ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

СТАТИСТИЧНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СТАНЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

ДРПМ 2019/096.01.01.00

Галузь знань 11 Математика та статистика

Спеціальність 113 Прикладна математика

Виконав:
студент 2 магістерського курсу, групи ПМм-19-1 ________ В.Ю. Антонюк
Підпис

Керівник:
канд.техн.наук, доцент ________ І.В. Драч
Підпис

До захисту допускаю:
Зав. кафедри, д-р техн.наук, доцент ________ С. К. Підченко
Підпис

10 12 2020 р.

Хмельницький 2020

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: ПРОГРАМУВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ І ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ
Кафедра: ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Освітній рівень: МАГІСТР
Галузь знань: 11 МАТЕМАТИКА ТА СТАТИСТИКА
Спеціальність: 113 ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА
Освітня програма: ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ТМІТ
_______________ Підченко С.К.
«3» 09 2020 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ)

Антонюку Валентину Юрійовичу
Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Статистична імітаційна модель функціонування станції технічного обслуговування

Керівник проекту (роботи) Драч Ілона Володимирівна, к.т.н доцент
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 01.09.2020 р. № 118

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.12.2020 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи). Наукові джерела з проблем математичного моделювання технологічних процесів автопідприємств; планові та звітні дані, а також чинні на підприємстві виробничі інструкції, положення, нормативи, зібрані під час проходження науково-дослідної практики на підприємстві СТОА «ЛІДЛ» (м. Хмельницький).

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Виконати аналіз сучасного стану застосування математичних методів і моделей для задач моделювання стохастичних виробничих процесів в організації автосервісу; побудувати і проаналізувати структурну статистичну імітаційну модель функціонування автосервісу ТОВ «ЛІДЛ» м. Хмельницького і визначити його оптимальні характеристики; розробити та проаналізувати статистичну модель функціонування станції технічного обслуговування (СТОА) «ЛІДЛ» м. Хмельницького при наперед замовленому ремонті автомобілів; визначити оптимальні потреби підприємства в запасних частинах; розробити практичні рекомендації для оптимальної організації автосервісу «ЛІДЛ» з метою підвищення ефективності його функціонування.

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

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1			
Розділ 2			
Розділ 3			

7. Дата видачі завдання «__03__» __вересня__ 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Затвердження теми науковим керівником	01.09.2020 – 02.09.2020	Виконано
2	Аналіз сучасного стану застосування математичних методів і моделей для задач галузі технічного обслуговування та ремонту автотранспортних засобів	03.09.2020 –08.09.2020	Виконано
3	Розробка 1 розділу написання ДРМ	09.09.2020 – 20.09.2020	Виконано
4	Вивчення принципів моделювання випадкових процесів підприємств автомобільного транспорту методами теорії масового обслуговування й статистичного імітаційного моделювання	21.09.2020 – 27.09.2020	Виконано
5	Розробка 2 розділу написання ДРМ	28.09.2020 – 7.10.2020	Виконано
6	Побудова і аналіз моделей стохастичних виробничих процесів за параметрами підприємства автосервісу «ЛІДЛ» м. Хмельницького. Визначення практичних рекомендації для організації роботи СТОА «ЛІДЛ» з метою підвищення її ефективності	08.10.2020 – 13.10.2020	Виконано
7	Розробка 3 розділу написання ДРМ	14.10.2020 – 05.11.2020	Виконано
8	Написання вступу, висновків, формування переліку джерел посилання та додатків	06.11.2020 – 08.11.2020	Виконано
9	Попередній захист дипломної роботи	09.11.2020 –10.11.2020	Виконано
10	Подача роботи на: кафедру, антиплагіат, рецензування, нормоконтроль	12.11.2020 – 3.12.2020	Виконано
11	Захист дипломної роботи	4.12.2020 –15.12.2020	Виконано

Студент ________ А. В. Антонюк
Підпис

Керівник проекту (роботи) ________ І. В. Драч
Підпис

АНОТАЦІЯ

Тема дипломної роботи: Статистична імітаційна модель функціонування станції технічного обслуговування.

Автор роботи: Антонюк Валентин Юрійович.

Керівник роботи: Драч Ілона Володимирівна.

Загальний обсяг роботи: 90 сторінок, 3 додатки, 24 посилання

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, СТАТИСТИЧНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ФУНКЦІОНУВАННЯ СТАНЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ; ЕФЕКТИВНІСТЬ

Розглядається моделювання стохастичних виробничих процесів на підприємстві автосервісу з метою підвищення їх ефективності, вибору оптимальної стратегії й методів керування при заданих умовах функціонування системи ремонту. Для пошуку оптимального технічного розв'язку використовується метод імітаційного моделювання.

ANNOTATION

Thesis topic: Statistical simulation model of the operation of a service station.

Author of the work: Antoniuk V. Yu.

Mentor: Drach I. V.

Total volume of work: 90 pages, 3 appendices, 24 references.

Simulation modeling, statistical simulation model, FUNCTIONING OF MAINTENANCE STATION; EFFICIENCY

The modeling of stochastic production processes at a car service enterprise is considered with the aim of increasing their efficiency, choosing the optimal strategy and management methods for the given conditions of the repair system functioning. To find the optimal technical solution, the method of simulation is used.

02. 12 2020 р.
Дата/Date

Підпис/Signature

ЗМІСТ

ВСТУП

Моделювання є одним із способів розв'язання практичних задач. Найчастіше розв'язок проблеми не можна знайти шляхом проведення натурних експериментів: будувати нові об'єкти, руйнувати або змінювати інфраструктуру, яка існує може бути надто вартісно, небезпечно або просто неможливо. В таких випадках доцільним є побудова моделі реальної системи, тобто опис цієї системи на мові моделювання. Цей процес має на увазі перехід на певний рівень абстракції, при цьому нехтуючи несуттєвими деталями, з врахуванням тільки того, що вважаємо важливим. Система в реальному світі завжди складніша за свою модель [1].

Удосконалювання складних стохастичних процесів пов'язане із значними витратами часу й ресурсів, оскільки вимагає побудови різних організаційних структур і схем. Із цієї причини реалізація натурного експерименту в організаціях автосервісу утруднена, а оптимізацію виробничих процесів доцільно виконувати з використанням спеціальних математичних методів [1, 2].

У сучасних методах дослідження технологічних процесів автопідприємств використовуються переважно детерміновані вирази і аналітичні залежності теорії масового обслуговування [3]. Розрахунки за цими методами дуже зручні, однак вони лише частково враховують випадковий характер процесів і характеризують систему в режимі функціонування, що вже встановився. Для спрощення математичної моделі пропонуються деякі допущення, оскільки процес опису в явному вигляді основних розподілів випадкових величин утруднений. Отже, уже на цьому етапі фізична сутність явищ спотворюється, що й приводить до деяких похибок у розрахунках.

Зазначених похибок можна уникнути, якщо використовувати імітаційну модель, яка дозволяє враховувати імовірнісні закономірності процесів і вибрати оптимальний організаційний варіант при заданих умовах функціонування.

Імітаційне моделювання (ІМ) є одним з найбільш продуктивних методів дослідження стохастичних процесів. ІМ є різновидом моделювання, яке реалізується за допомогою спеціальних імітуючих комп'ютерних програм. Метою ІМ є створення моделі, яка буде імітувати досліджуваний процес, і обчислення характеристик моделі для одержання статистичних даних використання ресурсів системи. На сьогоднішній день одним з найбільш сучасних пакетів програм для побудови ІМ є GPSS-WORLD [4].

GPSS призначена для моделювання систем масового обслуговування (систем із чергами) а також інших аналогічних систем, і має для цих цілей спеціальні оператори, синтаксис, допоміжні інструменти (статистична обробка результатів, їх нагромадження, графічне відображення) [4].

У якості об'єкта дослідження обрано структуру і числові характеристики функціонування станції технічного обслуговування (далі СТО) автотранспортних засобів ТОВ «ЛІДЛ» м. Хмельницького, характерною рисою якої має стати максимально можлива ефективність функціонування цього підприємства. Для огляду автомобілів на підприємстві використовується три однотипні бокси інструментального контролю і ремонтних робіт.

Предметом дослідження є статистичне імітаційне моделювання діяльності станції технічного обслуговування.

Метою цього дослідження є моделювання стохастичних виробничих процесів в організації автосервісу з метою підвищення їх ефективності, вибору оптимальної стратегії й методів керування при заданих умовах функціонування системи ремонту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1) виконати аналіз сучасного стану застосування математичних методів і моделей для задач моделювання стохастичних виробничих процесів в організації автосервісу; узагальнити існуючі положення розробки імітаційних моделей організації функціонування станції технічного обслуговування;

2) побудувати і проаналізувати структурну статистичну імітаційну модель функціонування автосервісу ТОВ «ЛІДЛ» м. Хмельницького і визначити його

оптимальні характеристики;

3) розробити та проаналізувати статистичну модель функціонування станції технічного обслуговування (СТОА) «ЛІДЛ» м. Хмельницького при наперед замовленому ремонті автомобілів;

4) визначити оптимальні потреби підприємства в запасних частинах;

5) розробити практичні рекомендації для оптимальної організації автосервісу «ЛІДЛ» з метою підвищення ефективності його функціонування.

Гіпотеза дослідження. Основною перевагою імітаційних моделей у порівнянні з аналітичними є можливість вирішувати завдання виняткової складності з урахуванням випадкових факторів. Метод імітаційного моделювання вдається успішно реалізувати за допомогою ЕОМ. Однак використання ЕОМ для цілей імітаційного моделювання вимагає вміння розробки моделюючого алгоритму, який повинен відтворити формальний процес складної системи. Моделюючий алгоритм дозволяє за вихідним даними одержати відомості про стани виробничого процесу в довільний момент часу.

Розробка моделюючого алгоритму неможлива без глибокого знання модельованого об'єкта і його функціонування, причому в процесі розробки відбувається поглиблення й уточнення розуміння об'єкта.

Тому процес розробки моделі має й самостійне значення, оскільки дозволяє виявити недоліки, розкрити резерви, відкрити нові можливості об'єкта ще до моделювання й дати важливі практичні рекомендації з удосконалювання об'єкта й підвищення ефективності його функціонування.

Науково-практична новизна дипломної роботи полягає в наступному: статистичні імітаційні моделі організації роботи станції технічного обслуговування розроблені для параметрів приватного підприємства «ЛІДЛ» м. Хмельницького; на основі їх аналізу розроблено рекомендації для прийняття і обґрунтування ефективних управлінських рішень.

Практична цінність розглянутих у дипломній роботі питань підтверджується тим, що в сучасних ринкових умовах важливого значення набувають математичні методи оптимізації, що дозволяють поряд з іншими методами встановлювати залежність параметрів оптимізації від різних факторів, прогнозувати розглядувані процеси, знаходити оптимальні розв'язки й ухвалювати найвигідніші управлінські рішення.

Основна частина складається з трьох розділів.

Перший розділ роботи присвячений загальним питанням моделювання. Особлива увага приділена розгляду питань побудови стохастичних моделей на основі обробки дослідних даних.

У другому розділі розглянуті питання моделювання випадкових процесів підприємств автомобільного транспорту методами теорії масового обслуговування й статистичного імітаційного моделювання, якими розв’язується широке коло задач.

У третьому розділі розглянуто моделювання стохастичних виробничих процесів на підприємстві автосервісу «ЛІДЛ» м. Хмельницького. Для пошуку оптимальних технічних розв'язків використовується методи імітаційного моделювання і теорії СМО. На основі аналізу результатів моделювання й імітаційних експериментів визначено практичні рекомендації для організації роботи СТОА «ЛІДЛ» з метою підвищення її ефективності, вибору оптимальної стратегії й методів керування при заданих умовах функціонування системи ремонту.

Основною особливістю дослідження є опис розв'язку виробничих завдань у вигляді математичних моделей, алгоритмів і програми їх реалізації.

Публікації та апробація результатів дослідження.

За темою роботи опубліковано статтю (Додаток А) – Антонюк В.Ю., Драч І.В. Статистичне моделювання деяких характеристик функціонування СТО за умов двоїстої випадковості // Актуальні проблеми комп’ютерних наук. Збірник наукових праць за матеріалами XII всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп’ютерних наук АПКН-2020» – Хмельницький: ХНУ, 2020, Т.1. – С. 15 - 20. .

1 СУЧАСНІ МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАНЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ АВТОПІДПРИЄМСТВА

1.1 Методи математичного моделювання та моделі

У процесі дослідження реальних систем і побудови їх моделей використовуються різні методи моделювання, що залежать від характеристик об'єкта, рівня знань про нього, мети дослідження та вимог до моделі.

Найпоширенішими системно-методологічними підходами до моделювання є аксіоматичний, імітаційний, оптимізаційний і "чорної скрині" [5].

Аксіоматичне моделювання полягає у відповідній інтерпретації та переведенні змістовного опису системи на мову чітких математичних термінів і відношень, у процесі чого усуваються неясності, суперечності, неповнота або надлишковість, які властиві вербальному опису системи.

Емпірико-статистичне моделювання використовує широко відомий кібернетичний принцип "чорної скрині", що не дозволяє отримати модуль структури системи, причинно-наслідкових зв'язків і механізмів її функціонування. В результаті моделювання отримують моделі типу "вхід - вихід", які базуються на теоретичних гіпотезах про форми взаємозв'язку між входами і виходами системи.

Оптимізаційне моделювання передбачає включення у модель як взаємозв'язків між змінними та параметрами, так і критерії якості функціонування системи.

Імітаційні моделі складних систем надзвичайно поширені внаслідок своєї універсальності, можливості проведення чисельних експериментів, передбачення різноманітних змін.

За мірою повноти опису моделювання поділяють на повне, неповне та наближене [2].

Повне моделювання передбачає побудову моделі, адекватної об’єкту дослідження у просторі та часі. Для неповного моделювання ця адекватність не зберігається. При наближеному моделюванні беруться до уваги лише найважливіші аспекти системи (загальна класифікація методів моделювання показана на рис. 1.1) [6].

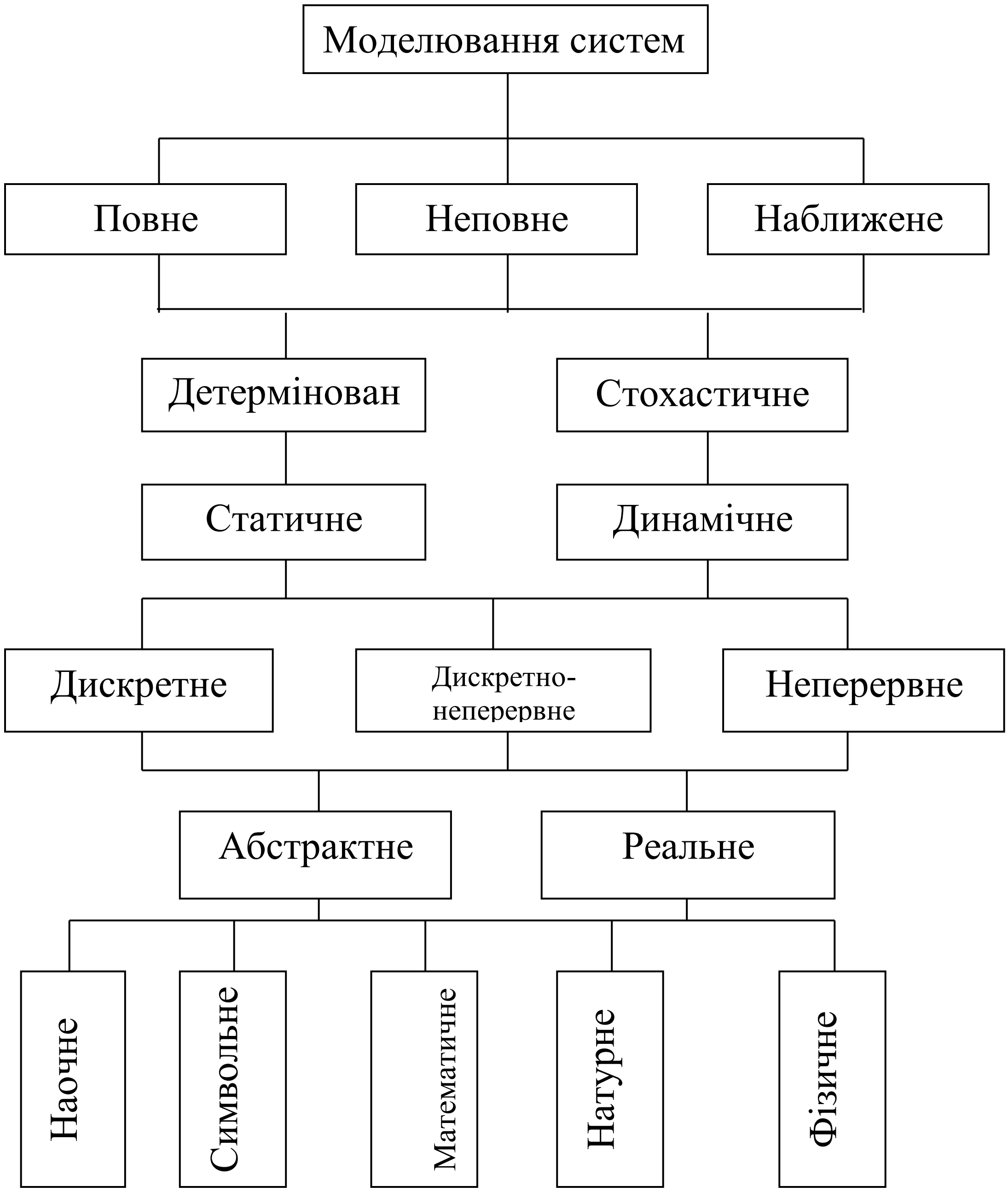


Рисунок 1.1 - Класифікація методів моделювання систем

Залежно від характеру досліджуваних процесів у системі моделювання поділяють на детерміноване та стохастичне, статичне та динамічне, неперервне та дискретно-неперервне.

Детерміноване моделювання відображає процеси, для яких передбачається відсутність випадкових впливів, а стохастичне враховує випадкові процеси та події.

Статичне моделювання застосовується для описування стану системи у фіксований момент, а динамічне - для дослідження поведінки системи у часі.

Дискретне, неперервне та дискретно-неперервне моделювання застосовують для опису процесів, які змінюються в часі.

Залежно від форми подання об'єкта моделювання поділяють на реальне та абстрактне.

При реальному моделюванні використовують можливість дослідження характеристик на реальному об'єкті чи на його частині, а при натурному - проводять дослідження на реальному об'єкті з подальшим обробленням результатів експерименту на основі теорії подібності. Фізичне моделювання здійснюється через відтворення досліджуваного процесу на моделі, яка в загальному вигляді має відмінну від оригіналу природу, але однаковий математичний опис процесу функціонування.

Абстрактне моделювання має різні види: наочне, символьне, математичне.

При наочному на базі уявлень людини про реальні об'єкти створюють наочні моделі, що відображають явища та процеси, які відбуваються в об'єкті. Символьне моделювання - штучний процес створення об'єкта, що замінює реальний і виражає основні його властивості через певну систему знаків і символів. Воно поділяється, відповідно, на мовне та знакове [6].

В основі мовного моделювання лежить деякий тезаурус, який утворюється із набору вхідних понять, причому цей набір має бути фіксованим. Під тезаурусом розуміють словник, одиниці якого містять набори ознак, що характеризують родово-видові зв'язки та згруповані за змістовною близькістю. Між тезаурусом і звичайним словником існують принципові розбіжності. Тезаурус - це словник, який не містить неоднозначних слів; кожному його слову відповідає лише одне поняття [2].

Дослідження математичної моделі дає змогу отримати характеристики реального об’єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від природи системи, так і від завдань дослідження. Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший.

Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

При імітаційному моделюванні намагаються відтворити процес функціонування системи у часі за допомогою деяких алгоритмів. При цьому імітуються основні явища, що утворюють процес, який розглядається, із збереженням їх логічної структури та послідовності перебігу в часі. Це уможливлює отримання інформації про стан процесу в певний момент та оцінку характеристик системи. Імітаційні моделі дають змогу враховувати такі ознаки, як дискретність і неперервність елементів системи, нелінійність їхніх характеристик, випадкові збурення тощо [1].

Інформаційне (кібернетичне) моделювання пов’язане з побудовою моделей, для яких відсутні безпосередні аналоги фізичних процесів. У такому разі намагаються відобразити лише деяку функцію і розглядають об’єкт як “чорну скриню”, що має певну кількість входів і виходів. Таким способом моделюють лише окремі зв’язки між входами та виходами. Отже, в основі кібернетичних моделей лежить відображення окремих інформаційних процесів регулювання та управління, що дає змогу оцінити поведінку реальної системи. Для побудови моделі необхідно виокремити досліджувану функцію реального об’єкта та спробувати формалізувати її через окремі оператори зв’язку між входом і виходом. Імітаційна модель уможливлює відтворення цієї функції [7].

Структурне моделювання базується на специфічних особливостях структур певного вигляду, котрі використовують як засіб дослідження систем або для розроблення на їх основі із застосуванням інших методів формалізованого опису систем (теоретико-множинних, лінгвістичних) і специфічних підходів до моделювання. Структурне моделювання охоплює:

- методи сітьового моделювання;
- структурний підхід до формалізації структур різних типів (ієрархічних, матричних та ін.) на основі теоретико-множинного їх подання та поняття номінальної шкали теорії вимірювання;
- поєднання методів структуризації з лінгвістичними [2].

Ситуаційне моделювання базується на модельній теорії мислення, в рамках якої можна описати основні механізми регулювання процесів прийняття рішень. В основі модельної теорії мислення є формування у свідомості та підсвідомості людини інформаційної моделі об’єкта чи зовнішнього світу. Цілеспрямована поведінка людини ґрунтується на формування цільової ситуації та мисленого перетворення фактичної ситуації в цільову. Основа побудови ситуаційної моделі − описання об’єкта у вигляді сукупності елементів, що пов’язані між собою певними відношеннями, які відбивають семантику предметної галузі. Модель об’єкта має багаторівневу структуру і є інформаційним контекстом, на тлі якого здійснюються процеси управління [2].

При дослідженні економічних, технологічних, соціальних, адміністративних систем найчастіше застосовують методи математичного, структурного, ситуаційного, інформаційного та імітаційного моделювання [9].

1.2 Постановка задачі та завдань дослідження. Розробка гіпотези дослідження

СТОА «ЛІДЛ» м. Хмельницького була заснована в 2012 році, обслуговує легкові автомобілі [10]. Основними видами діяльності є: діагностика підвіски (ходової частини) автомобіля, развал-схождення, заміна мастила та технічних рідин, технічне обслуговування, а також обслуговування гальмівної системи. На станції функціонують: кав'ярня з вільним Wi-Fi, магазин, стіл замовлень. За послуги можливий безготівковий розрахунок (норм/год за послугами - 200 грн. за готівку і 250 грн. за безготівковим розрахунком).

Адреса: м. Хмельницький, вул. Пілотська, 10/2.

На початковому етапі роботи були проаналізовані дані про господарську діяльність ТОВ «ЛІДЛ» щодо надання ремонтних послуг: виконана кількісна оцінка процесу обслуговування клієнтів (інтенсивність прибуття автомобілів різних категорій на СТО в цілому й за видамих робіт, кількість задіяних майстрів і т.п.), зібрані часові характеристики процесу обслуговування (режим роботи майстрів, час, витрати на виконання кожного виду робіт і ін.) і вивчені складові економічної ефективності роботи підприємства (тарифи на обслуговування автомобілів за видами ремонтних робіт і по перевірці технічного стану, працезатрати, оплата комунальних послуг і т.д.). На підставі цієї інформації були розроблені структура вихідних даних моделей й вимоги до роботи моделей.

Робота системи автосервісу ТОВ «ЛІДЛ» є багатоканальною моделлю СМО. Ресурсами системи є три однотипних бокси інструментального контролю і виконання ремонтних робіт, які працюють паралельно.

Розглянемо моделювання стохастичних виробничих процесів в організації автосервісу з метою підвищення їх ефективності, вибору оптимальної стратегії й методів керування при заданих умовах функціонування системи ремонту. Для цього застосуємо методи статистичного моделювання і теорії СМО.

Для підвищення ефективності функціонування станції технічного обслуговування в магістерській роботі пропонується вирішення таких задач:

1) дослідити процеси функціонування станції технічного обслуговування автомобілів методом Монте-Карло і визначити його оптимальні характеристики;

2) дослідити процеси функціонування СТОА при наперед замовленому ремонті автомобілів методами теорії масового обслуговування і визначити його оптимальні характеристики;

3) оптимізувати потреби підприємства в запасних частинах методом статистичного моделювання.

Вирішення поставлених задач дозволить більш ефективно організувати роботу станції технічного обслуговування легкових автомобілів та зменшить економічні витрати підприємства.

