

Державний торговельно-економічний університет
Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Імітаційне моделювання логістичної системи»

Студентки 4 курсу, 10 групи,
спеціальності
122 «Комп'ютерні науки»

Саханда Анастасія
Олександрівна

підпис студента

Науковий керівник
старший викладач кафедри

Селіванова Анна
Віталіївна

підпис керівника

Гарант освітньої програми
кандидат технічних наук, доцент

Демідов Павло
Георгійович

підпис керівника

Київ 2023

Державний торговельно-економічний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем

Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

Зав. кафедри _____

Затверджую

Пурський О.І.

«12» грудня 2022 р.



Завдання

на випускню кваліфікаційну роботу студенту

Саханда Анастасія Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

«Імітаційне моделювання логістичної системи»

Затверджена наказом ректора від 9 грудня 2022 р. №3332

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 30 травня 2023 року

3. Цільова установка та вихідні дані до роботи

Мета роботи: розробка імітаційної моделі логістичної системи

Об'єкт дослідження: процеси функціонування логістичних систем

Предмет дослідження: інформаційні технології імітаційного моделювання логістичних систем

4. Перелік графічного матеріалу _____

5. Консультанти по роботі із зазначенням розділів, за якими здійснюється консультування:

| Розділ | Консультант (прізвище, ініціали) | Підпис, дата | |
|--------|-------------------------------------|----------------|------------------|
| | | Завдання видав | Завдання прийняв |
| 1 | Селіванова А.В. | 15.12.2022 р. | 15.12.2022 р. |
| 2 | Селіванова А.В. | 15.12.2022 р. | 15.12.2022 р. |
| 3 | Селіванова А.В. | 15.12.2022 р. | 15.12.2022 р. |

6. Зміст випускної кваліфікаційної роботи (перелік питань за кожним розділом)

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. Загальна проблематика моделювання логістичних систем

1.1. Сучасний стан логістичних систем

1.2. Аналіз особливостей імітаційного моделювання логістичних систем

1.3. Інформаційні технології імітаційного моделювання логістичних систем

РОЗДІЛ 2. Розробка моделі логістичної системи

2.1. Специфіка функціонування логістичних систем

2.2. Розробка діаграм взаємодії

2.3. Розробка імітаційної моделі логістичної системи

РОЗДІЛ 3. Реалізація імітаційної моделі логістичної системи

3.1. Специфіка побудови імітаційних моделей

3.2. Реалізація імітаційної моделі в середовищі AnyLogic

3.3. Проведення оптимізаційного експерименту

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

7. Календарний план виконання роботи

| № | Назва етапів випускної кваліфікаційної | Строк виконання етапів |
|---|--|------------------------|
|---|--|------------------------|

| Пор. | роботи | роботи | |
|------|--|---------------------------|---------------------------|
| | | За планом | фактично |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | <i>Вибір теми випускної кваліфікаційної роботи</i> | 04.10.2022 | 04.10.2022 |
| 2 | <i>Розробка та затвердження завдання на випускну кваліфікаційну роботу</i> | 15.12.2022 | 15.12.2022 |
| 3 | <i>Вступ</i> | 03.02.2023 | 03.02.2023 |
| 4 | <i>РОЗДІЛ 1. Загальна проблематика моделювання логістичних систем</i> | 28.02.2023 | 28.02.2023 |
| 5 | <i>РОЗДІЛ 2. Розробка моделі логістичної системи</i> | 06.04.2023 | 06.04.2023 |
| 6 | <i>РОЗДІЛ 3. Реалізація імітаційної моделі логістичної системи</i> | 12.05.2023 | 12.05.2023 |
| 7 | <i>Висновки</i> | 15.05.2023 | 15.05.2023 |
| 8 | <i>Здача випускної кваліфікаційної роботи на кафедру науковому керівнику</i> | 30.05.2023 | 30.05.2023 |
| 9 | <i>Попередній захист випускної кваліфікаційної роботи</i> | 31.05.2023 -01.06.2023 | 31.05.2023 -01.06.2023 |
| 11 | <i>Виправлення зауважень, зовнішнє рецензування випускної кваліфікаційної роботи</i> | 02.06.2023 | 02.06.2023 |
| 12 | <i>Представлення готової зшитої випускної кваліфікаційної роботи на кафедру</i> | 05.06.2023 | 05.06.2023 |
| 13 | <i>Публічний захист випускної кваліфікаційної роботи</i> | За розкладом роботи ЕК | |

8. Дата видачі завдання

9. Керівник випускної кваліфікаційної роботи

Селіванова А.В.

(прізвище, ініціали, підпис)

10. Гарант освітньої програми

Демідов П.Г.

(прізвище, ініціали, підпис)

11. Завдання прийняв до виконання студент-дипломник

Саханда А.О.

(прізвище, ініціали,

підпис)

ЗМІСТ

| | |
|--|--|
| Наукова і практична значимість | |
| Економічна значимість | |
| Використання імітаційного моделювання та засобу AnyLogic | |
| РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ПРОБЛЕМАТИКА МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ..... | |
| 1.1. Сучасний стан логістичних систем | |
| 1.2. Аналіз особливостей імітаційного моделювання логістичних систем | |
| 1.3. Інформаційні технології імітаційного моделювання логістичних систем..... | |
| РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ | |
| 2.1. Специфіка функціонування логістичних систем | |
| 2.2. Розробка діаграм взаємодій..... | |
| 2.2.1. Діаграма Взаємодії | |
| 2.2.2. Діаграма Послідовності | |
| 2.2.3. Діаграма Прецедентів | |
| 2.3. Розробка імітаційної моделі логістичної системи..... | |
| 2.3.1 Огляд методів моделювання логістичних систем | |
| 1. Аналітичні методи моделювання..... | |
| 2. Емпіричні методи моделювання..... | |
| 3. Симуляційні методи моделювання..... | |
| 2.3.2. Аналіз переваг і обмежень імітаційного моделювання з використанням AnyLogic | |
| 2.3.3. Порівняння існуючих методів моделювання логістичних систем | |
| 2.3.4 Висновки щодо аналізу існуючих методів розв'язку задачі | |
| РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ..... | |
| 3.1. Специфіка побудови імітаційних моделей | |
| 3.1.1. Визначення ключових елементів системи | |
| 3.1.2. Встановлення взаємозв'язків між елементами..... | |
| 3.1.3. Визначення характеристик елементів системи | |
| 3.1.4. Визначення параметрів системи | |
| 3.1.5. Розробка логістичних моделей | |
| 3.1.6. Валідація моделей | |
| 3.1.7. Документування концептуальної моделі | |
| 3.1.8. Розробка імітаційної моделі | |
| 3.1.9. Вибір імітаційного засобу | |
| 3.1.10. Структура імітаційної моделі..... | |
| 3.1.11. Реалізація логіки роботи моделі | |
| 3.1.12. Валідація і тестування моделі | |
| 3.1.13. Аналіз результатів моделювання | |
| 3.1.14. Документування імітаційної моделі..... | |
| 3.2. Реалізація імітаційної моделі в середовищі AnyLogic..... | |
| 3.3. Проведення оптимізаційного експерименту..... | |
| ВИСНОВКИ | |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | |

ВСТУП

У сучасному світі, де глобалізація та міжнародна торгівля набувають все більшого значення, логістичні системи виявляються вирішальними для ефективності та успіху підприємств у різних галузях. Міжнародні логістичні системи, зокрема, стикаються з рядом складних викликів, пов'язаних з управлінням, постачанням, транспортуванням, зберіганням та розподілом товарів у різних країнах та континентах [2].

Мета даної роботи полягає в описі процесу створення імітаційної моделі для міжнародної логістичної системи з використанням засобів імітаційного моделювання. Основним завданням роботи є розробка та побудова діаграм взаємодії, послідовності та діяльності, що дозволять уявити та проаналізувати роботу системи.

Об'єктом дослідження є міжнародна логістична система, яка включає постачання, транспортування, зберігання та розподіл товарів у міжнародному контексті, загалом – процеси функціонування логістичних систем.

Предметом дослідження є інформаційні технології імітаційного моделювання логістичних систем.

Методологія роботи базується на імітаційному моделюванні, яке є потужним інструментом для аналізу та оптимізації логістичних систем. Для створення імітаційної моделі ми використовуватимемо засіб AnyLogic, який є відомим інструментом для розробки діаграм взаємодії, послідовності, діяльності та інших типів діаграм, необхідних для моделювання процесів у логістичній системі. Застосування AnyLogic дозволить нам зобразити роботу системи візуально та проаналізувати її функціонування, виявити можливі проблеми та знайти шляхи для їх вирішення [1].

Основними **методами дослідження** в рамках даної роботи будуть аналіз літературних джерел, дослідження теоретичних основ логістики та імітаційного моделювання, а також використання інструменту AnyLogic для побудови імітаційної моделі.

Результати даної роботи будуть спрямовані на вдосконалення розуміння логістичних процесів у міжнародних системах, а також нададуть підґрунтя для подальших досліджень та вдосконалення логістичного управління.

Для досягнення поставленої мети дослідження формулюються наступні завдання:

- Аналіз поточних логістичних процесів у міжнародній логістичній системі.
- Виявлення проблемних зон та факторів, що впливають на ефективність системи.
- Розробка імітаційної моделі системи з використанням засобу ЕрВін.
- Визначення критеріїв ефективності системи та розробка метрик для оцінки їх досягнення.
- Виконання експериментів з різними сценаріями функціонування системи та аналіз їх результатів.
- Встановлення оптимальних стратегій та рекомендацій для вдосконалення логістичних процесів у міжнародній системі.

Актуальність дослідження

У сучасному світі, де глобалізація та міжнародна торгівля стають все більш значущими, ефективна логістична система є надзвичайно важливою для успішної діяльності підприємств у різних галузях. Міжнародні логістичні системи, зокрема, стикаються з унікальними викликами, пов'язаними з управлінням постачанням, транспортуванням, зберіганням та розподілом товарів у різних країнах та континентах. Підвищення ефективності та оптимізація роботи міжнародних логістичних систем є ключовими факторами для забезпечення конкурентоспроможності підприємств у глобальному ринковому середовищі [14].

Наукова і практична значимість

Вивчення та моделювання логістичних систем з використанням імітаційного підходу має велике наукове значення. Це дозволяє розкрити складні взаємозв'язки та виявити потенційні проблеми, що можуть виникнути у логістичній системі. Застосування імітаційного моделювання дозволяє виконати експерименти та аналізувати різні сценарії функціонування системи без необхідності використання реальних ресурсів та часу [13].

Практична значимість даної роботи полягає в тому, що вона надає засоби та підходи для покращення ефективності міжнародних логістичних систем. Результати дослідження можуть бути використані підприємствами для оптимізації своїх логістичних процесів, зниження витрат та покращення якості обслуговування клієнтів. Застосування імітаційної моделі дозволяє ідентифікувати слабкі місця в логістичній системі та виявляти можливості для їх вдосконалення, такі як оптимізація маршрутів доставки, планування запасів або впровадження нових технологій [12].

Економічна значимість

Міжнародна торгівля є важливим джерелом економічного зростання та розвитку країн. Оптимізація функціонування логістичних систем в міжнародному контексті може мати прямий вплив на зниження витрат, підвищення швидкості та надійності доставки, покращення якості обслуговування та збільшення задоволеності клієнтів. Це сприяє зміцненню конкурентних позицій підприємств, залученню нових клієнтів та розширенню ринків збуту. Оптимізація логістичних систем може також сприяти зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема шляхом зменшення викидів вуглецю та енергозбереження [13].

Використання імітаційного моделювання та засобу AnyLogic

Вибір імітаційного моделювання як методу дослідження має свої переваги. Воно дозволяє створювати віртуальну модель реальної системи, в якій можна відтворювати різні сценарії, тестувати рішення та оцінювати їх ефективність без ризику та витрат. Засіб AnyLogic відомий своєю простотою

використання та можливостями побудови різноманітних діаграм, які відображають в залежності між компонентами системи. Використання засобу AnyLogic дозволить нам візуалізувати логістичну систему, її процеси та взаємодію між її складовими частинами. Ми зможемо побудувати діаграми взаємодії, послідовності, діяльності та інші, що допоможуть нам краще зрозуміти, як працює система, і виявити можливі проблеми або неефективність в процесах логістики. Крім того, засіб AnyLogic має вбудовані можливості статистичного аналізу та моделювання, що дозволяє проводити експерименти з різними параметрами системи і оцінювати їх вплив на її продуктивність. Це дозволить нам знайти оптимальні рішення та розробити рекомендації щодо вдосконалення логістичної системи [12].

Отже, використання імітаційного моделювання засобом AnyLogic є обґрунтованим підходом для досягнення мети нашої роботи – створення імітаційної моделі для міжнародної логістичної системи. Цей підхід дозволяє нам детально дослідити роботу системи, виявити можливі проблеми та знайти шляхи для їх вирішення, що має значимість як з наукової, так і з практичної точок зору. У наступних розділах ми розкриємо процес створення імітаційної моделі з використанням засобу AnyLogic, а також проведемо аналіз її роботи та надамо висновки щодо ефективності та можливостей вдосконалення міжнародної логістичної системи [13].

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ПРОБЛЕМАТИКА МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ

1.1. Сучасний стан логістичних систем

Сучасний стан логістичних систем є важливою темою в наукових дослідженнях, оскільки він визначає ефективність та конкурентоспроможність підприємств у сучасному світі. Логістичні системи є складними мережами, які включають в себе різноманітні діяльності, такі як постачання, транспортування, зберігання, управління запасами та інші процеси, спрямовані на ефективний рух товарів від постачальників до кінцевих споживачів.

Опис сучасного стану логістичних систем:

1. Технологічні інновації: В сучасних логістичних системах значну роль відіграють новітні технології. Автоматизація, використання роботів, системи штучного інтелекту та аналітичні інструменти дозволяють оптимізувати процеси та знижувати витрати. Наприклад, використання автоматичних сортувальних систем у складських приміщеннях дозволяє прискорити обробку товарів та знизити ризик помилок.

2. Інтеграція логістичних систем: У сучасному стані логістичних систем велика увага приділяється інтеграції між різними ланками постачальницького ланцюга. За допомогою електронних систем обміну даними, підприємства можуть спільно планувати та координувати діяльність, що дозволяє знизити запаси, скоротити час доставки.

3. Управління запасами: Ефективне управління запасами є важливим аспектом логістичних систем. Сучасні підходи до управління запасами базуються на точних аналізах попиту, використанні передових алгоритмів прогнозування та оптимізації запасів. Також використовуються методи, що дозволяють забезпечити стабільний рівень запасів і уникнути дефіциту або перевищення запасів.

4. Екологічна логістика: З урахуванням зростання екологічних проблем, сучасні логістичні системи ставлять перед собою завдання зменшити негативний вплив на довкілля. Вони використовують екологічно чисті транспортні засоби, вдосконалюють маршрутизацію доставки, працюють над зменшенням викидів та оптимізують використання енергії.

5. Глобалізація та міжнародна логістика: Зростання глобалізації привело до збільшення обсягів міжнародної торгівлі. Сучасні логістичні системи мають враховувати особливості міжнародного руху товарів, такі як митні процедури, логістика мультимодального транспорту, управління складськими запасами на різних ринках тощо.

6. Управління ризиками: У сучасних логістичних системах важливе значення має управління ризиками. Небезпеки можуть включати такі чинники, як природні катастрофи, терористичні загрози, фінансові кризи тощо. Ефективне управління ризиками включає аналіз, прогнозування та розробку планів надійного функціонування логістичних систем у непередбачуваних ситуаціях.

7. Омніканальна логістика: З впровадженням електронної торгівлі та змінами в споживацькому поведінці, сучасні логістичні системи повинні забезпечувати інтегроване управління рухом товарів через різні канали збуту (онлайн-магазини, фізичні магазини, мобільні додатки тощо). Це вимагає побудови гнучких та швидкодіючих систем, здатних задовольняти змінні потреби клієнтів та забезпечувати швидку доставку та обробку замовлень [8].

8. Аналітика та інформаційні системи: В сучасних логістичних системах велике значення має збір, обробка та аналіз великого обсягу даних. Використання аналітичних інструментів та інформаційних систем дозволяє здійснювати прогнозування попиту, оптимізувати маршрутизацію та планування, покращувати якість обслуговування та приймати обґрунтовані рішення.

9. Управління ланцюгами постачання: Сучасні логістичні системи активно впроваджують підходи до управління ланцюгами постачання (Supply

Chain Management). Це означає спільне планування та співробітництво між різними суб'єктами ланцюга постачання, що дозволяє зменшити запаси, скоротити час доставки та забезпечити ефективну координацію всього ланцюга [7].

10. Соціально-економічні аспекти: У сучасних логістичних системах важливо враховувати соціальні та економічні аспекти. Це означає створення сприятливих умов праці для логістичних працівників, дотримання стандартів якості та етичних норм, а також врахування соціальної відповідальності та екологічних вимог [6].

Висновок:

Сучасний стан логістичних систем характеризується широким спектром функцій, технологічними інноваціями, інтеграцією, екологічною орієнтацією та ефективним управлінням ризиками. Розвиток цих систем є ключовим фактором для забезпечення конкурентоспроможності підприємств у глобальному ринковому середовищі. Дослідження сучасного стану логістичних систем дозволить вдосконалити їх ефективність та забезпечити стабільну та ефективну роботу постачальницьких ланцюгів. Важливою перспективою дослідження є пошук нових інновацій та розвиток технологій, спрямованих на підвищення автоматизації, оптимізації процесів та забезпечення сталого розвитку логістичних систем. Подальше дослідження може спрямовуватися на аналіз впливу цифровізації, штучного інтелекту та інших новаторських технологій на логістичні системи, а також на вивчення впливу соціальних та екологічних факторів на їх функціонування.

