покупці магазину самообслуговування) генеруються (входять в систему), стають в чергу до каналів обслуговування, а після повного обслуговування покидають систему. Характерною особливістю даної СМО є стохастична природа параметрів, що описують систему.

Обслуговуючі пристрої імітують роботу каналів обслуговування. Зрозуміло, що для оцінки якості обслуговування в торговому залі не важливі ні розташування обслуговуваних пристроїв. З погляду поставленого завдання (аналізу ефективності) важливий тільки час обслуговування, і саме цим відрізняються різні обслуговуючі прилади в цій моделі. Оскільки час обслуговування випадковий, прилади просто затримують заявки на деякий випадковий період часу.

Характеристики моделі, створеної за допомогою імітаційного дискретного моделювання, будуть дещо відрізнитися від характеристик, отриманих за допомогою теорії масового обслуговування; зокрема, в даному випадку система розглядається з іншої точки зору, і показниками ефективності її функціонування будуть не ймовірності знаходження системи в тому чи іншому стані, а середня довжина черги, зайнятість обслуговуючих пристроїв та ін. Характерною особливістю даної СМО є стохастична природа вихідних характеристик, що описують систему.

В наступній таблиці наведений перелік та опис блоків, які будуть використані для створення моделі.

Таблиця 4.3 – Перелік блоків, які будуть використані для створення моделі.

Назва блоку	Опис блоку	Вигляд блоку
Source	Даний блок генерує потік заявок	
Queue	Зберігає заявки у вказаному порядку	
Delay	Затримує заявки на заданий проміжок часу	
Sink	Видаляє заявки	

Використовуючи вищевказані блоки, створимо модель системи.

Для зручності переіменуємо блоки таким чином: Source → INPUT, Queue...Queue5 → Queue_1...Queue_6, Delay...Delay5 → Kasa_1...Kasa_6, Sink→OUTPUT.

Налаштуємо параметри об'єкту INPUT; вхідний потік заявок в системі є випадковим, інтервали часу між ними розподілені експоненціально з середнім значенням 10 секунд. У вікні властивостей `interarrivalTime` в рядку параметра запишемо: `exponential(1/10)` (параметром даної функції, яка генерує реалізацію випадкової величини з експоненціальним законом розподілу, є інтенсивність потоку

подій, зворотня середньому часу між подіями); інші властивості цього блоку змінювати не будемо. Результат налаштування зображений на рисунку 4.4.

Що стосується блоку затримки заявок (Kasa_1...Kasa_6), тут також необхідні налаштування. Якщо час обслуговування заявок також випадковий, то воно розподілене експоненціально з середніми значеннями 1,2; 1,8; 2,3; 1,5;2,5;1,4. Введемо відповідні значення даного параметра блоків delay-delay5: властивість – delayTime, значення – $\text{exponential}(1/1,2)$ (рисунок 4.5).

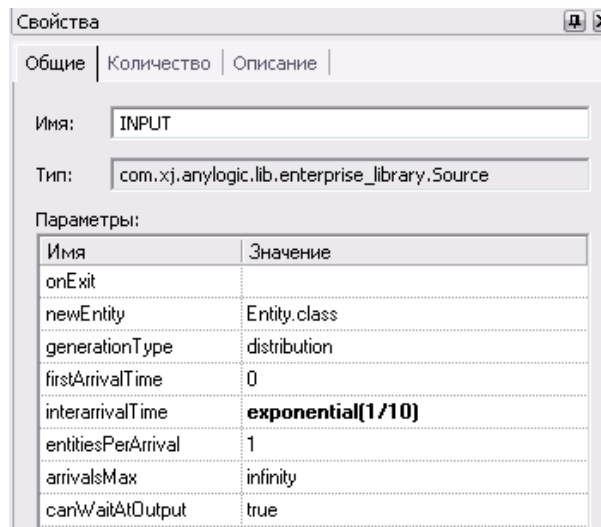


Рисунок 4.4– Вікно властивостей об'єкту Source.

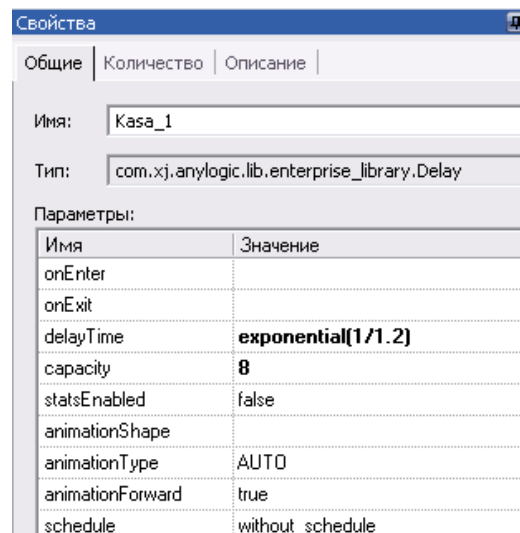


Рисунок 4.5 – Вікно властивостей об'єкту delay.

У вікні властивостей блоків Queue_1...Queue_6 задамо максимальне число заявок, що можуть перебувати в черзі: для параметру capacity задамо значення 7.

Метою моделювання подібної системи самообслуговування є, звичайно, не просто імітація функціонування його роботи та поведінки заявок, а визначення тих параметрів, які характеризують якість сервісу.

Імітації роботи моделі системи буде проходити в режимі віртуального часу (максимальної швидкості).

Для того, щоб порівняти результати ручного моделювання з моделюванням в середовищі AnyLogic обмежимося десятьма хвилинами (600 секунд) для ілюстрації імітаційного моделювання роботи даної системи.

Структурна схема імітаційної моделі представлена на рисунку 4.6.