Гіпотеза дослідження.

Основною перевагою імітаційних моделей у порівнянні з аналітичними є можливість вирішувати завдання виняткової складності з урахуванням випадкових факторів. Метод імітаційного моделювання вдається успішно реалізувати за допомогою ЕОМ. Однак використання ЕОМ для цілей імітаційного моделювання вимагає вміння розробки моделюючого алгоритму, який повинен відтворити формальний процес складної системи. Моделюючий алгоритм дозволяє за вихідним даними одержати відомості про стани виробничого процесу в довільний момент часу.

Розробка моделюючого алгоритму неможлива без глибокого знання модельованого об'єкта і його функціонування, причому в процесі розробки відбувається поглиблення й уточнення розуміння об'єкта.

Тому процес розробки моделі має й самостійне значення, оскільки дозволяє виявити недоліки, розкрити резерви, відкрити нові можливості об'єкта ще до моделювання й дати важливі практичні рекомендації з удосконалювання об'єкта й підвищення ефективності його функціонування.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СТАНЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

2.1 Основи моделювання випадкових процесів

2.1.1 Класифікація випадкових процесів

Випадковим процесом X(t) (random process) називається процес, значення якого при будь-якому фіксованому $t=t_0$ є випадковою величиною $X(t_0)$.

Випадкова величина $X(t_0)$, в яку обертається випадковий процес при $t=t_0$, називається перетином випадкового процесу, що відповідає заданому значенню аргументу t (рис. 2.1, 2.2) [11].

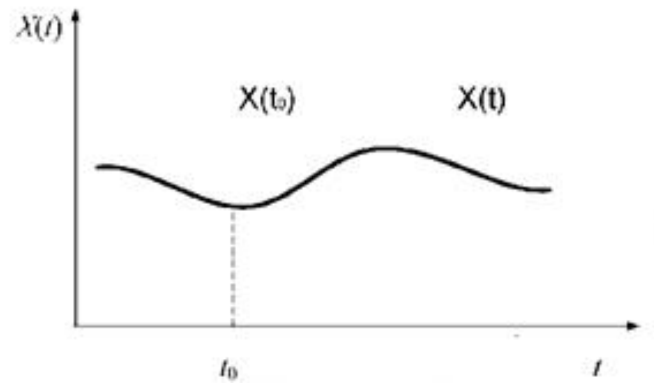


Рисунок 2.1

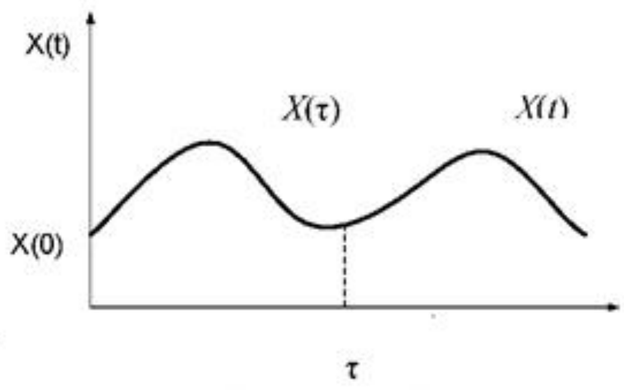


Рисунок 2.2

Випадковий процес записується у вигляді функції двох аргументів - часу t і елементарної події ω

$$X(t)=\varphi(t,\omega);\ \omega\in\Omega;\ x(t)\in\Theta\ . \qquad (2.1)$$

де ω - елементарна подія, що з'являється в результаті досліду;

Ω - простір елементарних подій;

T - область (множина) значень аргументу t функції X(t);

Θ - множина можливих значень випадкового процесу X(t).

Припустимо, що дослід, в ході якого протікає випадковий процес, вже відбувся, тобто елементарна подія ωєΩ, здійснилась. Це означає, що випадковий процес уже не випадковий, і залежність його від t набуває цілком певного вигляду. Це вже звичайна, невипадкова функція аргументу t. Ми будемо її називати реалізацією випадкового процесу X(t) у заданому досліді.

Реалізацією випадкового процесу X(t) називається невипадкова функція X(t), на яку перетворюється випадковий процес X(t) в результаті досліду. Реалізацію випадкового процесу як функцію φ від аргументу t, що змінюється в межах множини T, при фіксованій елементарній події $\omega=\omega_\Diamond$, записують так:

$$X(t)=\varphi(t,\omega_\Diamond);\ (t\in T);\ x(t)\in\Theta). \tag{2.2}$$

До прикладу, записуючи за допомогою приладу напругу живлення ЕОМ U залежно від часу t на ділянці (0, τ), отримаємо реалізацію u(t) випадкового процесу U(t), де u_0 - номінальна напруга живлення (рис. 2.3) [11].

Якщо проведено серію дослідів, в результаті кожного з яких спостерігається якась реалізація випадкового процесу $x_i(t)$ (*i* - номер досліду), то отримаємо кілька різних реалізацій випадкового процесу: $x_1(t)$, $x_2(t)$, ..., $x_n(t)$ або сімейство реалізацій (рис. 2.4) [11].

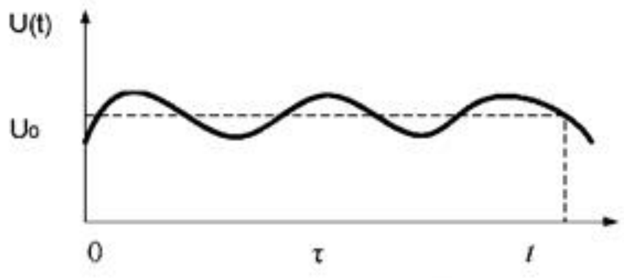


Рисунок 2.3

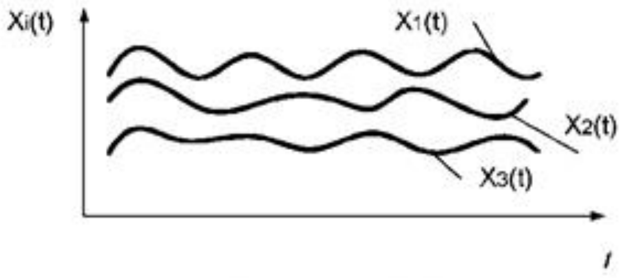


Рисунок 2.4

Сімейство реалізацій випадкового процесу - основний експериментальний матеріал, на основі якого можна отримати характеристики випадкового процесу.

Випадкові процеси класифікуються «за часом» і «за станами» системи.

Випадковий процес X(t) називається процесом з дискретним часом, якщо система, в якій він проходить, може міняти свій стан тільки в моменти t_1, t_2, …, t_n, кількість яких скінченна.

Випадковий процес X(t) називається процесом з неперервним часом, якщо переходи системи з одного стану в інший можуть відбуватися в будь-який момент часу t спостережуваного періоду τ.

Випадковий процес X(t) називається процесом з неперервним станом, якщо його прохід в будь-який момент t є неперервною випадковою величиною і множина її значень Θ незліченна.

Випадковий процес X(t) називається процесом з дискретним станом, якщо в будь-який момент часу t множина його станів Θ скінченна або зліченна.

2.1.2 Характеристики випадкових процесів

Основними характеристиками випадкових процесів є: математичне сподівання, дисперсія, коваріація, початковий і центральні моменти різних порядків і т.д [12].

Математичне сподівання випадкового процесу X(t) називається невипадкова функція $m_x(t)$, яка при будь-якому значенні аргументу t дорівнює математичному сподіванню відповідного перетину випадкового процесу:

$$m_x(t) = M[x(t)], \tag{2.3}$$

де $m_x(t)$ - середня функція (рис. 2.5) [11].

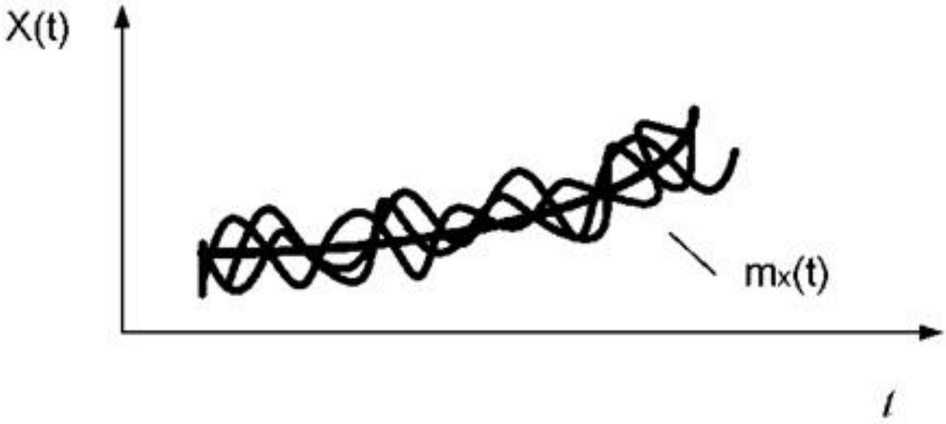


Рисунок 2.5 – Математичне сподівання випадкового процесу X(t)

До прикладу, якщо перетин випадкового процесу X(t) при заданому t є дискретною випадковою величиною з розподілом (таблиця 2.1),

Таблиця 2.1 – Розподіл дискретного випадкового процесу X(t)

$x_1(t)$	$x_2(t)$	$x_3(t)$	...	$x_i(t)$	...
$p_1(t)$	$p_2(t)$	$p_3(t)$	...	$p_i(t)$	...

то його математичне сподівання обчислюється за формулою

$$m_x(t) = M[x(t)] = \sum_i x_i(t)\, p_i(t), \qquad (2.4)$$

де $x_1(t)$, $x_2(t)$, …. - перше, друге і т.д. значення, яких може набувати випадкова величина;

X(t) - перетин випадкового процесу при заданому t;

$p_1(t)$, $p_2(t)$, …. - відповідні ймовірності.

Якщо перетин випадкового процесу X(t) при заданому t є неперервною випадковою величиною зі щільністю f(t,x), то його математичне сподівання може бути обчислене за формулою

$$m_x(t) = M[X(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} xf(t,x)dx. \tag{2.5}$$

Центрований випадковий процес X(t) має вигляд

$$\overset{\Diamond}{X}(t) = X(t) - m_x(t). \tag{2.6}$$

Початковим моментом k-го порядку випадкового процесу X(t) називається математичне сподівання k-го степеня відповідного перетину випадкового процесу

$$\alpha_k(k) = M\left\lfloor (X(t))^k \right\rfloor. \tag{2.7}$$

Центральний момент k-го порядку - математичне сподівання k-го ступеня центрованого випадкового процесу

$$\mu_k(t) = M\left\lfloor (X(t) - m_x(t))^k \right\rfloor. \tag{2.8}$$

Дисперсія випадкового процесу

$$D_x(t) = D[X(t)] = M\left\lfloor X^2(t) \right\rfloor - m_x^2(t). \tag{4.9}$$

Дисперсією випадкового процесу X(t) називається невипадкова функція $D_x(t)$, яка при будь-якому значенні аргументу t дорівнює дисперсії відповідного перетину випадкового процесу X(t).

Якщо перетин X(t) є дискретною випадковою величиною з рядом розподілу X(t) (таблиця 2.1), то дисперсію випадкового процесу знаходимо за формулою

$$D_x(t) = D[X(t)] = \sum (x_i - m_x(t))^2 \, p_i(t)\,, \qquad (2.10)$$

де *i* - номер можливого значення випадкової величини X(t) при заданому t;

$p_i(t)$ - ймовірність цього значення.

Якщо перетин X(t) є неперервною випадковою величиною зі щільністю f(t,x), то дисперсія випадкового процесу може бути обчислена за формулою

$$D_x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} [x - m_x(t)]^2 \, f(t,x) dx \;. \qquad (2.11)$$

Середнім квадратичним відхиленням $\sigma_x(t)$ випадкового процесу X(t) називається значення арифметичного кореня з дисперсії $D_x(t)$

$$\sigma_x(t) = \sigma[X(t)] = \sqrt{D_x(t)}\;. \qquad (2.12)$$

Ступінь залежності (зв'язку) між двома випадковими величинами *X* і *У* визначається їх коваріацією

$$K_{\varphi} = M[XY] - m_x m_y \;. \qquad (2.13)$$

Аналогічна характеристика вводиться і для випадкового процесу.

Розглянемо дві випадкових величини – два перетини випадкового процесу для моментів t і t' (див. рис. 2.6. [11]): X(t) і X(t'). Для цих двох випадкових величин можна знайти коваріацію (позначимо її $K_x(t,t')$):

$$K_x(t,t') = M[X(t)X(t')] - m_x(t) m_x(t') \;. \qquad (2.14)$$

Функція (2.14) називається кореляційною функцією випадкового процесу.

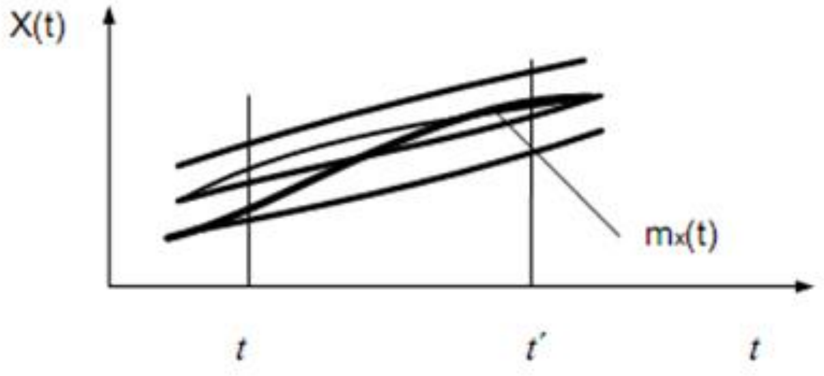


Рисунок 2.6 – Два перетини випадкового процесу для моментів t і t'

Отже, кореляційною функцією випадкового процесу X(t) - називається невипадкова функція $K_x(t,t')$ двох аргументів t і t', яка при кожній парі значень аргументів t і t' дорівнює коваріації відповідних перерізів випадкового процесу: X(t) і X(t'). На рис. 2.7 [11] показаний вигляд поверхні, яка зображує кореляційну функцію $K_x(t,t')$. Поверхня $K_x(t,t')$ симетрична відносно вертикальної площини *H*, що проходить через бісектрису координатного кута t O t'.

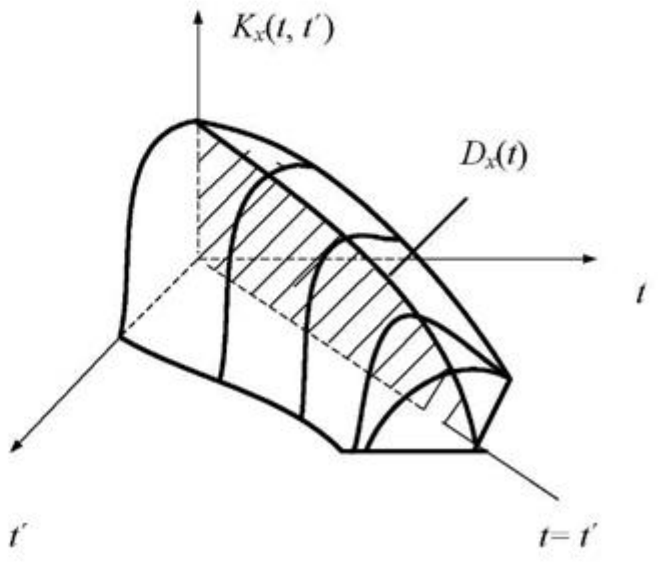


Рисунок 2.7 – Вигляд поверхні, яка зображує функцію $K_x(t,t')$

Лінія перетину площини *H* з поверхнею $K_x(t,t')$ дає аплікату, що дорівнює дисперсії випадкового процесу X(t)

$$D_x(t) = K_x(t, t'). \tag{2.15}$$

Нормованою кореляційною функцією $r_x(t,t')$ випадкового процесу X(t) є функція (2.16):

$$r_x(t, t') = \frac{K_x(t, t')}{\sigma_x(t)\sigma_x(t')}. \tag{2.16}$$

де $\sigma_x(t)$, $\sigma_x(t')$ середні квадратичні відхилення.

Нормована кореляційна функція за абсолютною величиною не перевищує одиницю:

$$|r_x(t, t')| \le 1. \tag{2.17}$$

2.1.3 Закони розподілу випадкових процесів

Для різноманітних типів випадкових процесів розроблені різні методи їх вивчення та опису. Існують задачі, в яких випадкові процеси є зручним виражати через найпростіші (елементарні) випадкові функції.

Елементарною випадковою функцією Y(t) (ЕВФ) називають таку функцію аргументу t, що представлена невипадковою функцією, в яку входять один або декілька параметрів випадкових величин, що не залежать від t [12].

До прикладу, неперервна випадкова величина X, розподілена рівномірно в інтервалі (-1, 1), має ЕВФ у вигляді $Y(t) = Xe^{-t}$.

Сімейство реалізації ЕВФ Y(t) показано на рис. 2.8 [12].

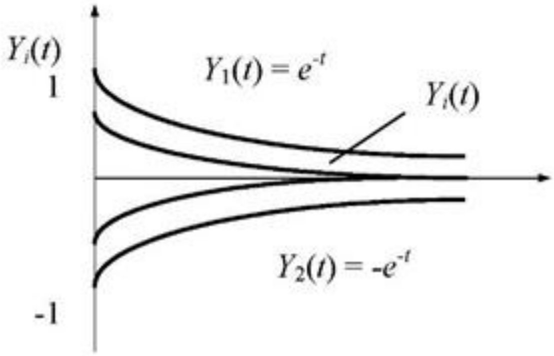


Рисунок 2.8 – Сімейство реалізації ЕВФ Y(t)

ЕВФ випадкової величини X, що набуває тільки додатних значень, має вигляд $Y(t) = Xe^{-\alpha} \quad (t\rangle 0)$. На рисунку 2.9 [12] показані Y_i(t) - *i*-ті реалізації, що є показниковими кривими, які проходять через точку (0, 1), і розрізняються між собою швидкістю прямування до нуля при $t \to \infty$.

ЕВФ має вигляд Y(t)=*a*t+X, де X- випадкові величини, *a* - невипадкова величина. Кожна реалізація (рис. 2.10 [12]) є прямою з кутовим коефіцієнтом *a*, паралельною до прямої y = *a*t; відрізняються реалізації початковими ординатами.

ЕВФ має вигляд Y(t)=Xt+*a*, де X - випадкова величина, *a* - невипадкова величина. Кожна з реалізацій – це пряма лінія, що проходить через точку (0, *a*) (рис. 2.11 [12]). Реалізації розрізняються кутовими коефіцієнтами.

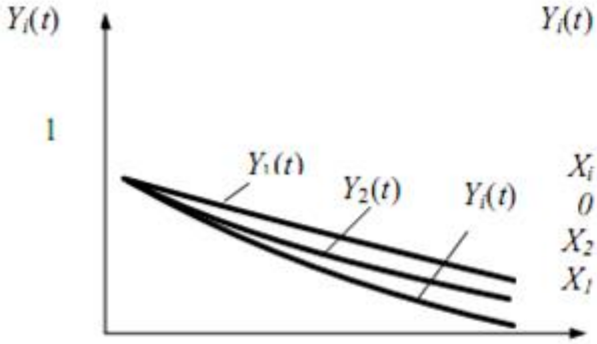


Рисунок 2.9 - Приклад ЕВФ

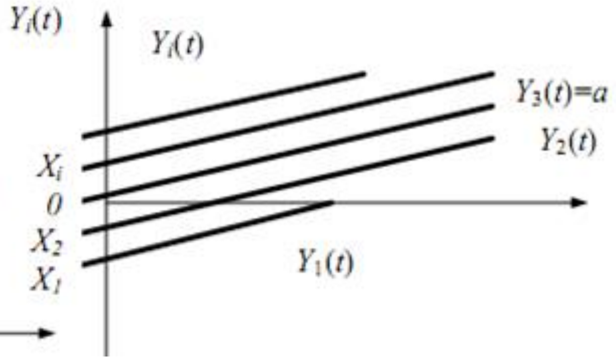


Рисунок 2.10 - Приклад ЕВФ

ЕВФ має вигляд Y(t)= X cos(*a*t), де X - випадкова величина, *a* - невипадкова величина. Сімейство реалізацій зображено на рис. 2.12; кожна з них - це косинусоїда, ординати якої збільшені в той чи інший випадковий коефіцієнт. Реалізації різняться між собою амплітудою, тобто масштабом по осі ординат.

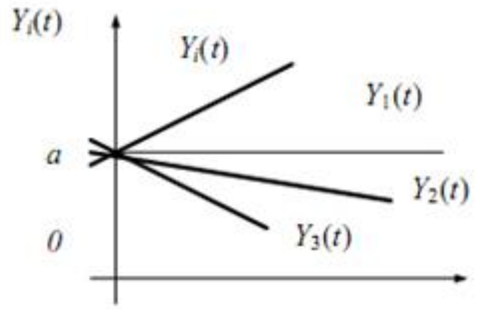


Рисунок 2.11

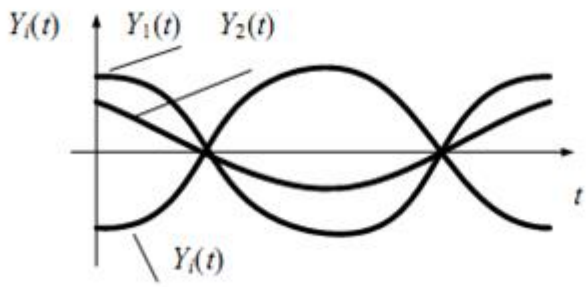


Рисунок 2.12

Відомо, що універсальною ґрунтовною характеристикою будь-якої випадкової величини є її функція розподілу $F(x) = P\{X < x\}$, тобто ймовірність того, що випадкова величина X набуває значення, меншого за наперед заданого x.

Нехай маємо випадковий процес X(t). Будь-який перетин випадкового процесу X(t) є випадковою величиною, яка має закон розподілу

$$F(t, x) = P\{X(t) < \text{x}\}.$$

Ця функція залежить від двох аргументів: по-перше, від значення t, для якого береться перетин; по-друге, від значення x, меншою за яке повинна бути випадкова величина X(t). Вона називається одновимірним законом розподілу випадкового процесу X(t). Очевидно, одновимірний закон розподілу не може служити повною ґрунтовною характеристикою випадкового процесу X(t). Більш повною характеристикою буде двомірний закон розподілу, представлений спільною функцією розподілу двох перерізів випадкового процесу, взятих відповідно для моментів t_1 і t_2:

$$F(t_1, t_2, x_1, x_2)=P\{X(t_1) < x_1, X(t_2) < x_2\}$$

Ця функція є функцією чотирьох аргументів. Очевидно, теоретично можна необмежено збільшувати число значень і отримати при цьому все більш повну характеристику випадкового процесу. Однак оперувати з настільки громіздкими характеристиками, що залежать від багатьох аргументів, вкрай незручно. В інженерних застосуваннях зазвичай обмежуються одномірним, іноді, двомірним законом розподілу випадкового процесу.

2.2 Марківські випадкові процеси

Розглянемо фізичну систему S, в якій відбувається випадковий процес з дискретними станами:S_1, S_2,...,S_i,...,S_n, число яких скінченне [13]. При цьому під системою S будемо розуміти технологічний об’єкт (автомобіль, ремонтна майстерня, СТОА, АЗС тощо).

Процес з дискретними станами характеризується тим, що система S стрибками час від часу переходить з одного стану (S_i) в інший (S_j).

При вивченні таких процесів кожний стан прийнято зображати у вигляді прямокутника або кружечка, а можливі переходи зі стану в стан - стрілками, що з'єднують ці фігури. Отриману схему називають графом станів.

До прикладу, система S - автомобіль, може знаходитися в одному з п'яти можливих станів (рис. 2.13 [13]). S_1 - справний, працює; S_2 - несправний, очікує ремонту; S_3 - оглядається; S_4 - ремонтується; S_5 - списаний.

При аналізі випадкових процесів, що відбуваються в системах з дискретними станами, важливу роль відіграють ймовірності станів.

Позначимо S(t) стан системи S у момент t. Ймовірність *i*-го стану в момент t ($p_i(t)$) називається ймовірність події, яка полягає в тому, що в момент часу t система S буде знаходитись в стані S_i:

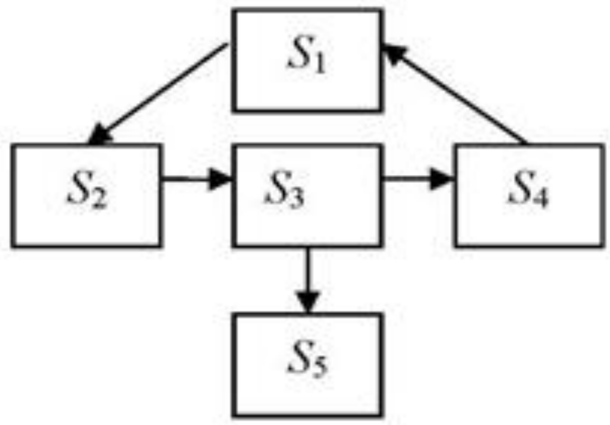


Рисунок 2.13 – Граф станів системи S - автомобіль

$$p_i(t) = P\{S(t) = S_i\}, \tag{2.18}$$

де S(t) - випадковий стан системи в момент t.