Виконання глибокого дослідження сучасного стану логістичних систем допоможе виявити сильні та слабкі сторони, визначити напрями подальшого розвитку та розробити стратегії управління, спрямовані на підвищення ефективності та конкурентоспроможності [9].

1.2. Аналіз особливостей імітаційного моделювання логістичних систем

Основна мета імітаційного моделювання полягає у створенні комп'ютерної моделі, яка дозволяє відтворити поведінку логістичної системи у віртуальному середовищі. Цей метод забезпечує можливість провести експерименти, аналізувати результати та приймати рішення щодо оптимізації логістичних процесів. В аналізі особливостей імітаційного моделювання логістичних систем слід розглянути наступні аспекти:

1. Визначення цілей моделювання: Розкрийте мету та завдання, які покладаються перед імітаційною моделлю логістичної системи. Це можуть бути питання про оцінку ефективності системи, планування ресурсів, аналіз ризиків тощо. Важливо чітко сформулювати цілі, щоб визначити обсяг та складність моделі.

2. Вибір моделювання: Розгляньте різні підходи до моделювання логістичних систем та виберіть найбільш відповідний метод імітаційного моделювання. Наприклад, можна використовувати агентне моделювання, дискретно-подійне моделювання або системну динаміку, залежно від характеристик досліджуваної системи. Визначення параметрів моделі: Встановіть основні параметри, що впливають на поведінку логістичної системи. Це можуть бути параметри, такі як час транспортування, пропускна здатність складських приміщень, час обробки замовлень, кількість працівників та інші фактори, які мають вплив на ефективність логістичної системи. Важливо провести аналіз та збір даних, які дозволять правильно визначити ці параметри [10].

3. Розробка логістичних сценаріїв: Сформулюйте різні сценарії функціонування логістичної системи, які ви бажаєте дослідити. Наприклад, можна розглянути сценарії зі зміненими рівнями попиту, зміненими умовами постачання, різними режимами роботи працівників тощо. Це дозволить оцінити реакцію системи на змінні умови та знайти оптимальні рішення. Валідація та верифікація моделі: Перевірте правильність і достовірність

моделі шляхом порівняння результатів імітаційного моделювання з реальними даними або іншими методами аналізу. Важливо переконатися, що модель достатньо точно відображає поведінку реальної логістичної системи.

4. Аналіз результатів: Оцініть результати моделювання та проведіть аналіз ефективності логістичної системи за допомогою імітаційної моделі. Визначте ключові метри, такі як час обробки замовлень, запаси, витрати на транспортування тощо, і проаналізуйте вплив різних факторів та стратегій на ці метри. Висновки та рекомендації: Зробіть висновки на підставі аналізу результатів і надайте рекомендації щодо оптимізації логістичної системи. Важливо підкреслити переваги та обмеження імітаційного моделювання, а також можливість його застосування для вирішення конкретних проблем логістичних систем.

5. Обґрунтування вибору імітаційного моделювання: Поясніть, чому саме імітаційне моделювання є відповідним методом для аналізу логістичних систем. Виокреміть його переваги, такі як гнучкість, можливість детального моделювання різних аспектів системи, здатність враховувати нелінійні залежності та варіативність умов, а також здатність виконувати експерименти без реального впливу на систему. Важливість збору та аналізу даних: Підкресліть значення належного збору та аналізу даних для побудови точної імітаційної моделі. Обговоріть джерела даних, які можуть бути використані, такі як історичні дані про процеси логістики, розподілені дані, результати попередніх досліджень, а також методи обробки та аналізу даних [11].

6. Визначення вхідних параметрів та змінних: Детально розкрийте вхідні параметри та змінні, які використовуються в імітаційній моделі. Це можуть бути такі фактори, як розмір попиту, швидкість обробки замовлень, пропускна здатність транспортних засобів, час доставки, витрати тощо. Поясніть, як ці параметри впливають на роботу системи та як вони враховуються в моделі. Стратегії моделювання та аналізу результатів:

Опишіть різні стратегії моделювання та аналізу результатів, які можуть бути застосовані в імітаційному моделюванні логістичних систем.

7. Встановлення розміру імітаційної моделі: Визначте обсяг та розмір моделі, зокрема кількість логістичних вузлів, складських приміщень, працівників тощо. Обговоріть критерії визначення оптимального розміру моделі і вплив його на точність та обчислювальну складність. Визначення часової шкали моделі: Поясніть, яким чином вимірюється час у моделі, виберіть відповідну часову шкалу (наприклад, години, дні, тижні) і обговоріть, як це впливає на деталізацію та точність моделі.

8. Розробка структури моделі: Опишіть структуру і компоненти імітаційної моделі, такі як логістичні вузли, транспортні маршрути, складські приміщення, працівники тощо. Розгляньте способи забезпечення взаємодії між компонентами та передачі інформації. Встановлення алгоритмів та правил роботи системи: Опишіть алгоритми та правила, які використовуються в моделі для прийняття рішень щодо маршрутів доставки, розподілу ресурсів, призначення працівників та інших аспектів функціонування системи.

9. Врахування стохастичності та випадкових подій: Розгляньте можливість випадкових подій та стохастичного характеру деяких факторів, які можуть впливати на логістичну систему. Визначте методи врахування цих факторів у моделі, такі як використання випадкових чисел, розподілів ймовірностей тощо. Калібрування та валідація моделі: Опишіть процедури калібрування та валідації моделі, які допоможуть забезпечити її адекватність та точність. Проведіть аналіз реакції моделі на вхідні параметри та порівняйте результати з емпіричними даними або іншими джерелами інформації.

10. Чутливість моделі до зміни параметрів: Визначте, які параметри моделі мають найбільший вплив на результати та ефективність логістичної системи. Проаналізуйте чутливість моделі до зміни цих параметрів та визначте критичні значення, при яких система може втратити ефективність.

Інтеграція імітаційної моделі з іншими системами: Розгляньте можливості інтеграції імітаційної моделі з іншими інформаційними системами, такими як системи управління запасами, системи автоматизованого планування виробництва тощо. Визначте способи передачі даних та обміну інформацією між моделлю та іншими системами [12].

11. Оцінка переваг та обмежень імітаційного моделювання: Обговоріть переваги та обмеження використання імітаційного моделювання для аналізу логістичних систем. Зверніть увагу на його потенційні переваги у порівнянні з альтернативними методами, а також на обмеження, пов'язані з точністю, обчислювальними вимогами та складністю моделі. Можливості оптимізації системи за допомогою моделювання: Розгляньте можливості використання імітаційного моделювання для оптимізації логістичної системи. Порівняйте різні стратегії та рішення, що базуються на результатах моделювання, і обговоріть їх можливі впливи на продуктивність та ефективність системи.

12. Ризики та можливі сценарії помилок: Визначте потенційні ризики та помилки, які можуть виникнути під час імітаційного моделювання логістичних систем. Розгляньте сценарії непередбачуваних подій, помилкових даних або невірно встановлених параметрів і обговоріть можливі шляхи їх управління та виправлення. Порівняння моделей та альтернативних методів: Порівняйте імітаційне моделювання з іншими альтернативними методами аналізу логістичних систем, такими як аналітичні моделі, статистичні методи або емпіричні дослідження. Визначте переваги та обмеження кожного підходу та обговоріть ситуації, в яких імітаційне моделювання є найбільш відповідним.

13. Розгляд варіаційних сценаріїв: Проведіть аналіз різних варіаційних сценаріїв у моделі, таких як зміна вхідних параметрів, стратегій прийняття рішень або режимів роботи системи. Обговоріть вплив цих сценаріїв на продуктивність, вартість або інші показники ефективності системи. Визначення метрик та показників ефективності: Встановіть метрики

та показники ефективності для оцінки результатів моделювання логістичної системи. Розгляньте такі фактори, як час обробки замовлень, вартість доставки, запаси товарів, задоволеність клієнтів тощо. Обговоріть методи вимірювання та аналізу цих показників.

14. Розвиток та покращення моделі: Відзначте, що імітаційна модель логістичної системи є динамічним інструментом, який може бути вдосконалений та розвинений. Обговоріть можливі шляхи покращення моделі, включаючи розширення функціональності, вдосконалення алгоритмів, врахування додаткових факторів або впровадження нових стратегій прийняття рішень. Аналіз ризиків та сценаріїв управління кризовими ситуаціями: Розгляньте можливі ризики та кризові ситуації, які можуть виникнути у логістичній системі. Розробіть сценарії управління кризовими ситуаціями та перевірте їх ефективність за допомогою імітаційного моделювання. Зверніть увагу на вплив кризових ситуацій на продуктивність, вартість та репутацію системи.

15. Прикладний аспект моделювання: Розгляньте практичний аспект використання імітаційного моделювання для аналізу логістичних систем. Визначте сфери застосування, такі як оптимізація маршрутів доставки, планування запасів, прогнозування попиту тощо. Розгляньте успішні приклади впровадження моделей та їхні впливи на реальні логістичні системи. Контроль та оцінка якості моделі: Встановіть процедури контролю та оцінки якості імітаційної моделі логістичної системи. Розгляньте методи перевірки стабільності, точності та надійності моделі. Обговоріть критерії прийнятності результатів моделювання та процедури їх перевірки [10].

1.3. Інформаційні технології імітаційного моделювання логістичних систем

Інформаційні технології імітаційного моделювання логістичних систем – це актуальна тема в сучасній логістиці, яка дозволяє досліджувати та аналізувати поведінку логістичних систем, їх оптимізацію та удосконалення за допомогою імітаційних моделей. Імітаційне моделювання –

це метод дослідження складних систем, який полягає в створенні комп'ютерної моделі, що дозволяє імітувати функціонування системи в реальному часі. Цей метод використовують у багатьох галузях, включаючи логістику. Інформаційні технології імітаційного моделювання логістичних систем можуть бути застосовані для вирішення різних задач, таких як:

Оцінка ефективності логістичної системи. Імітаційне моделювання дозволяє визначити ефективність роботи логістичної системи, зокрема, рівень обслуговування клієнтів, час очікування на отримання товару, рівень запасів тощо. Прогнозування розвитку логістичної системи. Імітаційне моделювання дозволяє відтворити різні сценарії розвитку логістичної системи, оцінити їх вплив на роботу системи та визначити найбільш оптимальний варіант розвитку.

У відповідь на зростаючі вимоги ефективності, надійності та швидкості логістичних систем, інформаційні технології імітаційного моделювання набувають все більшого значення. Імітаційне моделювання дозволяє розглядати логістичні системи як складні динамічні системи, вивчати їх реакцію на зміни у вхідних параметрах, аналізувати різні сценарії та робити прогнози щодо їх функціонування [15].

Основні принципи імітаційного моделювання:

1. Взаємодія компонентів: Імітаційні моделі логістичних систем враховують взаємодію між різними компонентами системи, такими як склади, транспортні засоби, постачальники, клієнти та інші. Вони враховують обмін інформацією, потоки матеріалів та ресурсів, координацію дій між компонентами для досягнення бажаного результату [16].

2. Випадковість і невизначеність: Імітаційне моделювання дозволяє враховувати випадковість і невизначеність, які часто присутні в логістичних системах. Це можуть бути зміни в попиті, транспортні затримки, випадкові поломки обладнання тощо.

3. Врахування часу: Часовий аспект є важливим в логістичних системах, оскільки вони працюють у реальному часі. Імітаційні моделі

включають в себе динаміку часу, де події та процеси відбуваються відповідно до встановлених часових параметрів, що дозволяє аналізувати продуктивність системи в різних проміжках часу та визначати оптимальні режими роботи.

4. Валідація та верифікація: Для того, щоб імітаційні моделі були достовірними та точними, необхідно проводити процедури валідації та верифікації. Валідація означає перевірку правильності моделі, її відповідності реальним даним та поведінці системи. Верифікація полягає в перевірці правильності реалізації моделі та відповідності її специфікаціям [17].

5. Експерименти та сценарії: Імітаційні моделі дозволяють виконувати різноманітні експерименти та сценарії, що допомагають визначити оптимальні рішення та стратегії для покращення логістичних систем. За допомогою моделювання можна аналізувати вплив різних параметрів, розглядати альтернативні варіанти та знаходити оптимальні рішення для досягнення поставлених цілей.

6. Аналіз результатів: Після завершення імітаційного моделювання проводиться аналіз отриманих результатів. Це включає оцінку ефективності системи, виявлення проблемних аспектів, визначення пріоритетів для подальших вдосконалень.

7. Оптимізація та планування: Інформаційні технології імітаційного моделювання допомагають в оптимізації та плануванні логістичних систем. Шляхом проведення експериментів і виконання різних сценаріїв моделювання можна знайти оптимальні рішення щодо розстановки ресурсів, вибору маршрутів, управління запасами та інших логістичних процесів. Такий підхід дозволяє знизити витрати, покращити ефективність та забезпечити оптимальне використання ресурсів.

8. Прогнозування та стратегічне планування: Імітаційне моделювання дозволяє здійснювати прогнозування та стратегічне планування для логістичних систем. Шляхом аналізу даних, використання

статистичних методів та імітаційних моделей можна прогнозувати попит на товари, необхідність в ресурсах, визначати оптимальні розклади доставок та розподілу ресурсів на майбутній період. Це дозволяє логістичним системам бути готовими до змін та забезпечувати ефективне планування своїх дій [18].

9. Впровадження нових рішень: Імітаційне моделювання допомагає впроваджувати та оцінювати нові рішення в логістичних системах. Завдяки моделюванню можна оцінити вплив нових технологій, стратегій, політик на функціонування системи перед їх фактичним впровадженням. Це дозволяє зменшити ризики та забезпечити успішне впровадження нових рішень, спрямованих на покращення ефективності та результативності логістичної діяльності.

10. Моделювання ризиків: Імітаційне моделювання дозволяє враховувати різні ризики, пов'язані з логістичними системами. Це можуть бути зміни в попиті, затримки в поставках, непередбачувані події чи катастрофи. Шляхом включення різних сценаріїв ризиків до моделі, можна оцінювати вплив таких факторів на ефективність та стійкість системи. Це допомагає виробити стратегії управління ризиками та підготуватися до них [19].

11. Вдосконалення процесів: Інформаційні технології імітаційного моделювання дозволяють ідентифікувати слабкі місця та проблеми в логістичних процесах. Аналізуючи отримані результати моделювання, можна виявити обмеження, зайві запаси чи недостачу ресурсів. На основі цих відомостей можна розробити стратегії та вдосконалення для оптимізації логістичних процесів, забезпечення швидкості, точності та вартісної ефективності.

12. Валідація та тестування систем: Імітаційне моделювання дозволяє валідувати та тестувати нові логістичні системи або внесені зміни до існуючих систем. Шляхом віртуального відтворення системи у комп'ютерній моделі, можна перевірити ефективність та правильність функціонування системи перед її фактичним впровадженням. Це дозволяє

зменшити ризики, пов'язані з впровадженням нових систем, та забезпечити їх оптимальну роботу.

13. Дослідження і інновації: Імітаційне моделювання відкриває можливості для проведення досліджень та розробки інноваційних підходів у логістиці. Шляхом створення нових моделей, тестування альтернативних стратегій та виконання експериментів, дослідники можуть знайти нові способи оптимізації логістичних систем, вдосконалити їх процеси та досягти покращень. Це сприяє прогресу у галузі логістики і сприяє впровадженню нових інновацій.

14. Управління змінами: Імітаційне моделювання може бути потужним інструментом для управління змінами в логістичних системах. Воно дозволяє передбачати наслідки та оцінювати вплив змін, таких як нові технології, процеси або стратегії, на систему в цілому. Це допомагає забезпечити гладкий перехід до нових рішень та забезпечити мінімальний вплив на логістичну діяльність [20].

15. Вирішення проблем: Імітаційне моделювання може служити для вирішення конкретних проблем у логістичних системах. Шляхом створення моделей, включаючи деталізовані процеси та взаємодії, можна аналізувати та виявляти причини проблем та бутлнеків у системі. Це дозволяє розробити та впровадити ефективні стратегії для вирішення цих проблем, покращити продуктивність та результативність логістичних систем.

16. Взаємодія з іншими галузями: Імітаційне моделювання логістичних систем вимагає взаємодії з іншими галузями, такими як інформаційні технології, математика, статистика та інженерія. Використання імітаційних моделей потребує розуміння принципів цих галузей, їх методів та підходів. Така взаємодія сприяє обміну знаннями, розробці нових методів та підходів до моделювання логістичних систем, а також сприяє інтеграції різних аспектів для досягнення більш повного та точного відображення реальності [22].

17. Вплив на прийняття рішень: Інформаційні технології імітаційного моделювання логістичних систем мають значний вплив на прийняття рішень. Результати моделювання надають змогу аналізувати різні альтернативи, оцінювати їх вплив та ризики, ідентифікувати найефективніші стратегії та забезпечувати обґрунтоване прийняття рішень. Це допомагає логістичним системам забезпечити оптимальність та результативність своєї діяльності.

18. Розвиток та інтеграція нових технологій: Імітаційне моделювання логістичних систем сприяє розвитку та інтеграції нових технологій. Застосування інформаційних технологій, штучного інтелекту, блокчейну та інших інноваційних рішень дозволяє створювати більш точні та реалістичні моделі, а також використовувати передові методи аналізу даних для отримання цінної інформації.