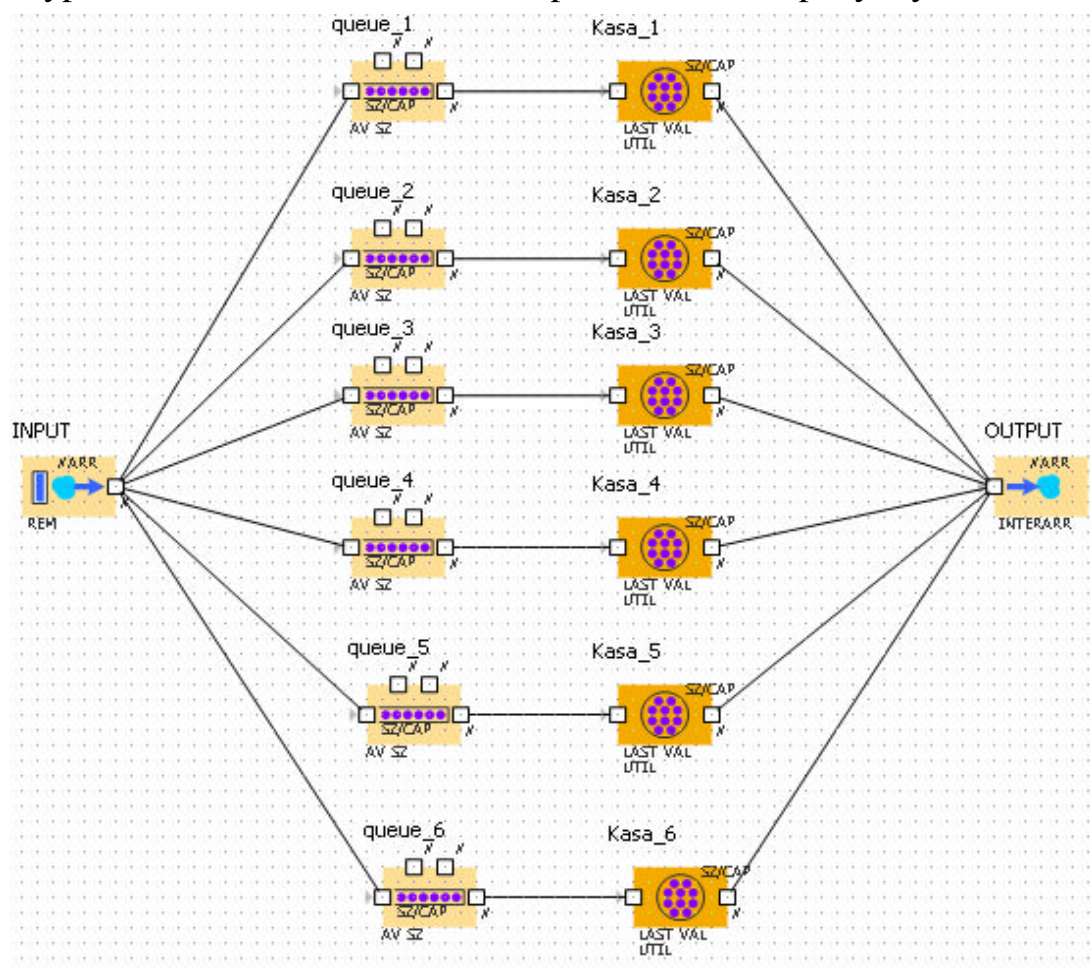


Рисунок 4.6 – Структурна схема моделі.

На рис. 4.6 генератор випадкових чисел (блок INPUT) імітує події

приходу заявок, які у випадковому порядку стають в чергу (блоки Queue_1...Queue_6), якщо канали обслуговування Kasa_1...Kasa_6 зайняті; в інакшому випадку заявки поступають одразу на обслуговування. Після завершення обслуговування кожна заявка потрапляючи на блок OUTPUT, покидає систему.

Після обробки 30 заявок отримані результати, зображені на рис. 4.7:

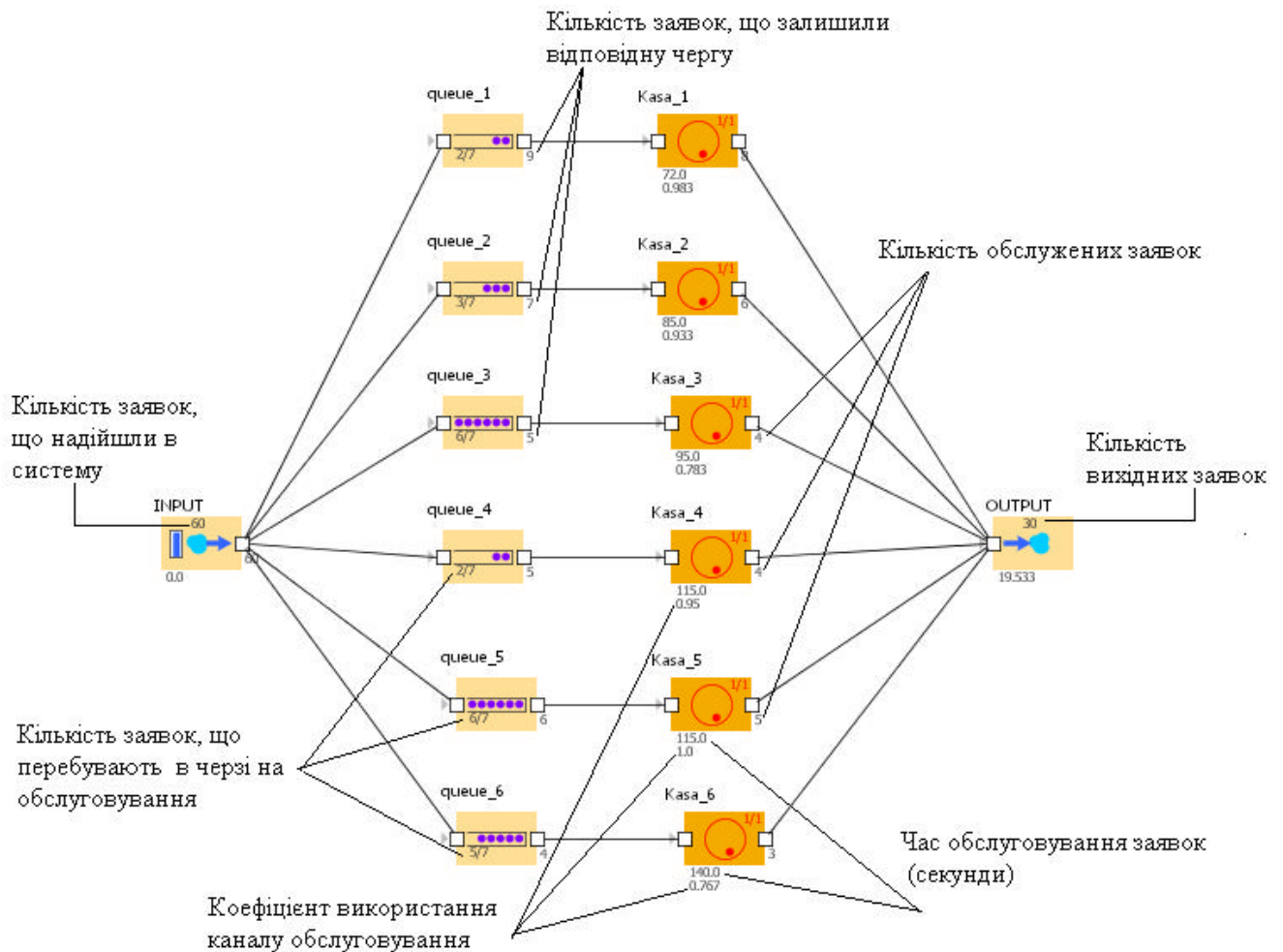


Рисунок 4.7 – Результати імітаційного дискретного моделювання систем

Якщо знайти середнє арифметичне кількість заявок, що перебувають в черзі, отримаємо значення довжини черги – 4 заявки до кожної каси.

Якщо порівняти це значення з відповідним значенням, отриманим в результаті ручного імітування, що дорівнює 2,59 заявки, бачимо, що є деяка відмінність в 1,41 (4 – 2,59) заявки.

Однак слід зауважити, що ручна імітація та машинна є випадковим експериментом, тому будь-який результат, отриманий шляхом імітаційного моделювання, схильний до експериментальних помилок і, отже, як в будь-якому статистичному експерименті, повинен ґрунтуватися на результатах відповідних статистичних перевірок.

В наступній таблиці наведені значення довжини черг при зростанні каналів обслуговування, отримані за допомогою машинного імітаційного моделювання, а на рис. 4.8 зображений графік, отриманий за допомогою цих даних.

Таблиця 4.4 – Значення довжини черг при зростанні каналів обслуговування.