Очевидно, що для системи з дискретними станами S_1, S_2,..., S_i, у будь-який момент часу t сума ймовірностей станів дорівнює одиниці

$$\sum_i = p_i(t) = 1, \tag{2.19}$$

як сума ймовірностей повної групи незалежних подій.

Зазначимо, що випадковий процес, який відбувається в системі S з дискретними станами S_1, S_2,..., S_i, називається Марківським, якщо для будь-якого моменту часу t ймовірність кожного з станів системи в майбутньому (при $t>t_0$) залежить тільки від її стану в сьогоденні (при $t=t_0$) і не залежить від того, коли і як вона прийшла в цей стан, тобто не залежить від її появи в минулому (при $t<t_0$) (рис. 3.14 [13]).

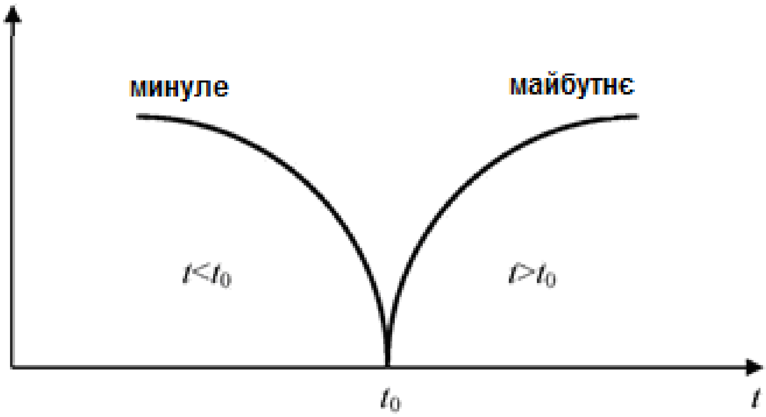


Рисунок 3.14 – Випадковий процес

2.3 Методи теорії масового обслуговування

Теорія масового обслуговування (queueing theory) описує процеси, що відбуваються в системах масового обслуговування (СМО) (рис. 2.15 [14]).

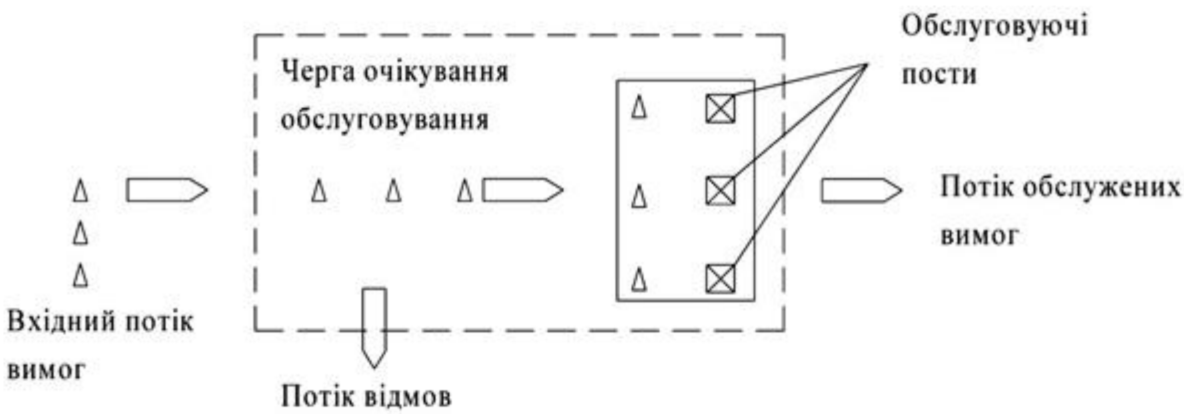


Рисунок 2.15 – Система масового обслуговування

У моделюванні технологічних процесів автопідприємств за допомогою СМО можна описати роботу ремонтної майстерні, станції технічного обслуговування, автозаправної станції тощо [15].

Випадковий характер потоку заявок призводить до того, що в СМО відбувається деякий випадковий процес. Якщо випадковий процес Марківський, то функціонування СМО можна описати системою диференціальних рівнянь, а в граничному випадку - системою лінійних алгебраїчних рівнянь, розв'язками яких визначаються характеристики роботи СМО.

Методи теорії масового обслуговування дозволяють вирішувати такі завдання автомобільного транспорту [15]:

- визначити кількість ліній або постів технічного обслуговування і ремонту автомобілів;

- визначити раціональну кількість оборотних агрегатів;

-проводити розрахунок кількості постів навантаження і розвантаження автомобілів, а також багато інших завдань.

При аналізі роботи СМО необхідно знати її основні вихідні параметри:

- інтенсивність потоку заявок - λ;

- трудомісткість обслуговування однієї заявки - Тр;

- кількість каналів обслуговування - n;

- кількість місць очікування - m;

- кількість операторів на кожному каналі - d;

- умови, що накладаються на утворення черги.

При описі режиму роботи СМО використовуються проміжні параметри:

- час обслуговування однієї заявки - Т0=Тр/d;

- продуктивність кожного каналу обслуговування - $t_{\Diamond} = Tp/d$; (середня кількість заявок, яка обслуговується каналом за одиницю часу);

- приведена інтенсивність обслуговування - $\mu = 1/t_{\Diamond}$;

- коефіцієнт завантаження - $\alpha = \lambda / \mu$.

2.3.1 Показники роботи систем масового обслуговування

Системи масового обслуговування поділяються за ознаками [14]:

1) за часом очікування (Тх):

- без очікування або з втратами вимог (Тх=0);

- з очікуванням або без втрат ($T_x = 0 - \infty$);

- з обмеженим часом очікування ($T_x = 0 - \tau$).

Системи з необмеженим очікуванням початку технічного обслуговування є найбільш реальним. Це обумовлено тим, що в умовах України перегони (нульові пробіги) до постів обслуговування досить великі. Існує дефіцит запчастин і матеріалів, відсутній оперативний зв'язок між регіональними СТОА, не розвинені фірмові системи сервісу і т.п. Тому клієнт змушений чекати початку обслуговування іноді і поза зоною очікування.

2) за кількістю вимог на добу (Nc):

- з обмеженим вхідним потоком, або замкнуті ($N_c = 0....k$);

- з необмеженим потоком, або відкриті ($N_c = 0....\infty$).

Число вимог на СТОА не може бути заздалегідь обмеженим, системи є відкритими (розімкненими).

3) за кількістю каналів (обслуговуючих апаратів):

- з обмеженим числом обслуговуючих апаратів ($x = 0....n$);

- з необмеженим числом обслуговуючих апаратів ($x = 0....\infty$).

4) за кількістю фаз (r):

- однофазні (r=1);

- багатофазні (r>1).

Багатофазні СМО використовуються при потоковому вигляді обслуговування (наприклад, діагностика - ТО).

5) за рівнем організації:

- упорядковані (ентропія Е=1);

- невпорядковані (Е > 1).

Порядок обслуговування встановлюється в результаті аналізу СМО.

При подальшому розгляді питань функціонування СМО ми зупинимося на двох основних видах: СМО з відмовами; СМО з очікуванням обслуговування.

У системах з відмовами обслуговуються тільки ті вимоги, які надходять в момент часу, коли хоча б один з каналів обслуговування був вільний. Якщо всі канали зайняті, то заявка покидає СМО без обслуговування.

У СМО з очікуванням заявка, що надійшла в момент, коли всі канали зайняті, чекає звільнення каналу обслуговування, тобто стає в чергу.

Розрізняють одноканальні і багатоканальні СМО з очікуванням, при цьому на довжину черги можуть бути накладені обмеження, що визначають максимальну довжину черги.

Всі показники (характеристики) функціонування СМО можна розділити на чотири групи: імовірнісні; кількісні; часові; якісні [14].

Імовірнісні показники. Будемо говорити, що вимога знаходиться в СМО, якщо вона очікує обслуговування або знаходиться на обслуговуванні. Позначимо J кількість вимог, що знаходяться в СМО. Так як з плином часу ця кількість змінюється, то J є випадковою величиною. Припустимо, що вироблена дуже велика кількість спостережень над СМО, в результаті яких встановлено частку випадків, коли в системі спостерігалося рівно J вимог. Ця величина називається ймовірністю p_j того, що в СМО спостерігається J вимог.

Всі ймовірності станів повинні задовольняти умови нормування, згідно з яким сума всіх ймовірностей повинна дорівнювати одиниці, тобто

$$\sum_{j-\Diamond}^{m+s} p_j = 1 \tag{2.20}$$

Вимога отримує відмову в тому і тільки в тому випадку, коли в момент свого вступу до СМО застає зайнятими як всі канали, так і всі місця накопичення. Якщо в системі є n апаратів і m місць накопичувача, то ймовірність даної події дорівнює:

$$P_{отк} = P_{m+n}\,, \tag{2.21}$$

Ця ймовірність називається ймовірністю відмови.

Імовірність знаходження в СМО не більше *і* вимог:

$$P_{\langle i} = \sum_{j-\lozenge}^{i} p_j \tag{2.22}$$

Імовірність відсутності черги:

$$P_{від\,ч} P_{\langle n} = \sum_{j-\lozenge}^{n} p_j \tag{2.23}$$

Ймовірність того, що вимозі не доведеться чекати початку обслуговування:

$$P_{(An<n)} = 1 - P_{(An-n)} = P_{відч} - P_n \tag{2.24}$$

Імовірність наявності черги:

$$P_{н\,оч} = \sum_{j-m+1}^{m+m} p_j \tag{2.25}$$

Ймовірність того, що всі обслуговуючі апарати зайняті:

$$P_{(Am+n)} = \sum p_j = P_{н\,оч} + P_n \tag{2.26}$$

Ймовірність обслуговування

$$P_{обсл} = 1 - P_{отк} \tag{2.27}$$

Кількісні показники.

Середня кількість вільних обслуговуючих апаратів:

$$A_c = \sum_{i-\lozenge}^{n} (n-i)\, p_i \tag{2.28}$$

Середня кількість вимог, зайнятих обслуговуючими апаратами:

$$A_M = \sum_{i-\lozenge}^{n} i p_i + n \sum_{i-n+1}^{m+n} p_i = n - A_c \tag{2.29}$$

Середня кількість вимог у накопичувачі:

$$A_H = \sum_{i-z+1}^{m+n} (i-n)\, p_i \tag{2.30}$$

Середня кількість вимог в обслуговуючій системі:

$$A = \sum_{i-\lozenge}^{m+n} i p_i = A_H + A_M \tag{2.31}$$

Середня кількість вимог, які отримують відмову за одиницю часу:

$$A_{отк} = \lambda P_{отк} \tag{2.32}$$

Часові показники. Важливим показником є середній час очікування початку обслуговування $T_{оч}$. Сума середнього часу очікування $T_{оч}$ і обслуговування $T_{обсл}$ дорівнює середньому часу перебування вимоги в системі:

$$T_{сист} = T_{оч} + T_{обсл} \tag{2.33}$$

Встановимо корисний зв'язок між середнім числом вимог, що знаходиться в системі, і середнім часом перебування вимоги в системі. Так як за одиницю часу в систему надходить λ вимог, а середня тривалість перебування однієї вимоги в системі є $T_{сист}$, то сумарна тривалість знаходження всіх вимог у системі за одиницю часу дорівнює ($\lambda T_{сист}$). Але так як в системі знаходиться в середньому А вимог, то ця величина дорівнює добутку одиниці часу на А, тобто

$$A = \lambda T_{сист} \tag{2.34}$$

Аналогічно можна вивести формулу:

$$A_H = \lambda T_{оч} \tag{2.35}$$

Якісні показники. Наведені показники характеризують ступінь використання обслуговуючих апаратів і витрати часу на перебування вимог у системі (у черзі і на обслуговування). Зазвичай буває необхідним узгодити ці величини, щоб знайти економічно оптимальне рішення. У зв'язку з цим припустимо, що за одиницю часу перебування вимоги в системі обслуговування мають місце збитки, які дорівнюють С. Крім того, експлуатація одного апарату призводить за одиницю часу до витрат, які дорівнюють К. Відзначимо, що у величину К зазвичай входять як експлуатаційні витрати, так і питомі капітальні витрати на один апарат, пов'язані з його придбанням, і припадають на одиницю часу. Нехай далі відмова в обслуговуванні однієї вимоги тягне збиток, що дорівнює C_0.

Тоді наведені середні витрати, пов'язані з експлуатацією n апаратів, надходженням в систему в одиницю часу λ вимог і збитками від відмов вимогам, в одиницю часу в середньому становлять:

$$E = C_{\Diamond} \lambda P_{отк} + C T_{сист} \lambda + Kn \tag{2.36}$$

У цьому виразі $T_{сист}$ (середній час перебування однієї вимоги в системі), а разом з ним і доданок ($CT_{сист}\lambda$) зменшуються із зростанням кількості обслуговуючих апаратів n. На противагу цьому доданок Kn із зростанням кількості апаратів збільшується. Отже, завдання полягає у виборі такого значення n, при якому критерій (E) буде мінімальний. Такий вибір n забезпечує мінімізацію наведених витрат, пов'язаних з придбанням та експлуатацією апаратів і непродуктивним перебуванням вимог у системі обслуговування.

Відзначимо також, що за рахунок додаткових витрат часто є можливість зменшити середню тривалість обслуговування однієї вимоги $T_{обсл}$. При цьому буде зменшуватися і величина $T_{сист}$ - середній час перебування вимоги в системі. У цьому випадку для знаходження оптимального рішення в критерій E слід ввести також зазначені додаткові витрати.

Наступним показником якості функціонування СМО є:

коефіцієнт завантаження поста:

$$K_з = \lambda\mu / n \tag{2.37}$$

- коефіцієнт використання апаратів:

$$K_{вик} = A_M / n \tag{2.38}$$

2.3.2 Характеристики систем масового обслуговування

1. Системи масового обслуговування з відмовами [14].

Нехай маємо n-канальну СМО з відмовами, в яку надходить потік вимог (автомобілів) на обслуговування з інтенсивністю λ, інтенсивність обслуговування одного каналу дорівнює μ. Визначимо показники ефективності роботи такої системи, для чого побудуємо розмічений граф станів системи (рис. 2.27), де стани системи пронумеровані за кількістю зайнятих каналів, тобто

S_0 - всі канали вільні;

S_1 - зайнятий один канал, решта вільні;

S_2 - зайняті два канали, решта вільні;

…………………………………….....

S_n - зайняті всі n каналів.

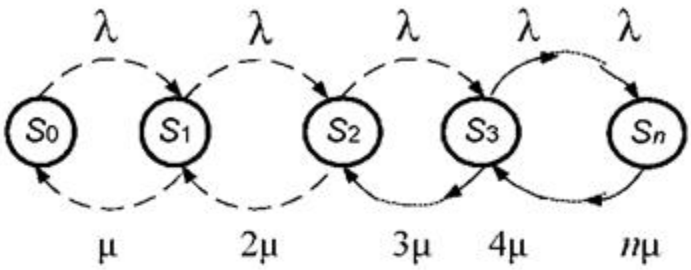


Рисунок 2.27 – Розмічений граф станів

За стрілкою зліва направо система переводить потік заявок з інтенсивністю λ. За стрілками справа наліво система переводить потік обслуговувань з інтенсивністю $k\mu$, де k - число зайнятих каналів.

Для обчислень граничних ймовірностей станів системи (P_i) запишемо систему лінійних рівнянь. За рис. 2.27 будемо мати вирази для (P_i) (таблиця 2.2).

Рекурентний вираз для визначення ймовірності стану є:

$$P_k / P_{k-1} = \frac{\alpha}{k} \tag{2.39}$$

де $\alpha = \dfrac{\lambda}{\mu}$.

Запишемо нормувальну умову:

$$P_{\Diamond} + P_1 + P_2 + \ldots.. + P_n = 1 \tag{2.40}$$

Розв’язавши рівняння (2.40) спільно з системою рівнянь табл. 2.2, отримаємо:

$$P_{\Diamond}\,\frac{1}{1+\frac{\alpha}{1!}+\frac{\alpha^{2}}{2!}+\frac{\alpha^{3}}{3!}+.....+\frac{\alpha^{n}}{n!}}\,.$$

Решту ймовірностей станів знайдемо з виразів табл. 2.2 [16].

Таблиця 2.2 - Ймовірності станів системи (P*i*)

k	Рівняння	Ймовірність стану системи
1	$\lambda P_{\Diamond} = \mu P_1$	$P_1 = \frac{\alpha}{1!} P_{\Diamond}$
2	$\lambda P_1 = 2\mu P_2$	$P_2 = \frac{\alpha}{2} P_1 = \frac{\alpha^2}{2!} P_{\Diamond}$
3	$\lambda P_2 = 3\mu P_3$	$P_3 = \frac{\alpha}{3} P_2 = \frac{\alpha^3}{3!} P_{\Diamond}$
4	$\lambda P_3 = 4\mu P_4$	$P_4 = \frac{\alpha}{4} P_3 = \frac{\alpha^4}{4!} P_{\Diamond}$
….	…………………	…………………
k	$\lambda P_{k-1} = k\mu P_k$	$P_k = \frac{\alpha}{k} P_{k-1} = \frac{\alpha^k}{k!} P_{\Diamond}$
….	…………………	…………………
n	$\lambda P_{n-1} = n\mu P_n$	$P_n = \frac{\alpha}{n} P_{n-1} = \frac{\alpha^n}{n!} P_{\Diamond}$

Знаючи граничні ймовірності станів $P_{\Diamond}, P_1, P_2, ..., P_n$, обчислимо характеристики роботи СМО.

Імовірнісні характеристики [14]:

- ймовірність того, що всі канали зайняті і наявна відмова в обслуговуванні:

$$P_{отк} = P_n \; ; \tag{2.41}$$

- відносна пропускна здатність:

$$q = 1 - P_n \quad . \tag{2.42}$$

Кількісні характеристики:

- середня кількість зайнятих постів:

$$M_n == 0P_\Diamond + 1P_1 + 2P_2 + ... + nP_n = \alpha(1 - P_{отк}); \tag{2.43}$$

- середня кількість каналів, вільних від обслуговування:

$$N_\Diamond = n - M_n \quad ; \tag{2.44}$$

- абсолютна пропускна здатність:

$$A = \lambda(1 - P_n) \quad . \tag{2.45}$$

Часові характеристики:

- середній час обслуговування:

$$t_{обсл} = \frac{1}{\mu} \quad . \tag{2.46}$$

Якісні характеристики:

- коефіцієнт зайнятості каналів:

$$K_\iota = M_n / n \quad ; \tag{2.47}$$

- коефіцієнт простою каналів:

$$K_{\text{пр}} = 1 - K_{\iota}\,. \tag{2.48}$$

2. Системи масового обслуговування з очікуванням [14].

1. Одноканальна СМО з очікуванням.

Нехай СМО має один канал, на який надходить потік заявок з інтенсивністю λ. Інтенсивність обслуговування каналу дорівнює μ. Заявка, що надійшла в момент, коли канал зайнятий, стає в чергу і чекає обслуговування. Припустимо, що число місць у черзі дорівнює m, тобто, якщо заявка, що надійшла в момент, коли в черзі стоїть m заявок, покидає СМО без обслуговування.

Будемо нумерувати стани СМО за кількістю заявок, що знаходяться в системі (як обслуговуються, так і очікують обслуговування):

S_0 - канал вільний;

S_1 - канал зайнятий, черги немає;

S_2 - канал зайнятий, одна заявка в черзі;

……………………………………………….

S_n - канал зайнятий, заявок в черзі.

Складемо розмічений граф станів системи (рис. 2.28).

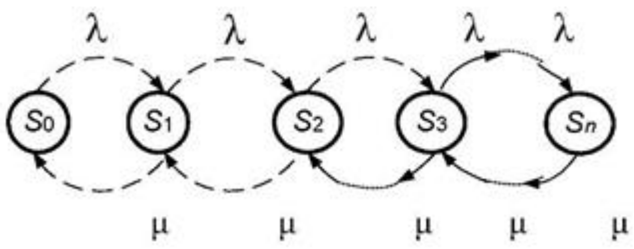


Рисунок 2.28 – Розмічений граф станів системи

Система диференціальних рівнянь Колмогорова для цього процесу має вигляд [14]:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda_0 P_0(t) + \mu P_1(t);\\
&\frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda+\mu)P_1(t) + \lambda P_0(t) + \mu P_2(t);\\
&\frac{dP_2(t)}{dt} = -(\lambda+\mu)P_2(t) + \lambda P_1(t) + \mu P_3(t);\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
&\frac{dP_{m+1}(t)}{dt} = -\mu P_{m+1}(t) + \lambda P_m(t).
\end{aligned}\right\} \qquad (2.49)$$

Додамо до цієї системи початкові умови. Наприклад, якщо при t=0 система перебуває в стані S_0, то початкові умови набудуть вигляду:

$$P_{\Diamond}(0) = 1;\ P_1(0) = P_2(0) = ... = P_{m+1}(0) = 0\ . \qquad (2.50)$$

Проінтегрувавши систему (2.49) при прийнятих початкових умовах, отримаємо всі ймовірності стану як функції часу:

$$P_{\Diamond}(t); P_1(t); P_2(t); ...; P_{m+1}(t)\ , \qquad (2.51)$$

які в будь-який момент часу t задовольняють умову

$$\sum_{i-\Diamond}^{m+1} P_i(t) = 1. \qquad (4.52)$$

Якщо в системі диференціальних рівнянь (2.49) покласти всі похідні рівними нулю (при цьому залежність від часу пропадає), то вона перетворюється на систему звичайних лінійних алгебраїчних рівнянь, яка спільно з нормованою умовою (2.52) дає можливість обчислити всі граничні ймовірності станів.

При $\dfrac{dP_i}{dt} = 0$ маємо

$$\left.\begin{aligned} &\lambda P_0 = \mu P_1; \\ &\lambda P_1 + \mu P_1 = \lambda P_0 + \mu P_2; \\ &\lambda P_2 + \mu P_2 = \lambda P_1 + \mu P_3; \\ &\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ &\mu P_{m+1} = \lambda P_m. \end{aligned}\right\} \tag{2.53}$$

Після перетворень система (2.53) перепишеться у вигляді рівнянь (табл. 2.3 [14]).

Таблиця 2.3 – Формули для визначення ймовірності станів

1	$P_1 = \alpha P_0$
2	$P_2 = \alpha P_1 = \alpha^2 P_0$
3	$P_3 = \alpha P_2 = \alpha^3 P_0$
…	
m+1	$P_{m+1} = \alpha P_m = \alpha^{m+1} P_0$

Остаточний вираз для P_0 має вигляд:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \alpha + \alpha^2 + \dots + \alpha^{m+1}} \ . \tag{2.54}$$

Решта ймовірностей станів можна знайти за формулами в табл.2.3.

Багатоканальна СМО з очікуваннями [14].

Нехай маємо n-канальну СМО з очікуванням, на яку надходить потік заявок з інтенсивністю λ, інтенсивність обслуговування одного каналу дорівнює μ, кількість місць у черзі обмежена заданим числом m. Обчислити основні характеристики СМО.

Стан системи будемо нумерувати за кількістю заявок, пов'язаних з системою:

S_0 - всі канали вільні;

S_1 - зайнятий тільки один канал;

S_2 - зайняті тільки два канали;

………………………………….

S_n - зайняті всі n каналів.

Коли СМО знаходиться в будь-якому з цих станів, черги ще немає. Після того, як будуть зайняті всі канали обслуговування, а заявки продовжуватимуть надходити, утворюється черга. Тоді стани системи будуть:

S_{n+1} - зайняті всі n каналів і одна заявка в черзі;

S_{n+2} - зайняті всі n каналів і дві заявки в черзі;

…………………………………………………..

S_{n+m} - зайняті всі n каналів і всі m місць у черзі.

Граф станів системи подано на рис. 2.29.