19. Впровадження економічного аналізу: Імітаційне моделювання логістичних систем дозволяє проводити економічний аналіз різних аспектів логістики. За допомогою моделей можна оцінити вартість операцій, розрахувати показники ефективності (наприклад, ROI - повернення інвестицій) та провести різні сценарні аналізи для зрозуміння фінансових наслідків рішень в логістиці. Це допомагає забезпечити оптимальне використання ресурсів та прийняття обґрунтованих економічних рішень.

20. Підготовка кадрів: Імітаційне моделювання логістичних систем вимагає наявності кваліфікованих фахівців з інформаційних технологій, математики та логістики. Розробка та використання імітаційних моделей вимагає глибокого розуміння логістичних процесів, математичних методів, статистики, програмування та інших спеціалізованих навичок. Таким чином, цей підхід до моделювання сприяє розвитку та підготовці кадрів з високим рівнем експертизи в галузі логістики та інформаційних технологій [25].

21. Забезпечення сталого розвитку: Імітаційне моделювання логістичних систем може бути використане для аналізу та вдосконалення екологічних, соціальних та економічних аспектів логістики. Воно дозволяє

оцінити вплив логістичних процесів на навколишнє середовище, розробити стратегії зменшення викидів, оптимізувати використання ресурсів та покращити взаємодію.



РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Специфіка функціонування логістичних систем

1. Структура логістичних систем: Опишіть основні складові логістичної системи, такі як постачальники, виробництво, дистрибуція, складські приміщення та канали розподілу. Визначте взаємозв'язки та ієрархію між цими елементами. Обговоріть різні моделі організації логістичних систем, такі як централізовані, децентралізовані, мультилокаційні тощо.

2. Процеси в логістичних системах: Опишіть основні процеси, що відбуваються в логістичних системах, наприклад, планування потреб, замовлення, управління запасами, обробка замовлень, управління транспортом та доставкою, обслуговування клієнтів. Вивчіть ефективні методи та стратегії керування цими процесами, враховуючи вимоги до швидкості, точності та надійності. Виклики та проблеми: Розгляньте виклики, з якими зіштовхуються логістичні системи, такі як зміни в попиті, нестабільність постачання, складність управління запасами, складність координації між різними ділянками системи, ризики та невизначеність [23].

3. Взаємозв'язки в логістичних системах: Проаналізуйте взаємозв'язки між різними складовими логістичних систем, такі як залежність від постачальників, співпраця зі замовниками, взаємодія з транспортними партнерами та посередниками. Визначте ключові фактори, які впливають на успішну координацію та співробітництво між різними учасниками логістичної системи. Технологічні інновації: Розгляньте використання сучасних технологій в логістичних системах, таких як автоматизація та роботизація процесів, використання штучного інтелекту та машинного навчання для прогнозування попиту та оптимізації запасів, впровадження інтернету речей для відстеження та керування товарно-матеріальними потоками. Дослідіть переваги та виклики, пов'язані з впровадженням таких інновацій в логістичні системи [26].

4. Ефективність та оптимізація: Вивчіть методи та підходи до вимірювання ефективності логістичних систем, такі як показники продуктивності, вартість обслуговування, рівень запасів, швидкість доставки. Розгляньте можливості оптимізації логістичних процесів та ресурсів, використовуючи математичні моделі, алгоритми та оптимізаційні методи. Перспективи розвитку: Обговоріть тенденції та перспективи розвитку логістичних систем. Розгляньте нові тренди в логістиці, такі як зелена логістика, цифрова трансформація, розумні логістичні рішення.

5. Вплив зовнішнього середовища: Розгляньте вплив зовнішніх факторів на функціонування логістичних систем. Це можуть бути економічні, політичні, соціальні, технологічні та екологічні чинники. Проаналізуйте, як зміни в цих факторах можуть впливати на стратегії та оптимізацію логістичних систем, та розгляньте можливі шляхи адаптації до змін. Ризики та управління ними: Дослідіть ризики, пов'язані з функціонуванням логістичних систем, такі як затримки в постачанні, втрати товарів, нестача ресурсів, проблеми з якістю тощо. Розгляньте стратегії та методи управління ризиками в логістичних системах, такі як резервування запасів, диверсифікація постачальників, створення системи моніторингу та контролю [27].

6. Соціальні аспекти: Розгляньте соціальні аспекти функціонування логістичних систем, зокрема взаємодію зі споживачами, вплив на працівників та співробітників, етичні питання управління логістичними процесами. Вивчіть питання сталого розвитку, корпоративної відповідальності та екологічних викликів, пов'язаних з логістикою. Інтеграція та співпраця: Розгляньте важливість інтеграції та співпраці між різними учасниками логістичних систем, такими як постачальники, виробники, дистриб'ютори, роздрібні мережі та клієнти. Вивчіть різні моделі партнерства та спільного планування, такі як Vendor-Managed Inventory (VMI) або Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment (CPFR). Дослідіть переваги такої співпраці та виклики, пов'язані з її впровадженням [29].

7. Ключові показники продуктивності: Визначте основні показники продуктивності, які використовуються для оцінки ефективності логістичних систем. Це можуть бути показники, такі як запаси, швидкість обробки замовлень, рівень обслуговування, транспортні витрати, час доставки тощо. Дослідіть методику вимірювання та моніторингу цих показників та визначте способи покращення результатів. Логістика і економіка: Вивчіть взаємозв'язок між логістикою та економікою. Дослідіть вплив логістичних рішень на вартість та ефективність бізнесу. Розгляньте важливі економічні фактори, такі як витрати на запаси, транспортні витрати, оптимізація ланцюга постачання та її вплив на зниження загальних витрат підприємства.

8. Управління змінами: Дослідіть важливість управління змінами в контексті логістичних систем. Вивчіть стратегії та методи управління змінами, такі як впровадження нових технологій, оновлення процесів, зміна культури організації. Екологічна сталість: Розгляньте важливість екологічної сталості в логістичних системах. Вивчіть методи та підходи до зменшення негативного впливу логістики на довкілля, такі як зменшення викидів CO₂, використання екологічно чистих видів транспорту, оптимізація маршрутів для зменшення витрат палива та мінімізація відходів. Розгляньте стандарти та сертифікації, пов'язані з екологічною сталістю в логістиці [31].

9. Інтернаціоналізація: Дослідіть особливості функціонування логістичних систем в міжнародному контексті. Розгляньте вплив міжнародних торгових операцій, митних процедур, культурних відмінностей та регулятивних аспектів на логістичні системи. Вивчіть стратегії та методи міжнародної логістики, такі як управління ланцюгом постачання на глобальному рівні та оптимізація транскордонних перевезень. Інформаційні технології: Розгляньте вплив інформаційних технологій на функціонування логістичних систем. Вивчіть роль автоматизації процесів, використання систем управління логістикою (WMS, TMS), електронної комерції та систем відстеження та контролю в логістиці. Розгляньте переваги та виклики використання таких технологій, а також ризики та заходи безпеки даних.

10. Соціально-економічний вплив: Вивчіть соціально-економічний вплив логістичних систем на суспільство та економіку. Розгляньте важливість логістики для ефективної роботи. Логістика в глобальному ланцюзі постачання: Розгляньте роль логістики в глобальному ланцюзі постачання. Вивчіть взаємозв'язки та взаємозалежності між різними країнами та регіонами, міжнародні перевезення, митні процедури, логістичні вузли та інфраструктуру. Розгляньте стратегії та методи оптимізації глобального ланцюга постачання через ефективну логістику [24].

11. Інтегрована логістика: Розгляньте концепцію інтегрованої логістики, де різні складові логістичної системи, такі як постачання, виробництво, дистрибуція, маркетинг, об'єднуються для досягнення спільних цілей та покращення ефективності. Вивчіть важливість спільного планування, координації та співпраці між різними функціональними підрозділами організації. Безпека та захист: Розгляньте питання безпеки та захисту в логістичних системах. Вивчіть загрози, такі як крадіжки, підробка товарів, кібератаки, природні катастрофи та інші небезпечні події, які можуть впливати на логістичну діяльність. Розгляньте стратегії та заходи безпеки, включаючи застосування технологій відстеження та моніторингу, забезпечення фізичної безпеки та захисту інформації. Логістика і задоволення клієнтів: Розгляньте важливість логістики у забезпеченні задоволення потреб та очікувань клієнтів. Вивчіть вплив логістичних процесів, таких як доставка [28].

12. Інновації в логістиці: Розгляньте роль інновацій у логістичних системах. Вивчіть нові технології, методи та підходи, що можуть покращити ефективність логістики, такі як використання дронів для доставки, інтернет речей (ІоТ) для відстеження вантажів, штучний інтелект для прогнозування та оптимізації процесів. Дослідіть переваги та виклики впровадження інновацій в логістиці та розгляньте приклади успішних впроваджень [29].

13. Логістика і ефективність: Розгляньте важливість ефективності в логістичних системах та методи її покращення. Вивчіть концепції, такі як

Lean-логістика, Six Sigma та Total Quality Management (TQM), які спрямовані на зниження втрат, оптимізацію процесів та покращення якості. Дослідіть методи моніторингу та вимірювання ефективності логістичних систем та впровадження заходів для досягнення високої продуктивності. Логістика і гнучкість: Розгляньте важливість гнучкості в логістичних системах та її вплив на адаптацію до змінних умов. Вивчіть концепції, такі як Just-in-Time (JIT), Quick Response (QR) та Agile Supply Chain, які спрямовані на швидке реагування на зміни попиту, зменшення часу циклу та підвищення гнучкості. Розгляньте стратегії та методи, що дозволяють логістичним системам бути гнучкими та адаптивними [31].

14. Логістика та інтернет-торгівля: Розгляньте специфіку логістики в контексті інтернет-торгівлі. Вивчіть виклики, пов'язані з доставкою товарів до клієнтів при зростаючому обсязі онлайн-замовлень. Розгляньте стратегії складського управління, організацію доставки та обробку замовлень, взаємодію з кур'єрськими службами та поштовими операторами, а також впровадження технологій відстеження вантажів та сповіщення клієнтів про статус доставки. Логістика та зворотна логістика: Розгляньте поняття зворотної логістики і її роль у логістичних системах. Вивчіть процеси повернення товарів, обробку бракованих або пошкоджених товарів, управління поверненнями та ремонтом, а також відновлення і повторне використання матеріалів та компонентів. Розгляньте стратегії та методи, що дозволяють ефективно управляти зворотною логістикою та зменшувати витрати та вплив на довкілля.

15. Логістика та управління ризиками: Розгляньте важливість управління ризиками в логістичних системах. Вивчіть ідентифікацію, оцінку та управління ризиками, пов'язаними з логістичними процесами, такими як затримки в доставці, припинення постачання, природні катастрофи, фінансові ризики та інші. Розгляньте стратегії та заходи, що дозволяють зменшити ризики та забезпечити надійність та стабільність логістичних систем. Логістика та управління якістю: Розгляньте зв'язок між логістикою та

управлінням якістю. Вивчіть підходи, методи та стандарти, такі як ISO 9001, Six Sigma та Total Quality Management (TQM), які спрямовані на забезпечення високої якості логістичних процесів [32].

2.2. Розробка діаграм взаємодій

2.2.1. Діаграма Взаємодії

1. Відкрити програму і створити новий проект для моделювання системи.

2. Визначити акторів системи: це можуть бути клієнти, постачальники, транспортні компанії, митниці, склади, робітники тощо. Для кожного актора визначити його характеристики, ролі та взаємодію з іншими акторами.

3. Створити компоненти системи: це можуть бути фізичні об'єкти (транспортні засоби, склади, митниці), процеси (замовлення, доставка, розмитнення), ресурси (людські ресурси, матеріали), а також документи, інформаційні потоки та інше. Для кожного компонента визначити його властивості та ролі у системі.

4. Встановити взаємозв'язки між акторами та компонентами. Це можуть бути залежності, комунікація, передача даних, виконання дій тощо. Визначити типи зв'язків (наприклад, один до одного, один до багатьох, багато до багатьох) та їх характеристики (наприклад, синхронна або асинхронна комунікація).

5. Створити діаграму взаємодії. Для цього в програмі доступні різні типи діаграм, такі як діаграма послідовності, діаграма кооперації, діаграма взаємодії класів тощо. Вибрати відповідний тип діаграми залежно від потреб моделі.

6. На діаграмі взаємодії визначити акторів, компоненти та зв'язки між ними. Використовувати відповідні символи для позначень.

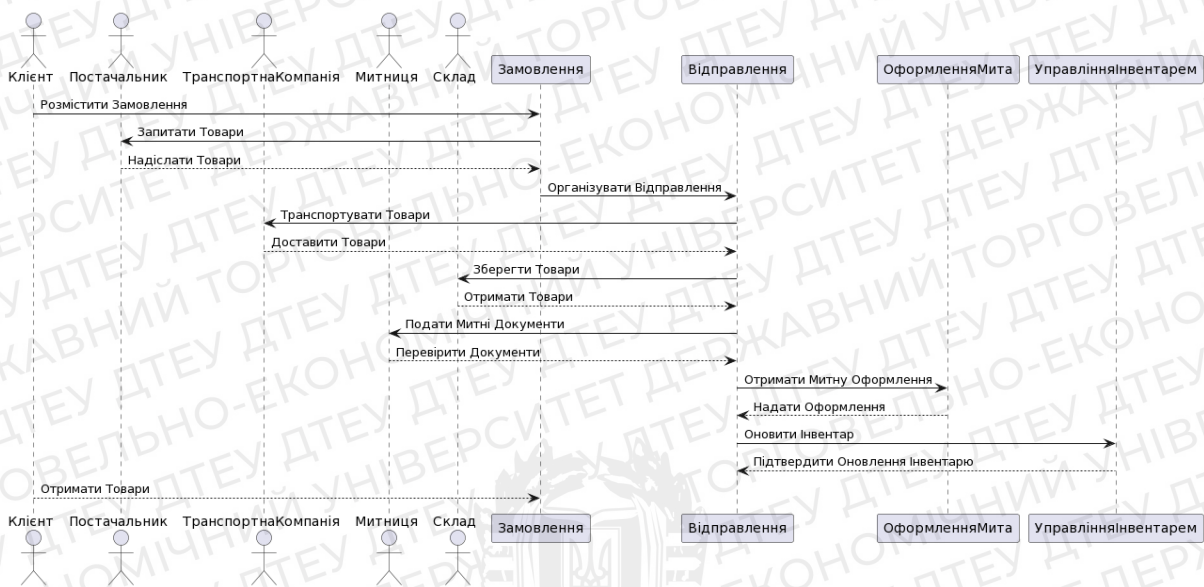


Рис. 2.1 Діаграма Взаємодії

Дана діаграма взаємодії уявляє модель взаємодії акторів та компонентів логістичної системи для обробки замовлень та доставки товарів. Основні етапи взаємодії можна описати наступним чином:

1. Клієнт розміщує замовлення, використовуючи компонент "Замовлення". Він передає деталі замовлення, такі як кількість товарів та адресу доставки.
2. Компонент "Замовлення" запитує постачальника (актор "Постачальник") про наявність товарів та їх ціну. Постачальник відповідає на запит, передаючи необхідну інформацію про товари.
3. Після отримання відповіді від постачальника, компонент "Замовлення" організовує відправлення товарів. Він передає необхідні дані про замовлення компоненту "Відправлення".
4. Компонент "Відправлення" взаємодіє з актором "Транспортна Компанія" для організації транспортування товарів. Замовлення та інші відповідні документи передаються транспортній компанії.
5. Транспортна компанія здійснює доставку товарів з місця постачальника до адреси, вказаної клієнтом. Після доставки вона сповіщає компонент "Відправлення" про успішне виконання доставки.
6. Компонент "Відправлення" передає отримані товари компоненту "Склад" для зберігання. Склад приймає товари та підтверджує отримання.
7. Після прибуття на склад, компонент "Відправлення" подає необхідні митні документи до актора "Митниця" для розмитнення товарів.
8. Митниця перевіряє документи та здійснює необхідні митні процедури [32].

2.2.2. Діаграма Послідовності

1. Визначення акторів: Спочатку визначаються всі актори, які беруть участь у системі. Актори можуть бути людьми, іншими системами або зовнішніми сутностями, що взаємодіють з системою.

2. Визначення об'єктів: Для кожного етапу взаємодії визначаються об'єкти, які беруть участь у виконанні дій. Це можуть бути об'єкти системи, які взаємодіють між собою, або зовнішні ресурси, які впливають на систему.

3. Визначення повідомлень: Для кожного кроку взаємодії визначаються повідомлення, які передаються між акторами та об'єктами. Повідомлення можуть мати параметри, які вказують на передачу даних або виклик методів.

4. Визначення послідовності: Встановлюється послідовність виконання повідомлень. Починаючи з початкового стану системи, вказується послідовність повідомлень, які передаються між акторами та об'єктами для досягнення певної цілі.

5. Додавання умов та циклів: При потребі можуть бути додані умови або цикли, які впливають на послідовність виконання повідомлень. Це дозволяє моделювати різні сценарії взаємодії залежно від умов.

6. Додавання зворотних зв'язків: Зворотні зв'язки можуть бути використані для передачі відповідей та підтверджень від акторів. Вони дозволяють відобразити обмін повідомленнями у зворотному напрямку.

7. Визначення завершення [32].