Кількість каналів обслуговування	Довжина черги, заявки
5	28
6	24
7	19
8	15
9	12

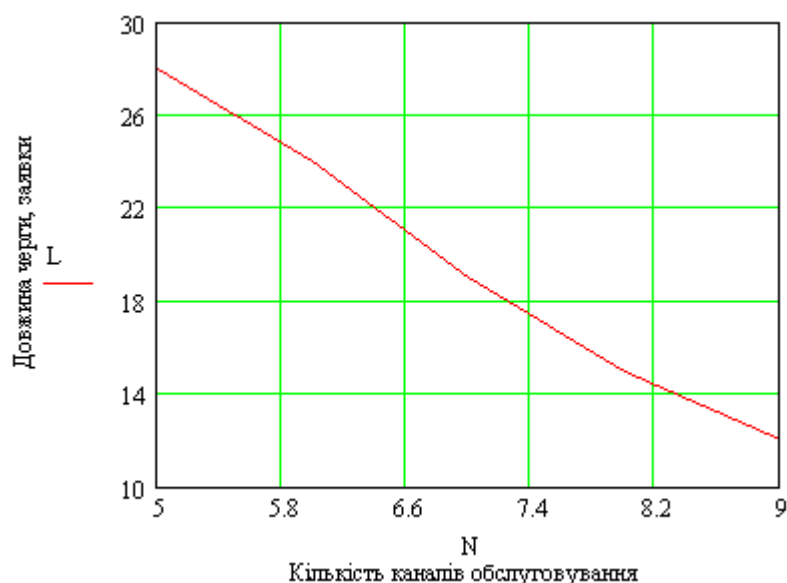


Рисунок 4.8 – Графік зменшення довжини черги при збільшенні каналів обслуговування.

По рис. 4.8 робимо висновок, що ефективність роботи магазину самообслуговування збільшується при збільшенні каналів обслуговування. Проте із збільшенням останніх збільшуються також витрати на купівлю та утримання каналу обслуговування, отже потрібно знайти “золоту середину”, що і буде продемонстроване в наступному розділі.

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Алгоритм і параметри розробки

В роботі розроблена програма, призначена для оптимізації роботи магазину самообслуговування, а саме – для визначення характеристик.

Алгоритм розробки зображений на рисунку 5.1.

Для отримання характеристик системи масового обслуговування на вхід будуть подаватися деякі параметри, після чого вони будуть опрацьовані за допомогою механізму теорії масового обслуговування. Вихідними показниками будуть наступні:

- ймовірність того, що всі канали вільні;
- ймовірності станів системи;
- ймовірність відмови;
- довжина черги;
- відносна пропускна здатність системи;
- абсолютна пропускна здатність системи;
- загальна кількість вимог, що знаходяться в системі;
- середня тривалість перебування заявки в черзі;
- середня тривалість перебування заявки в системі.

Також будуть виведені залежності деяких вихідних характеристик від вхідних, а саме – залежність довжини черги від кількості каналів обслуговування.

В додатку А зображена схема алгоритму програмного забезпечення, яка показує, яким чином вхідні дані будуть опрацьовані.

Дана розробка створена в середовищі програмування Borland C++Builder.

Оскільки C++ є розширенням мови C, то всі програми, складені мовою C, коректно транслюються компіляторами C++, тому що бібліотеки, які належать до складу мови C, є також і в C++.

5.2 Створення розробки засобами Borland C++ Builder

Отже, програма визначення характеристик функціонування торгового центру буде побудована таким чином.

Як згадувалося раніше, вхідними параметрами для обрахунку будуть:

- кількість заявок в одиницю часу;
- час обслуговування однієї заявки;
- час очікування заявки на обслуговування;
- кількість каналів обслуговування.

У наступній таблиці 5.1 наведені об'єкти з їх назвами на формі.

Отже, програмне забезпечення для подальшої оптимізації роботи торгового центру буде організована наступним чином. Для зручності будуть створені дві процедури:

а) для знаходження довжини черги в залежності від кількості каналів обслуговування *find_L*;

б) для обчислення факторіалу *fact*.

Основна програма містить також покажчик *P на об'єкт (на масив, що буде змінюватися в залежності від значення N). Текст програми знаходиться в додатку Б.

Таблиця 5.1 – Об'єкти та їх назви на формі.

Вид об'єкта	Об'єкт	Назва об'єкту на формі
Текстові поля	Label1	Кількість заявок в одиницю часу
	Label2	Час обслуговування однієї заявки
	Label3	Час очікування заявки на обслуговування
	Label4	Кількість каналів обслуговування
Поля для вводу даних	Edit1 – Edit4	Поля для вводу даних, що відповідатимуть об'єктам Label1 – Label4
Кнопка	Button1	Отримати показники ситеми
Текстові поля	Label5	Ймовірність того,що всі канали вільні
	Label7	Ймовірність зайнятості каналів обслуговування
	Label8	Довжина черги (кількість заявок, що перебувають в черзі)
	Label9	Загальна кількість заявок,що перебувають в системі
	Label10	Середня тривалість перебування заявки в черзі
	Label11	Середня тривалість перебування заявки в системі
Поле для вводу даних	Edit5	Поле для виводу даних, що відповідатиме об'єкту Label5
Багаторядковий редактор тексту	Memo1	Область для виводу даних, що відповідатиме об'єкту Label7
Поля для вводу даних	Edit7 – Edit12	Поля виводу даних, що відповідатимуть об'єктам Label8 – Label13
Кнопка	Button2	Вихід (з програми)
Кнопка	Button3	Побудова графіку залежності довжини черги від кількості каналів обслуговування

5.3 Аналіз одержаних результатів

Запустивши програму на виконання, отримаємо результати, що представлені на рисунку 5.1.