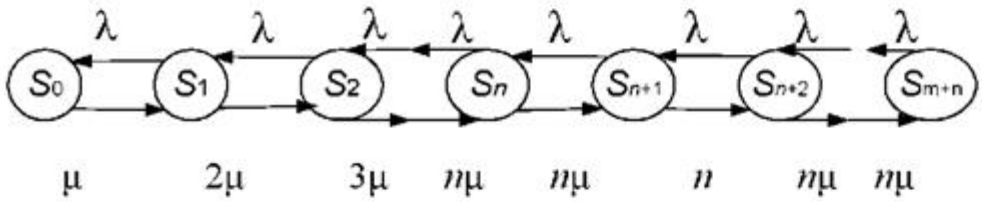


Рисунок 2.29 – Розмічений граф станів системи

Дійсно, перехід системи в стан з більшими номерами (зліва направо) викликається тільки потоком заявок з інтенсивністю λ. По стрілках справа наліво система переводить потік обслуговування, інтенсивність якого дорівнює n μ. Дійсно, повна інтенсивність потоку обслуговування зростає з підключенням нових каналів аж до такого стану S_μ, коли всі n канали будуть зайнятими. З появою черги інтенсивність обслуговування більше не збільшується, оскільки вона вже досягла максимуму, який дорівнює $n\mu$.

Не повторюючи відповідних міркувань, запишемо відразу в остаточному вигляді основні формули, що відображають роботу СМО з очікуванням (таблиці 2.4, 2.5 [14]), ввівши для спрощення запису позначення: $\lambda / \mu = \alpha$ - приведена інтенсивність; $\alpha / n = \beta$ - навантаження.

Таблиця 2.4 – Імовірності станів до виникнення черги

k	Рівняння	Ймовірність стану системи
1	$\lambda P_{\Diamond} = \mu P_1$	$P_1 = \frac{\alpha}{1!} P_{\Diamond}$
2	$\lambda P_1 = 2\mu P_2$	$P_2 = \frac{\alpha}{2} P_1 = \frac{\alpha^2}{2!} P_{\Diamond}$
3	$\lambda P_2 = 3\mu P_3$	$P_3 = \frac{\alpha}{3} P_2 = \frac{\alpha^3}{3!} P_{\Diamond}$
4	$\lambda P_3 = 4\mu P_4$	$P_4 = \frac{\alpha}{4} P_3 = \frac{\alpha^4}{4!} P_{\Diamond}$
….	…………………	…………………
k	$\lambda P_{k-1} = k\mu P_k$	$P_k = \frac{\alpha}{k} P_{k-1} = \frac{\alpha^k}{n!} P_{\Diamond}$
….	…………………	…………………
n	$\lambda P_{n-1} = n\mu P_n$	$P_n = \frac{\alpha}{n} P_{n-1} = \frac{\alpha^n}{n!} P\Diamond$

Обчислимо основні характеристики СМО, для чого запишемо нормувальну умову

$$P_{\Diamond} + P_1 + P_2 + \ldots.. + P_{n+m} = 1 \tag{2.55}$$

і підставимо в (2.55) значення ймовірностей Pi (виражені через ймовірність P_0), тоді ймовірність того, що всі канали вільні визначається виразом:

$$P_{\Diamond}=\frac{1}{\sum_{k-0}^{n}\frac{\alpha^{k}}{k!}+\frac{\alpha^{n}}{n!}\sum_{k-1}^{m}\beta} \qquad (2.56)$$

Інші ймовірності станів визначаються за даними табл. 2.4.

Таблиця 2.5 – Імовірності станів після виникнення черги

k	Рівняння	Ймовірність стану системи
1	$\lambda P_n = n\mu P_{n+1}$	$P_{n+1}=\beta P_n=\beta^1 P_n=\beta\frac{\alpha^n}{n!}P_{\Diamond}$
2	$\lambda P_{n+1} = n\mu P_{n+2}$	$P_{n+2}=\beta P_{n+1}=\beta^2 P_n=\beta^2\frac{\alpha^n}{n!}P_{\Diamond}$
3	$\lambda P_{n+2} = n\mu P_{n+3}$	$P_{n+3}=\beta P_{n+2}=\beta^3 P_n=\beta^3\frac{\alpha^n}{n!}P_{\Diamond}$
4	$\lambda P_{n+3} = n\mu P_{n+4}$	$P_{n+4}=\beta P_{n+4}=\beta^4 P_n=\beta^4\frac{\alpha^n}{n!}P_{\Diamond}$
….	…………………	…………………
l	$\lambda P_{n+l-1} = n\mu P_{n+1}$	$P_{n+l}=\beta P_{n+l-11}=\beta^l P_n=\beta^l\frac{\alpha^n}{n!}P_{\Diamond}$
….	…………………	…………………
m	$\lambda P_{n+m-1} = n\mu P_{n+m}$	$P_{n+m}=\beta^m P_n=\beta^m\frac{\alpha^n}{n!}P_{\Diamond}$

Ймовірність того, що всі канали і місця очікування зайняті і заявка отримує відмову в обслуговуванні:

$$P_{отк}=P_{n+m}-\beta^m\frac{\alpha^n}{n!}P_{\Diamond} \quad . \qquad (2.57)$$

Відносна пропускна здатність:

$$q=1-P_{отк} \quad . \qquad (2.58)$$

Середня кількість каналів, зайнятих обслуговуванням:

$$M_s = \sum_{k-1}^{m} kP_k + n\sum_{k-1}^{m} P_{n+k} = aq \quad . \tag{2.59}$$

Середня кількість каналів, вільних від обслуговування:

$$N_{\Diamond} = \sum_{k-1}^{n} (k-n)P_k = n - M_s \quad . \tag{2.60}$$

Середня кількість заявок у накопичувачі:

$$A_H = \sum_{k-1}^{n+m} (k-n)P_k \ . \tag{2.61}$$

Абсолютна пропускна здатність:

$$A = \lambda q \quad . \tag{2.62}$$

Середній час очікування обслуговування заявки в черзі:

$$\bar{t}_{\Diamond} = \frac{A_H}{\lambda} \ . \tag{2.63}$$

Середній час перебування заявки в системі:

$$\bar{t}_l = \bar{t}_{\Diamond} + \frac{1}{\mu} . \tag{2.64}$$

Коефіцієнт зайнятості каналів:

$$K_l = M_n / n. \tag{2.65}$$

Коефіцієнт простою каналів:

$$K_{np} = 1 - K_l. \tag{2.66}$$

2.4. Статистичне імітаційне моделювання

Основною перевагою імітаційних моделей (simulation model) в порівнянні з аналітичними є можливість вирішувати завдання виняткової складності з урахуванням випадкових чинників.

Метод імітаційного моделювання вдається успішно реалізувати за допомогою ЕОМ. Проте використання ЕОМ для цілей імітаційного моделювання вимагає вміння розробки моделюючого алгоритму, який повинен відтворити формальний процес складної системи. Моделюючий алгоритм дозволяє за вихідними даними отримати відомості про стани виробничого процесу в довільний момент часу [17].

Розробка моделюючого алгоритму неможлива без глибокого знання об'єкта, який моделюється, і його функціонування, причому, в процесі розробки відбувається поглиблення та уточнення розуміння об'єкта. Тому процес розробки моделі має і самостійне значення, оскільки дозволяє виявити недоліки, розкрити резерви, відкрити нові можливості об'єкта ще до моделювання і дати важливі практичні рекомендації щодо вдосконалення об'єкта і підвищення ефективності його функціонування.

Однією з переваг моделювання виробничих процесів є можливість розгляду змінних факторів у всьому діапазоні їх значень.

Імітаційне моделювання, при якому відтворюються випадкові явища, називається статистичним імітаційним моделюванням. Статистичне імітаційне моделювання базується на чисельному статистичному методі розв’язання математичних задач, який називається методом Монте-Карло.

2.4.1 Загальні підходи до статистичного імітаційного моделювання

Метод статистичного моделювання зазвичай включає наступні етапи [18]:

Етап 1. Спочатку дається опис функціонування системи, тобто опис завдань, що стоять перед системою, уточнюються вихідні (відправні) положення; розглядаються обмеження; виділяються підпроцеси; визначаються характеристики, які потрібно отримати на виході, і вибирається цільова функція або критерій, за допомогою якого буде проводитися оцінка ефективності функціонування системи.

Етап 2. Проводиться збір та обробка інформації, яка характеризує роботу підпроцесів системи і всього процесу в цілому.

Етап 3. Виконується формалізація роботи системи, тобто виділяються головні фактори і виключаються другорядні, якими можна знехтувати. На основі цього складається відповідна математична модель процесу адекватна системі.

Етап 4. Складається алгоритм прийнятої математичної моделі у вигляді операторної блок-схеми.

Етап 5. Складається програма для багаторазового відтворення на ЕОМ процесу при кількості реалізацій, що забезпечують задану точність.

Етап 6. Виконується моделювання роботи системи на ЕОМ і видача на друк основних результатів моделювання. Зазвичай при цьому отримують:

а) точкові оцінки, тобто математичне сподівання, дисперсію для кожного з підпроцесів і для всього процесу в цілому;

б) інтервальні оцінки, тобто довірчі інтервали та довірчі інтервали розкиду середнього результату для кожного з підпроцесів і всього процесу в цілому;

в) будуються криві рівнянь регресії, що характеризують залежність досліджуваних параметрів від різних аргументів.

Крім перерахованого, можуть обчислюватися спеціальні характеристики, властиві розглянутому явищу. Все це дозволяє прогнозувати перебіг процесу і, введенням відповідних поправок, оптимізувати його перебіг.

Якщо випадковий процес, що протікає в системі, відбувається під дією довільного потоку подій, то його математичну модель побудувати важко. У цьому випадку можна використовувати метод статистичного моделювання (метод Монте-Карло), який заснований на законі великих чисел.

У загальному вигляді закон великих чисел (теорема Чебишева П.Л.) записується так [16]:

$$\lim P\left(\left|\frac{\sum x_i}{N} - M(x)\right| < \varepsilon\right) \to 1, \tag{2.67}$$

де P - ймовірність складної події;

$M(x) = \overline{X}$ – математичне сподівання випадкової величини;

$M(x) = \dfrac{\sum x_i}{N}$ – середнє арифметичне спостережуваних значень;

N – число випробувань (число реалізацій);

ε – як завгодно мале додатне число.

Теорема Чебишева формулюється так:

При великій кількості випробувань середнє арифметичне спостережуваних значень випадкової величини збігається за ймовірністю до її математичного сподівання.

При переході до відносних (без розмірності) параметрів, маємо частковий випадок закону великих чисел (теорема Я. Бернуллі), який аналітично записується так [16]:

$$\lim P\left(\left|\frac{m_i^*}{N}-P\right|<\varepsilon\right)\to 1, \qquad (2.68)$$

де m_i^* – число появи події (частота);

$P_i^{\bullet}=\dfrac{m_i^*}{N}$ – статистична ймовірність події, частота події;

P – ймовірність події.

Теорема Я. Бернуллі формулюється так:

При великій кількості випробувань частота події збігається за ймовірністю до ймовірності події.

Графічно закон великих чисел (і його частковий випадок) подано на рис. 2.30 [16].

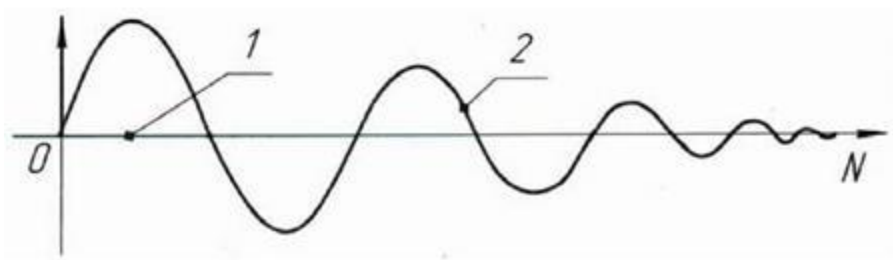


Рисунок 2.30 – Графічна ілюстрація закону великих чисел:
1 - математичне сподівання випадкової величини *M(x)* (ймовірність події *P*), 2 – середнє арифметичне значень спостережень $M^*(x)$ (частота події $P_i^{\bullet}$)

З рис. 2.30 випливає, що при збільшенні кількості випробувань середнє арифметичне значень спостережень випадкової величини $M^*(x)$ і частота події $P_i^{\bullet}$ асимптотично і необмежено наближається до математичного сподівання $M(x)$ і ймовірності події *P*.

Це означає, що якщо здійснити велику кількість випробувань, то одержувані статистичні характеристики (середні значення) можуть розглядатися як істинні. Зазначене положення і становить математичну основу методу статистичного моделювання, тобто методу Монте-Карло.

Отже, ідея методу Монте-Карло проста і полягає в наступному: здійснюється «розіграш» процесу (явища) за допомогою спеціально організованої процедури, який дає випадковий результат. Кожен «розіграш» дає нову, відмінну від інших, реалізацію досліджуваного процесу. Якщо таких реалізацій проведено багато, то цю множину реалізацій можна використовувати як статистичний матеріал, обробивши який методами математичної статистики, отримуємо характеристики, які нас цікавлять: ймовірності станів, математичне сподівання і т.д.

2.4.2 Моделювання випадкових чисел

Генерування випадкових чисел.

При моделюванні технологічних процесів підприємств автомобільного транспорту найбільш застосовною є рівномірно розподілена випадкова послідовність чисел на інтервалі від 0 до 1 [19, 20].

Для отримання (генерування) рівномірно розподілених випадкових чисел існує кілька методів:

а) якщо моделювання здійснюється вручну (без допомоги ЕОМ), то для отримання випадкових чисел від 0 до 1 використовують таблиці випадкових чисел, складені за допомогою будь-якого генератора випадкових чисел, наприклад, рулетки, апарату жеребкування і т. д.;

б) якщо розрахунок ведеться з використанням ЕОМ, то вона сама видає випадкові числа за допомогою генератора випадкових чисел;

в) метод використання спеціальних програм.

Блок-схема алгоритму однієї зі спеціальних програм для обчислення випадкових чисел, рівномірно розподілених в інтервалі (0, 1) подана на рис. 2.31 [21].

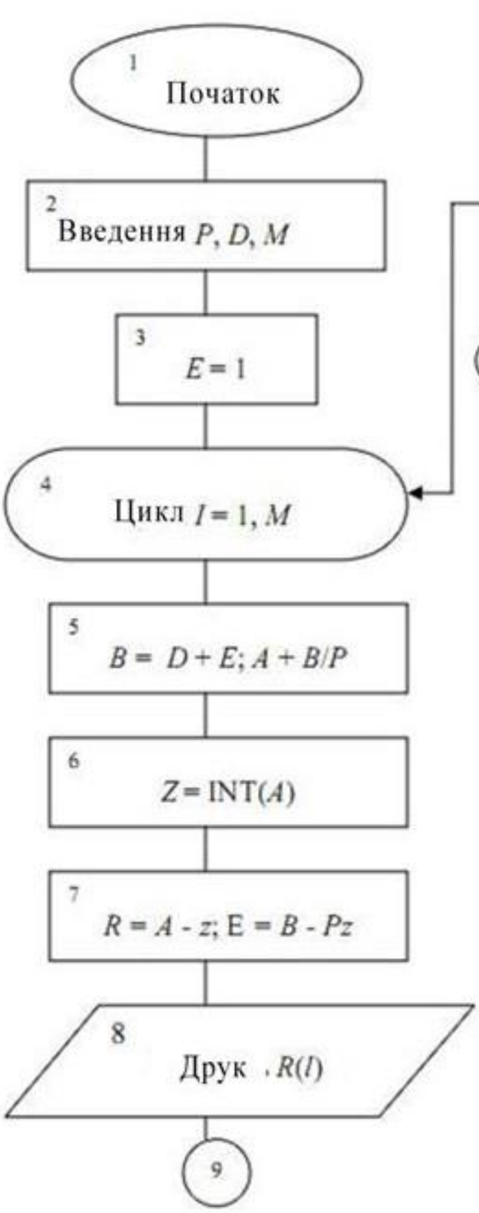


Рисунок 2.31 – Блок–схема алгоритму моделювання рівномірно розподілених випадкових чисел в інтервалі (0, 1)

Алгоритм програми для обчислення випадкових чисел, рівномірно розподілених в інтервалі (0, 1), має такий зміст:

1) вибирається довільна пара дійсних чисел P і D;

2) задається число E = I;

3) обчислюються допоміжні числа: B = D + E і A = B / P;

4) приймається за випадкове число R, дробова частина числа A;

5) обчислюється випадковий множник E = B - PZ, де Z - ціла частина числа A;

6) процес повторюється, починаючи з 3-го пункту;

7) в результаті виконання алгоритму маємо нескінченну послідовність чисел, яка розглядається як випадкова, рівномірно розподілена в інтервалі (0, 1).

До прикладу, при вихідних даних P = 5.9; D = 4.5; M = 8 у результаті роботи за програмою отримаємо рівномірно розподілені випадкові числа:

R (1) = 762712; R (2) = 432204; R (3) = 944916; R (4) = 252123;

R (5) = 134554; R (6) = 605492; R (7) = 724714; R (8) = 261211.

Моделювання дискретної випадкової величини.

Алгоритм моделювання дискретної випадкової величини (discrete random variable), заданої своїм рядом розподілу, містить наступні дії:

1) обчислюємо значення накопичених ймовірностей за формулою

$$F(x)_i = \sum_{i-1}^{i} P(x_i) \tag{2.69}$$

і будуємо відповідний графік *F(x)*;

2) встановлюємо значення випадкових чисел, рівномірно розподілених в інтервалі ($0 \le R_t \le 1$);

3) для кожного з чисел за графіком *F(x)* знаходимо значення X_t, що відповідають їм і є окремими реалізаціями випадкової величини *X*.

Якщо дискретна величина задана достатньо довгим рядом розподілу і якщо при цьому потрібно, щоб результат обчислень мало відрізнявся від істинного значення, то в цьому випадку від ручного моделювання переходять до машинного, тобто обчислення ведуть за допомогою ЕОМ.

Розглянемо порядок моделювання дискретної випадкової величини на прикладі.

Випадкова дискретна величина *X* задана своїм рядом розподілу (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Випадкова дискретна величина X

№ з/п	Параметри	Позначення	Значення		
1	Часткові значення випадкової величини	X_i	3	5	7
2	Ймовірність того, що відповідають значенням випадкової величини	$P(x)_i$	0,26	0,40	0,34
3	Інтегральна функція	$P(x)_i$	0,26	0,66	1,00

Промоделюємо випадкову величину, що відповідає цьому закону розподілу.

За алгоритмом будуємо графік інтегральної функції дискретної випадкової величини (рис. 2.32). Для цього по осі абсцис відкладаємо часткові значення випадкової величини X_i, а по осі ординат - відповідні ймовірності $F(x)_i = \sum P(x)_i$.

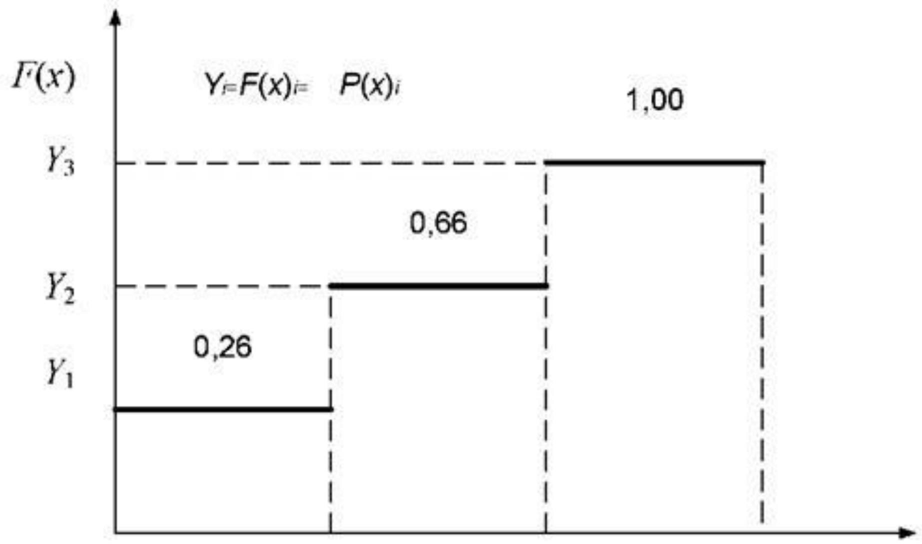


Рисунок 2.32 – Графік функції розподілу ймовірностей дискретної випадкової величини

При цьому ми розуміємо, що значенням $P(x)_i$ відповідають:

$Y_1=F(x)_1$ - від 0 до 0,26 включно відповідає $X_1=3$;

$Y_2=F(x)_2$ - від 0,26 до 0,66 відповідає $X_2=5$;

$Y_3 = F(x)_3$ - від 0,66 до 1,00 відповідає $X_3=7$.

Скористаємося випадковими рівномірно розподіленими числами в інтервалі ($0 \le R_t \le 1$), запишемо їх в перший рядок табл. 2.7. Кожному із зазначених чисел відповідає цілком певне значення X_i.

Таблиця 2.7 – Випадкові рівномірно розподілені числа R_i та відповідні їм значення X_i

R_i	0,10	0,09	0,73	0,25	0,33	0,76	0,52	0,01
X_i	3	3	7	3	5	7	5	3

Моделювання неперервної випадкової величини.

Якщо випадкова величина *T* неперервна (continuous random variable) і відома густина імовірності її розподілу *f(t)*, то моделювання значень *T* здійснюється за наступною процедурою:

а) перейти від густини імовірності *f(t)* до функції розподілу *f(t)* за формулою: $F(t) = \int_0^t f(t)dt$;

б) знайти для функції *F* обернену їй функцію F^{-1};

в) вибрати випадкове число R_i, від 0 до 1 і обчислити в ньому обернену функцію;

$$T_i = F^{-1}(R_i).$$

Випадкова величина *T* буде мати заданий розподіл.

Алгоритми моделювання випадкових величин, які розподілені за основними ймовірнісними законами, наведені в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Алгоритми моделювання випадкових величин [18]

Ймовірнісний закон	Густина ймовірності закону	Алгоритм
Показниковий закон	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$	$T_i = -\frac{1}{\lambda}\ln y_i$
Закон Релея	$f(t) = 2\lambda^2 t e^{-(\lambda t)^2}$	$T_i = \frac{1}{\lambda}\sqrt{-\ln y_i}$
Закон Вейбулла	$f(t) = n\lambda^n t^{(n-1)} e^{-(\lambda t)^n}$	$T_i = \frac{1}{\lambda}\sqrt[n]{-\ln y_i}$
Закон рівномірної густини	$F(x) = 1/(b-a)$	$X_i = (b-a)y_i + a$
Нормальний закон	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-x)^{-2}}{2\sigma^2}}$	$X_i = argQ(Y_i)\sigma(X) + X_{CP}$

1.4.3 Часткові випадки моделювання випадкових процесів

Розглянуті вище способи моделювання різних випадкових величин дозволяють застосовувати метод Монте-Карло для розв’язання різноманітних інженерних і економічних завдань. Так, наприклад, він може застосовуватися для визначення числових характеристик функціонування складних стохастичних процесів. Часто метод Монте-Карло застосовують для розв’язання задач теорії масового обслуговування, які не потрапляють під марківський випадковий процес.

При дослідженні характеристик функціонування систем масового обслуговування (СМО) методами статистичного моделювання часто доводиться досліджувати інтервали часу прибуття заявок на обслуговування і час обслуговування заявки, розподілених за тим або іншим імовірнісним законом [21]. Для реалізації цих процесів визначаються одним з відомих методів рівномірно розподілені випадкові числа $y_i = R_i$ в інтервалі від 0 до 1.

Далі визначаємо інтервали часу прибуття заявок на СМО з виразу

$$T_i^* = F^{-1}(R_i^*) \tag{2.70}$$

і час обслуговування *i*-ої заявки:

$$T_i^{**} = F^{-1}(R_i^{**})\,, \tag{2.70}$$

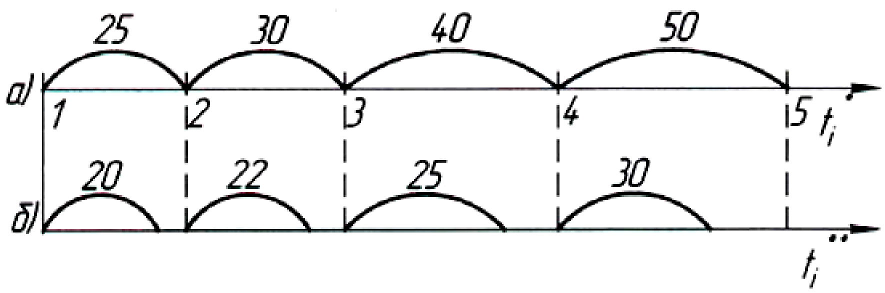
Припустимо, що СМО має два канали обслуговування та два місця в черзі. Для даної СМО, залежно від величин T_i^* і T_i^{**}, можемо мати чотири варіанти її функціонування.