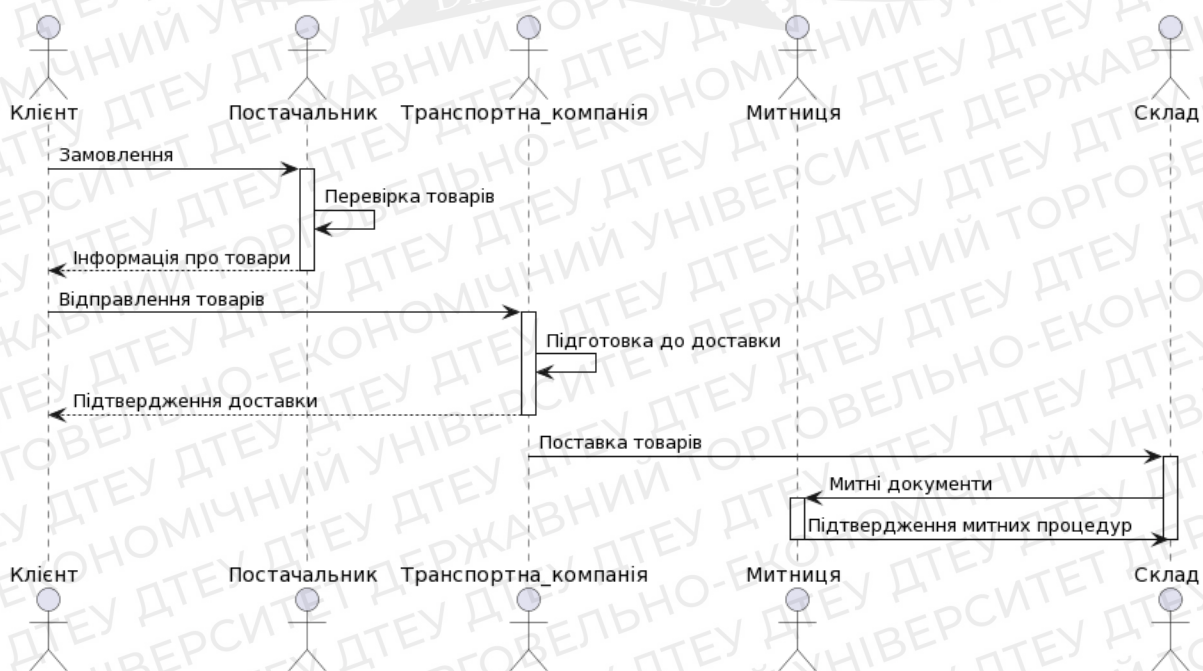


Рис. 2.2 Діаграма Послідовності

Діаграма послідовності, що була створена, відображає послідовність взаємодії акторів у процесі здійснення логістичної системи, згідно поставленої задачі дипломної роботи. Ось опис даної діаграми:

1. Клієнт ініціює процес, надсилаючи запит на замовлення постачальнику.
2. Постачальник отримує запит і проводить перевірку наявності товарів.
3. Постачальник повертає клієнту інформацію про доступні товари та їх характеристики.
4. Після отримання інформації від постачальника, клієнт вирішує надіслати товари через транспортну компанію.
5. Транспортна компанія активується та розпочинає процес підготовки до доставки товарів.
6. Після підготовки, транспортна компанія підтверджує клієнту про успішну доставку товарів.
7. У той же час, транспортна компанія здійснює поставку товарів на склад.
8. Після поставки на склад, митниця перевіряє митні документи, пов'язані з ввезенням товарів.
9. Після перевірки, митниця підтверджує складу про успішне завершення митних процедур.
10. Завершуючи послідовність, клієнт отримує замовлені товари.

2.2.3. Діаграма Прецедентів

Дана діаграма послідовності надає загальний уявлення про послідовність дій, що відбуваються між акторами у процесі логістичної системи. Вона допомагає краще зрозуміти послідовність кроків та взаємодію між різними учасниками системи.

1. Визначення акторів: Спочатку необхідно визначити всіх акторів, які взаємодіють з системою. Актори – це користувачі, зовнішні системи або інші компоненти, які взаємодіють з вашою системою і мають свої цілі та обмеження.
2. Визначення прецедентів: Прецеденти представляють сценарії взаємодії між акторами та системою. Вони описують конкретні дії та функціональні можливості системи. Визначте всі можливі прецеденти на основі потреб акторів і цілей системи.
3. Визначення взаємодій: Для кожного прецеденту визначте взаємодії між акторами та системою. Це можуть бути діалоги, обмін

повідомленнями або виконання певних дій. Визначте послідовність взаємодій, враховуючи ролі акторів та функціональні можливості системи.

4. Додавання деталей до взаємодій: Додайте деталі до кожної взаємодії, щоб краще описати діалоги або дії, які відбуваються. Використовуйте відповідні символи та нотацію для показу повідомлень, об'єктів або дій, що відбуваються.

5. Побудова діаграми прецедентів: На основі отриманої інформації побудуйте діаграму прецедентів за допомогою відповідних символів та зв'язків. Показуйте акторів, прецеденти та їх взаємозв'язки. Використовуйте підписи та додаткові пояснення для кращого розуміння.



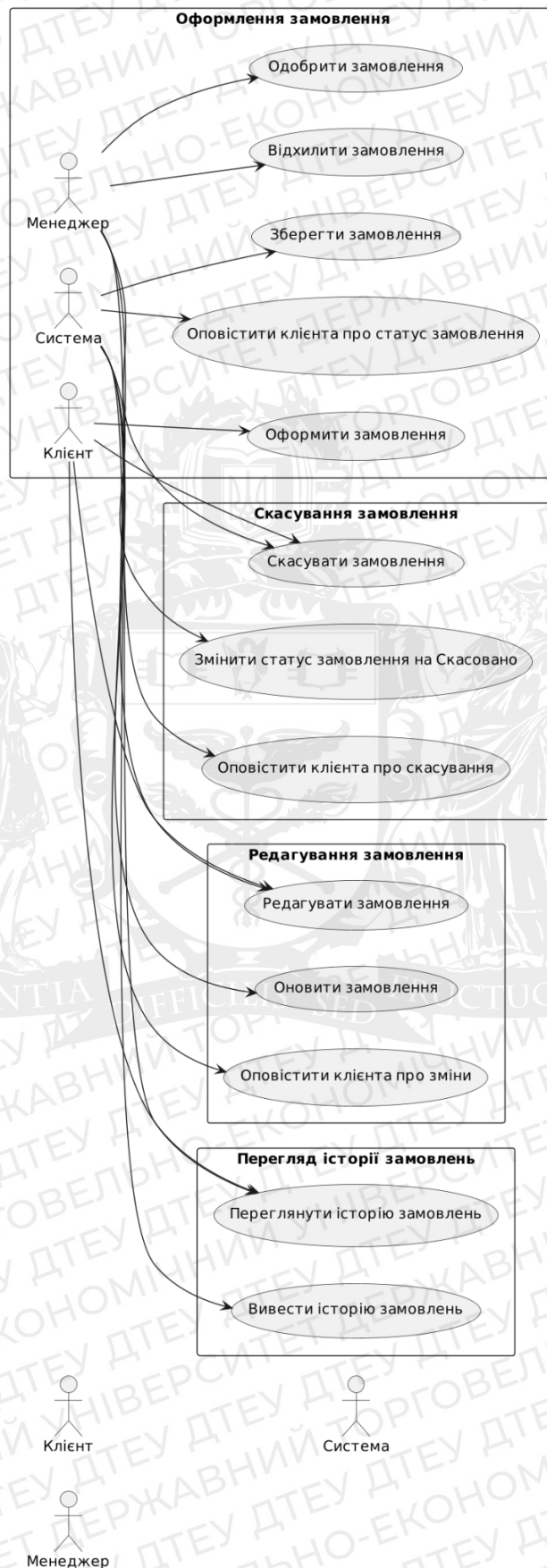


Рис. 2.3 Діаграма Прецедентів

Дана діаграма прецедентів представляє основні взаємодії між акторами та системою у контексті постановленої задачі даної дипломної роботи. Опишемо кожен прецедент:

- Оформлення замовлення: Цей прецедент описує процес оформлення нового замовлення клієнтом. Клієнт заповнює необхідні дані, а система зберігає це замовлення. Потім менеджер може одобрити або відхилити замовлення, а система повідомляє клієнта про статус його замовлення.

- Скасування замовлення: Цей прецедент дозволяє клієнту або менеджеру скасувати замовлення. Після скасування система змінює статус замовлення на "Скасовано" і повідомляє клієнта про цю зміну.

- Редагування замовлення: Цей прецедент дозволяє клієнту або менеджеру редагувати деталі замовлення. Після внесення змін система оновлює замовлення і повідомляє клієнта про внесені зміни.

- Перегляд історії замовлень: Цей прецедент дозволяє клієнту або менеджеру переглянути історію попередніх замовлень. Система виводить історію замовлень, що дозволяє користувачам ознайомитись з попередніми операціями.

- На діаграмі також представлені актори, які взаємодіють з системою:

- Клієнт: Це актор, який оформляє замовлення, переглядає історію та отримує повідомлення про статус замовлення.

- Менеджер: Це актор, який одобрює або відхиляє замовлення, редагує замовлення та отримує історію замовлень.

- Система: Це актор, який забезпечує функціональність для оформлення, скасування, редагування замовлень та виведення історії замовлень. Вона також відповідає за збереження замовлень, оновлення статусів та оповіщення клієнтів про статус їх замовлень [33].

2.3. Розробка імітаційної моделі логістичної системи

2.3.1 Огляд методів моделювання логістичних систем

У сучасній логістиці існує багато методів та підходів до моделювання логістичних систем з метою оптимізації їх роботи. Деякі з них базуються на аналітичних методах, інші – на емпіричних дослідженнях та експериментах. Розглянемо деякі із них [12]:

1. Аналітичні методи моделювання

Аналітичні методи моделювання логістичних систем базуються на математичних моделях та статистичних аналізах. Одним з найпоширеніших методів є математичне програмування, яке дозволяє знаходити оптимальні рішення для складних задач планування та оптимізації логістичних процесів. Наприклад, лінійне програмування дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів та маршрутизацію транспорту, а динамічне програмування - вирішувати задачі з багатьма критеріями [11].

2. Емпіричні методи моделювання

Емпіричні методи моделювання логістичних систем базуються на зборі та аналізі даних, отриманих з реальних систем. Наприклад, методи статистичного аналізу дозволяють вивчати розподіл інформації про запаси, час доставки та інші параметри системи. Даний підхід дозволяє виявити тенденції та закономірності у роботі системи, а також ідентифікувати проблемні зони, які потребують оптимізації [12].

3. Симуляційні методи моделювання

Симуляційні методи моделювання логістичних систем полягають у використанні комп'ютерних програм для побудови симуляційних моделей, які дозволяють імітувати роботу логістичних процесів у віртуальному середовищі. Одним із найпоширеніших і потужних засобів для симуляційного моделювання є інструмент ЕрВін (AnyLogic). Він надає широкі можливості для побудови імітаційних моделей логістичних систем та аналізу їх роботи [10].

2.3.2. Аналіз переваг і обмежень імітаційного моделювання з використанням AnyLogic

Для виконання даної роботи було обрано імітаційне моделювання з використанням інструменту AnyLogic з таких причин. Переваги імітаційного моделювання з використанням AnyLogic:

- Гнучкість: AnyLogic дозволяє створювати складні імітаційні моделі з різноманітними компонентами та процесами, адаптуючись до конкретних потреб досліджуваної логістичної системи.
- Візуалізація: AnyLogic надає можливість візуалізувати роботу системи шляхом побудови діаграм взаємодії, послідовності, діяльності та інших, що дозволяє краще розуміти та аналізувати процеси.
- Підтримка різних методів моделювання: AnyLogic підтримує різні підходи до моделювання, такі як процесно-орієнтований підхід, дискретно-подійний підхід та системно-динамічний підхід, що дозволяє вибрати найбільш підходящий для досліджуваної логістичної системи.
- Аналіз та оптимізація: AnyLogic надає можливість проводити експерименти з різними сценаріями [12].

Одним з найбільш поширених методів моделювання логістичних систем є імітаційне моделювання, яке є ефективним інструментом для аналізу і вдосконалення логістичних процесів. Імітаційне моделювання дозволяє створити комп'ютерну модель логістичної системи та провести експерименти, що дозволяє досліджувати різні сценарії роботи системи і знаходити оптимальні рішення [11].

Один з найбільш популярних засобів для імітаційного моделювання – це програмний продукт AnyLogic, який є комплексним рішенням для моделювання систем будь-якої складності. Програма AnyLogic надає можливість моделювати різноманітні типи систем, включаючи логістичні системи. Програма має велику кількість функцій і можливостей, таких як створення різних типів діаграм (діаграм взаємодії, послідовності, діяльності тощо), анімація роботи системи, проведення експериментів та аналіз результатів.

Також можна використовувати програмні засоби, які є спеціалізованими для імітаційного моделювання логістичних систем, наприклад, програмне забезпечення Arena, ExtendSim, Simul8 та інші. Ці

засоби надають зручний інтерфейс для створення моделей, можливості візуалізації процесів, проведення експериментів і аналіз результатів [9].

При використанні програмного забезпечення для імітаційного моделювання логістичних систем важливо враховувати специфіку досліджуваної системи та детально продумати процес моделювання. Важливо визначити параметри системи, створити модель відповідно до потреб дослідження та провести не менше кількості експериментів для отримання достовірних результатів [7]. Однак, імітаційне моделювання з використанням ЕрВін та інших програмних засобів також має свої обмеження:

Обмежена точність моделі: Імітаційна модель є спрощеною абстракцією реальної логістичної системи і може не враховувати всі нюанси та деталі роботи системи. Це може призводити до невеликих відхилень між результатами моделювання та реальною роботою системи.

Великі обчислювальні витрати: Деякі складні імітаційні моделі можуть вимагати значних обчислювальних ресурсів та тривалого часу для їх виконання. Це може обмежити можливість проведення багатьох експериментів або затримати час отримання результатів [4].
Залежність від якості вихідних даних: Імітаційна модель потребує достовірних вихідних даних про логістичну систему для її побудови. Недостовірні чи неповні дані можуть призвести до неточних або неправомірних результатів моделювання.

Відсутність універсального рішення: Не існує універсального методу або підходу, який би ідеально підходив для всіх типів логістичних систем. Кожна система має свої особливості, що потребують індивідуального підходу до моделювання [5]. Усі ці переваги та обмеження імітаційного моделювання з використанням ЕрВін та інших програмних засобів важливо враховувати при проведенні дослідження. Належна увага до побудови моделі та аналізу результатів дозволить отримати цінні інсайти щодо роботи логістичних систем і знайти шляхи для їх оптимізації [7].

2.3.3. Порівняння існуючих методів моделювання логістичних систем

Для порівняння існуючих методів моделювання логістичних систем, варто врахувати їх переваги, обмеження та застосування в конкретних ситуаціях. Нижче наведено порівняльну таблицю, яка допоможе зрозуміти особливості кожного методу:

| Метод | Переваги | Обмеження | Застосування |
|--------------------|---|---|--|
| Аналітичні методи | - Математично обгрунтовані рішення | - Потребують точних вхідних даних | - Оптимізація розподілу ресурсів та маршрутизації транспорту |
| | - Швидкість обчислень | - Обмежені у розгляді складних систем | - Рішення задач планування та оптимізації логістичних процесів |
| Емпіричні методи | - Використовують реальні дані | - Залежність від якості та обсягу доступних даних | - Виявлення тенденцій та закономірностей у роботі системи |
| | - Відображення реальних умов роботи системи | - Не завжди можливо провести експерименти з реальними системами | - Виявлення проблемних зон та пошук оптимальних рішень |
| Симуляційні методи | - Гнучкість у моделюванні складних систем | - Великі обчислювальні витрати | - Аналіз та вдосконалення логістичних систем |
| | - Візуалізація роботи системи | - Обмеженість точності моделі | |

Табл. 2.1 Засоби і методи моделювання логістичних систем (складено автором)

При виборі методу моделювання логістичних систем необхідно враховувати конкретні цілі дослідження, наявність вихідних даних, складність системи та доступні ресурси [5]. Якщо метою є математично обгрунтоване рішення і оптимізація розподілу ресурсів та маршрутизації транспорту, то аналітичні методи можуть бути найбільш підходящими. Вони швидкі у обчисленнях і забезпечують точність рішення. Однак, вони обмежені у розгляді складних систем і вимагають точних вхідних даних.

Емпіричні методи корисні для використання реальних даних та виявлення тенденцій та закономірностей у роботі системи. Вони можуть допомогти виявити проблемні зони та шукати оптимальні рішення. Однак, їх обмеження полягають у залежності від якості та обсягу доступних даних. Симуляційні методи, зокрема використання програмного забезпечення, такого як ЕрВін, є гнучкими і дозволяють моделювати складні системи. Вони забезпечують візуалізацію роботи системи і дають можливість проводити експерименти з різними сценаріями та оптимізувати роботу системи. Проте, вони можуть вимагати великих обчислювальних витрат і можуть бути обмежені в точності моделі [6].

Враховуючи ці фактори, вибір методу моделювання логістичних систем повинен здійснюватись на основі специфіки досліджуваної системи та поставлених цілей дослідження. Комбінування різних методів іноді може бути ефективним підходом для отримання більш повної картини роботи логістичної системи [5].

2.3.4 Висновки щодо аналізу існуючих методів розв'язку задачі

Аналізуючи існуючі методи розв'язку задачі моделювання логістичних систем, можна зробити кілька висновків:

Аналітичні методи надають математично обґрунтовані рішення і можуть бути ефективними для оптимізації розподілу ресурсів та маршрутизації транспорту. Вони швидкі у виконанні, але вимагають точних вхідних даних і мають обмежену придатність для складних систем.