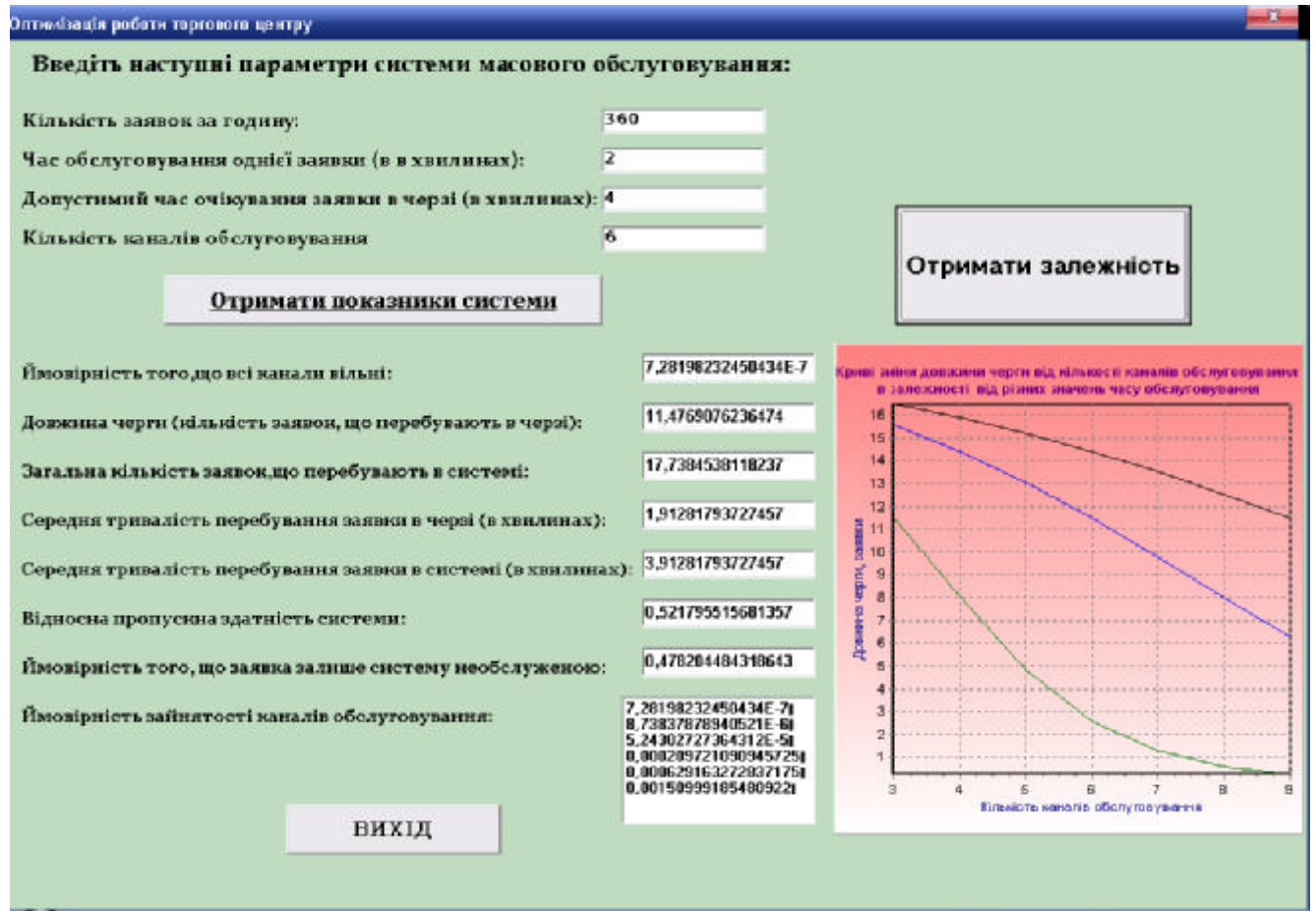


Рисунок 5.1 – Результати розробки при кількості каналів обслуговування, що дорівнює шести

Отже, при вхідних параметрах: 360 (заявок/годину), 2 (хвилини на обслуговування заявки), 4 (хвилини на очікування заявки в черзі) та 6 (каналах обслуговування) отримали наступні показники. Крива 1 відповідає одній хвилині обслуговування, крива 2 – двом хвилинам, крива 3 – трьом хвилинам. Бачимо, що мінімальна довжина черги 11,5 заявок (крива 1), а максимальна – більше 16-ти (крива 3). Аналіз отриманих результатів говорить про недостатню кількість каналів обслуговування.

Для кращого розуміння процесу збільшимо вхідний потік до 600 заявок в годину. Отримаємо криві, що зображені на рисунку 5.2.

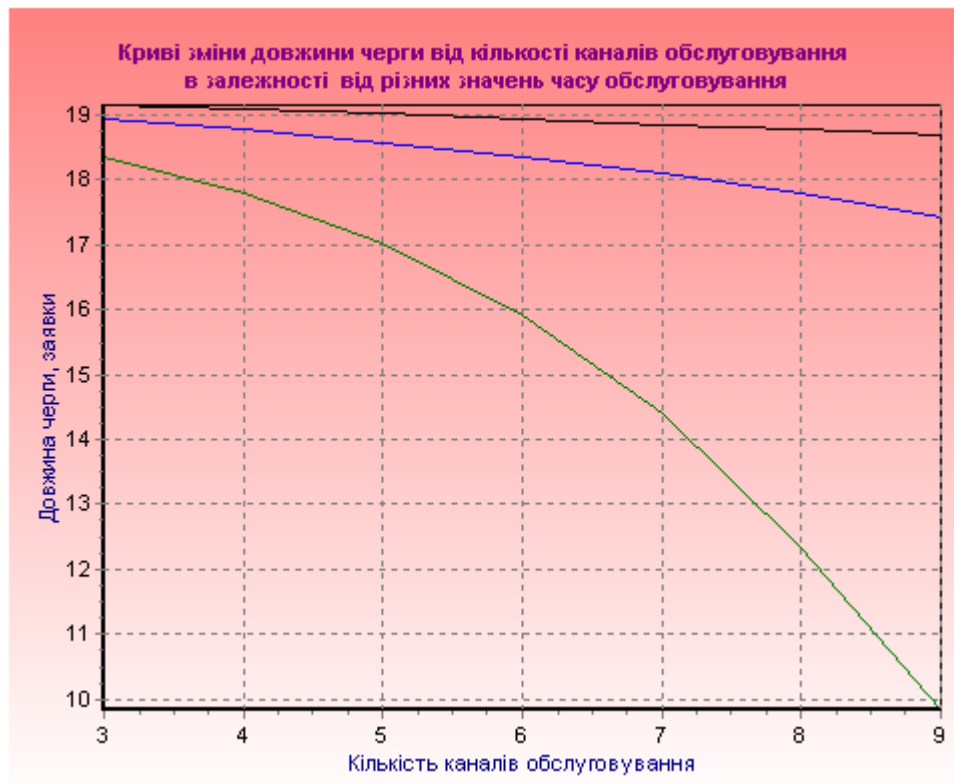


Рисунок 5.2 – Результати розробки при вхідному потоці 600 заявок

Бачимо по графікам, що черга зростає до 19-ти і криві стали більш випуклими при вхідному потоці 600 заявок (крива 3).

В додатку В зображені деякі інші графіки залежностей вихідних показників від вхідних параметрів. Отже, показники системи маємо, спробуємо оптимізувати роботу системи.

Оптимізація полягає в порівнянні отриманих результатів та в прийнятті рішення щодо зменшення довжини черги та часу перебування заявки в системі. Звичайно, що можна мінімізувати довжину черги, збільшивши кількість каналів, припустимо, вдвічі. Проте при цьому зростають витрати на закупівлю та утримання даних каналів обслуговування.

Проведемо оптимізацію, розглянувши модель з точки зору вартісних характеристик, яка прагне зрівноважити два “конфліктуючі” вартісні показники: витрати на утримання каналу (при певних характеристиках вхідного потоку вимог і

часу обслуговування кожної заявки) та витрати, обумовлені затримками в наданні послуг, що призводить до створення нескінченних черг. Ці два види витрат конфліктують між собою, оскільки збільшення одне з них автоматично веде до зменшення іншого і навпаки.

В моделі з вартісними характеристиками мінімізується сума витрат, пов'язаних з наданням послуг, і витрат, обумовлених затримками в їх наданні.