1 варіант. Припустимо, що при моделюванні випадкових моментів надходження вимог на обслуговування і випадкового часу обслуговування заявок було отримано такі числа (у хвилинах):

$T^*_{i\text{заявок}}$= 0; 25, 30, 40, 50 і т.д.;

$T^{**}_{i\text{обсл}}$ = 20, 22, 25, 30 і т.д.

Отримані значення часу відкладемо на відповідних осях рис. 2.33.



а) – час надходження заявок; б) – час обслуговування заявок

Рисунок 2.33 – Схема роботи СМО

При цих умовах буде працювати тільки перший канал. Другий канал буде простоювати без роботи і заявок, які очікують у черзі, не буде.

2 варіант. Припустимо, що при моделюванні випадкових моментів надходження заявок і випадкового часу обслуговування були отримані наступні числа (у хвилинах):

$T^*_{i\text{заявок}}$ = 0; 20; 18; 15 і т.д.

$T_{i обсл}^{**}$ = 25; 30; 17 і т.д.

Отримані значення часу відкладемо на відповідних осях рис. 2.34.

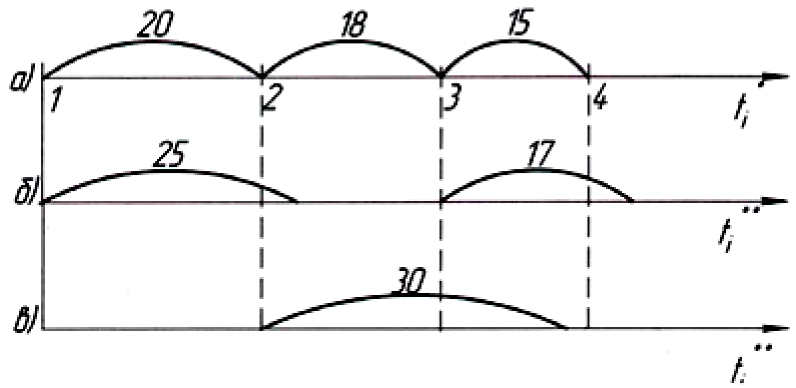
За цих умов, як видно з рис. 2.34, будуть працювати обидва канали. Заявок, що чекатимуть в черзі, не буде.

3 варіант. Припустимо, що при моделюванні випадкових моментів надходження заявок і часу обслуговування були отримані такі числа:

$T_{i заявок}^{*}$ = 0; 20; 50; 60 і т.д.

$T_{i обсл}^{**}$ = 3 години; 2 години; 1 годину 20 хв.; 1 годину 40 хв. і т.д.

Отримані числа відкладемо на відповідних осях рис. 2.35.



а) – час надходження заявок; б) – час обслуговування заявок першим каналом; в) – час обслуговування другим каналом

Рисунок 2.34 – Схема роботи СМО

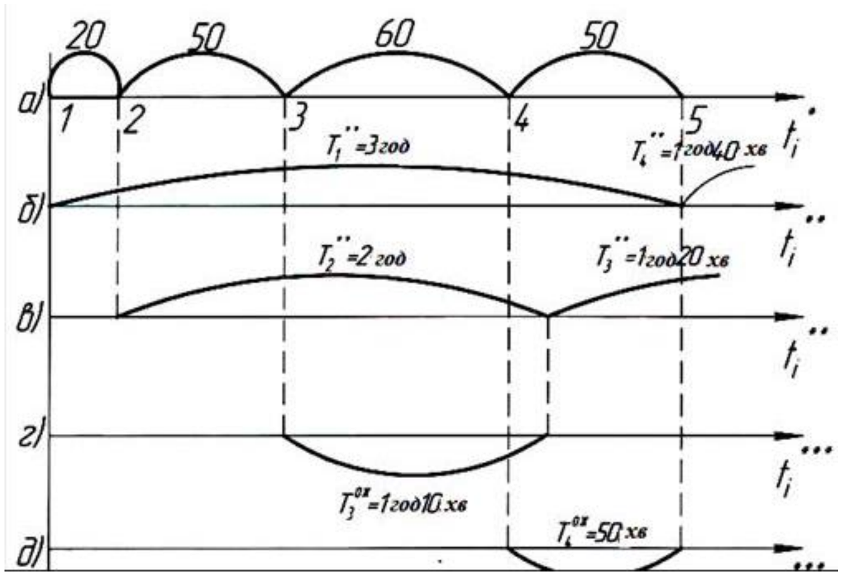
Для заданих умов працюватимуть обидва канали. Третя і четверта заявки будуть очікувати в черзі. Оскільки у СМО передбачено два місця в черзі, тому обидві заявки (третя і четверта) будуть обслужені.

4 варіант. Припустимо, що при моделюванні випадкових моментів надходження заявок і випадкового часу їх обслуговування було отримано такі числа:

$T_{i заявок}^{*}$ = 0; 20; 50; 40; 20; 20 і т.д.

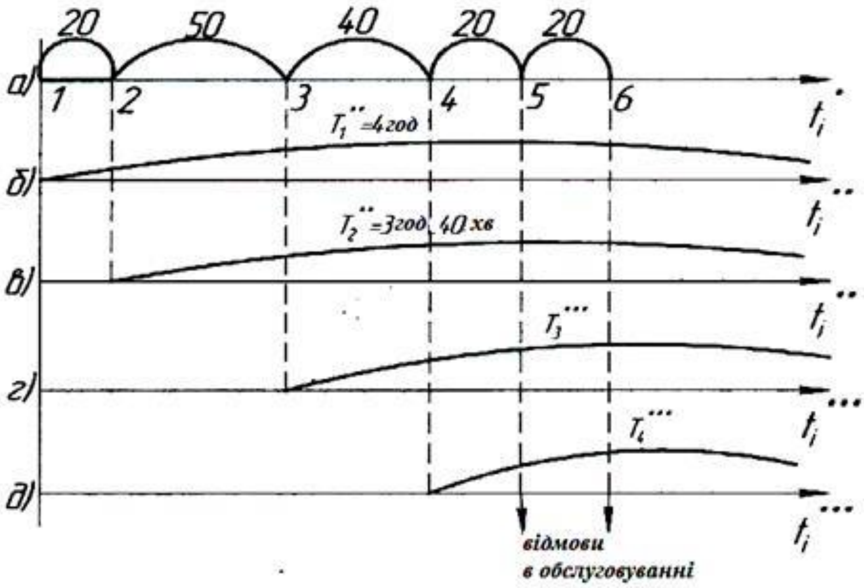
$T_{i обсл}^{**}$ = 4 години; 3 години 40 хв.; 4 години 5 хв.; 4 години 10 хв. і т.д.

Отримані числа відкладемо на відповідних осях рис. 2.36.



а) - час надходження заявки, б) - час обслуговуванні першої та четвертої заявок; в) - час обслуговування другої і третьої заявок; г) - час перебування в черзі третьої заявки; д) - час перебування в черзі четвертої заявки

Рисунок 2.35 – Схема роботи СМО



а) - час надходження заявки, б) - час обслуговувань першої заявки; в) - час обслуговування другої заявки; г) - час перебування в черзі третьої заявки; д) - час перебування в черзі четвертої заявки

Рисунок 2.36 – Схема роботи СМО:

З рис. 2.36 видно, що для заданих умов працюватимуть обидва канали. Третя і четверта заявки будуть стояти в черзі. Оскільки СМО передбачає лише два місця в черзі, то п'ята і шоста заявки отримують відмову в обслуговуванні і підуть необслуженими. Слід врахувати, що в СМО можуть бути накладені й інші умови на утворення черги.

3 МОДЕЛЮВАННЯ СТОХАСТИЧНИХ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ АВТОСЕРВІСУ ПРИ ЗАДАНИХ УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ РЕМОНТУ

3.1 Алгоритм розв'язання задач визначення числових характеристик систем масового обслуговування

Розглянемо порядок застосування методу статистичного моделювання для визначення числових характеристик функціонування станції технічного обслуговування автомобілів (СТОА).

Досліджується ефективність роботи СТОА, що має в своєму розпорядженні n постів. T_0 - час початку роботи станції, $T_{кінц}$ - час закінчення роботи. Станція працює за схемою з очікуванням прибулих машин в черзі з обмеженням за часом.

Статистичними спостереженнями встановлено, що автомобілі прибувають на станцію у випадкові моменти часу T_i^*, при цьому час між двома автомобілями розподілено за законом III (до прикладу, за законом Вейбулла з параметрами n, λ, L_0, або іншим відомим законом). Час, який витрачається на обслуговування автомобілів T_i^{**}, випадковий і розподілений за законом I (до прикладу, за законом Релея з параметром *ν*, або іншим відомим законом). Час перебування в черзі T_i^{***} випадковий і розподілений за законом II (до прикладу, за показниковим законом з параметром *ν*, або іншим відомим законом).

Вхідними даними для розв'язання задачі є: *λ, μ, ν,* які одержані на основі статистичної обробки експериментальних даних.

Для зазначених умов потрібно знайти числові характеристики функціонування системи:

- кількість обслуговуваних автомобілів;
- кількість автомобілів, які очікують у черзі;
- кількість автомобілів, які покидають чергу необслуженими.

З огляду на те, що потік вимог на обслуговування не є пуассоновським, а час обслуговування розподілений не за показниковим законом, задача не може бути розв’язана за допомогою основних положень теорії масового обслуговування. Застосуємо для її розв’язання метод статистичного моделювання. Цільовою функцією в розглядуваній задачі є продуктивність роботи станції за один робочий день, що є функцією багатьох випадкових аргументів:

$$W = \varphi(T_i^{*} T_i^{**} T_i^{***} T_0 T_{кінц}) . \qquad (3.1)$$

З огляду на те, що розглядувана задача є деяким процесом у часі, тому моделювання роботи станції будемо здійснювати за дискретною схемою з кроком дискретності, який дорівнює одному кроку (до прикладу, одному місяцю. Це означає, що інформація про перебіг процесу буде видаватися на перше число кожного поточного місяця). Розв’язання задачі покажемо у вигляді блок-схеми (рис. 3.1 [21]).

3.2 Дослідження характеристик функціонування станції технічного обслуговування автомобілів методом Монте-Карло

3.2.1 Змістовна модель. Постановка задачі моделювання

Розглянемо порядок застосування методу статистичного моделювання для визначення числових характеристик функціонування станції технічного обслуговування (СТОА) «ЛІДЛ» м. Хмельницького.

На початковому етапі моделювання були проаналізовані дані про господарську діяльність ТОВ «ЛІДЛ» по наданню ремонтних послуг: виконана кількісна оцінка процесу обслуговування клієнтів (інтенсивність прибуття автомобілів різних категорій на СТО в цілому й по видах робіт, кількість задіяних майстрів і т.п.), зібрані часові характеристики процесу обслуговування (режим роботи майстрів, час, витрати на виконання кожного виду робіт і ін.) і вивчені складові економічної ефективності роботи

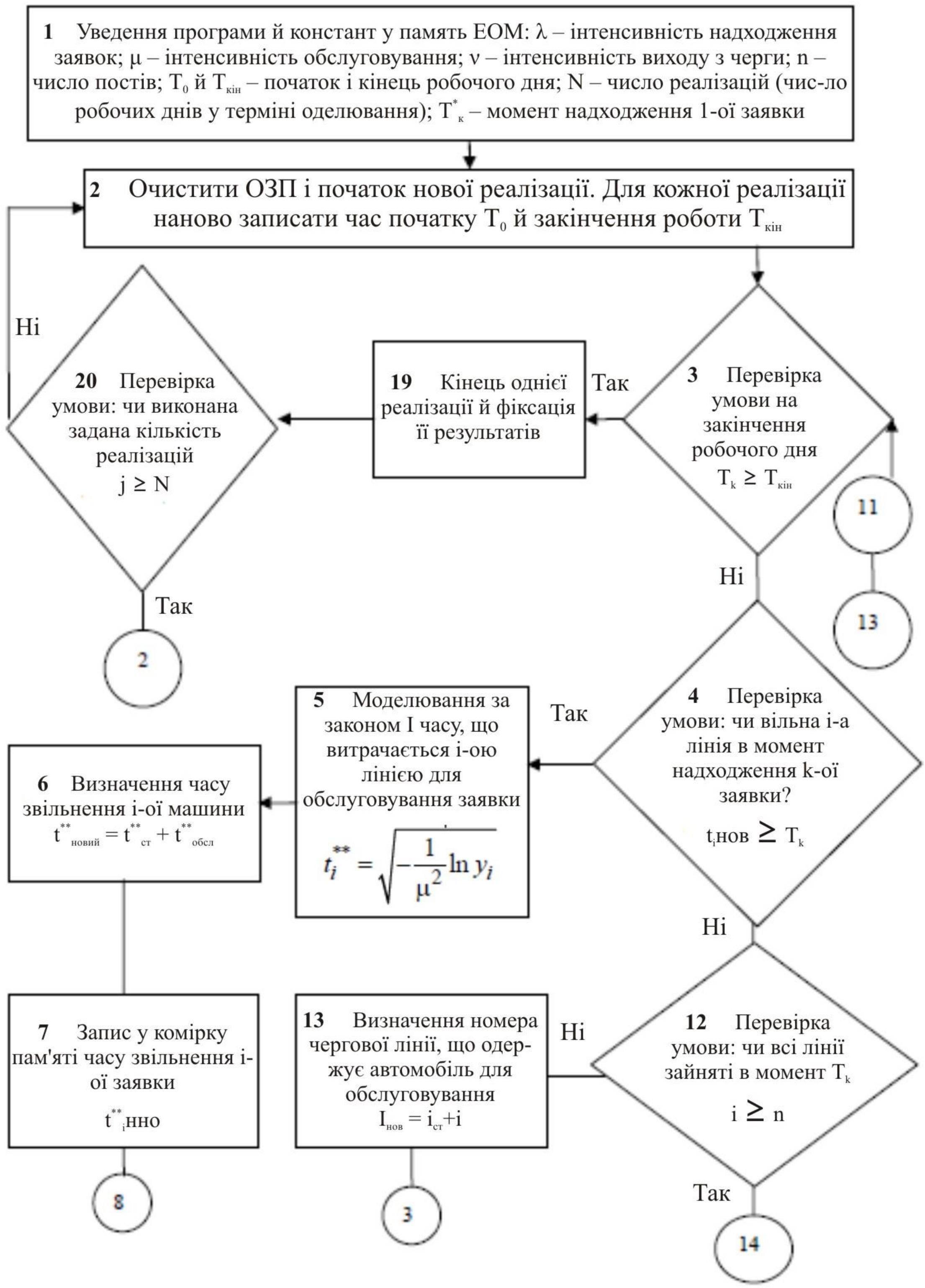


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму розв’язання задачі визначення числових характеристик функціонування СТОА

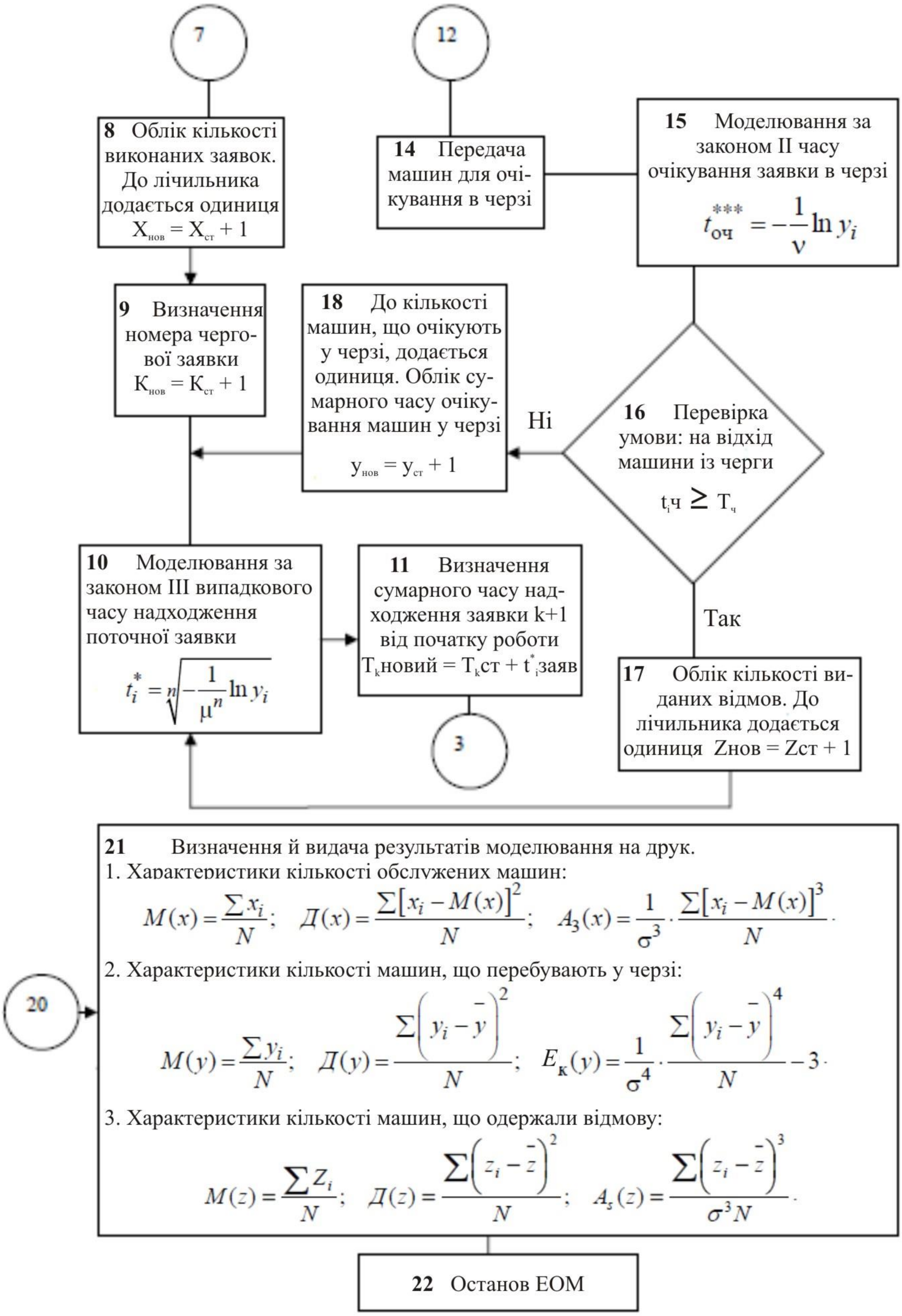


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму розв’язання задачі визначення числових характеристик функціонування СТОА (продовження)

підприємства (тарифи на обслуговування автомобілів за видами ремонтних робіт і по перевірці технічного стану, працезатрати, оплата комунальних послуг і т.д.). На підставі цієї інформації були розроблені структура вихідних даних моделі й вимоги до роботи моделі.

Час роботи станції технічного обслуговування 8 годин (з 9.00 до 17.00). Робота системи автосервісу ТОВ «ЛІДЛ» є багатоканальною моделлю СМО, для якої були розроблені такі вимоги.

Ресурсами системи є три однотипних бокси інструментального контролю і виконання ремонтних робіт, які працюють паралельно.

На пункт технічного огляду надходить потік заявок в середньому 30 ± 10 автомобілів на обслуговування. Час технічного огляду триває в середньому 25 ± 5 хв. У загальній черзі можуть перебувати не більше: не більше 2 авто до посту 1, не більше 3 автомобілів до посту 2, не більше 4 автомобілів до посту 3. Автомобіль клієнта прямує на пост обслуговування з меншою довжиною черги. Обслуговування клієнтів здійснюється за принципом "перший прийшов, перший обслуговується", пріоритети обслуговування відсутні.

Час обслуговування автомобілів у боксах підкоряється рівномірному закону розподілу, оскільки набуває значень в інтервалі від мінімального (5 хвилин) до максимального (20 хвилин,) часу обслуговування з однаковою ймовірністю.

Вхідний потік заявок підкоряється рівномірному закону розподілу, оскільки набуває значень з інтервалу від мінімального (10 авто) до максимального (30 авто) з однаковою ймовірністю.

Постановка задачі моделювання.

Таким чином, маємо наступні вхідні дані:

- інтенсивність приходу заявок $m_{ср}$ = 30 ± 10;
- вхідний потік заявок має рівномірний розподіл;
- час виконання заявок (час обслуговування) має рівномірний розподіл;
- середній час обслуговування $m_{обсл}$ = 25 ± 5 хвилин;
- кількість каналів (постів обслуговування) $k = 3$;
- кількість заявок в черзі $L_1 = 2$, $L_2 = 3$ і $L_3 = 4$;

- час роботи станції технічного обслуговування 8 годин.

Сплануємо імітаційний експеримент, визначимо вплив обраних факторів на імовірнісні характеристики СТОА і визначимо пропозиції щодо оптимізації роботи.

3.2.2. Функціональна схема моделювання системи

Модель системи розробляємо послідовно від функціональної схеми і структурної схеми моделі в символах Q-схем до діаграми моделі і програми.

У цій моделі обслуговування автомобілів здійснюється за принципом "перший прийшов, перший обслуговується", пріоритети обслуговування відсутні. Тоді функціональна схема моделі має вигляд (рисунок 3.2).

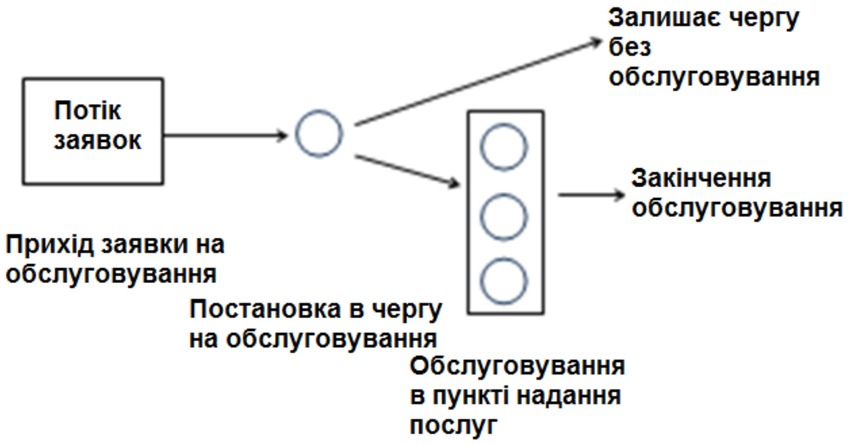


Рисунок 3.2 - Функціональна схема моделювання системи

Схема показує, що заявки з вхідного потоку надходять в чергу. Якщо відбулося перевищення довжини черги, то клієнти залишають чергу без обслуговування.

У міру обслуговування заявок на пункт обслуговування з черги надходять наступні авто.

Після обслуговування заявки йдуть за межі станції технічного обслуговування.

3.2.3. Структурна схема моделі в символах Q-схем

Процес обслуговування автомобілів на СТО можна розглядати як процес надходження заявок в чергу, де вони очікують обслуговування [19].

В якості математичної моделі об'єкта моделювання використовується типова математична схема системи масового обслуговування (queuing system), яка називається Q-схемою. Структура Q-схеми показана на рисунку 3.3.

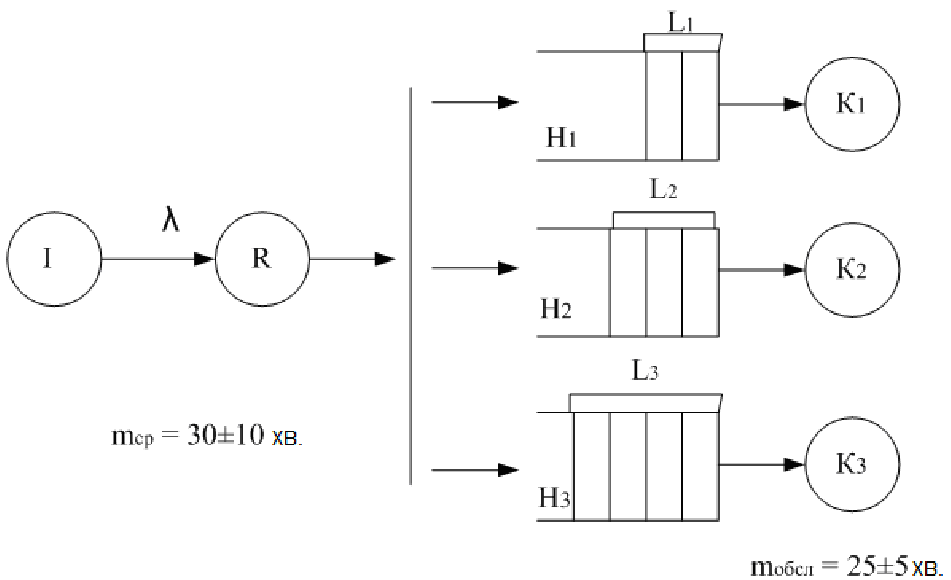


Рисунок 3.3 - Структура Q-схеми моделі

Позначення на схемі:

I - джерело заявок;

λ - інтенсивність приходу заявок;

$m_{ср}$ - середній час приходу заявок;

R - розподільник;

H_1, H_2, H_3- накопичувачі для зберігання заявок (черги);

K_1, K_2, K_3 - канали обслуговування;

$m_{обсл}$ - середній час обслуговування заявок;

L_1, L_2, L_3 - обмеження на довжини в черзі.