Емпіричні методи використовують реальні дані і дозволяють виявити тенденції та закономірності у роботі системи. Вони корисні для виявлення проблемних зон і пошуку оптимальних рішень. Однак, їхнє застосування залежить від доступності якісних та обсяжних даних.

Симуляційні методи, зокрема використання програмного забезпечення, надають гнучкість і можливість моделювати складні системи. Вони дозволяють візуалізувати роботу системи і проводити експерименти з

різними сценаріями. Однак, вони можуть бути обмежені в точності моделі та вимагати значних обчислювальних ресурсів. При виборі методу моделювання логістичних систем необхідно враховувати специфіку системи, поставлені цілі дослідження, наявність вихідних даних і доступні ресурси. Комбінування різних методів може допомогти отримати більш повну картину роботи логістичної системи [6].



РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ

3.1. Специфіка побудови імітаційних моделей

3.1.1. Визначення ключових елементів системи

На початку розробки імітаційної моделі необхідно визначити ключові елементи логістичної системи. Це можуть бути такі елементи, як постачальники, виробництво, склади, транспортна система, дистрибуція, клієнти тощо. Кожен з цих елементів має свою роль і функції у системі, а їх взаємозв'язки визначаються потоками матеріалів, інформації та послуг [7].

3.1.2. Встановлення взаємозв'язків між елементами

Після визначення ключових елементів системи необхідно встановити взаємозв'язки між ними. Це може бути зображено у вигляді блок-схеми або діаграми, де стрілки показують напрямок потоків між елементами. Наприклад, постачальники постачають матеріали виробництву, яке в свою чергу постачає готову продукцію на склади, звідки вона далі перевозиться до клієнтів [8].

3.1.3. Визначення характеристик елементів системи

Кожен елемент системи має свої характеристики, які впливають на його роботу і взаємодію з іншими елементами. Наприклад, постачальники можуть мати власну логістичну інфраструктуру, що впливає на швидкість поставок та якість матеріалів [9].

3.1.4. Визначення параметрів системи

Крім характеристик елементів системи, необхідно визначити також параметри, які впливають на роботу системи в цілому. Це можуть бути такі параметри, як обсяги поставок, транспортні витрати, час обробки на виробництві, час доставки до клієнта, рівень сервісу та інші. Встановлення цих параметрів дозволяє кількісно оцінювати роботу системи і проводити аналіз її ефективності.

3.1.5. Розробка логістичних моделей

На основі визначених ключових елементів, їх взаємозв'язків, характеристик і параметрів системи можна перейти до розробки логістичних моделей. Логістичні моделі визначають поведінку системи, її функціонування та результати взаємодії між елементами. Це можуть бути математичні моделі, стохастичні моделі, агентні моделі або інші види моделей в залежності від конкретної задачі [6].

3.1.6. Валідація моделей

Після розробки логістичних моделей важливим кроком є їх валідація. Валідація моделей полягає в перевірці їх адекватності і точності. Це може включати порівняння результатів моделювання з реальними даними, проведення сценарних аналізів або експертні оцінки. Валідація допомагає переконатися, що модель достатньо точно відображає реальну логістичну систему і може бути використана для аналізу та прийняття рішень [7].

3.1.7. Документування концептуальної моделі

Остаточним етапом розробки концептуальної моделі є документування. Важливо створити чітку документацію, яка описує ключові елементи системи, їх взаємозв'язки, характеристики, параметри та розроблені логістичні моделі. Документація повинна бути структурованою, зрозумілою і повністю відображати всі аспекти концептуальної моделі.

У документації концептуальної моделі можуть бути включені наступні елементи:

1. Опис системи: введення, що включає опис логістичної системи, її цілей та контексту.
2. Ключові елементи системи: перелік і опис кожного ключового елемента системи, включаючи їхні функції, ролі та взаємозв'язки.
3. Взаємозв'язки: блок-схеми або діаграми, що відображають взаємозв'язки між елементами системи.

4. Характеристики: детальний опис характеристик кожного елемента системи, таких як властивості, обмеження, ємність, пропускну здатність тощо.

5. Параметри: перелік і опис параметрів системи, які визначають її роботу та впливають на результати моделювання.

6. Логістичні моделі: опис розроблених логістичних моделей, включаючи математичні формули, логічні правила, алгоритми або інші засоби опису моделі.

7. Валідація моделей: опис процедур валідації моделей, включаючи методики, використані дані та отримані результати.

8. Висновки: узагальнення результатів розробки концептуальної моделі, вказівки щодо подальших кроків та можливих напрямків досліджень [8].

Документація концептуальної моделі є важливим інструментом для збереження та передачі знань про систему, а також для спілкування зі стейкхолдерами і прийняття рішень щодо оптимізації логістичної системи [6].

3.1.8. Розробка імітаційної моделі

У розділі "Розробка імітаційної моделі" описується процес створення імітаційної моделі для логістичної системи. Імітаційна модель дозволяє відтворити роботу системи в умовах моделювання, віртуально відтворюючи процеси, потоки і рішення, які приймаються в реальній системі [7].

3.1.9. Вибір імітаційного засобу

Перш за все, необхідно вибрати імітаційний засіб, який буде використовуватись для створення моделі. У даному випадку вибраний ЕрВін, який є потужним інструментом для імітаційного моделювання. ЕрВін надає гнучкість і можливість детального налаштування моделі, а також забезпечує широкий спектр функцій для аналізу результатів [7].

3.1.10. Структура імітаційної моделі

Після вибору імітаційного засобу необхідно створити структуру імітаційної моделі. Це включає визначення модельних об'єктів, подій, ресурсів і їх взаємозв'язків. Наприклад, модель може включати об'єкти, такі як постачальники, виробництво, склади, транспортна система, клієнти, а події можуть відображати поставки, виробництво, перевезення та інші події, що відбуваються в системі [7].

3.1.11. Реалізація логіки роботи моделі

Далі необхідно реалізувати логіку роботи моделі в імітаційному засобі. Це означає визначення правил і алгоритмів, за якими відбувається взаємодія між об'єктами моделі, обробка подій, прийняття рішень та інші процеси. Важливо врахувати всі аспекти реальної логістичної системи і відтворити їх у моделі, забезпечуючи правильний порядок подій і взаємодію об'єктів [7].

3.1.12. Валідація і тестування моделі

Після реалізації логіки моделі необхідно провести валідацію і тестування, щоб переконатися в правильності її роботи і відповідності реальній системі. Валідація може включати порівняння результатів моделювання з реальними даними, проведення сценарних аналізів або експертну оцінку. Тестування допомагає виявити можливі помилки, недоліки або недостатню точність моделі, що потребують виправлення [9].

3.1.13. Аналіз результатів моделювання

Після успішної валідації і тестування моделі можна провести аналіз результатів моделювання. Це включає оцінку продуктивності, ефективності та інших показників роботи логістичної системи за допомогою імітаційної моделі. Аналіз дозволяє отримати уявлення про потенційні проблеми, знайти шляхи вдосконалення та оптимізації системи [8].

3.1.14. Документування імітаційної моделі

Остаточним кроком розробки імітаційної моделі є документування. Необхідно створити чітку документацію, яка описує структуру моделі, логіку

роботи, використані алгоритми, параметри та результати моделювання. Документація повинна бути доступною для інших дослідників або фахівців, які можуть використовувати модель для подальших аналізів або вдосконалення логістичного маршруту [8].

У даному розділі було описано процес розробки концептуальної моделі та імітаційної моделі для міжнародної логістичної системи. Було вибрано імітаційний засіб ЕрВін, який надає потужні можливості для створення імітаційних моделей. Була проведена аналітична робота щодо існуючих методів розв'язку задачі логістичного моделювання, в результаті чого було обрано найбільш ефективні підходи для використання у даній роботі. Концептуальна модель була розроблена, що дозволяє відтворити ключові елементи та процеси міжнародної логістичної системи. Було визначено об'єкт і предмет дослідження, а також поставлено задачі, які передували розробці імітаційної моделі [9].

З метою валідації імітаційної моделі було проведено тестування і аналіз результатів моделювання. Це дозволило оцінити продуктивність та ефективність логістичної системи, а також виявити потенційні проблеми і знайти шляхи для їх вирішення. Остаточним кроком було створення документації, яка включає опис структури моделі, логіку роботи, використані алгоритми, параметри та результати моделювання. Це забезпечує доступність та передавання знань про розроблену імітаційну модель [8].

У результаті цієї роботи було успішно розроблено імітаційну модель для міжнародної логістичної системи, що дозволяє досліджувати та аналізувати її роботу. Ця модель може бути використана для подальшого вдосконалення та оптимізації логістичних процесів межах міжнародних логістичних систем. Імітаційна модель дозволяє проводити експерименти, моделювати різні сценарії роботи системи, тестувати нові стратегії та рішення без прямого впливу на реальну систему. Вона допомагає розуміти взаємозв'язки між елементами системи, прогнозувати результати введення змін та вдосконалення процесів.

Розробка імітаційної моделі для міжнародної логістичної системи є актуальною і важливою задачею. Завдяки цій моделі можна здійснювати аналіз різних сценаріїв, оцінювати вплив рішень та стратегій на ефективність системи, виявляти потенційні проблеми та здійснювати оптимізацію процесів [9].

Отже, розробка імітаційної моделі міжнародної логістичної системи є кроком у напрямку вдосконалення та оптимізації логістичних процесів. Ця модель дозволяє отримати уявлення про роботу системи, виявити його сильні та слабкі сторони, розробити та оцінити нові стратегії та рішення. Вона може бути корисною для дослідників, фахівців та менеджерів, що займаються логістикою та управлінням логістичними системами.

3.2. Реалізація імітаційної моделі в середовищі AnyLogic

Для розв'язання задачі на комп'ютері ми застосуємо таке програмне забезпечення, як AnyLogic. Дане програмне забезпечення розроблене для створення імітаційних моделей. Для вирішення нашої задачі ми будемо застосовувати методи агентного моделювання. Так як в нашій задачі автомобілі виступають в якості агентів моделі перехрестя, використання такого програмного продукту, як AnyLogic, є цілком виправданим.

Для побудови моделі ми застосуємо елементи двох бібліотек – «**Бібліотека моделювання процесів**» (Бібліотека моделювання процесів), «**Бібліотека дорожнього руху**» (Бібліотека дорожнього руху) та «**Статистика**» (Статистика).

Для побудови перехрестя скористаємося Бібліотекою дорожнього руху. На графічне поле агента **Main** перетягнемо такі графічні елементи, як **Дорога** в кількості чотирьох штук та **Перекресток**, з'єднуємо їх як на Рис.3.4, та задаємо відповідні параметри. На Рис3.5 зображено параметри дороги **streetA**, яка моделює вулицю А. Аналогічні параметри задаються і для доріг **streetB**, **streetC** та **streetD**.

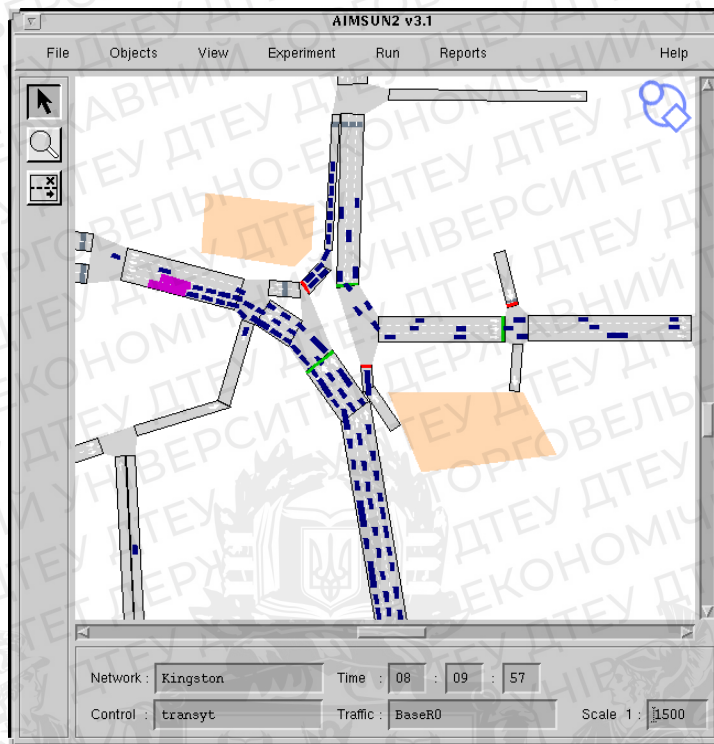


Рис. 3.1 Інтерфейс програми AIMSUN2

На елементі **Перекресток** налаштуємо з'єднувачі смуг – лінії, по яких автомобілі пересуваються. На Рис.3.4 Додатку 4 зображено усі з'єднувачі доріг, як потрібні для нашої моделі. По суті, для моделі потрібно з усіх створених за замовчуванням з'єднувачів видалити тільки ті з'єднувачі, що ведуть наліво від дороги **streetC** до дороги **streetD**, при цьому інші з'єднувачі залишити незмінними. Також перейменуємо створені за замовчуванням на перехресті стоп-лінії відповідно до вулиць, на яких вони розташовані, тобто, на перехресті присутні стоп-лінії **stopLineA**, **stopLineB**, **stopLineC**, **stopLineD**.

За умовою задачі, в нашій моделі є два джерела вимог – Вулиця А та Вулиця С. Тому з бібліотеки моделювання процесів ми візьмемо два блоки **Source**. Перший блок **Source** ми позначимо як **sourceA**, другий відповідно як **sourceC**. Перший блок моделює надходження заявок, у якості яких виступають автомобілі, що надходять до перехрестя зі сторони вулиці А. Аналогічно блок **sourceC** моделює надходження заявок зі сторони вулиці С. У властивостях блоку **sourceA** задаємо наступні параметри (див. Рис.3.6):

1) В «Прибывають согласно» вибираємо «Времени между прибытиями»;

2) В «Время между прибытиями» вводимо $\text{triangular}(1, 3, 5)$.

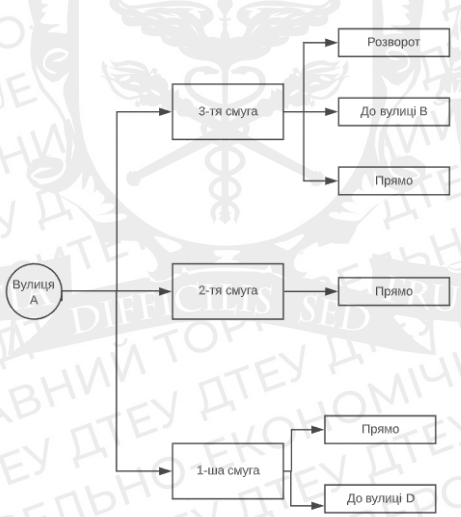
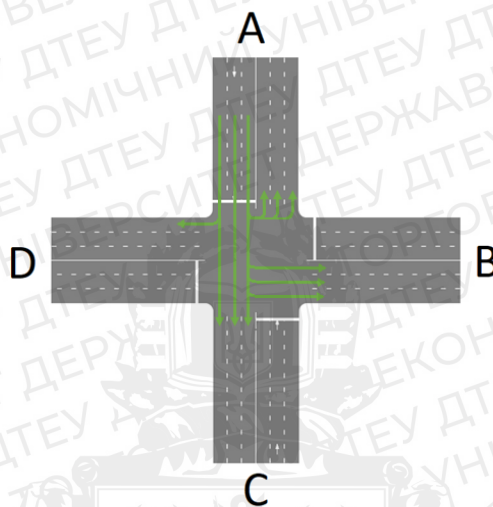


Рис. 3.2 Напрямки руху зі сторони вулиці А

Рис. 3.3 Блок-схеми вибору напрямків з вулиць А та С

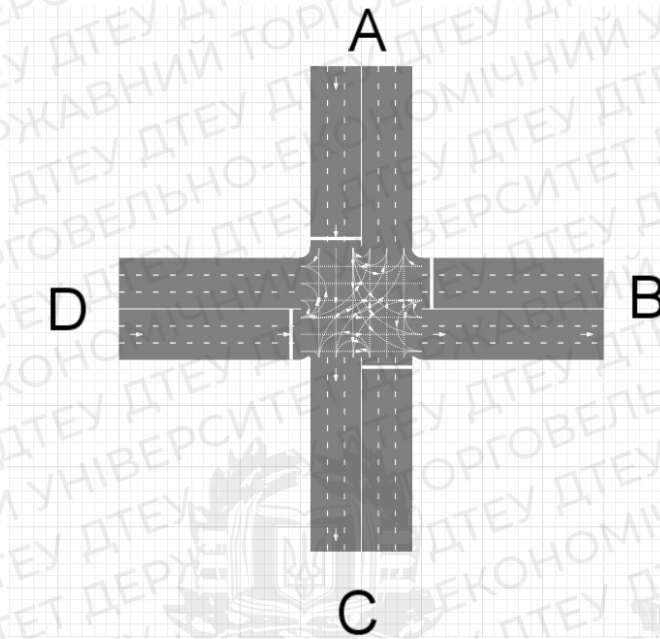


Рис. 3.4 Перехрестя доріг

Тобто, ми задали умови прибуття агентів-машин зі сторони вулиці А кожні 3 ± 2 с, як і в умові задачі. Для блоку **sourceC** задаємо ті ж параметри, але в «**Время между прибытиями**» вводимо **triangular(4, 6, 8)**, що моделює прибуття агентів-машин зі сторони вулиці С кожні 6 ± 2 с (Рис.3.7).