На рис. 5.3 зображена типова вартісна модель магазину самообслуговування (у грошових одиницях за одиницю часу), де витрати на обслуговування зростають із зростанням його рівня. В той же час втрати, обумовлені затримками в наданні послуг, зменшуються із зростанням рівня обслуговування. Головною проблемою, зв'язаною із застосуванням вартісних моделей, є труднощі оцінки витрат в одиницю часу, обумовлених затримками в наданні

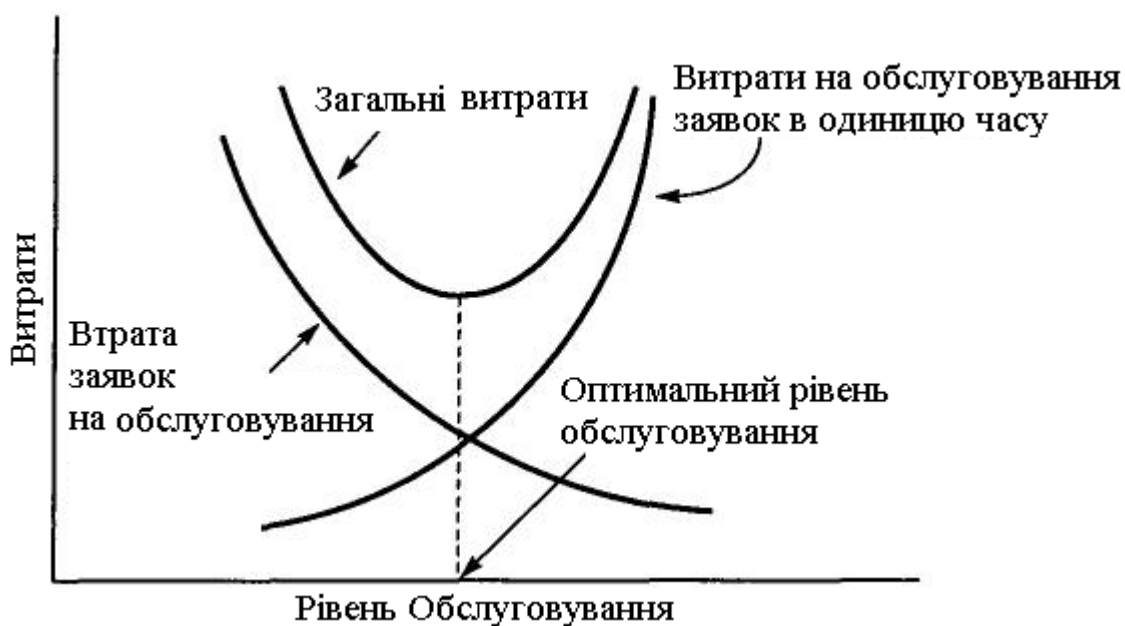


Рисунок 5.3 – Вартісна модель магазину самообслуговування

Бачимо, що оптимальний рівень обслуговування заявок настає при перетині кривих витрати заявок та витрат на обслуговування; в цьому випадку значення загальних витрат також мінімальне.

Спробуємо визначити “прийнятну” кількість каналів обслуговування наступним чином. Для цього розглянемо два конкуруючі між собою економічні показники процесу обслуговування: середній час очікування в системі W_s та відсоток простою сервісів P .

Середній час очікування в системі можна отримати використовуючи формулу (2.14), описану в другому розділі. Відсоток простою засобів обслуговування можна обчислити таким чином:

$$P = \frac{N - (L_s - L)}{N} \cdot 100\% , \quad (5.1)$$

$$P = \frac{6 - (22.68 - 17.806)}{6} \cdot 100\% = 18.7\% .$$

Завдання зводиться до визначення такої кількості каналів обслуговування N , при якому $W_s \leq \alpha$ та $P \leq \beta$, де α, β – рівні “прийнятного” обслуговування, визначені особою, яка приймає рішення.

Задачу можна вирішити, побудувавши графіки W_s та P як функції від кількості каналів обслуговування N (рис. 5.4). Відзначаючи на графіках значення α, β ми визначаємо прийнятний інтервал зміни для рівня обслуговування N . Якщо обидві вищезгадані умови не можна задовольнити одночасно, необхідно ослабити один або обидва рівні переваги, поки не буде отриманий “прийнятний” інтервал зміни кількості каналів обслуговування[2].

Наприклад, при умові: $W_s \leq 2$ (хвилини) та $P \leq 18,7\%$ отримаємо наступні залежності (рис.5.4). Потрібний інтервал значень каналів обслуговування знаходиться на перетині кривих (залежності простою каналу та середнього часу очікування від кількості каналів обслуговування) з відповідними прийнятними рівнями обслуговування.

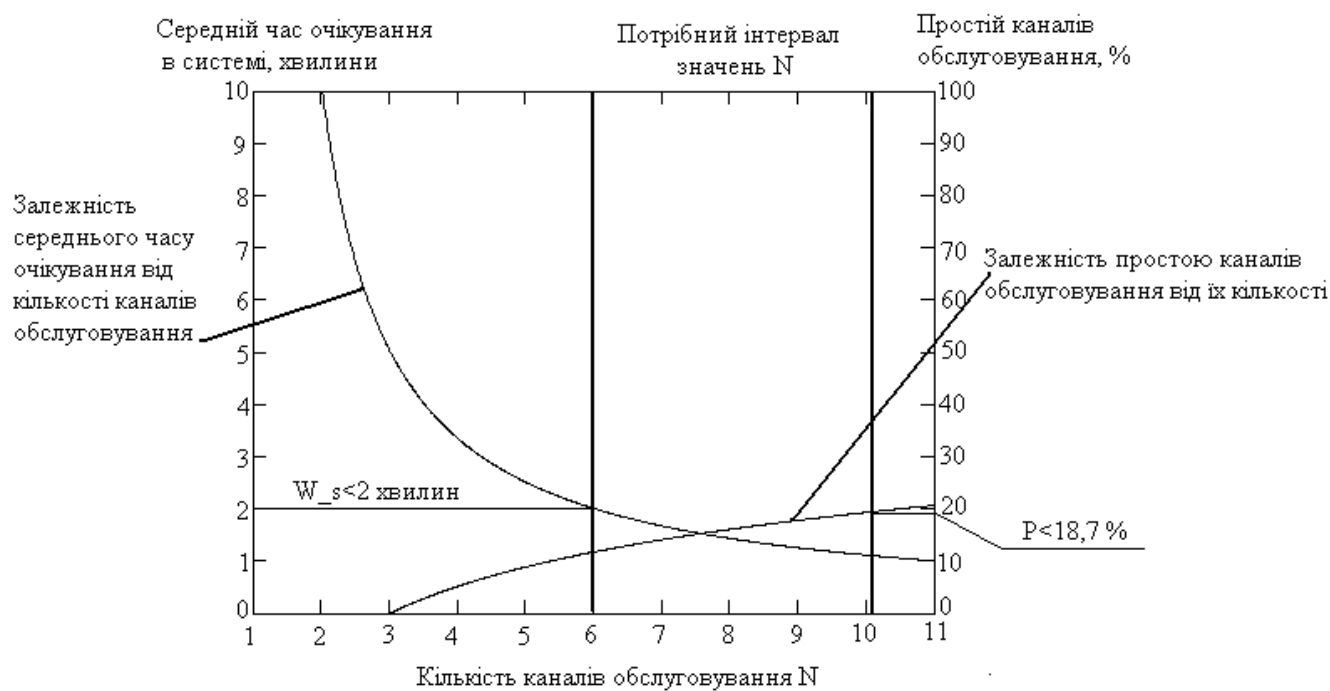


Рисунок 5.4 – Визначення “прийнятної” інтервалу значень каналів обслуговування.

Отже, робимо висновок, що при даних умовах прийнятна кількість каналів обслуговування коливається від шести до десяти.

6 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ, ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Охорона праці

6.1.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів

В процесі праці людина вступає у взаємодію з предметами праці, засобами виробництва, іншими людьми. Крім того, на неї впливають параметри виробничої обстановки, в якій саме і відбувається праця: температура, вологість і рух повітря, шум, вібрація, шкідливі речовини, різні випромінювання і т. п. Все це в сукупності характеризує певні умови, в яких відбувається праця людини. Від умов праці в великій степені залежать здоров'я та працездатність людини, її відношення до праці і результати праці. При поганих умовах різко знижується продуктивність праці та створюються передумови для виникнення травм і професійних захворювань.