Отже, розглядається модель багатоканальної системи масового обслуговування. Автомобілі надходять в чергу, якщо її розмір менший заданих обмежень. Інакше вони залишають станцію без обслуговування. Із звільненням пункту обслуговування автомобілі, покидаючи чергу, переходять на обслуговування. Пріоритети одних заявок перед іншими відсутні.

У моделі використовується один вхідний потік і три обслуговуючі пости станції.

Процес функціонування моделі можна представити у вигляді руху повідомлень, що генеруються в блоці GENERATE.

Після цього відбувається перевірка довжини черги. Якщо довжина менша за обмеження, повідомлення стає в чергу і проходить послідовно всі інші блоки до тих пір, поки не досягне останнього блоку TERMINATE, в якому відбувається знищення повідомлень і виведення його з моделі.

При перевищенні розміру черги повідомлення відразу направляється до блоку TERMINATE, знищується, і виводиться з моделі.

3.2.4 Опис GPSS моделі роботи СТО

Блок-діаграма моделі роботи СТО автомобілів наведена на рисунку 3.4.

Вона складається з двох сегментів.

Перший сегмент забезпечує моделювання. Він починається з блоку GENERATE, який генерує вхідний потік автомобілів з інтервалами 30 ± 10 хвилин по рівномірному закону. Блок TEST L перевіряє сумарну довжину черги. Якщо вона більша за задане обмеження, то автомобіль проходить по мітці POKIDAET до блоку TERMINATE. Інакше автомобіль направляється до посту з меншою довжиною черги за допомогою блоків TEST E.

У блоці QUEUE автомобіль стає в чергу. У блоці SEIZE відбувається заняття автомобілем поста обслуговування. У блоці DEPART автомобіль залишає чергу. Далі автомобіль затримується на час обслуговування 25 з розкидом 5 хв. в блоці ADVANCE і звільняє відповідний пункт обслуговування в блоці RELEASE. У блоці TERMINATE заявка (автомобіль) знищується для виведення з моделі. До цього ж блоку TERMINATE потрапляють і автомобілі, які залишили станцію без обслуговування.

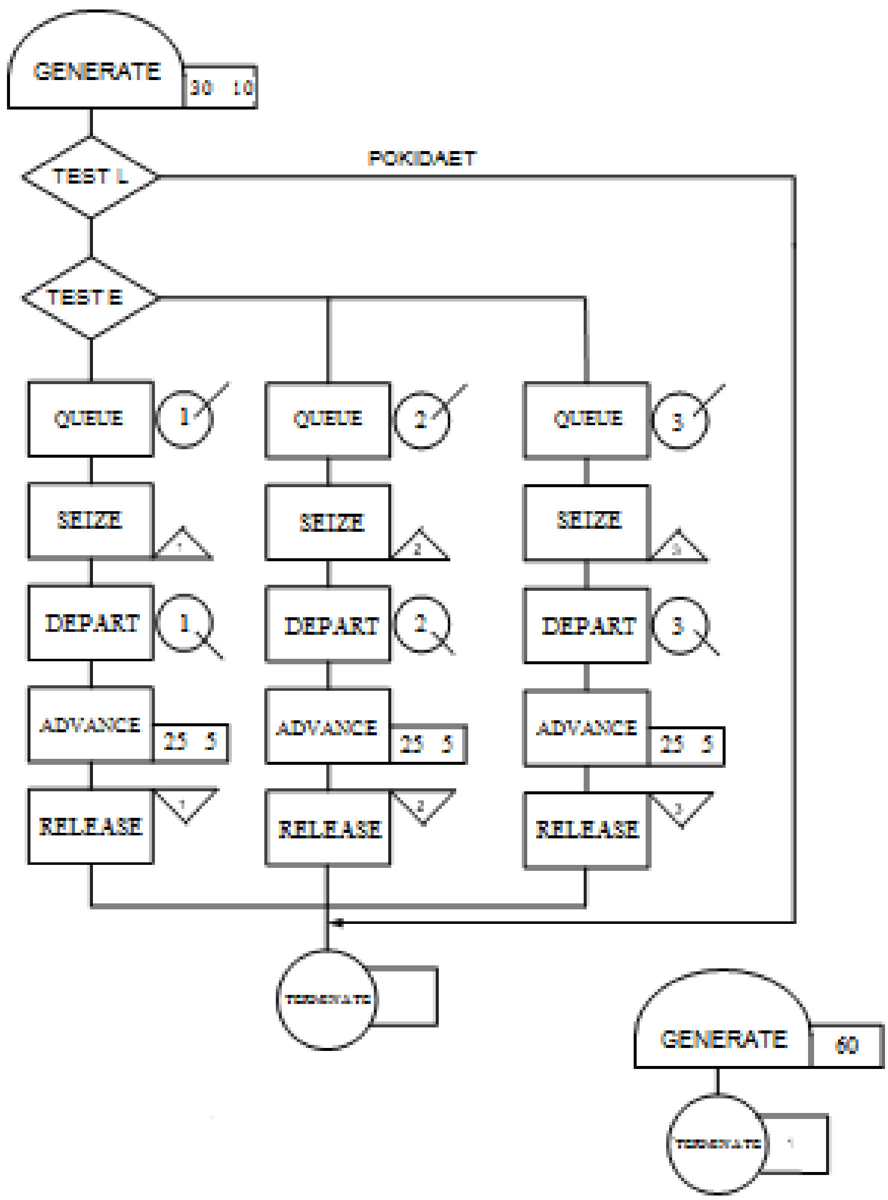


Рисунок 3.4 - Блок-діаграма моделі обслуговування автомобілів

Другий сегмент програми - таймер - складається з двох блоків і забезпечує відлік часу моделювання. Блок GENERATE видає транзакти через 60 одиниць модельного часу, що означає 1 годину. Блок TERMINATE знищує транзакт і віднімає 1 з лічильника запуску. Коли лічильник запуску буде містити 0, моделювання закінчиться.

Опис GPSS програми.

Три варіанти програми моделювання роботи станції технічного обслуговування автомобілів на мові GPSS наведені в додатку Б. Всі три варіанти аналогічні і відрізняються значенням величини OCH (обмеження на довжину черги), заданої в реченні EQU на початку програми.

Блок GENERATE викликає появу транзактів з рівномірним розподілом.

Блок TEST L (Q1 + Q2 + Q3), OCH, POKIDAET робить аналіз сумарної довжини черги, порівнюючи її значення з OCH. Якщо черга менша за граничну величину OCH, автомобіль переходить до наступного блоку, інакше переходить по мітці POKIDAET.

Перед першим постом відбувається порівняння черг блоком

TEST E (Q1 <= Q2 & Q1 <= Q3), 1, POST2.

Якщо черга Q1 менша за будь-яку іншу, то автомобіль переходить до наступного блоку, інакше переходить по мітці POST2 до наступного посту, де проводиться аналогічна перевірка.

Блок QUEUE 1 виробляє збільшення кількості транзактів в черзі 1. Блок SEIZE 1 забезпечує заняття поста обслуговування 1. Далі транзакт пройде до наступного блоку DEPART, що забезпечує звільнення 1 одиниці в черзі 1. Блок ADVANCE забезпечує затримку автомобіля на час обслуговування відповідно до середнього часом 25 і розкидом 5 хв., тобто від 20 до 30.

Блок RELEASE звільняє пост обслуговування. Далі заявка (автомобіль) направляється по лінії VIHOD до блоку TERMINATE, де знищується.

Блок GENERATE таймера видає транзакти через 60 одиниць модельного часу, що означає 1 годину модельного часу. Блок TERMINATE знищує транзакт і віднімає 1 з лічильника зупинки. Через 8 годин модельного часу лічильник зупинки буде дорівнювати 0 і моделювання закінчиться. Значення лічильника зупинки, дорівнює 8, задається керуючою картою START.

3.2.5 Аналіз результатів моделювання

Результати моделювання із зазначеними в п. 3.2 параметрами зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати моделювання

	Експеримент 1	Експеримент 2	Експеримент 3
Обмеження довжини черги	2	3	4
Інтервал надходження, m_{cp}	30±10	30±10	30±10
Надійшло автомобілів	15	15	17
Обслуговано постом 1	15	15	16
Обслуговано постом 2	0	0	0
Обслуговано постом 3	0	0	0
Обслуговуються або в черзі	0	0	1
Середній час обслуговування	25.146	25.146	24.761
Коефіцієнт використання 1	0,786	0,786	0,780
Коефіцієнт використання 2	0	0	0
Коефіцієнт використання 3	0	0	0
Залишили станцію без обслуговування	0	0	0

З таблиці 3.1 видно, що кількість автомобілів, які залишили станцію без обслуговування, дорівнює нулю в будь-якому варіанті. Таким чином, можна зробити висновок, що наявність обмеження черги є неефективним.

У кожному з трьох експериментів автомобілі, які надійшли, попрямували на пост 1. У першому і другому варіанті надійшло 15 автомобілів, їх обслужив пост 1, середній коефіцієнт завантаження поста 0,786.

В останньому варіанті, надійшло 17 автомобілів, причому 16 було обслужено першим постом, а 1 автомобіль продовжував обслуговування на момент закінчення моделювання. Середній коефіцієнт завантаження поста 0,780.

Пости 2 і 3 - не задіяний в жодному варіанті. Необхідно провести додаткове моделювання, щоб знайти оптимальний варіант роботи станції технічного обслуговування.

3.2.6 Імітаційний експеримент

Після дослідження трьох запропонованих до моделювання варіантів виявлено, що другий і третій пост обслуговування простоюють без роботи. Оптимізуємо останній варіант з максимальною довжиною черги 4, тому що він має найвищу продуктивність.

Для оптимізації роботи СТО, необхідно підібрати таке число постів обслуговування, при якому завантаження буде максимальним.

Для планування імітаційного експерименту треба скласти функцію відгуку, для цього необхідно вибрати найбільш істотні чинники [18]:

X_1 - вхідний потік;

X_2 - кількість постів обслуговування.

Y - середній коефіцієнт завантаження постів обслуговування автомобілів.

Вид функції відгуку:

$$Y = b_0 + b_1 \times X_1 + b_2 \times X_2 + b_3 \times X_1 \times X_2.$$

Складемо план експерименту (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 - Планування експерименту

Чинники	Рівні чинників			Інтервали варіювання
	-	0	+	
X_1	20	30	40	10
X_2	2	3	4	1

Розглянемо різні комбінації зміни даних.

Тексти програм експериментів наведені в додатку Б, а лістинг результатів роботи - в додатку В. У результаті експериментів отримуємо наступні значення (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 - Результати експерименту

Номер експерименту	X_0	X_1	X_2	X_1*X_2	Y
1	+	-	-	-	0,958
2	+	-	+	-	0,766
3	+	+	-	-	0,602
4	+	+	+	+	0,372

Одержимо оцінки коефіцієнтів моделі:

$$b_0 = (0{,}958 + 0{,}766 + 0{,}602 + 0{,}372) / 4 = 0{,}674;$$

$$b_1 = (-0{,}958-0{,}766 + 0{,}602 + 0{,}372) / 4 = -\ 0{,}186;$$

$$b_2 = (-\ 0{,}958 + 0{,}766-0{,}602 + 0{,}372) / 4 = -\ 0{,}106;$$

$$b_3 = (-\ 0{,}958-0{,}766-0{,}602 + 0{,}372) / 4 = -\ 0{,}489.$$

Функція відгуку:

$$Y = 0{,}674 - 0{,}186 \times X_1 - 0{,}106 \times X_2 - 0{,}489 \times X_1 \times X_2$$

Середній коефіцієнт завантаження пунктів обслуговування Y необхідно максимізувати, для цього необхідно зменшити інтенсивність вхідного потоку X_1, зменшуючи при цьому кількість постів обслуговування X_2. Оптимальним було виявлено експеримент 1 (табл. 3.3).

$$0,674 – 0,186 – 0,106 + 0,489 = 0,871$$

0,871 -- 100%

0,186 -- 21%

0,372 -- 42%

30 -- 100 %

$X_1 = X_1 – X_1 \times 21\%$

$X_1 = 23,7$; тобто $X_1 \rightarrow 20$

3 --100%

$X_2 = X_2 – X_2 \times 21\%$

$X_2 = 1,74$; тобто $X_2 \rightarrow 2$

Отже, станція технічного обслуговування повинна використовувати тільки 2 пости, за умови, що інтенсивність вхідного потоку буде складати 20 хвилин.

Отриманий результат є оптимальним. Коефіцієнт завантаження постів обслуговування вийшов рівним 0,958 для першого поста і 0,242 для другого поста. На СТО надійшли 24 заявки, з них:

- 19 перейшли на I пост, причому на кінець часу моделювання обслужено 17 автомобілів, 1 продовжував обслуговуватися і 1 стояв в черзі;
- 5 перейшли на II пост і на кінець часу моделювання всі 5 були обслужені.

Отже, станція технічного обслуговування повинна використовувати тільки 2 пости, за умови, що інтенсивність вхідного потоку становитиме 20 хвилин.

З розгляду одержаних під час роботи результатів видно, що досліджена імітаційна модель роботи СТО автомобілів, забезпечує моделювання обслуговування клієнтів при різних варіантах вхідних даних.

3.3 Дослідження функціонування СТОА при наперед замовленому ремонті автомобілів методами теорії масового обслуговування

3.3.1 Змістовна модель. Постановка задачі моделювання

На СТОА «ЛІДЛ» функціонує можливість замовленого ремонту автомобіля.

Маємо наступні вхідні дані:

- інтенсивність приходу автомобілів λ = 1,5 авто за годину;
- кількість каналів (постів обслуговування) n = 2;
- кількість місць в черзі m = 0;
- інтенсивність обслуговування одного каналу μ = 0,5 заявки на годину.

3.3.2 Дослідження двоканальної СМО з відмовами

За умовою задачі ця система є СМО з відмовами, розмічений граф станів якої показаний на рис. 3.5.

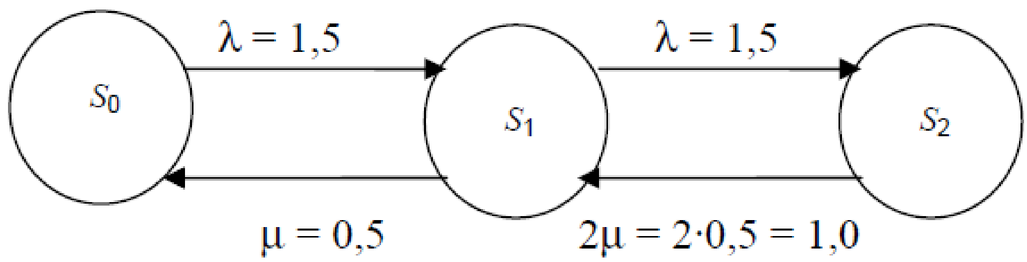


Рисунок 3.5 – Розмічений граф станів:

S_0 – усі пости вільні; S_1 – занятий один пост, другий вільний;

S_2 – заняті всі пости

Система диференціальних рівнянь Колмогорова для цього процесу має вигляд:

$$\begin{cases} \dfrac{dP_0}{dt} = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t), \\ \dfrac{dP_1}{dt} = -(\lambda + \mu) P_1(t) + 2\mu P_2(t) + \lambda P_0(t), \\ \dfrac{dP_2}{dt} = -2\mu P_2(t) + \lambda P_1(t). \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dfrac{dP_0}{dt} = -1,5 P_0(t) + 0,5 P_1(t), \\ \dfrac{dP_1}{dt} = -(1,5 + 0,5) P_1(t) + 2 \cdot 0,5 P_2(t) + 1,5 P_0(t), \\ \dfrac{dP_2}{dt} = -2 \cdot 0,5 P_2(t) + 1,5 P_1(t). \end{cases}$$

$$\begin{cases} -1,5 \cdot P_0 + 0,5 P_1 = 0, \\ -(1,5 + 0,5) P_1 + 1,5 P_0 + 2 \cdot 0,5 P_2 = 0, \\ -2 \cdot 0,5 P_2 + 1,5 P_1 = 0, \\ P_0 + P_1 + P_2 = 1,0. \end{cases}$$

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda/\mu}{1!} + \frac{(\lambda/\mu)^2}{2!}} = \frac{1}{1 + \frac{1,5/0,5}{1!} + \frac{(1,5/0,5)^2}{2!}} = 0,1176,$$

$$P_1 = \frac{\lambda/\mu}{1!} P_0 = \frac{1,5/0,5}{1!} 0,1175 = 0,3529,$$

$$P_2 = \frac{(\lambda/\mu)^2}{2!} P_0 = \frac{(1,5/0,5)^2}{2!} 0,1175 = 0,5295.$$

Перевірка:

$P_0+P_1+P_2 = 1,0.$

0,1176 + 0,3529 + 0,5295 = 1,0:

- імовірність відмови в обслуговуванні:

$$P_{відм} = P_n = 0{,}5295;$$

- відносна пропускна здатність:

$$q = 1 – P_n = 1 – 0{,}5295 = 0{,}4705;$$

- абсолютна пропускна здатність:

$$A = \lambda(1 – Pn) = 1{,}5\ (1 – 0{,}5295) = 0{,}70575;$$

- середня кількість занятих постів:

$$M(n) = 0\times P_0 + 1\times P_1 + 2\times R_2 + \ldots + n\times P_n =$$
$$= 0 \times 0{,}1176+1 \times\cdot 0{,}3529+2 \times 0{,}5295 = 1{,}4119;$$

- зведена інтенсивність:

$$\alpha = \lambda/\mu = 1{,}5/0{,}5 = 3.$$

- середній час обслуговування авто на посту:

$$t_{обс} = 1/\mu = 2{,}0 \text{ год.}$$

3.4 Оптимізація потреби підприємства в запасних частинах методом статистичного моделювання

3.4.1 Змістовна модель. Постановка задачі моделювання

При плануванні та управлінні рівнів запасних частин (вузлів, агрегатів) на складі підприємства у ряді випадків необхідно враховувати кілька випадкових факторів, які мають місце в процесі функціонування технічної служби та служби постачання підприємства. До них належать: випадковий час надходження заявки на ремонт автомобіля, випадковий час поповнення запасів, випадкові величини потреби та обсяги поповнення запасних частин. Тому в практиці розрахунків потреб запасних частин широкого поширення знайшов метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло), що дозволяє моделювати будь-який процес, на перебіг якого впливають випадкові фактори [19].

Розрахунок потреби в запасних частинах (вузлах, агрегатах) методом статистичного моделювання розглянемо на прикладі роботи складу СТОА «ЛІДЛ», з якого в довільний момент часу t на вимогу видається випадкова кількість агрегатів (вузлів, запасних частин) одного найменування V_t. Якщо в даний момент t запас X на складі достатній, то запит V_t задовольняється повністю. Якщо запас недостатній для повного задоволення вимоги, то він задовольняється лише на величину запасу, наявного на складі. В останньому випадку підприємство несе втрати від дефіциту, величина яких пропорційна кількості недоданих технічній службі агрегатів, тобто $C_{деф} = k(V_t - X)$ де $к$ - втрати підприємства через простій одного майстра при дефіциті агрегатів на складі.

Надходження агрегатів на склад підприємства від постачальників відбувається також у випадкові моменти часу τ й у випадковому обсязі Y_t. Затрати на утримання та зберігання агрегатів на складі $C_{зб} = \lambda \overline{X}$, де λ - вартість зберігання і утримання одного агрегату на складі за період T; $\overline{X}$ - середній запас на складі за період Т.

Необхідно знайти такий плановий рівень початкового запасу агрегатів X_0 на складі, при якому сумарні витрати підприємства будуть мінімальними (рис. 3.6): $(C_{деф} + C_{зб}) \rightarrow \min$.

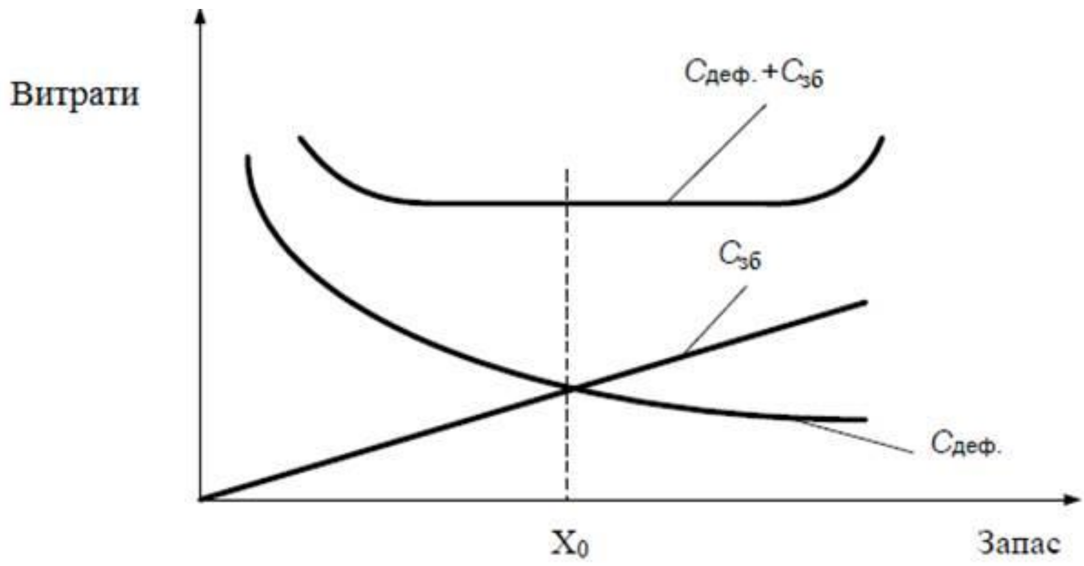


Рисунок 3.6 – Залежність витрат підприємств від величини початкового запасу

Таким чином, тут мають місце чотири випадкові величини: момент надходження вимоги на відпуск агрегатів зі складу *t*; обсяг цієї вимоги V_t; момент надходження агрегатів на склад від постачальників τ і обсяг цієї поставки Y_τ.

Закони розподілу зазначених випадкових величин установлюються на основі обробки інформації, що міститься у картках складського обліку.

Для подальшого розв'язання задачі введемо величини:

$v_{i+1} = t_{i+1} - t_i$ - тривалість інтервалу між (*i*+1)-ою та *i*-ою видачею агрегатів зі складу;

$\mu_{i+1} = \tau_{i+1} - \tau_i$ - тривалість інтервалу між (*i*+1)-им та *i*-им постачанням агрегатів на склад.

Оскільки τ_i і t_i - величини випадкові, тому величини v_{i+1} та μ_{i+1} будуть також випадковими.

Для розв'язання цієї задачі необхідні початкові дані, в якості яких можуть служити різні значення планового рівня початкового запасу агрегатів X_0. Розрахунки на ЕОМ при різних вихідних даних по всьому плановому періоду *T* (рік) дозволяють імітувати реальні процеси, які відбуваються на підприємстві, для чого значення випадкових величин встановлюємо за допомогою генератора випадкових чисел, закон розподілу яких повинен відповідати закону розподілу випадкових величин по даному підприємству.

У результаті розрахунків по всіх вибраних рівнях початкового запасу X_0 виявляємо залежність сумарних витрат за весь період по зберіганню запасу агрегатів і через дефіцит у разі відмови у задоволенні потреб через відсутність агрегатів на складі.

У автотранспортному підприємстві СТО «ЛІДЛ» найчастіше застосовується агрегатний метод ремонту [22]. Ремонт здійснюється шляхом заміни несправного агрегату на придатний, взятий зі складу. За відсутності на складі агрегатів автомобіль очікує ремонту або відмовляється від ремонту.

У даному прикладі вхідний потік вимог утворюють автомобілі з несправними агрегатами. Обслуговуючими апаратами є оборотні агрегати. Дисципліна заміни агрегатів - у порядку надходження вимог, а процес заміни їх можна розглядати як СМО з очікуванням.

Задачу оптимізації оборотного фонду агрегатів автотранспортного підприємства зведемо до відшукання мінімуму цільової функції:

$$z = C_{оч} \times A_H + C_N \times A_c, \qquad (3.1)$$

де $C_{оч}$ - витрати (в гривнях), що викликаються простоєм технічного персоналу в очікуванні надходження відремонтованого агрегату протягом доби;

A_H - середня кількість несправних автомобілів, які очікують надходження відремонтованих агрегатів (середня кількість автомобілів у накопичувачі);

C_N - витрати, викликані невикористанням одного відремонтованого агрегату протягом доби (витрати на зберігання, оформлення замовлення та інше);

A_c - середня кількість невикористаних агрегатів (пролежали на складі).