Далі ми будуємо окремо діаграму процесу проїзду перехрестя зі сторони вулиці А (див. Рис.3.8). Для того, щоб змодельовати вибір водієм певного шляху, ми з бібліотеки моделювання процесів вводимо блок типу **SelectOutput5** під назвою **SelectLaneA**. Цей блок моделює вибір шляху. У властивостях блоку задаємо параметри, як на Рис3.9. Перша вірогідність відповідає за вибір напрямку А-В, тобто, напрямку наліво. Друга ж вірогідність відповідає за вибір напрямків розвороту та прямо. Третя вірогідність відповідає за вибір шляху А-Д, тобто направо.

Усі шляхи в схемі будуються за простою схемою. Спочатку з бібліотеки моделювання процесів ми в діаграму додаємо блок типу **Queue**. Даний блок моделює чергу автомобілів до перехрестя. Далі з бібліотеки дорожнього руху ми беремо блоки **CarEnter** та **CarMoveTo**. Блок **CarEnter** приймає агента-машину і намагається помістити його в якості автомобіля в

зазначене місце дорожньої мережі, а **CarMoveTo** керує рухом автомобіля на заданому в цьому блоці шляху.

З блоку **SelectLaneA** проводимо наступні шляхи:

1) З першого виходу встановлюємо блоки **Queue**, **CarEnter** та **CarMoveTo** під відповідними назвами **queueA3**, **carEnterA3** та **AB**. Перший блок моделює виникнення черги автомобілів на третій смузі дороги вулиці А, другий блок поміщає агента-машину на третю смугу дороги вулиці А, а третій – направляє агента-машину в заданому напрямку А-В, тобто в напрямку ліворуч на дорогу **streetB**.

2) На другому виході встановлюємо ще один блок типу **SelectOutput5** під назвою **selectAnotherWay**, що моделює вибір напрямку, що відмінний від напрямків А-В або А-Д. Блоки, які відходять від **selectAnotherWay**, розглянемо пізніше.

3) З третього виходу встановлюємо блоки **Queue**, **CarEnter** та **CarMoveTo** під відповідними назвами **queueA1**, **carEnterA1** та **AD**. Перший блок моделює виникнення черги автомобілів на першій смузі дороги вулиці А, другий блок поміщає агента-машину на першу смугу дороги вулиці А, а третій – направляє агента-машину в заданому напрямку А-Д, тобто в напрямку праворуч на дорогу **streetD**.

Свойства

streetA - Дорога

Имя: streetA Исключить Отображается на верхнем уровне Блокировать

Видимость: ла

Одностороннее движение

Кол-во полос основного движения: 3

Кол-во полос встречного движения: 3

Ширина разделительной полосы: 0.0 м

Цвет разделительной полосы: green

Рис. 3.5 Параметры дороги streetA

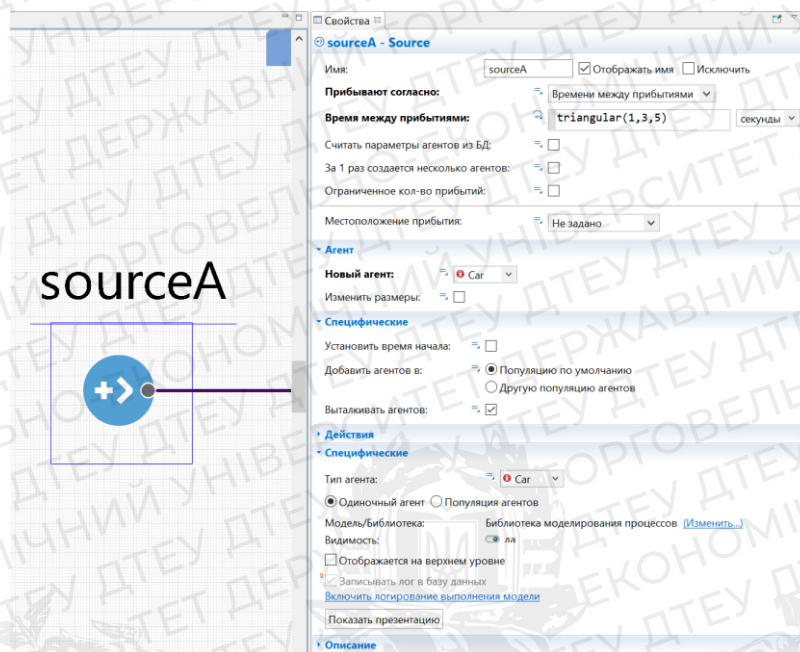


Рис. 3.6 Параметры блока SourceA

У властивостях блоку **selectAnotherWay** задаємо параметри, як на Рис.3.10 Додатку 7. Ми задаємо саме такі параметри, тому що в умові задачі не зазначено ймовірності вибору інших шляхів або напрямів, що відмінні від напрямів A-B або A-D. Тому ми будемо вважати, що водії вибирають інші шляхи в рівній мірі. Далі від блоку **selectAnotherWay** будуємо наступні блоки:

1) З першого виходу встановлюємо блоки **Queue**, **CarEnter** та **CarMoveTo** під відповідними назвами **queueBack**, **carEnterBack** та **AA**. Перший блок моделює виникнення черги автомобілів на третій смузі дороги вулиці A, другий блок поміщає агента-машину на третю смугу дороги вулиці A, а третій – направляє агента-машину в заданому напрямку A-A, тобто на дорогу **streetA**, але в зустрічному напрямку.

2) З другого виходу встановлюємо блоки **Queue**, **CarEnter** та **CarMoveTo** під відповідними назвами **queueA3Straight**, **carEnterA3Straight** та **AC3**. Перший блок моделює виникнення черги автомобілів на третій смузі дороги вулиці A, другий блок поміщає агента-машину на третю смугу дороги вулиці A, а третій – направляє агента-машину в заданому напрямку A-C, тобто на дорогу **streetC**. Ці блоки моделюють напрямок прямо для автомобіля, що знаходиться на третій смузі.

3) З третього виходу встановлюємо блоки **Queue**, **CarEnter** та **CarMoveTo** під відповідними назвами **queueA2**, **carEnterA2** та **AC2**. Перший блок моделює виникнення черги автомобілів на другій смузі дороги вулиці А, другий блок поміщає агента-машину на відповідну смугу дороги вулиці А, а третій – направляє агента-машину в заданому напрямі А-С, тобто на дорогу **streetC**. Ці блоки моделюють напрямок прямо для автомобіля, що знаходиться на другій смузі.

4) З першого виходу встановлюємо блоки **Queue**, **CarEnter** та **CarMoveTo** під відповідними назвами **queueA1Straight**, **carEnterA1Straight** та **AC1**. Перший блок моделює виникнення черги автомобілів на першій смузі дороги вулиці А, другий блок поміщає агента-машину на першу смугу дороги вулиці А, а третій – направляє агента-машину в заданому напрямку А-С, тобто на дорогу **streetC**. Ці блоки моделюють напрямок прямо для автомобіля, що знаходиться на першій смузі.

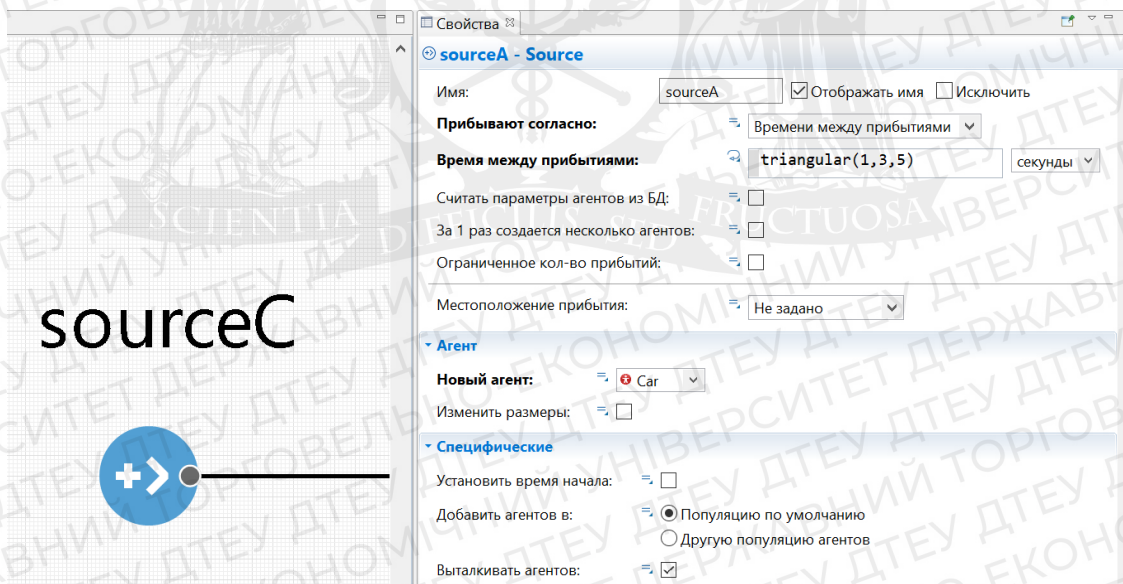


Рис. 3.7 Параметри блока SourceC

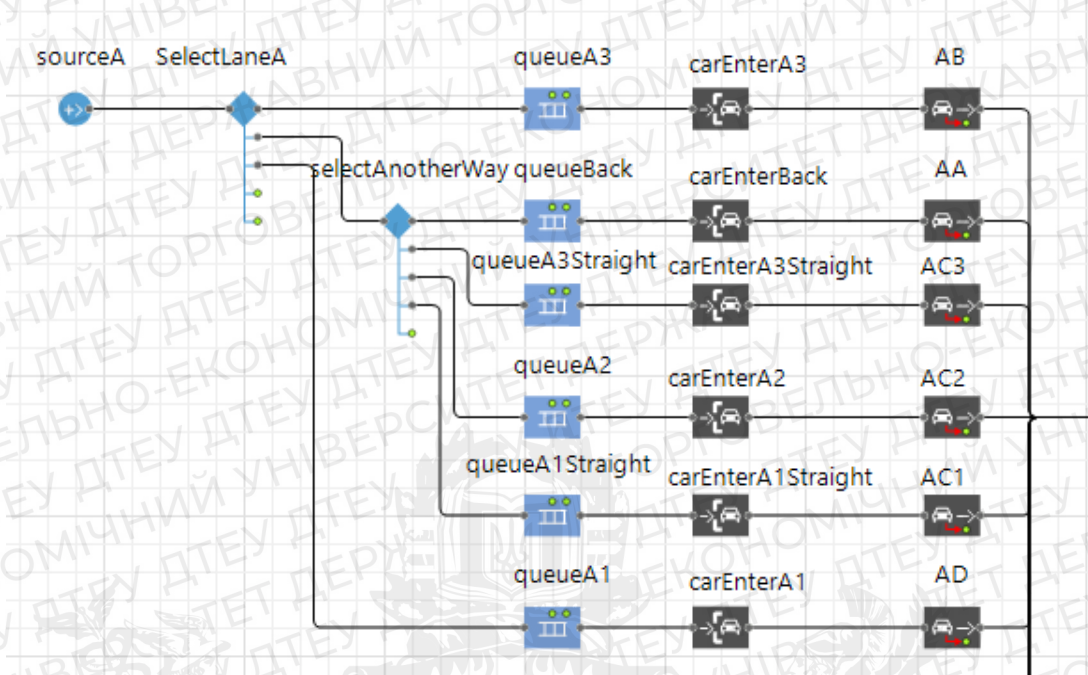


Рис. 3.8 Діаграма процесу проїзду перехрестя зі сторони вулиці А

Свойства

SelectLaneA - SelectOutput5

Имя: Отображать имя Исключить

Использовать: Вероятности Условия Номер выхода

Вероятность 1: *DIFFICILIS SED FRUCTUOSA*


Вероятность 2:

Вероятность 3:

Вероятность 4:


Вероятность 5:


Рис. 3.9 Параметри блоку SelectLaneA


Свойства 


selectAnotherWay - SelectOutput5


Имя: Отображать имя Исключить

Использовать:  Вероятности
 Условия
 Номер выхода

Вероятность 1: 

Вероятность 2: 

Вероятность 3: 

Вероятность 4: 


Вероятность 5: 

Рис. 3.10 Параметры блока *selectAnotherWay*

Тепер побудуємо таку ж діаграму процесу і для вулиці С (Рис.3.11). Після блоку **sourceC** вводимо блок типу **SelectOutput5** під назвою **SelectLaneC**. У властивостях блоку **SelectLaneC** задаємо параметри, як на Рис.3.12. Від блоку **SelectLaneC** вводимо наступні блоки:

1) З першого виходу вводимо блок типу **SelectOutput5** під назвою **selectLaneCStraigh**, що моделює вибір напрямку С-А з різних смуг дороги С. У властивостях блоку в «Вероятность 1»- «Вероятность 3» задаємо значення 0,333, яке моделює рівні ймовірності вибору смуги руху вулиці С (Рис.3.13).

2) З другого виходу встановлюємо блоки **Queue**, **CarEnter** та **CarMoveTo** під відповідними назвами **queueToRight**, **carEnterCB** та **CB**. Перший блок моделює виникнення черги автомобілів на першій смузі дороги вулиці С, другий блок поміщає агента-машину на першу смугу дороги вулиці С, а третій – направляє агента-машину в заданому напрямку С-В, тобто на дорогу **streetB** основного руху.

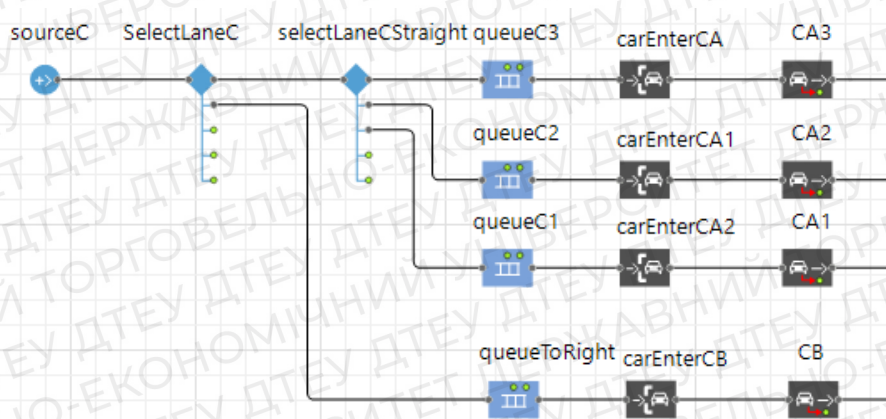


Рис. 3.11 Діаграма процесу проїзду перехрестя зі сторони вулиці С

Свойства

SelectLaneC - SelectOutput5

Имя: Отображать имя Исключить

Использовать: Вероятности Условия Номер выхода

Вероятность 1:

Вероятность 2:

Вероятность 3:

Вероятность 4:

Вероятность 5:

Рис. 3.12 Параметри блоку SelectLaneC

Свойства

selectLaneCStraight - SelectOutput5

Имя: Отображать имя Исключить

Использовать: Вероятности Условия Номер выхода

Вероятность 1:

Вероятность 2:

Вероятность 3:

Вероятность 4:

Вероятность 5:

Рис. 3.13 Параметри блоку selectLaneCStraight

Після створення перехрестя та діаграми процесу моделі ми додаємо на графічне поле агента **Main** блок **TrafficLight**, який моделює

роботу світлофорів. У властивостях блоку **TrafficLight** задаємо параметри згідно рис.3.15 в Додатку 10. Так як за умовою задачі світлофор перемикається кожні 20 с, то це означає те, що для світлофорів на перехресті існують тільки дві фази – червона, що забороняє рух, та зелена, що дозволяє. Тобто, у властивостях блоку ми задаємо однакові тривалості тільки для червоного та зеленого сигналів. Варто звернути увагу розділ **«Задає режим роботи для»** - в цьому розділі ми задаємо режим **«Для заданих стоп-ліній»**. Даний режим задає рух по заданим з'єднувачам доріг при зеленій фазі для автомобілів, що знаходяться безпосередньо перед стоп-лініями.

Для того, щоб знайти кількість машин, які пройшли в кожному напрямку, а також Визначити середню і максимальну довжину черги машин для кожного напрямку руху, на графічне поле ми додамо стовпчикові діаграми (див. Рис.3.16) з Бібліотеки **«Статистика»**:

- 1) Кількість машин по напрямках – в цій діаграмі відображаються кількості автомобілів, що пройшли в кожному напрямку.
- 2) Середня довжина черг по напрямках – в цій діаграмі відображаються середні довжини черг на смугах руху, так як черги створюються саме на смугах.
- 3) Максимальна довжина черг по напрямках – в цій діаграмі відображаються максимальні довжини черг на смугах руху відповідних напрямків.