Якщо праця є умовою існування суспільства і людини (тобто однією з умов збереження і зміцнення суспільного та індивідуального здоров'я), то конкретні види праці, які здійснюються в певних умовах виробництва, можуть у деяких випадках негативно позначитися на стані здоров'я тих, хто працює.

Серед виробничих факторів прийнято розрізняти шкідливі фактори і небезпечні фактори. Небезпечним називається виробничий фактор, дія якого на працюючого в певних умовах призводить до травми чи раптового різкого погіршення здоров'я. Якщо ж виробничий фактор призводить до захворювання чи зниження працездатності, то його вважають шкідливим. В залежності від рівня і часу дії шкідливий виробничий фактор може стати небезпечним.

Розподіл робіт за категоріями проводиться органами охорони здоров'я на підставі гігієнічної класифікації умов праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, а також за прийнятими категоріями оцінки умов праці.

До групи шкідливих виробничих факторів трудового процесу належать фізичні перевантаження (статичні, динамічні), нервово-психічні перевантаження

(розумове перенапруження, перенапруження органів чуття, монотонність праці, емоційні перевантаження).

Трудовий процес здійснюється в певних умовах виробничого середовища. Це сукупність факторів фізичної, хімічної, біологічної природи, що діють на людину разом із соціально-економічними факторами в процесі її трудової діяльності. Виробниче середовище і фактори трудового процесу, які ще називають психофізіологічними факторами, становлять в сукупності умови праці.

До найважливіших шкідливих фізичних факторів відносяться: підвищена запиленість повітря робочої зони, мікроклімат виробничих приміщень, підвищений рівень інфрачервоної радіації, підвищений рівень ультрафіолетової радіації, підвищений рівень вібрації, шуму, інфра- та ультразвуку на робочому місці, підвищений чи знижений барометричний тиск, підвищений рівень іонізуючого, електромагнітного випромінювання в робочій зоні, підвищена напруженість електричного, магнітного полів, підвищений рівень статичної електрики, небезпечний рівень напруги в електричному колі, при замиканні якого струм може пройти через тіло людини, підвищена чи знижена іонізація повітря, фактори, які визначають умови роботи зору (відсутність чи брак природного світла, недостача чи великі перепади освітлення робочої зони, підвищена яскравість світла, пряма та відбита близькість, знижена контрастність, підвищена пульсація потоку світла).

Призводить до травм незадовільний стан виробничого середовища, зокрема недостатня освітленість робочого місця, наявність відблисків й значних перепадів у рівнях освітленості робочих та навколишніх предметів, значна запиленість повітря, через що забруднюються засклені поверхні стін та ліхтарів приміщення, знижується природна освітленість. Дослідження показали, що на продуктивність праці великою мірою впливає освітленість робочих місць, а також правильна організація робочого місця та правильно підібраний колір стін і стелі в приміщенні. Наприклад, природне освітлення збільшує продуктивність праці до 10%. Однак при роботі з комп'ютерами пряме сонячне проміння викликає

збільшення контрастності оточуючих предметів, що розсіює увагу і посилює втомлюваність організму.

Якщо виробничий шум перевищує допустимі рівні, то знижується продуктивність праці на 3-15% і навіть в деяких випадках до 20%, в залежності від його рівня, виду виконуваної роботи та інших факторів. Чим напруженіша праця, тим сильніший негативний вплив шуму на її продуктивність.

Таблиця 6.1 - Потенційно небезпечні виробничі фактори

Об'єкт	Небезпечний фактор (технологічна операція)	Діапазон	Фактичне значення	Нормативне значення
Торговий зал	Рентгенівське випромінювання	Понад 1,2 КеВ	14 мкР/г	75мкР/год
	УФ випромінювання	220 - 280 нм	0 Вт/м ²	0.01 Вт/м ²
		280 - 320 нм	0,008 Вт/м ²	0.01 Вт/м ²
	Видимий діапазон	320 - 400 нм	2,5 Вт/м ²	10.0 Вт/м ²
		400 - 700 нм	3 Вт/м ²	
	ІЧ випромінювання	700 нм - 1 мм	5.0 Вт/м ²	100.0 Вт/м ²
Яскравість	-	90кД/м ²	Не менше 35кД/м ²	
Електростатичне поле		0 Гц	20кВ/м	20-60 кВ/м

6.1.2 Забезпечення нормальних умов праці

Забезпечення безпечних умов праці досягається при проектуванні за рахунок дотримання діючих нормативних документів, а для існуючих об'єктів - шляхом порівняння фактичних значень з нормативними, і при виявленні відхилень,- розробкою та впровадженням заходів щодо створення умов праці згідно вимог нормативних документів.

При високій температурі повітря понижується увага, з'являється поспішливість і необачність; при низькій - зменшується рухомість кінцівок внаслідок інтенсивної тепловіддачі організму. Впливає на тепловіддачу організму і вологість повітря: нормально при температурі біля 18° С вологість повинна знаходитися в межах від 35 до 70%. При меншій відносній вологості повітря рахується сухим, при більшій - з підвищеною вологістю. Це негативно впливає на організмі людини. Сухе повітря приводить до підвищеного випаровування і внаслідок цього з'являється сухість слизових оболонок і шкіри. Дуже вологе повітря, навпаки, послаблює випаровування.

При роботі з ЕОМ слід наскільки можливо зменшити засліпленість від прямого та відбитого блиску, відмежуватися від постійної пульсації зображення, які посилюють загальну і зорову втоми. Необхідно забезпечити як кількісні, так і якісні параметри освітлення.

Рівні звуку у приміщеннях рекомендується забезпечити не більше 75 дБА.

Дані про характеристики метеорологічних умов у виробничих приміщеннях наводяться в таблиці 6.2.

Для створення та підтримання необхідних санітарно-гігієнічних умов виробничих приміщень застосовується опалення та вентиляція, характеристика яких наводиться в таблиці 6.3. Нормативна зорова робота передбачає створення на робочих місцях освітлення згідно санітарних норм і правил, значення наводяться в таблиці 6.4.

При недостатньому природньому освітленні використовують загальне освітлення - при якому в денний час використовується одночасно природне і штучне освітлення.

Штучне освітлення застосовується для освітлення робочих поверхонь в темний період доби чи при недостатньому природньому освітленні. Створюється воно штучними джерелами світла (лампами).

Таблиця 6.2 - Нормативні характеристики метеорологічних умов у виробничих приміщеннях

Об'єкт	Категорія Робіт	Пора року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Торговий зал	I,а - легка	Тепла	20-25	40 - 60	0,1 (не більше 0,2)
		Холодна	19-23	40 - 60	0,1 (не більше 0,2)
	III-важка	Тепла	18-20	40 - 60	0,4 (не більше 0,4)
		Холодна	16-18	40 - 60	0,3 (не більше 0,3)

Таблиця 6.3 - Характеристика системи вентиляції

Об'єкт	Вид вентиляції	Вентиляційне обладнання	Кратність повітрообміну, 1/год
Торговий зал	Механічна місцева	1. Відцентрові вентилятори ВЦ-4-70	6
		2. Кондиціонери повного кондиціювання повітря Samsung	2

Таблиця 6.4 - Характеристика штучної освітленості робочих місць

Об'єкт	Розряд зорової роботи	Освітленість, Лк				Типи світильників
		Загальна	Комбінована	Аварійна	Евакуаційна	
Приміщення з ЕОМ (торговий зал)	I, г	400	500	20	20	ЛПО з ЛБ-80

6.1.3 Розрахунок занулення електричного обладнання

Чотирьохпровідна лінія з глухозаземленою нейтраллю напругою 380/220В, призначена для живлення електроенергією торгового залу від трансформаторної підстанції, перерізом $S = 120 \text{ мм}^2$, довжиною $l = 300 \text{ м}$ і потужністю трансформатора 160 кВ·А із схемою з'єднання обмоток Y/Y . Нульовий провідник, до якого приєднано занулення, зроблений з сталльної шини 50х5 мм, розміщений на відстані $D = 2500 \text{ мм}$ від кабеля.