$C_{оч}$ і C_N визначаються шляхом калькуляції. A_H і A_c визначаються методами теорії масового обслуговування для конкретних умов виробничої діяльності СТО і залежать від кількості оборотних агрегатів N.

Якщо автомобілі надходять на ремонт (заміну агрегату) з інтенсивністю λ, а середній час повернення агрегату на склад становить $T_{об}=1/\mu$, то для розімкнутої системи масового обслуговування з очікуванням маємо такі розрахункові формули.

Для спрощення формул використовуємо вирази $\alpha = \lambda / \mu$, $\beta = \alpha / n$.

Імовірність того, що всі обслуговуючі апарати (агрегати) вільні

$$P_{\Diamond} = \frac{1}{\sum_{k-\Diamond}^{N-1} \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^N}{N!(1-\beta)}}. \tag{3.2}$$

Імовірність того, що всі обслуговуючі апарати (агрегати) зайняті

$$P_H = \frac{P_{\Diamond}\alpha^N}{N!(2-\beta)}. \tag{3.3}$$

Середня кількість вимог (автомобілів) у накопичувачі

$$A_H = \frac{P_H q}{(1-\beta)^2}. \tag{3.4}$$

Середня кількість вільних обслуговуючих апаратів(агрегатів)

$$A_l = \sum_{k-\Diamond}^{N-1} \frac{N-k}{k!} \alpha^k = N - \alpha \tag{3.5}$$

Початкова розрахункова кількість оборотних агрегатів визначається за умовою $\alpha \le N_{\min}$. Зміною числа оборотних агрегатів від N_{min} до N визначимо оптимальну кількість оборотних агрегатів з умови цільової функції $z = C_{оч} \times A_H + C_N \times A_c \rightarrow min$.

СТОА «ЛІДЛ» спеціалізується на ремонті моделей Opel, Volkswagen, Peugeot і Renault. За результатами спостережень майстрів підприємства і на основі вивчення популярних статей мережі Інтернет [23] найбільшим попитом користуються запчастини для Opel Zafira, Astra і Vectra. Загальними проблемами усіх цих моделей є двигуни й кермові рейки. В Zafira до цього списку додаються витратомір, клапан EGR і компресор кондиціонера. У Vectra - паливний бак, передній бампер і замок багажника. В Astra (45% припадає на 1999-2003 р.в.) - генератор, головка блоку циліндрів і кермо [23].

Для Volkswagen частіше інших запчастини шукають для Passat, Golf і Sharan. Ситуація схожа з Opel: лідери за пошуком - кермові рейки і двигуни. В Passat найбільш затребуваним також виявився правий задній супорт, в Golf - механічна коробка перемикання передач і моторчик заднього "двірника". Власники Sharan (ціла третина - 1998 р.в.) страждають від несправних шарнірів рівних кутових швидкостей (ШРКШ) і насоса гідропідсилювача керма.

Серед Peugeot зі значним відривом від інших за необхідністю ремонту лідирує модель 406. Роки випуску практично рівномірно розподілилися між 1997-м і 2002-м. За винятком двигуна, у п'ятірці найбільш затребуваних запчастин виявилися передні крила, протитуманні фари й передній бампер.

Естафету по запчастинах підтримує Peugeot 307. Частіше інших доводиться замінювати передній бампер, далі підкермовий перемикач, кермова рейка, вентилятор радіатора й задній ліхтар. Небагато недотягли до п'ятірки лідерів форсунки.

Peugeot і Renault. Peugeot Scenic, Laguna і Megane - трійка автомобілів, для яких запчастини шукають активніше за все.

Перше місце у всіх моделях займає пошук двигунів. Далі - невеликий розкид. Так, Scenic частіше потребує трапеції "двірників", нової приладової панелі, фар і кермової рейки. В Laguna (більше половини пошуків припадає на 2-е покоління) страждає ліве переднє крило, механічна коробка перемикання передач, паливний насос і ШРКШ. В Megane - задня балка, передній бампер, кермова рейка й механізм склоочисника. Примітно, що Logan виявився практично в самому кінці списку. Рідше шукають запчастини тільки для Renault 25, 11 і Mascott [24].

3.4.2 Статистична модель керування запасами

Дослідимо необхідну оптимальну кількість запчастини кермова рейка на складі для агрегатного ремонту Peugeot Scenic за мінімуму сумарних витрат, які може отримати підприємство за нестачі досліджуваного агрегату в запасі.

Розрахунок потреби в запасних частинах здійснимо методом статистичного моделювання.

З наданих підприємством облікових документів маємо такі вихідні дані:

- інтенсивність заміни агрегату λ = 1,0 агр./добу;
- час повернення агрегату на склад $T_{об}$ = 3,0 доби;
- витрати $C_{оч}$ = 25,0 у.е.;
- витрати C_N = 3,0 у.е.

$$T_{об} = 1/\mu,\ \mu = 1/\ T_{об} = 1/3.$$

Мінімальна кількість агрегатів $N_{min} = \lambda/\mu = 1/(1/3) = 3{,}0$ агрегати.

Використовуючи наступні формули, обчислимо:

$$P_0 = \frac{1}{S_k + \dfrac{\mu}{(N-1)!(N\mu-\lambda)}\left(\dfrac{\lambda}{\mu}\right)^2}\ ; \qquad S_k = \sum_{k=0}^{N-1}\frac{1}{k!}\left(\lambda/\mu\right)^k\ ;$$

$$B_k = \sum_{k=0}^{N-1}\frac{N-k}{k!}\left(\lambda/\mu\right)^k\ ; \qquad P_{Н} = \frac{\mu P_0}{(N-1)!(N\mu-\lambda)}\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^N\ ;$$

$$A_{Н} = \frac{P_{Н}\lambda}{N\mu(1-\lambda/N\mu)^2}\ ; \qquad A_{С} = B_k P_0\,.$$

Результати розрахунків зведемо в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Результати оптимізації кількості оборотних агрегатів

N	S_k	B_k	P_0	$P_{\text{Н}}$	$A_{\text{Н}}$	$A_{\text{с}}$	Z
4	13,0	26,5	0,0377	0,5094	6,1128	0,99905	155,81
5	16,375	42,875	0,0466	0,2361	0,8853	1,9979	28,126
6	18,4	61,275	0,04895	0,09914	0,19828	2,99994	13,955
7	19,4125	80,6875	0,04957	0,0376	0,04935	3,999	**13,232***
8	19,8464	100,5339	0,04973	0,01294	0,018624	4,999	15,464

* – мінімальне значення цільової функції.

Будуємо графік витрат у системі масового обслуговування, використовуючи дані табл. 3.4 (рис. 3.7).

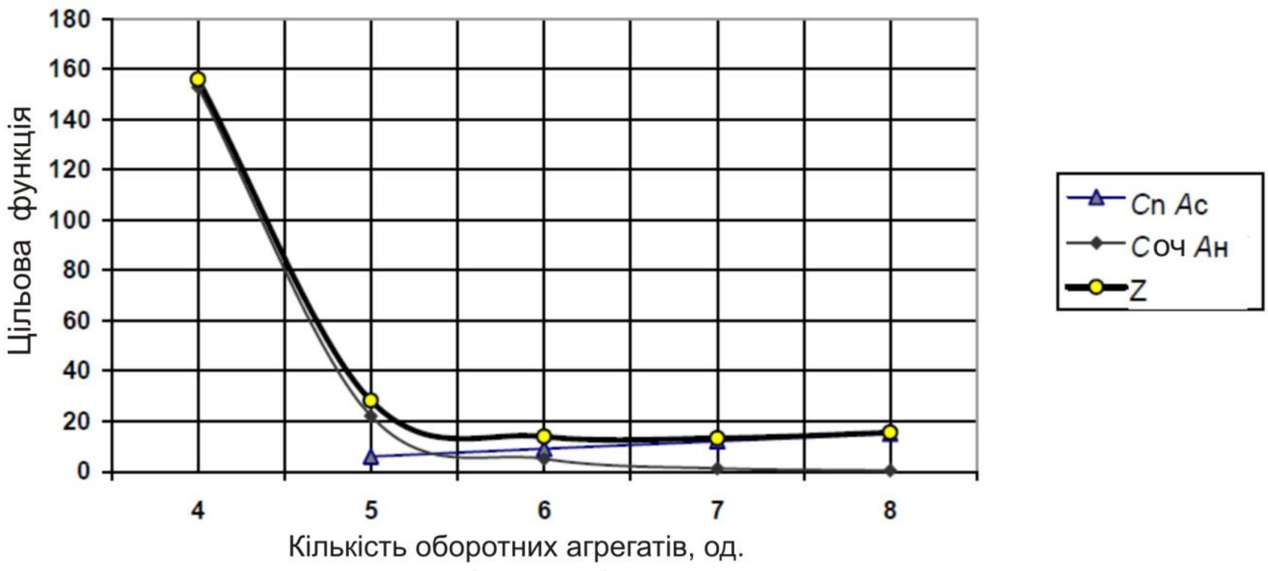


Рисунок 3.7 - Графіки витрат у системі масового обслуговування

Отже, мінімальна кількість запасних агрегатів на складі підприємства має складати 7 одиниць.

ВИСНОВКИ

Систему ремонту в організаціях автосервісу не можливо піддати натурному експерименту внаслідок труднощів зі зміною значень змінних у реальних умовах. Для проведення експерименту використовується метод імітаційного моделювання, метою якого є пошук оптимальних технічних розв'язків.

У системах масового обслуговування, що описують процеси функціонування автосервісів потік вимог є випадковим. Випадковим є й час обслуговування. Робота СМО проходить нерегулярно: то утворюється черга на обслуговування, то відбувається простій постів обслуговування. Завдання теорії масового обслуговування – установити оптимальну (з мінімальними простоями) залежність між характером потоку вимог, числом постів і їх продуктивністю (часом обслуговування), правилами роботи системи обслуговування.

Найбільше часто в якості критеріїв – показників ефективності роботи систем масового обслуговування – використовуються показники середнього часу очікування вимоги початку обслуговування; середнього розміру черги на обслуговування, імовірності того, що в системі обслуговування буде перебувати певна кількість вимог, середня кількість постів, зайнятих або вільних від обслуговування, і ряд інших. Однак найбільш доцільно використовувати економічні показники оцінки ефективності функціонування систем масового обслуговування, які дають узагальнену характеристику виробничого процесу. У цьому випадку в якості критерію ефективності функціонування СМО зазвичай вибираються загальні грошові витрати, пов'язані із простоями автомобілів, які чекають обслуговування, і витрати на створення й експлуатацію постів.

У цій роботі побудовано і проаналізовано структурну статистичну імітаційну модель функціонування автосервісу ТОВ «ЛІДЛ» м. Хмельницього і визначити його оптимальні характеристики. Для дослідження характеристик функціонування станції технічного обслуговування автомобілів використано метод Монте-Карло.

Методами теорії масового обслуговування досліджено функціонування

СТОА при наперед замовленому ремонті автомобілів.

Оптимізовано потреби підприємства в запасних частинах методом статистичного моделювання.

Розроблені імітаційні моделі дозволяють формувати близький до реальності потік вимог на ремонт залежно від інтенсивності й умов експлуатації автомобілів, а також моделювати виробничі процеси в автосервісних організаціях.

Прикладне програмне забезпечення може бути використане для оптимізації оперативно-виробничого керування й удосконалення організації ремонту автомобілів.

З аналізу отриманих під час роботи результатів видно, що досліджена імітаційна модель роботи СТО автомобілів, забезпечує моделювання обслуговування клієнтів при різних варіантах вхідних даних. Реалізація даної моделі була проведена шляхом програмування на мові моделювання GPSS.

В результаті оптимізації програми моделювання задачі дослідження ефективних характеристик функціонування автосервісу ТОВ «ЛІДЛ» був збільшений коефіцієнт завантаження СТО 0,958 (при цьому станція технічного обслуговування повинна використовувати тільки два обслуговуючих пости).

Результати моделювання задачі дослідження функціонування СТОА при наперед замовленому ремонті автомобілів дають можливість рекомендувати підприємству при використанні двох постів обслуговування планувати наперед замовлений ремонт не більше 3 автомобілів в день з середньою тривалістю ремонту 2 год. При цьому імовірність відмови в обслуговуванні буде становити 0,5295; абсолютна пропускна здатність 0,70575.

Раціональне керування виробництвом і розподілом обігового фонду запасних частин, вузлів і агрегатів, використовуваних при ремонті автомобілів, також має важливе виробниче значення.

Дослідження статистичної моделі керування запасами дає можливість рекомендувати підприємству визначити оптимальні потреби в запасних частинах, які є найбільш дефіцитними для СТОА, у 7 одиниць.

Таким чином, імітаційне моделювання як загальний універсальний метод можна охарактеризувати наступними перевагами [6]:

1) є практично реалізованим методом для дослідження складних систем;

2) дає можливість досліджувати особливості функціонування реальної системи в різних умовах (оскільки імітаційне моделювання є машинним аналогом (імітацію) складного процесу, і можливий машинний експеримент з імітаційною моделлю);

3) істотно скорочує вартість і тривалість випробувань в порівнянні з натурним експериментом, з фізичним моделюванням, тобто економить ресурси;

4) дозволяє включати результати натурних випробувань компонентів реальної системи;

5) дозволяє досягати кращих розв’язків за рахунок гнучкості та легкості варіювання структури, алгоритмів і параметрів.

Як відносний недолік імітаційного моделювання відзначимо, що кожне рішення носить частковий характер, оскільки воно відповідає фіксованим елементам структури, алгоритмам, значеннями параметрів - потрібне багаторазове повторення імітаційного експерименту при варіації вихідних даних. Незважаючи на принципові відмінності, межа між цифровими моделями багато в чому умовна, так як всі вони використовують математичні моделі та обчислювальні процедури. Іншими словами, математичні моделі є однією з найважливіших основ імітації.

Імітаційне моделювання дозволяє вирішувати і такі завдання, як вибір структури, оцінка впливу різних параметрів, що становить основу системи автоматизованого проектування (САПР).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Эльберг М., Цыганков Н. Имитационное моделирование Учебное пособие. - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2017. — 128 с. — ISBN 978-5-7638-3648-6.

2. Маликов, Р. Ф. Основы математического моделирования : учеб. пособие / Р. Ф. Маликов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2010. – 368 с.

3. Моделирование сложных вероятностных систем : учеб. пособие / В. Г. Лисиенко, О. Г. Трофимова, С. П. Трофимов, Н. Г. Дружинина, П. А. Дюгай. – Екатеринбург : УРФУ, 2011. – 200 с.

4. Боев В. Д. Об адекватности систем имитационного моделирования GPSS World и AnyLogic. Ч. 1 / В. Д. Боев // Прикладная информатика. – 2010. – № 6 (30). – С. 69–82.

5. Куприяшкин А. Г. Основы моделирования систем : учеб. пособие / А. Г. Куприяшкин; Норильский индустр. ин-т. – Норильск : НИИ, 2015. – 135 с.

6. Розділ 1. Математичне моделювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp'yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t1/zm1..htm

7. Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2018 : тези доповідей Тринадцятої міжнародної науково-практичної конференції (Чернігів, 25 - 29 червня 2018 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. Акад. наук України, Академія технологічних наук України, Інженерна академія України та ін. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. – 392 с.

8. Буртняк І.В. Імітаційне моделювання: методичні рекомендації для студентів спеціальності економічна кібернетика. – Івано-Франківськ: Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://194.44.152.155/elib/local/1032.pdf

9. Савин Г.И. Системное моделирование сложных процессов. М., Фазис, 2000.

10. Офіційний сайт ТОВ «ЛІДЛ» - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://autobooking.com/ru-ua/sto/c-hmelnitskii/lidl-khmelnytskyi

11. Сорока Л.І., Кальчук І.В. Випадкові процеси: методичні рекомендації / Лілія Іванівна Сорока, Інна Володимирівна Кальчук. – Луцьк: Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, 2013. – 56 с.

12. Сеньо П. С. Випадкові процеси: підручник / С. П. Сеньо; Мін-во освіти і науки України, ЛНУ. – Львів : Компакт-ЛВ, 2006. – 288 с. – ISBN 966-96414-7-0.

13. Марківські випадкові процеси - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dn.khnu.km.ua/dn/k_default.aspx?M=k0059&T=11&lng=1&st=0.

14. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування : навч. посібник / А. Л. Литвинов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с.

15. Завадский, Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта методом имитационного моделирования / Ю.В. Завадский. – М. : Транспорт, 1977. – 72 с.

16. Донченко В.С. Теорія ймовірностей та математична статистика для соціальних наук: навчальний посібник / В. С. Донченко, М. В.-С. Сидоров. – Київ : ВПС Київський університет, 2015. – 400 с.

17. Официальный сайт компании GPSS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.minutemansoftware.com/.

18. Строгалев В. П., Толкачева И. О. Имитационное моделирование. — МГТУ им. Баумана, 2008.

19. Бедняк М.Н. Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей / М.Н. Бедняк. – Киев : Вища школа, 1983. – 131 с.

20. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Е.С. Кузнецов. – М. : Транспорт, 1990. – 272 с.

21. Коновалов С. И. Моделирование производственных процессов автомобильного транспорта : учеб. пособие / С. И. Коновалов, С. А. Максимов, В. В. Савин ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос ун-та, 2006. – 244 с. – ISBN 5-89368-668-3.

22. Агрегатний метод ремонту - Механизмы и технологии - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mehanik-ua.ru/opredeleniya-i-terminy/764-agregatnij-metod-remontu.html.

23. Топ-10 популярных марок на "разборках" и самые востребованные запчасти к ним - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.abw.by/novosti/automarket/192045.

24. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей / Е.С. Кузнецов, В.М. Власов, А.П. Болдин. – М. : Наука, 2001. – 535 с.

ДОДАТОК А

Антонюк В.Ю., Драч І.В. Статистичне моделювання деяких характеристик функціонування СТО за умов двоїстої випадковості // Актуальні проблеми комп’ютерних наук. Збірник наукових праць за матеріалами XII всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп’ютерних наук АПКН-2020» – Хмельницький: ХНУ, 2020, Т.1. – С. 15 – 20.

УДК 004.4

Антонюк В. Ю., Драч І. В.

Хмельницький національний університет

СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕЯКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦІОНУВАННЯ СТО ЗА УМОВ ДВОЇСТОЇ ВИПАДКОВОСТІ

Розглядається моделювання стохастичних виробничих процесів в організаціях автосервісу з метою підвищення їх ефективності, вибору оптимальної стратегії й методів керування при заданих умовах функціонування системи ремонту. Для пошуку оптимального технічного розв'язку використовується метод імітаційного моделювання. У статті висвітлено результати статистичного моделювання інтервалів часу прибуття заявок на обслуговування й часу обслуговування заявки.

The modeling of stochastic production processes in car service organizations is considered with the aim of increasing their efficiency, choosing the optimal strategy and management methods for the given conditions of the repair system functioning. To find the optimal technical solution, the method of simulation is used. The article reflects the results of statistical modeling of the time intervals for the arrival of service requests and the service time of the request.

Удосконалення складних стохастичних процесів пов'язане із значними витратами часу й ресурсів, оскільки вимагає побудови різних організаційних структур і схем. З цієї причини реалізація натурного експерименту в організаціях автосервісу є важкою, а оптимізацію виробничих процесів доцільно виконувати з використанням спеціальних математичних методів [1, 2].

В сучасних методах використовуються детерміновані вирази й аналітичні залежності теорії масового обслуговування [3-5]. Розрахунки за цими методами дуже зручні, однак вони лише частково враховують випадковий характер процесів і характеризують систему в поточному усталеному режимі функціонування. Для спрощення математичної моделі пропонуються деякі спрощення, оскільки процес опису в явному вигляді основних розподілів випадкових величин утруднений. Отже, вже на цьому етапі фізична сутність явищ спотворюється, що й приводить до деяких похибок у розрахунках.

Зазначених похибок можна уникнути, якщо використовувати імітаційну модель, що дозволяє враховувати імовірнісні закономірності процесів і вибрати оптимальний організаційний варіант при заданих умовах функціонування.

При аналізі функціонування складних технічних і економічних систем (процесів) часто доводиться стикатися з такою ситуацією, коли зустрічаються два взаємозалежні потоки подій. Так, наприклад, може бути, з одного боку, випадковий у часі потік заявок на обслуговування автомобілів, що прибувають на станцію обслуговування, а з іншого – пов'язаний з ним зустрічний потік подій тривалості обслуговування зазначених заявок постами станції.

У цих умовах, тобто в умовах двоїстої випадковості, ставиться задача щодо визначення продуктивності станції й з'ясуванню пов'язаних із цим завданням супутніх питань, наприклад, визначення середньої довжини черги автомобілів, що очікують обслуговування та кількості автомобілів, що залишають чергу необслуженими. Може бути також уточнене питання, чи не простоює станція без роботи. З'ясування цих питань є необхідним для ефективного планування організації роботи СТО, для введення відповідних корекцій в організацію обслуговування автомобілів.

Подібні завдання належать до класу задач теорії масового обслуговування. При цьому якщо потік заявок діє за законом Пуассона, а час обслуговування розподілений за показовим законом, то такі процеси називаються марківськими, для дослідження яких є добре розроблена теорія. Якщо ж потік заявок не діє за законом Пуассона й час обслуговування розподілений не за показовим законом, то такі задачі вже не підпадають під марківський процес і для їхнього розв'язку застосовується метод статистичного моделювання.

Розглянемо розв'язок подібного завдання.

Припустимо, сто станція технічного обслуговування автомобілів (СТОА) має два пости (два канали обслуговування) і два місця в черзі.

При дослідженні характеристик функціонування такої системи масового обслуговування (СМО) розглянемо моделювання інтервалів часу прибуття заявок на обслуговування й час обслуговування заявки розподілених за рівномірним законом.

Для реалізації цих процесів визначимо одним з відомих методів [6] рівномірно розподілені випадкові числа $y_i = R_i$ в інтервалі від 0 до 1.

Далі визначаємо інтервали часу прибуття заявок на СМО по вираженню

$$T^{*}_{i} = F^{-1}(R_i^{*})$$

і час обслуговування i-й заявки

$$T^{**}_{i} = F^{-1}(R_i^{**}).$$

Для цієї СМО залежно від величин T^{*}_{i} і T^{**}_{i} можемо мати чотири варіанти її функціонування.

1 варіант. Припустимо, що при моделюванні випадкових моментів надходження вимог на обслуговування і випадкового часу обслуговування заявок було отримано такі числа (у хвилинах):

T^{*}_{i}заявок = 0; 25, 30, 40, 50 і т.д.;

T^{**}_{i}обсл = 20, 22, 25, 30 і т.д.

Отримані значення часу відкладемо на відповідних осях рис. 1.

За цих умов буде працювати тільки перший канал. Другий канал буде простоювати без роботи і заявок, які очікують у черзі, не буде.

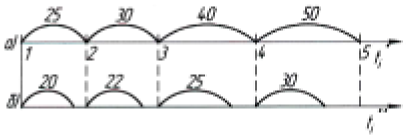


Рисунок 1 – Схема роботи СМО:
а) – час надходження заявок; б) – час обслуговування заявок

2 варіант. Припустимо, що при моделюванні випадкових моментів надходження заявок і випадкового часу обслуговування були отримані наступні числа (у хвилинах):

T^*_iзаявок = 0; 20; 18; 15 і т.д.

T^{**}_iобсл = 25; 30; 17 і т.д.

Отримані значення часу відкладемо на відповідних осях рис. 2.

За цих умов, як видно з рис. 2, будуть працювати обидва канали. Заявок, що чекатимуть в черзі, не буде.

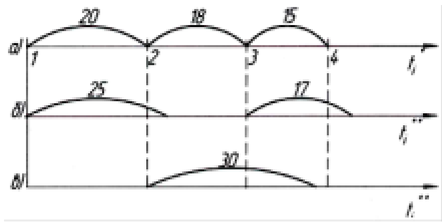


Рисунок 2 – Схема роботи СМО:
а) – час надходження заявок; б) – час обслуговування заявок першим каналом; в) – час обслуговування другим каналом

3 варіант. Припустимо, що при моделюванні випадкових моментів надходження заявок і часу обслуговування були отримані такі числа:

T^*_iзаявок = 0; 20; 50; 60 і т.д.

T^{**}_iобсл = 3 години; 2 години; 1 годину 20 хв.; 1 годину 40 хв. і т.д.

Отримані числа відкладемо на відповідних осях рис. 3.