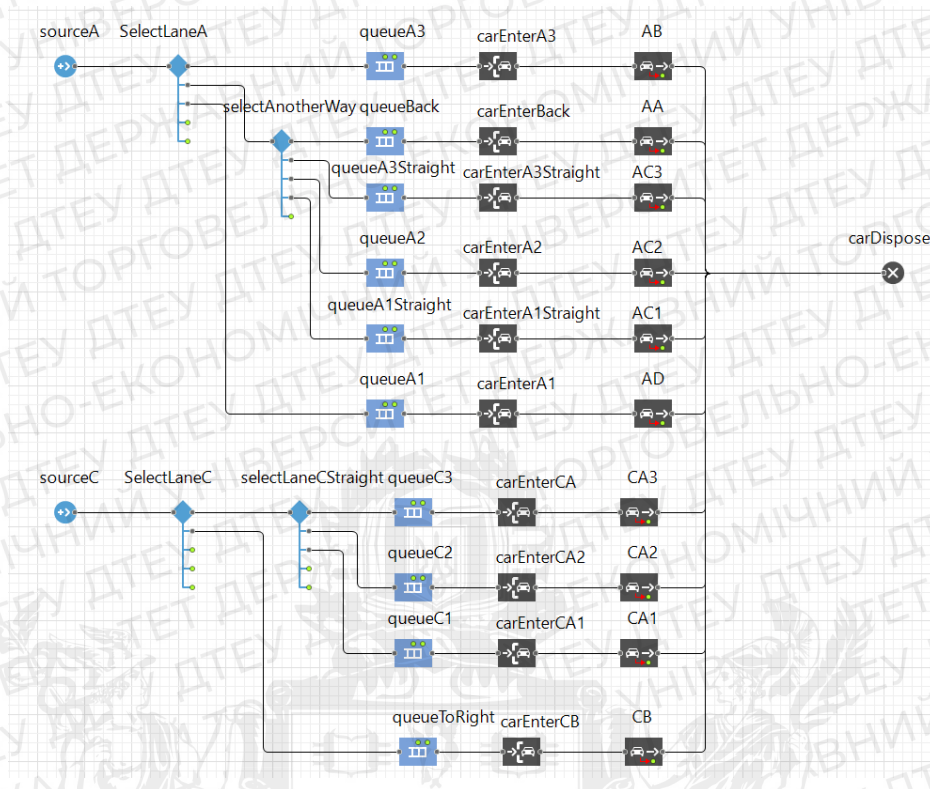


Рис. 3.14 Повна діаграма процесу проїзду перехрестя зі сторін вулиць А та С

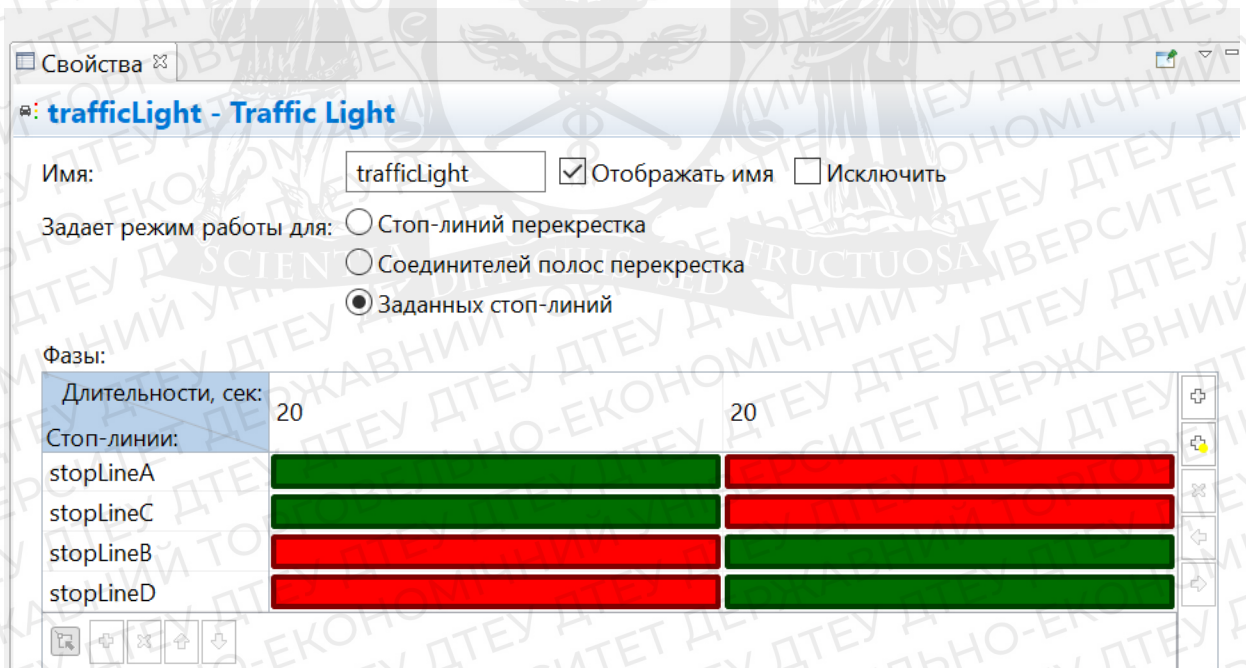


Рис. 3.15 Параметри блоку Traffic Light

Після блоку **selectLaneCstraight** ми додаємо наступні блоки:

- 1) З першого виходу встановлюємо блоки **Queue**, **CarEnter** та **CarMoveTo** під відповідними назвами **queueC3**, **carEnterCA** та **CA3**. Перший блок моделює виникнення черги автомобілів на третій смузі дороги вулиці С, другий блок поміщає агента-машину на третю смугу дороги вулиці

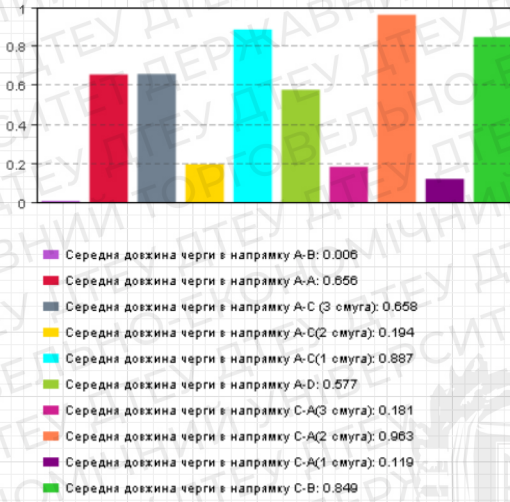
С, а третій – направляє агента-машину в заданому напрямку С-А, тобто на дорогу **streetA** в зустрічному напрямку.

2) З другого виходу встановлюємо блоки **Queue**, **CarEnter** та **CarMoveTo** під відповідними назвами **queueC2**, **carEnterCA2** та **CA2**. Перший блок моделює виникнення черги автомобілів на другій смузі дороги вулиці С, другий блок поміщає агента-машину на другу смугу дороги вулиці С, а третій – направляє агента-машину в заданому напрямку С-А, тобто на дорогу **streetA** також в зустрічному напрямку.

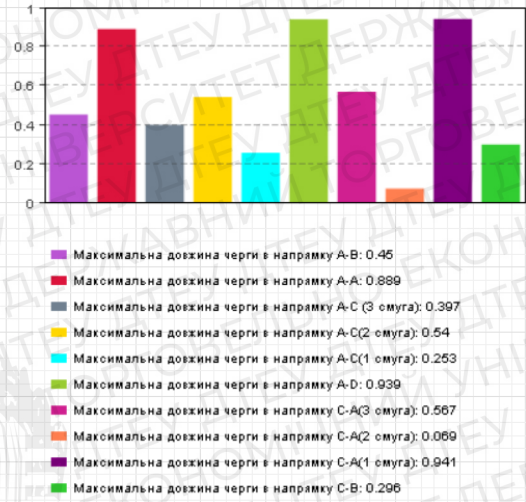
3) З третього виходу встановлюємо блоки **Queue**, **CarEnter** та **CarMoveTo** під відповідними назвами **queueC1**, **carEnterCA1** та **CA1**. Перший блок моделює виникнення черги автомобілів на першій смузі дороги вулиці С, другий блок поміщає агента-машину на першу смугу дороги вулиці С, а третій – направляє агента-машину в заданому напрямку С-А, як і в двох попередніх випадках.

Після побудови двох діаграм з'єднуємо усі блоки типу **CarMoveTo** з блоком **CarDispose**, який видаляє агентів-машин з моделі (Рис.3.14 Додатку 10).

Середня довжина черг в напрямках



Максимальна довжина черг в напрямках



Кількість машин по напрямках

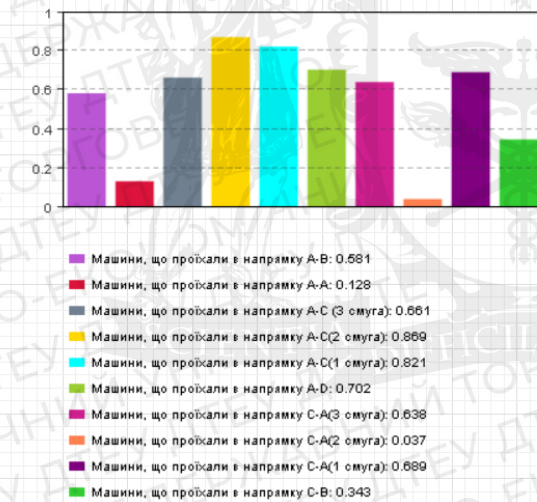
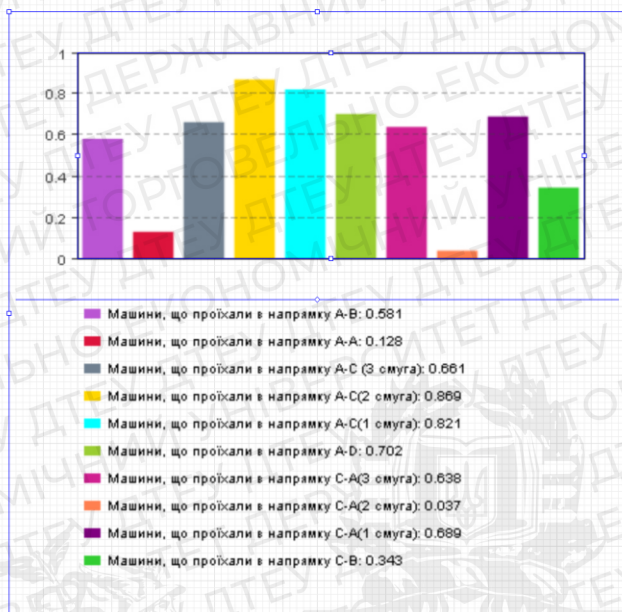


Рис. 3.16 Столбикові діаграми моделі перехрестя вулиць А, В, С та D

Кількість машин по напрямках



Даные

Заголовок: Машини, що пройшли і

Цвет: mediumOr

Значение: AB.out.count()

Заголовок: Машини, що пройшли і

Цвет: crimson

Значение: AA.out.count()

Заголовок: Машини, що пройшли і

Цвет: slateGray

Значение: AC3.out.count()

Заголовок: Машини, що пройшли і

Цвет: gold

Значение: AC2.out.count()

Заголовок: Машини, що пройшли і

Цвет: cyan

Значение: AC1.out.count()

Заголовок: Машини, що пройшли і

Цвет: yellowGr

Значение: AD.out.count()

Заголовок: Машини, що пройшли і

Цвет: violetRed

Значение: CA3.out.count()

Заголовок: Машини, що пройшли і

Цвет: coral

Значение: CA2.out.count()

Заголовок: Машини, що пройшли і

Цвет: purple

Значение: CA1.out.count()

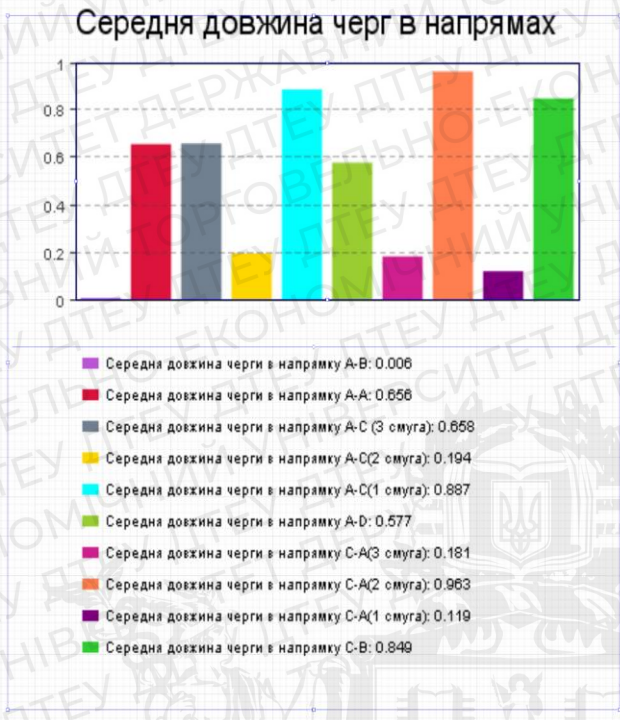
Заголовок: Машини, що пройшли і

Цвет: limeGreen

Значение: CB.out.count()

Рис. 3.17 Дані діаграми кількості машин по напрямках

Для побудови діаграми кількості машин по напрямках у властивостях діаграми в розділі «Даные» потрібно ввести дані, як на Рис.3.17. Розглянемо для прикладу дані про напрям A-B. В рядку значення введена наступна функція: **AB.out.count()**. В даному випадку **AB** – це ім'я нашого об'єкта **CarMoveTo**, до якого ми звертаємося; **out** – вихідний порт, з якого виходять агенти-машини, а **count()** – вбудована функція, що повертає кількість автомобілів, видалених блоком **CarDispose**.



Дані

- Заголовок: Середня довжина черги
Цвіт: medium
Значення: queueA3.statsSize.mean()
- Заголовок: Середня довжина черги
Цвіт: crimson
Значення: queueBack.statsSize.mean()
- Заголовок: Середня довжина черги
Цвіт: lightGray
Значення: queueA3Straight.statsSize.mean()
- Заголовок: Середня довжина черги
Цвіт: gold
Значення: queueA2.statsSize.mean()
- Заголовок: Середня довжина черги
Цвіт: cyan
Значення: queueA1Straight.statsSize.mean()
- Заголовок: Середня довжина черги
Цвіт: yellowGreen
Значення: queueA1.statsSize.mean()
- Заголовок: Середня довжина черги
Цвіт: violetRed
Значення: queueC3.statsSize.mean()
- Заголовок: Середня довжина черги
Цвіт: coral
Значення: queueC2.statsSize.mean()
- Заголовок: Середня довжина черги
Цвіт: purple
Значення: queueC1.statsSize.mean()
- Заголовок: Середня довжина черги
Цвіт: limeGreen
Значення: queueTOright.statsSize.mean()

Рис.18 Дані діаграми середньої довжини черг в напрямках



Дані

- Заголовок: Максимальна довжина
Цвіт: mediumSeaGreen
Значення: queueA3.statsSize.max()
- Заголовок: Максимальна довжина
Цвіт: crimson
Значення: queueBack.statsSize.max()
- Заголовок: Максимальна довжина
Цвіт: lightGray
Значення: queueA3Straight.statsSize.max()
- Заголовок: Максимальна довжина
Цвіт: gold
Значення: queueA2.statsSize.max()
- Заголовок: Максимальна довжина
Цвіт: cyan
Значення: queueA1Straight.statsSize.max()
- Заголовок: Максимальна довжина
Цвіт: yellowGreen
Значення: queueA1.statsSize.max()
- Заголовок: Максимальна довжина
Цвіт: violetRed
Значення: queueC3.statsSize.max()
- Заголовок: Максимальна довжина
Цвіт: coral
Значення: queueC2.statsSize.max()
- Заголовок: Максимальна довжина
Цвіт: purple
Значення: queueC1.statsSize.max()
- Заголовок: Максимальна довжина
Цвіт: limeGreen
Значення: queueTOright.statsSize.max()

Рис. 3.19 Дані діаграми середньої довжини черг в напрямках

Для того, щоб знайти середні та максимальні значення для кожного напрямку, у відповідних діаграмах аналогічно вводимо дані, як на Рис.3.18 та Рис.3.19 у Додатку 13.

Розберемо той же приклад напряму А-В. В рядку значення введена наступна функція: `queueA3.statsSize.mean()`. В даному випадку `queueA3` – це ім'я блоку `Queue`, до якого ми звертаємося, `statsSize` – це ім'я об'єкту типу «статистика» `StatisticsContinuous`, який проводить збір статистики черги у блоці `Queue`, а `mean()` – це – вбудована функція, що повертає середню кількість агентів-машин, що пройшли через цей блок. Схожим чином у властивостях діаграми максимальної довжини черг в рядку значення вводимо функцію `max()` замість функції `mean()`. Функція `max()` повертає максимальне значення кількості агентів-машин, що пройшли через блок `Queue`.