Потрібно визначити силу струму короткого замикання і вибрати плавкі вставки.

Сила струму короткого замикання визначається по формулі:

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + \sqrt{(R_{\phi} + R_N)^2 + (\tilde{X}_{\phi} + \tilde{X}_N + \tilde{X}_I)^2}}, \quad (6.1)$$

де U_{ϕ} – фазова напруга, В; R_{ϕ} і R_N – відповідно активний опір фазового і нульового проводів, Ом;

X_{ϕ} і X_N – внутрішній індуктивний опір фазового і нульового проводів, Ом;

X_n – опір взаємодукції петлі – нуль, Ом;

Z_T – комплексний опір трансформатора, Ом.

Комплексний опір трансформатора потужністю 160 кВт при напрузі 6-10 кВ знаходимо по таблиці; він становить $\frac{Z_T}{3} = 0.162 \text{ (Ом)}$.

Активний опір однієї жилки мідного кабеля знаходимо за формулою:

$$R_{\phi} = \rho \cdot \frac{l}{S}. \quad (6.2)$$

Переріз кабеля $S = 120 \text{ мм}^2$, переріз однієї жилки кабеля $\frac{S}{3} = 40 \text{ мм}^2$.

Отримаємо:

$$R_{\phi} = 0.018 \cdot \frac{300}{40} = 0.135 \text{ Ом}.$$

Опір однієї жилки мідного дроту визначається по таблиці, де дається

“некорисний” опір:

$$R_{\delta} = r \cdot l, \quad (6.3)$$

де r – “некорисний” опір, Ом/км; l - довжина жилки, км. Маємо:

$$R_{\delta} = 0.42 \cdot 0.3 = 0.135$$

Знайдемо індуктивний опір X_{δ} одної жили кабеля за формулою:

$$X_{\delta} = \delta' \cdot l, \quad (6.4)$$

де δ' - індуктивний “некорисний” опір одної жилки кабеля (визначається по таблиці):

$$X_{\delta} = 0.06 \cdot 0.3 = 0.018 \text{ Ом.}$$

Визначимо опір взаємоіндукції фаза - нуль за формулою:

$$X_I = l \cdot 0.126 \cdot \ln \frac{2 \cdot D}{d}, \quad (6.5)$$

де D і d - відстань між дротами і діаметр дроту, мм.

Переріз нульової шини $S=250 \text{ мм}^2$, а діаметр $d = 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 17.84 \text{ мм}$. Тоді:

$$X_I = 0.3 \cdot 0.126 \cdot \ln \frac{2 \cdot 2500}{17.84} = 0.213 \text{ Ом.}$$

Визначаємо активний опір сталюї шини. Для цього визначаємо розрахунковий струм I :

$$I = \frac{N}{U_{\delta}}, \quad (6.6)$$

де N - потужність трансформатора, В·А. Маємо:

$$I = \frac{160000}{220} = 727.3 \text{ А.}$$

Визначаємо поверхневу щільність струму q_n на нульовій шині, поперечний переріз який ρ , Ом:

$$q_n = \frac{727.3}{11} = 66.$$

Визначаємо активний приведенний опір шини в залежності від визначеної

поверхні щільності струму (66 А/Ом) $r_{i0} = 1.25 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{С}^{-1/e}$, а коефіцієнт k визначається по формулі:

$$k = l_N \cdot \sqrt{\frac{f}{p}} \quad (6.7)$$

де l_N - довжина нульової шини, см;

f - частота струму, Гц;

p - периметр шини, см.

Отримаємо:

$$k = 32000 \cdot \sqrt{\frac{50}{11}} = 68224.$$

Значення активного опору нульової шини:

$$R_N = r_{np} \cdot k, \quad (6.8)$$

$$R_N = 1.2 \cdot 10^{-5} \cdot 68224 = 0.82 \text{ Ом}.$$

Визначимо внутрішній індуктивний опір нульової шини X_N в залежності від поверхневої густини струму (яка раніше була визначена та рівна $q_i = 66 \text{ А/см}$) за формулою:

$$\tilde{O}_N = X_{iD} \cdot k \quad (6.9)$$

де X_{iD} – приведений індуктивний опір, $\text{Ом} \cdot \text{С}^{-1/\Pi}$. Тоді:

$$\tilde{O}_N = 0.7 \cdot 10^{-5} \cdot 68224 = 0.473$$

Підставивши знайдені значення в формулу (6.1), отримаємо $I_{K3} = 162 \text{ А}$.
Визначивши I_{K3} , по довіднику вибираємо найблищу по значенню струму вставку, струм не має бути меншим $1/3$ струму короткого замикання:

$$\frac{2 \hat{E}_C}{3} = \frac{162}{3} = 54 \text{ А}.$$

Обмеження становить 60А.

6.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Під стійкістю роботи об'єкту розуміється його здатність виконувати свої функції у встановлених об'ємах і нормах, в умовах дії зброї масового ураження і інших засобів нападу противника, а також пристосованість цього об'єкту до відновлення у разі пошкодження.

Заходи щодо забезпечення стійкості роботи об'єкту, перш за все, повинні бути направлені на захист робочих і службовців від зброї масового ураження і інших засобів нападу противника; вони тісно пов'язані із заходами щодо підготовки і проведення рятувальних і невідкладних аварійно-рятувальних робіт в осередках ураження.

До основних заходів що забезпечує підвищення стійкості роботи об'єкту відносяться :

- захист робітників і службовців від дії зброї масового ураження;
- підвищення міцності і стійкості найважливіших елементів об'єкту і вдосконалення технологічного процесу;
- підвищення стійкості матеріально-технічного постачання;
- підвищення стійкості управління об'єктом;
- розробка заходів щодо зменшення імовірності виникнення вторинних і від них;
- підготовка до відновлення виробництва після об'єкту.

Оперативний персонал спеціально навчений дій у разі подачі сигналу «повітряна тривога» стихійних бід. У числі документів тих, що зберігаються на комбінаті обов'язково присутня інструкція по світломаскуванню даного об'єкту. Сигнал "повітряна тривога" подається у разі безпосередньої загрози нападу противника. По цьому сигналу повинні бути прийняті заходи світломаскування.

Є певний перелік підприємств які, по сигналу повітряної тривоги припиняють технологічний процес роботи. До таких об'єктів і суспільних будівель відносяться:

- операційні лікарень і госпіталів, приміщення невідкладної допомоги, анестезії і реанімації;
- вузли зв'язку, міський телеграф, міжміські телефонні станції, міські АТС загального користування;
- радіостанції, телевізійні центри, центральні і опорні підсилювальні станції радіотрансляційних мереж;
- районні котельні з паровими котлами тиск більше $0,7 \text{ кгс/см}^2$ і водонагрівними з теплоносієм температурою більше 115°C ;
- головний і районні водопровідні насосні станції і каналізаційні насосні станції, що не мають аварійного випуску;
- диспетчерські пункти енергосистеми, електромережових підприємств і районів електричних мереж;
- інші об'єкти по вказівці місцевої адміністрації.