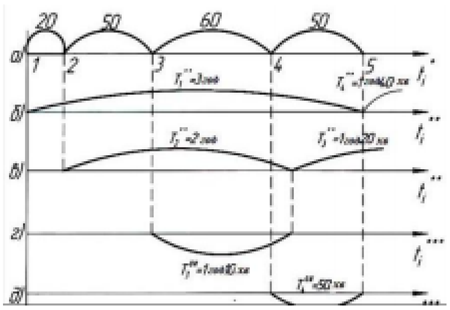


Рисунок 3 – Схема роботи СМО
а) - час надходження заявки, б) - час обслуговуванні першої та четвертої заявок; в) - час обслуговування другої і третьої заявок; г) - час перебування в черзі третьої заявки; д) - час перебування в черзі четвертої заявки

У заданих умовах працюватимуть обидва канали. Третя і четверта заявки будуть очікувати в черзі. Оскільки у СМО передбачено два місця в черзі, тому обидві заявки (третя і четверта) будуть обслужені.

4 варіант. Припустимо, що при моделюванні випадкових моментів надходження заявок і випадкового часу їх обслуговування було отримано такі числа:

T^*_iзаявок = 0; 20; 50; 40; 20; 20 і т.д.

T^{**}_iобсл = 4 години; 3 години 40 хв.; 4 години 5 хв.; 4 години 10 хв. і т.д.

Отримані числа відкладемо на відповідних осях рис. 4.

З рис. 4 видно, що для заданих умов працюватимуть обидва канали. Третя і четверта заявки будуть стояти в черзі. Оскільки СМО передбачає лише два місця в черзі, то п'ята і шоста заявки отримують відмову в обслуговуванні і підуть необслуженими.

Слід врахувати, що в СМО можуть бути накладені й інші умови на утворення черги.

Імітаційне моделювання є потужним 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 задач, а скоріше є засобом оцінки значень функціональних характеристик модельованої системи.

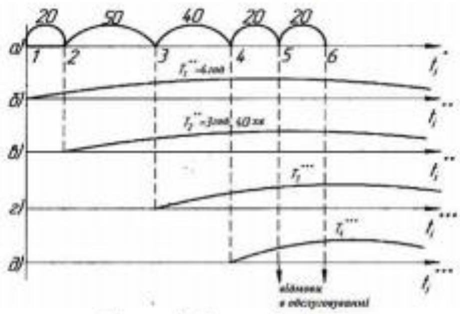


Рисунок 4 – Схема роботи СМО:

а) - час надходження заявки, б) - час обслуговувань першої заявки;
в) - час обслуговування другої заявки; г) - час перебування в черзі третьої заявки;
д) - час перебування в черзі четвертої заявки

Як показує практика, потік вимог, що входить у систему ремонту носить випадковий характер, нерівномірний і нестаціонарний у часі. Неможливо з достатньою точністю визначити, скільки вимог буде припадати на певний день роботи. Випадковий характер вхідного потоку вимог обумовлений в основному варіацією добових пробігів, раптовим характером відмов і несправностей, інтенсивністю й умовами експлуатації рухомого складу, пропускною здатністю системи ремонту й іншими факторами [3, 6].

Імітація є випадковим експериментом, тому будь-який результат, отриманий шляхом імітаційного моделювання, містить експериментальні похибки, отже, як у будь-якому статистичному експерименті, повинен ґрунтуватися на результатах відповідних статистичних перевірок.

Висновок

Для системи ремонту в організаціях автосервісу не можливо створити натурні експерименти внаслідок труднощів зі зміною значень змінних у реальних умовах. Для проведення експерименту використовується метод імітаційного моделювання, метою якого є пошук оптимальних технічних розв'язків.

Розроблена імітаційна модель дозволяє формувати близький до реальності потік авто на обслуговування (інтервалів часу прибуття заявок на обслуговування) і потік автомобілів без обслуговування (час обслуговування заявки).

Прикладне програмне забезпечення може бути використане для оптимізації оперативно-виробничого керування й удосконалювання організації ремонту автомобілів.

Перелік посилань

1. Малыхин В.И. Математические методы и модели исследования операций / В.И. Малыхин, В.А. Колемаев. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2008. – 592 с.
2. Шапкин А.С. Математические методы и модели исследования операций / А.С. Шапкин, В.А. Шапкин. – М. : Дашков и Ко, 2009. – 400 с.
3. Бедняк М.Н. Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей / М.Н. Бедняк. – Киев : Вища школа, 1983. – 131 с.
4. Завадский, Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта методом имитационного моделирования / Ю.В. Завадский. – М. : Транспорт, 1977. – 72 с.
5. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Е.С. Кузнецов. – М. : Транспорт, 1990. – 272 с.
6. Коновалов С. И. Моделирование производственных процессов автомобильного транспорта : учеб. пособие / С. И. Коновалов, С. А. Максимов, В. В. Савин ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос ун-та, 2006. – 244 с.

ДОДАТОК Б

Лістинг програми

Текст програм (основна програма)

```
L=2
OCH EQU 2
GENERATE 30,10
TEST L (Q1+Q2+Q3),OCH,POKIDAET
POST1 QUEUE 1 ; Зайняти чергу
SEIZE 1 ; Зайняти пост 1
DEPART 1 ; Звільнити чергу
ADVANCE 25,5 ; Обслуговування
RELEASE 1 ; Звільнити пост 1
TRANSFER ,VIHOD
POST2 QUEUE 2 ; Зайняти чергу
SEIZE 2
DEPART 2
ADVANCE 25,5
RELEASE 2
TRANSFER ,VIHOD
POST3 QUEUE 3
SEIZE 3
DEPART 3
ADVANCE 25,5
RELEASE 3
VIHOD TERMINATE
POKIDAET TRANSFER ,VIHOD
GENERATE 60 ; Година містить 60 хвилин
TERMINATE 1
START 8 ; 8 годин
```

```
L=3
OCH EQU 3
GENERATE 30,10
TEST L (Q1+Q2+Q3),OCH,POKIDAET
POST1 QUEUE 1 ; Зайняти чергу
SEIZE 1 ; Зайняти пост 1
DEPART 1 ; Звільнити чергу
ADVANCE 25,5 ; Обслуговування
RELEASE 1 ; Звільнити пост 1
```

```
TRANSFER ,VIHOD
POST2 QUEUE 2 ; Зайняти чергу
SEIZE 2
DEPART 2
ADVANCE 25,5
RELEASE 2
TRANSFER ,VIHOD
POST3 QUEUE 3
SEIZE 3
DEPART 3
ADVANCE 25,5
RELEASE 3
VIHOD TERMINATE
POKIDAET TRANSFER ,VIHOD
GENERATE 60 ; Година містить 60 хвилин
TERMINATE 1
START 8 ; 8 годин
```

```
L=4
OCH EQU 4
GENERATE 30,10
TEST L (Q1+Q2+Q3),OCH,POKIDAET
POST1 QUEUE 1 ; Зайняти чергу
SEIZE 1 ; Зайняти пост 1
DEPART 1 ; Звільнити чергу
ADVANCE 25,5 ; Обслуговування
RELEASE 1 ; Звільнити пост 1
TRANSFER ,VIHOD
POST2 QUEUE 2 ; Зайняти чергу
SEIZE 2
DEPART 2
ADVANCE 25,5
RELEASE 2
TRANSFER ,VIHOD
POST3 QUEUE 3
SEIZE 3
DEPART 3
ADVANCE 25,5
RELEASE 3
VIHOD TERMINATE
POKIDAET TRANSFER ,VIHOD
GENERATE 60 ; Година містить 60 хвилин
TERMINATE 1
```

START 8 ; 8 годин

Тексти додаткових програм

Експеримент 1(- -)

```
OCH EQU 4
GENERATE 20
TEST L (Q1+Q2),OCH,POKIDAET
POST1 TEST E (Q1<=Q2),1,POST2
QUEUE 1 ; Зайняти чергу
SEIZE 1 ; Зайняти пост 1
DEPART 1 ; Звільнити чергу
ADVANCE 25,5 ; Обслуговування
RELEASE 1 ; Звільнити пост 1
TRANSFER ,VIHOD
POST2 QUEUE 2 ; Зайняти чергу
SEIZE 2
DEPART 2
ADVANCE 25,5
RELEASE 2
VIHOD TERMINATE
POKIDAET TRANSFER ,VIHOD
GENERATE 60
TERMINATE 1
START 8 ; 8 годин
```

Експеримент 2 (- +)

```
OCH EQU 4
GENERATE 20
TEST L (Q1+Q2+Q3+Q4),OCH,POKIDAET
POST1 TEST E (Q1<=Q2 & Q1<=Q3 & Q1<=Q4),1,POST2
QUEUE 1 ; Зайняти чергу
SEIZE 1 ; Зайняти пост 1
DEPART 1 ; Звільнити чергу
ADVANCE 15,5 ; Обслуговування
RELEASE 1 ; Звільнити пост 1
TRANSFER ,VIHOD
POST2 TEST E (Q2<=Q3 & Q2<=Q4),1,POST3
QUEUE 2 ; Зайняти чергу
SEIZE 2
DEPART 2
```

```
ADVANCE 15,5
RELEASE 2
TRANSFER ,VIHOD
POST3 TEST E (Q3<=Q4),1,POST4
QUEUE 3 ; Зайняти чергу
SEIZE 3
DEPART 3
ADVANCE 15,5
RELEASE 3
TRANSFER ,VIHOD
POST4 QUEUE 4
SEIZE 4
DEPART 4
ADVANCE 15,5
RELEASE 4
VIHOD TERMINATE
POKIDAET TRANSFER ,VIHOD
GENERATE 60
TERMINATE 1
START 8 ; 8 годин
```

Експеримент 3 (+ -)

```
OCH EQU 4
GENERATE 40
TEST L (Q1+Q2),OCH,POKIDAET
POST1 TEST E (Q1<=Q2),1,POST2
QUEUE 1 ; Зайняти чергу
SEIZE 1 ; Зайняти пост 1
DEPART 1 ; Звільнити чергу
ADVANCE 25,5 ; Обслуговування
RELEASE 1 ; Звільнити пост 1
TRANSFER ,VIHOD
POST2 QUEUE 2 ; Зайняти чергу
SEIZE 2
DEPART 2
ADVANCE 25,5
RELEASE 2
VIHOD TERMINATE
POKIDAET TRANSFER ,VIHOD
GENERATE 60
TERMINATE 1
START 8 ; 8 годин
```

Експеримент 4 (+ +)

```
OCH EQU 4
GENERATE 40
TEST L (Q1+Q2+Q3+Q4),OCH,POKIDAET
POST1 TEST E (Q1<=Q2 & Q1<=Q3 & Q1<=Q4),1,POST2
QUEUE 1 ; Зайняти чергу
SEIZE 1 ; Зайняти пост 1
DEPART 1 ; Звільнити чергу
ADVANCE 15,5 ; Обслуговування
RELEASE 1 ; Звільнити пост 1
TRANSFER ,VIHOD
POST2 TEST E (Q2<=Q3 & Q2<=Q4),1,POST3
QUEUE 2 ; Зайняти чергу
SEIZE 2
DEPART 2
ADVANCE 15,5
RELEASE 2
TRANSFER ,VIHOD
POST3 TEST E (Q3<=Q4),1,POST4
QUEUE 3 ; Зайняти чергу
SEIZE 3
DEPART 3
ADVANCE 15,5
RELEASE 3
TRANSFER ,VIHOD
POST4 QUEUE 4
SEIZE 4
DEPART 4
ADVANCE 15,5
RELEASE 4
VIHOD TERMINATE
POKIDAET TRANSFER ,VIHOD
GENERATE 60
TERMINATE 1
START 8 ; 8 годин
```

ДОДАТОК В

Лістинг результатів роботи програми

```
              GPSS World Simulation Report - Модель первая при L=1 1.2.1
                        Saturday, April 25 , 2020 10:50:53
               START TIME           END TIME  BLOCKS  FACILITIES  STORAGES
                    0.000            480.000    23         1          0
                  NAME                      VALUE
              OCH                             2.000
              POKIDAET                       21.000
              POST1                           3.000
              POST2                           9.000
              POST3                          15.000
              VIHOD                          20.000
 LABEL                    LOC  BLOCK TYPE     ENTRY COUNT CURRENT COUNT RETRY
                          1    GENERATE           15             0       0
                          2    TEST               15             0       0
POST1                     3    QUEUE              15             0       0
                          4    SEIZE              15             0       0
                          5    DEPART             15             0       0
                          6    ADVANCE            15             0       0
                          7    RELEASE            15             0       0
                          8    TRANSFER           15             0       0
POST2                     9    QUEUE               0             0       0
                         10    SEIZE               0             0       0
                         11    DEPART              0             0       0
                         12    ADVANCE             0             0       0
                         13    RELEASE             0             0       0
                         14    TRANSFER            0             0       0
POST3                    15    QUEUE               0             0       0
                         16    SEIZE               0             0       0
                         17    DEPART              0             0       0
                         18    ADVANCE             0             0       0
                         19    RELEASE             0             0       0
VIHOD                    20    TERMINATE          15             0       0
POKIDAET                 21    TRANSFER            0             0       0
                         22    GENERATE            8             0       0
                         23    TERMINATE           8             0       0
FACILITY              ENTRIES  UTIL.    AVE. TIME AVAIL. OWNER PEND INTER RETRY DELAY
 1                         15    0.786      25.146  1        0    0    0     0     0
QUEUE                     MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME    AVE.(-0) RETRY
 1                          1    0     15     12     0.019      0.597       2.986   0
 2                          0    0      0      0     0.000      0.000       0.000   0
 3                          0    0      0      0     0.000      0.000       0.000   0
FEC XN    PRI          BDT        ASSEM  CURRENT  NEXT  PARAMETER    VALUE
    24     0          490.272       24      0       1
    25     0          540.000       25      0      22
```

```
GPSS World Simulation Report - Модель згорах L-3 1.3.1


              Saturday, April 25, 2020 11:08:57
     START TIME           END TIME  BLOCKS  FACILITIES  STORAGES
          0.000            480.000    23          1          0
          NAME                       VALUE
     OCH                              3.000
     POKIDAET                        21.000
     POST1                            3.000
     POST2                            9.000
     POST3                           15.000
     VIHOD                           20.000
 LABEL              LOC  BLOCK TYPE     ENTRY COUNT CURRENT COUNT RETRY
                    1    GENERATE           15             0       0
                    2    TEST               15             0       0
POST1               3    QUEUE              15             0       0
                    4    SEIZE              15             0       0
                    5    DEPART             15             0       0
                    6    ADVANCE            15             0       0
                    7    RELEASE            15             0       0
                    8    TRANSFER           15             0       0
POST2               9    QUEUE               0             0       0
                   10    SEIZE               0             0       0
                   11    DEPART              0             0       0
                   12    ADVANCE             0             0       0
                   13    RELEASE             0             0       0
                   14    TRANSFER            0             0       0
POST3              15    QUEUE               0             0       0
                   16    SEIZE               0             0       0
                   17    DEPART              0             0       0
                   18    ADVANCE             0             0       0
                   19    RELEASE             0             0       0
VIHOD              20    TERMINATE          15             0       0
POKIDAET           21    TRANSFER            0             0       0
                   22    GENERATE            8             0       0
                   23    TERMINATE           8             0       0
FACILITY         ENTRIES  UTIL.   AVE. TIME AVAIL. OWNER PEND INTER RETRY DELAY
 1                  15    0.786     25.146  1        0    0    0     0     0
QUEUE              MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME   AVE.(-0) RETRY
 1                  1    0     15     12     0.019      0.597      2.986   0
 2                  0    0      0      0     0.000      0.000      0.000   0
 3                  0    0      0      0     0.000      0.000      0.000   0
FEC XN   PRI          BDT      ASSEM  CURRENT  NEXT  PARAMETER    VALUE
    24    0        490.272      24      0       1
    25    0        540.000      25      0      22
```

GPSS World Simulation Report - Модель травля L-4 1.3.1

Saturday, April 25. 2020 11:15:56

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	480.000	23	1	0

NAME	VALUE
OCH	4.000
POKIDAET	21.000
POST1	3.000
POST2	9.000
POST3	15.000
VIHOD	20.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	17	0	0
	2	TEST	17	0	0
POST1	3	QUEUE	17	0	0
	4	SEIZE	17	0	0
	5	DEPART	17	0	0
	6	ADVANCE	17	1	0
	7	RELEASE	16	0	0
	8	TRANSFER	16	0	0
POST2	9	QUEUE	0	0	0
	10	SEIZE	0	0	0
	11	DEPART	0	0	0
	12	ADVANCE	0	0	0
	13	RELEASE	0	0	0
	14	TRANSFER	0	0	0
POST3	15	QUEUE	0	0	0
	16	SEIZE	0	0	0
	17	DEPART	0	0	0
	18	ADVANCE	0	0	0
	19	RELEASE	0	0	0
VIHOD	20	TERMINATE	16	0	0
POKIDAET	21	TRANSFER	0	0	0
	22	GENERATE	9	0	0
	23	TERMINATE	9	0	0

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
1	17	0.780	24.761	1	26	0	0	0	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
1	1	0	17	14	0.017	0.527	2.986	0
2	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0
3	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0

FEC XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
24	0	536.430	27	0	1		
25	0	600.000	28	0	22		

```
              GPSS World Simulation Report - Эксперимент 1 (- -) 3.2.1
                       Saturday, April 25, 2020 12:37:46

           START TIME           END TIME  BLOCKS  FACILITIES  STORAGES
                0.000            480.000     20        2           0
              NAME                        VALUE
          OCH                              2.000
          POKIDAET                        18.000
          POST1                            3.000
          POST2                           10.000
          POST3                       UNSPECIFIED
          VIHOD                           17.000
 LABEL              LOC  BLOCK TYPE     ENTRY COUNT CURRENT COUNT RETRY
                    1    GENERATE           24             0       0
                    2    TEST               24             0       0
POST1               3    TEST               24             0       0
                    4    QUEUE              19             1       0
                    5    SEIZE              18             0       0
                    6    DEPART             18             0       0
                    7    ADVANCE            18             1       0
                    8    RELEASE            17             0       0
                    9    TRANSFER           17             0       0
POST2              10    TEST                5             0       0
                   11    QUEUE               5             0       0
                   12    SEIZE               5             0       0
                   13    DEPART              5             0       0
                   14    ADVANCE             5             0       0
                   15    RELEASE             5             0       0
                   16    TRANSFER            5             0       0
VIHOD              17    TERMINATE          22             0       0
POKIDAET           18    TRANSFER            0             0       0
                   19    GENERATE            8             0       0
                   20    TERMINATE           8             0       0
FACILITY         ENTRIES  UTIL.   AVE. TIME AVAIL. OWNER PEND INTER RETRY DELAY
 1                  18    0.958     25.556  1        31    0    0     0     1
 2                   5    0.242     23.210  1         0    0    0     0     0
QUEUE              MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME   AVE.(-0) RETRY
 1                  1    1     19     1     0.523     13.217     13.951   0
 2                  1    0      5     5     0.000      0.000      0.000   0
 3                  0    0      0     0     0.000      0.000      0.000   0
FEC XN   PRI          BDT      ASSEM  CURRENT  NEXT  PARAMETER    VALUE
    31    0         493.464     31       7      8
    33    0         500.000     33       0      1
    34    0         540.000     34       0     19
```

Завідувачу кафедри ТМІТ
д-р.техн.наук Підченку С.К.

Антонюка Валентина Юрійовича
ПІБ здобувача вищої освіти

ФПКТС, 2 курсу, групи ПМм-19-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіатоповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

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

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

02.12.2020
дата

підпис

Mon Nov 23 13:02:42 EET 2020, Стецюк Віктор Іванович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 3.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Ошибок в документах: 21%**

ID: 80927 Название: Статистична імітаційна модель функціонування станції технічного обслуговування Добавлено в БД: 2020-11-23 Авторы: Антонюк Валентин Юрійович Руководители: Драч Ілона Володимирівна Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	105658	775	5670 (5%)	54 (7%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

UNICHECK

Имя пользователя:
Kafedra TMIT KhNU

ID проверки:
1005412004

Дата проверки:
09.12.2020 13:29:10 EET

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:
09.12.2020 13:33:02 EET

ID пользователя:
100005657

Название файла: Антонюк_ПМм-19-1

Количество страниц: 88 Количество слов: 12268 Количество символов: 91821 Размер файла: 1.44 MB ID файла: 1005703818

585 слов помечены как "исключенные" и не учитываются в подсчете слов

12.4% Совпадения

Наибольшее совпадение: 6.51% с Интернет-источником (https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/avto6_bilichenko_mo...

11.8% Источники из Интернета 143 .... Страница 90

0.85% Источники из Библиотеки 27 .... Страница 90

0.37% Цитат

Цитаты 2 .... Страница 91

Не найдено ни одной ссылки

0% Исключений

Нет исключенных источников

Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы 154

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

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

Назва: Статистична імітаційна модель функціонування станції технічного обслуговування

Автор: Антонюк Валентин Юрійович

Спеціальність: 113 – прикладна математика

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Драч Ілона Володимирівна, к.т.н доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження:

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

1) співпадіння з джерелами:

1 https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/avto6_bilichenko_modelyuvtehproces_avtotransportu/p6.html

2 https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/avto6_bilichenko_modelyuvtehproces_avtotransportu/p5.html

розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;

2) усі ці запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
3) усі інші джерела запозичення мають відсоток співпадінь менший 1%.

10.12.2020
Дата

Підчenko С.К.
Підпис

Драч І. В.
Підпис

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Дипломник Антонюк Валентин Юрійович

Тема Статистична імітаційна модель функціонування станції технічного обслуговування

Освітній рівень: магістр

Галузь знань: 11 Математика та статистика

Спеціальність: 113 Прикладна математика

Обсяг дипломної роботи

Кількість сторінок записки без додатків 91

Кількість сторінок додатків 17

Характеристика дипломної роботи магістра:

1. Короткий зміст ДР та прийнятих рішень *Метою роботи є моделювання стохастичних виробничих процесів в організації автосервісу з метою підвищення їх ефективності, вибору оптимальної стратегії й методів керування при заданих умовах функціонування системи ремонту розробка моделі оптимізації обробки звернення пацієнта сімейним лікарем на основі алгоритмів машинного навчання.*

Побудовано і проаналізовано структурну статистичну імітаційну модель функціонування автосервісу ТОВ «ЛІДЛ» м. Хмельницького і визначено його оптимальні характеристики.

2. Висновок про відповідність ДР завданню на ДР

Дипломна робота магістра повністю відповідає завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу роботи, ступінь використання останніх досягнень науки, техніки і передових методів роботи: *Робота складається з вступу, 3 розділів, висновків, додатків та переліку посилань. У вступі висвітлена актуальність поставленої задачі та мета роботи. Перший розділ роботи присвячений загальним питанням моделювання. Особлива увага приділена розгляду питань побудови стохастичних моделей на основі обробки дослідних даних. У другому розділі розглянуті питання моделювання випадкових процесів підприємств автомобільного транспорту методами теорії масового обслуговування й статистичного імітаційного моделювання.*

якими розв'язується широке коло задач. У третьому розділі розглянуто моделювання стохастичних виробничих процесів на підприємстві автосервісу «ЛІДЛ» м. Хмельницького. Для пошуку оптимальних технічних розв'язків використовується методи імітаційного моделювання і теорії СМО. На основі аналізу результатів моделювання й імітаційних експериментів визначено практичні рекомендації для організації роботи СТОА «ЛІДЛ» з метою підвищення її ефективності, вибору оптимальної стратегії й методів керування при заданих умовах функціонування системи ремонту. Перелік посилань складає 24 джерела інформації. Робота виконана з використанням сучасних підходів до моделювання та комп'ютерних технологій

4. Позитивні сторони роботи *Основною особливістю дослідження є опис розв'язку виробничих завдань у вигляді математичних моделей, алгоритмів і програми їх реалізації.*

5. Негативні сторони роботи *Суттєвих зауважень до виконаної роботи немає.*

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи *Текстова частина виконана акуратно і згідно діючих стандартів. Формули, таблиці, рисунки оформлені відповідно до вимог.*

7. Відгук про роботу в цілому *Тема роботи є актуальною, підхід до розв'язання проблеми самостійний, матеріал викладено обґрунтовано, висновки дослідження чіткі і логічні. Робота виконана на високому теоретичному рівні, має практичне застосування.*

8. Інші зауваження *Помилок, що впливають на кінцевий результат роботи, не знайдено.*

9. Оцінка дипломної роботи *Дипломна робота магістра Антонюка В.Ю. заслуговує на оцінку «добре».*

РЕЦЕНЗЕНТ *Міхалевський Віталій Цезарійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри КНІТ Хмельницького національного університету*

Прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи

"27" листопада 2020р.

Підпис

SHARP AQUOS S2