Підприємства і промислові об'єкти, які по сигналу повітряної тривоги припиняють технологічний процес роботи повинні ввести в дію графік безаварійної зупинки. Графік безаварійної зупинки повинен передбачати:

- отримання сигналу повітряна тривога;
- сповіщення;
- зупинка і місцеве виключення верстатів і обладнання на робочих місцях;
- виключення нагрівальних печей, перекриття подачі газу, зняття напруги з щитів живлення і шинних мостів;
- евакуація в укриття;
- інші заходи на розсуд начальника цеху.

Заходи по світломаскуванню по сигналу повітряна тривога в робочий час проводиться під керівництвом начальників служб, відділів, цеху і районних електричних мереж.

Отримання сигналу повітряна тривога і передача його в операційну диспетчерську службу повинно займати не більше трьох хвилин.

Лінії електропередачі і підстанції 220 кВ, 110 кВ, 35 кВ, 6-10 кВ по сигналу повинні залишатися під напругою (у робочому стані).

Світлове маскування населених пунктів і об'єктів народного господарства слід здійснювати електричним, технологічним і механічним способом.

Електротехнічним способом – відключення (зняття напруги з ЛЕП зовнішнього освітлення).

Технологічний – застосовується на підприємствах гарячих цехів, коксових печей, при грануляції шлаків.

Механічний – для світломаскування віконних отворів, сходових маршів повинні застосовуватися наступні пристрої: розсувні і підйомні штори з тканинних і полімерних матеріалів, щити віконниці і екран з рулонних і листових матеріалів.

Зовнішнє освітлення на всіх об'єктах підприємства при отриманні сигналу повітряна тривога повинно відключитися. Відключення зовнішнього освітлення покладається на черговий персонал.

Диспетчерські пункти, операційний пункт управління підстанцій, робочі кабінети керівного і начальницького складу забезпечують світломаскування шляхом зашторювання віконних отворів і виключення деякої частини освітлювальних ламп.

Виконання заходів щодо світломаскування черговим персоналом не повинно перевищувати 5 хвилин.

Відповідальний за стан світломаскування на підприємстві – головний інженер.

Відповідальні в службах відділах, цеху і районних електричних мережах – їх перші керівники.

Контроль за станом світломаскування і надання допомоги в проведенні заходів покладається на начальника штабу цивільної оборони підприємства.

Стан устаткування світломаскування і знання обов'язків персоналу проводиться періодично, але не рідше за 1 раз на рік і їх стан відображається в звітній документації по цивільній обороні.

ВИСНОВКИ

Отже, в процесі проведення дослідження були отримані наступні результати та висновки.

Торгові підприємства являють собою складну, динамічну систему, яка функціонує в специфічному соціально-економічному середовищі, що постійно змінюється. Ймовірна структура середовища, в якому знаходиться дане підприємство торгівлі, обумовлює необхідність аналізу і оцінки показників системи для прийняття рішень.

Для збільшення ефективності функціонування типової системи (а саме магазину самообслуговування) в такому середовищі потрібна розробка нових методичних підходів до аналізу його характеристик, які були реалізовані за допомогою інструментарію теорії масового обслуговування і дискретного імітаційного моделювання.

В ході проектування була створена та реалізована програма, що дає змогу отримати потрібні показники системи; також була створена модель даної системи в середовищі AnyLogic та змодельована її робота на протязі десяти хвилин.

В результаті обрахунків було встановлено, що для даного торгового підприємства прийнятна кількість каналів обслуговування коливається від шести до десяти.

В результаті досліджень і обчислень можна зробити висновок про те, що втрати ряду покупців в торговому процесі можуть бути значно понижені із застосуванням теорії масового обслуговування. Більш того, це дозволяє понизити необгрунтований простій каналів обслуговування. Вивчення черг в системах масового обслуговування дозволило визначити критерії функціонування обслуговуючої системи, серед яких найбільш значущими є середня довжина черги та середній час очікування в ній.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Б. Гнеденко, И. Коваленко. Введение в теорию массового обслуживания. М., 1987.
- 2 Х. Таха. Глава 17. Системы массового обслуживания // Введение в исследование операций Operations Research: An Introduction. — 7-е изд. — М.: “Вильямс”, 2007. — С. 629-697.
- 3 Ивченко Г., Каштанов В., Коваленко И. Теория массового обслуживания: учебное пособие для вузов.
- 4 Клейнрок Л. Теория массового обслуживания.
- 5 Матвеев В. Ф., Ушаков В. Г. Системы массового обслуживания.
- 6 Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей. Глава 10. Теория массового обслуживания. М., 1969, 368 стр. с илл.
- 7 Д. Кениг, Д. Штойян. Методы теории массового обслуживания: Пер. с нем. /Под. ред. Г.П.Климова. М., 1981.
- 8 Лит.: Хинчин А. Я., Работы по математической теории массового обслуживания, М., 1963;
- 9 Розенберг В. Я., Прохоров А. И., Что такое теория массового обслуживания, М., 1965;
- 10 Боровков А. А., Вероятностные процессы в теории массового обслуживания, М., 1972.
- 11 Ермаков С. М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. — М.: Наука, 1975.
- 12 Т. Саати. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения: Пер. с англ. /Под. ред. И.Н. Коваленко, изд-ие 2. М., 1971.
- 13 Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. — М.: Мир, 1978.
- 14 Лифшиц А. Л., Мальц Э. А. Статистическое моделирование систем массового обслуживания.

- 15 Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука. — М.: Мир, 1978.
- 16 Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic5 - СПб.: БХВ-Петербург, 2005.– 400 с. (ст13-33,119-126)
- 17 http://ru.wikipedia.org/wiki/Система_массового_обслуживания
- 18 <http://lib.vvsu.ru/books/Bakalavr01/page0220.asp>
- 19 http://vvo.psati.ru/files/is_ik_lk/Glava4.1.htm
- 20 http://student.ncstu.ru/Science/postgrad/avtoref/kukota_si/kukota_si.pdf
- 21 <http://www.xjtek.ru/anylogic/features/systemdynamics/>>
- 22 Практическое применение теории массового обслуживания:
<http://2balla.ru/>
- 23 Теорія масового обслуговування з очікуванням
http://www.erudition.ru/referat/ref/id.34389_1.html
- 24 Теория массового обслуживания. Случайные процессы.
<http://www.nuru.ru/teorver/041.htm>
- 25 Теория массового обслуживания. Поток событий:
<http://www.nuru.ru/teorver/042.htm>
- 26 Теория массового обслуживания. Уравнения Эрланга:
<http://www.nuru.ru/teorver/045.htm>
- 27 Основные понятия Теории массового обслуживания
<http://www.cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/074/219.htm>
- 28 Ю.В. Жерновий. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування (2007) <http://zyurvas.narod.ru/bibТМО.html>
- 29 Чугайнов Н. Выбор и обоснование структуры автоматизированной системы управления – АСУ Супермаркет:
<http://www.referat.ru/pub/item/16558>
- 30 Borland C++ Builder:
<http://www.xserver.ru/computer/sredaprogr/bcb/1/1.shtml>