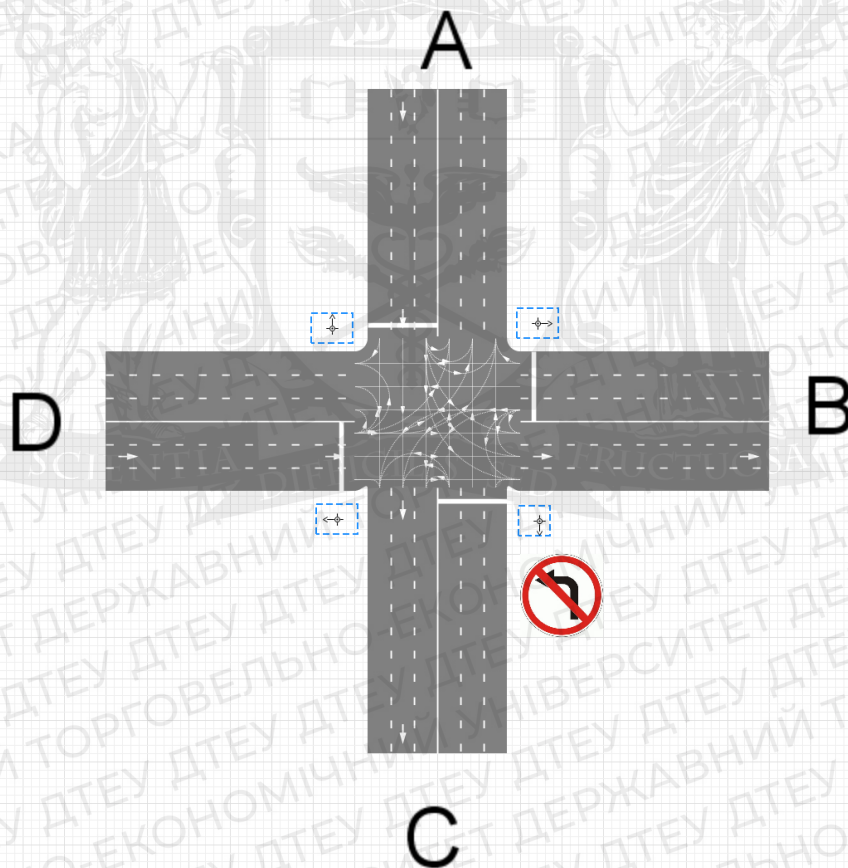


Рис. 3.20 Розташування прямокутних вузлів з атракторами

Після побудови діаграми процесів та діаграм перейдемо для кращого сприйняття та аналізу моделі перейдемо безпосередньо до створення анімації в нашій моделі.

В Бібліотеці дорожнього руху додамо на графічне поле елемент «Тип автомобіля» та створимо агента **Car**, при цьому обравши 3D-анімацію «Автомобиль». В усіх блоках діаграми процесів в розділі «Специфические» вибираємо щойно створеного агента.

Також для анімації ми на графічне поле агента **Main** з Бібліотеки моделювання процесів додамо блок **ResourcePool** під назвою **TrafficLights**, який задає набір ресурсів – в нашому випадку світлофорів. В розділі «Тип ресурса» створимо агента **Light**, а в якості анімації виберемо 3D-анімацію «Светофор 1». На Рис.3.20 зображено розташування прямокутних вузлів з атракторами, в яких і розміщені ресурси **Light**. Кількість ресурсів **Light** дорівнює чотирьом – для кожної вулиці. В блоці **TrafficLights** задаємо параметри, як на Рис.3.21



Рис. 3.21 Параметры блока TrafficLights

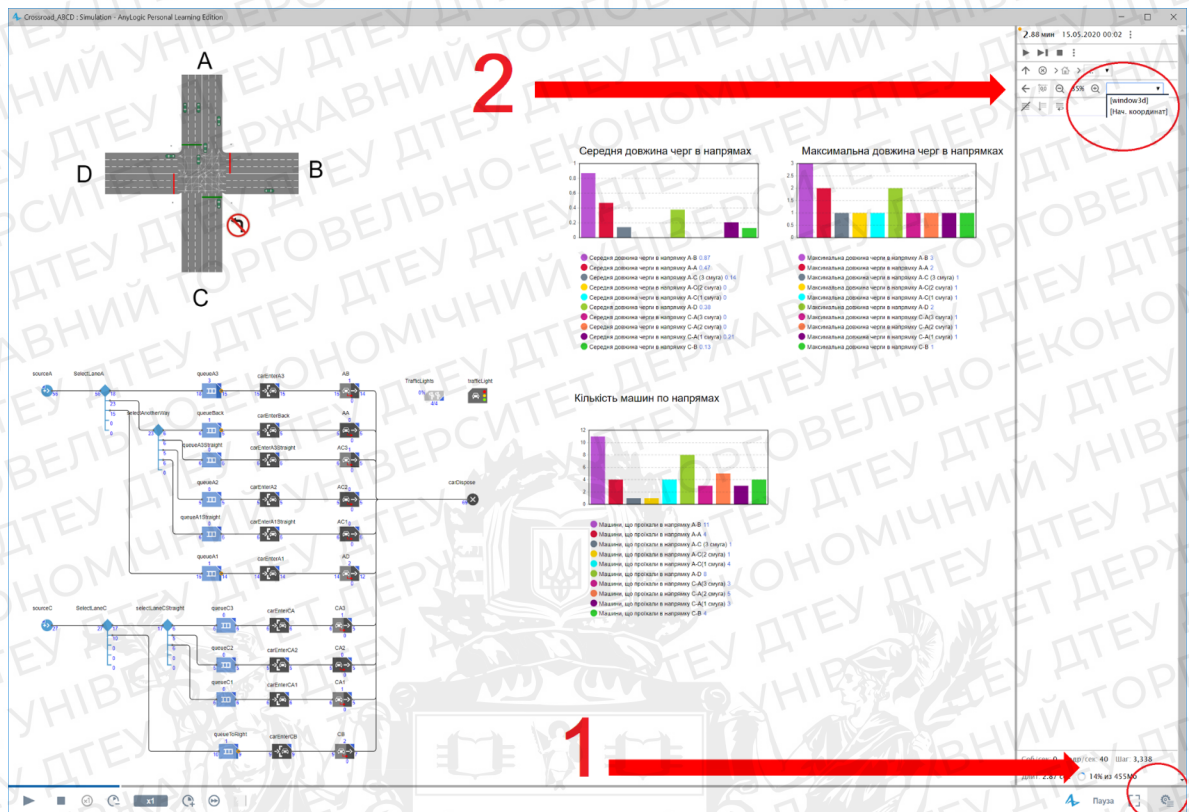
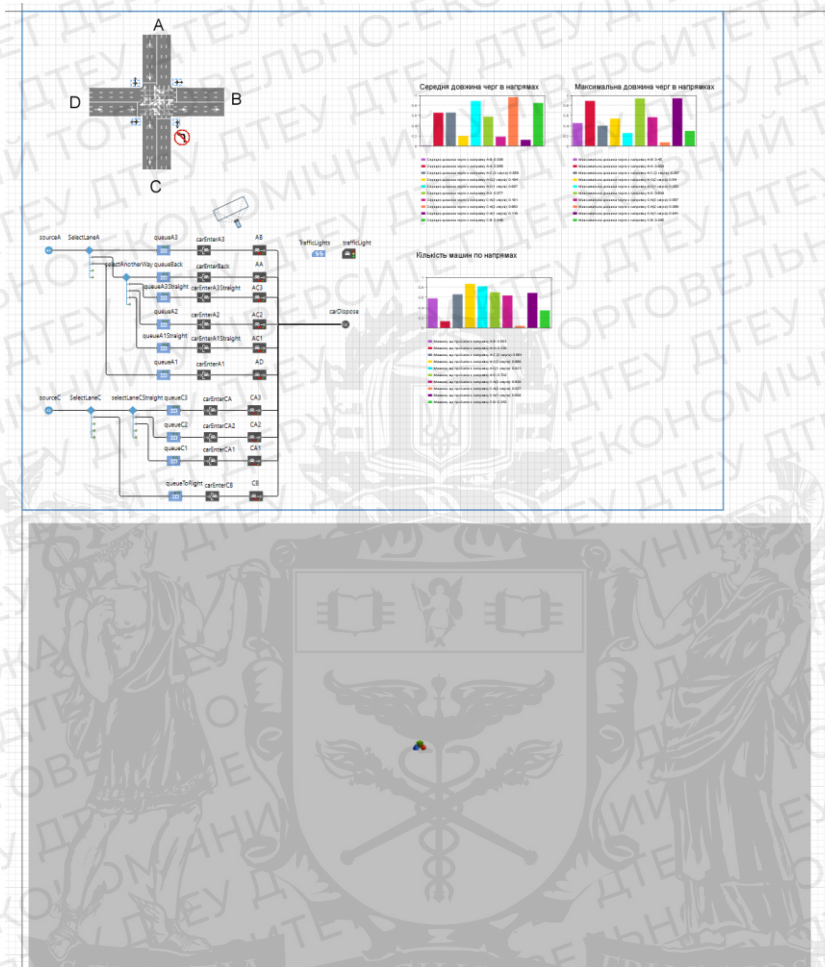


Рис. 3.22 Налаштування відображення 3D-анімації при виконанні моделі

З бібліотеки «Презентація» додаємо на графічне поле агента **Main** об'єкти «3D Окно» та «Камера». Для відображення 3D-анімації запустимо модель, після чого для переходу потрібно виконати дії, як на Рис.3.22. При цьому вікно тривимірної анімації буде розгорнуто до розміру об'єкта «3D Окно». Для задання бажаного ракурсу камери треба клацнути правою клавішею миші і обрати в контекстному меню опцію «Скопировать положение камеры». Також з даної бібліотеки ми з бібліотеки «Презентація» розміщуємо елемент «Изображение», на якому буде зображення дорожнього знаку «Поворот ліворуч заборонено».

На Рис.3.23 зображено повний вигляд моделі перехрестя. Після того, як ми побудували всю модель, перейдемо до вирішення самої задачі. За



умовою задачі, потрібно змоделювати роботу перехрестя з регулювання руху з боку вулиць А і С протягом півгодини. Для цього переходимо до розділу «Проекты», в розділі «Simulation:Main» задаємо параметри як на Рис.3.24 в Додатку 17. Після цього ми запускаємо виконання моделі.

Рис. 3.23 Повний вигляд моделі перехрестя

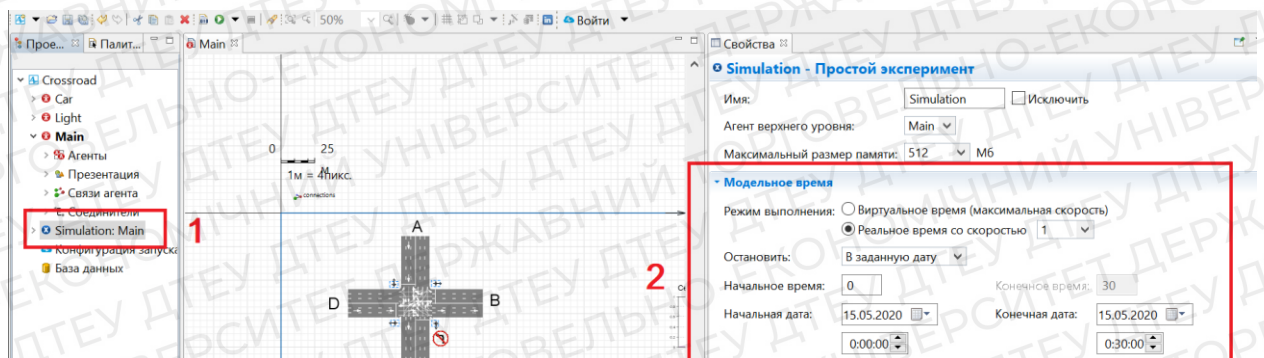


Рис. 3.24 Налагодження модельного часу

2.5. Аналіз розв'язку

Результати роботи моделі наведені на Рис.3.25, Рис.3.26 та в таблиці

3.1. За умовою задачі, потрібно підрахувати число машин, які пройшли в кожному напрямку, а також визначити середню і максимальну довжину черги машин для кожного напрямку руху.

| Напрямок руху автомобіля | Кількість автомобілів, що проїхали по даному напрямку | Структура кількості всіх автомобілів | Середня довжина черги на даному напрямку | Максимальна довжина черги на даному напрямку |
|--------------------------|---|--------------------------------------|--|--|
| А-В | 108 | 12,95% | 11,82 | 25 |
| А-А | 73 | 8,75% | 1,79 | 6 |
| А-С (3-тя смуга) | 80 | 9,59% | 2,49 | 9 |
| А-С (2-тя смуга) | 51 | 6,12% | 0,1 | 2 |
| А-С (1-тя смуга) | 78 | 9,35% | 1,08 | 5 |
| А-Д | 150 | 17,99% | 14,1 | 26 |
| С-А (3-тя смуга) | 58 | 6,95% | 0,12 | 3 |
| С-А (2-тя смуга) | 59 | 7,07% | 0,04 | 2 |
| С-А (1-тя смуга) | 48 | 5,76% | 0,26 | 3 |
| С-В | 129 | 15,47% | 0,78 | 4 |
| Всього | 834 | 100,00% | - | - |

Таблиця 3.1

Результати моделювання роботи моделі перехрестя А, В, С та D

Отже, за результатами моделювання, за 30 хвилин роботи моделі через перехрестя проїхало 834 автомобілі, з них найбільше машин проїхало в напрямі А-С – їх кількість склала 209 автомобілів з урахуванням усіх трьох смуг руху, що складає 25% від усіх автомобілів; найменше автомобілів проїхало у напрямі А-А (розворот) – їх кількість склала 73, або приблизно 8,75% від усіх автомобілів, що пройшли через перехрестя. Найбільша середня довжина черги була в напрямку А-Д, кількість автомобілів у черзі складала 14,1. Найменша середня довжина черг спостерігалася в напрямку С-А на другій смузі – вона склала 0,04 автомобіля. Найбільше значення

максимальної довжини черги спостерігалось у напрямку А-Д, і склало 26 автомобілів. Найменше значення максимальної довжини спостерігалось в напрямках А-С та С-А на другій смузі – по два автомобіля в черзі.

Проаналізуємо результати роботи моделі перехрестя з вулицями А, В, С та Д.

Як ми бачимо, найбільша середня та найбільша максимальна черги були в напрямку А-Д. Тобто, можна сказати, що чим більше кількість автомобілів проїхала саме в цьому напрямку, тим більше показники середньої та максимальної довжин.

Але також є інший результат, який вартий нашої уваги. Він стосується напрямків С-В, С-А та А-В. Кількість машин, що проїхала по С-В, склала 129, але при цьому максимальна довжина черги склала 4 автомобіля. Також спостерігається і наступна ситуація: сумарна кількість автомобілів, що проїхала в напрямку С-А з усіх трьох смуг, складає 165 автомобілів, але при цьому на всіх смугах вулиці С максимальна черга складала не більше 2-3 автомобілів. Кількість автомобілів, що проїхали в напрямку А-В, склала 108 автомобілів, при цьому середня довжина черги склала 11,82 автомобілі, а максимальна черга – 25 автомобілів.

Пояснити це можна тим, що за умовою задачі з вулиці С водії вибирають в основному два напрямки: в сторону вулиці А з вулиці С з ймовірністю 60% або в напрямку вулиці В з першої смуги вулиці С з ймовірністю 40%. Так як проїзд в напрямку С-А водій може здійснити з будь-якої смуги руху вулиці С, і ймовірність вибору смуги для напрямку С-А є однаковою для всіх смуг, тому і значення максимальної та середньої черг для напрямку С-А є мінімальними. По суті, для проїзду в напрямку С-А водій може обрати будь-яку смугу, і тим самим потік машин в напрямку С-А рівномірно розподілиться між усіма смугами руху вулиці С. У випадку напрямку в сторону вулиці В з вулиці А та С ситуація інша. За Правилами дорожнього руху та умовою задачі, водії, які прямують з вулиці А, можуть повертати ліворуч, якщо в їх напрямку немає руху в напрямках С-А та С-В. І

в такому випадку максимальна та середня довжини черг з вулиці В буде завжди більшою, ніж ті ж довжини черг з вулиці С.

На результати роботи моделі також вплинула робота світлофорів. В нашій моделі у світлофора є тільки дві фази – червона та зелена. Дані фази змінюються кожні 20 секунд. В умові задачі зазначено те, що якщо автомобіль, який виїхала на перехрестя до моменту перемикання світлофора, обов'язково продовжує свій рух, тоді як інші автомобілі, що не встигли проїхати до моменту перемикання, стають в чергу перед стоп-лінією. Тому ми можемо спостерігати черги не тільки перед стоп-лініями, але й на самому перехресті. Цей фактор безумовно впливає на величини черг в напрямках А-В та А-Д.

Не можна не згадати і про рух в напрямі С-Д, який в моделі є забороненим. Але і без цього водії, що виїжджали з вулиці С, в більшості випадків обирали рух в прямому напрямку. Але якщо припустити те, що рух в напрямку С-Д був би дозволеним та деяка частина водіїв обирала б саме цей напрям, то виникла б ситуація, аналогічна тій, в яку потрапляють автомобілі, що рухаються в напрямку А-Д. Тобто, середня та максимальна довжини черг у напрямку С-Д були б більше, ніж у напрямку А-Д.

3.3. Проведення оптимізаційного експерименту

Підіб'ємо підсумок – модель перехрестя вулиць А, В, С та Д є адекватною моделлю, тому що в ній враховуються такі обставини, як рух автомобілів в заданому напрямку на відповідних смугах руху. Також в даній моделі можна чітко спостерігати і залежності між показниками середньої та максимальної черг автомобілів для кожного напрямку, і кількість автомобілів, що проїхали в кожному напрямку. Але при цьому варто відмітити той факт, що в реальних умовах для світлофорів на перехресті існувала б також і жовта фаза, яка б тривала 4-5 секунд. Дана фаза дає можливість завершення руху тим водіям, що не встигли до перемикання сигналів світлофора [18].



Рис. 3.25 Виконання моделі з відображенням анімації

Варто також зазначити і те, що в процесі моделювання дорожнього руху на перехресті елементи бібліотеки дорожнього руху AnyLogic задавали агентам-машинам поведінку, що максимально була наближена до реальності. Тобто, агенти-машини поводити себе як реальні водії – пропускали зустрічні машини при повороті наліво, займали менш завантажену смугу руху, рухалися якомога ближче до правого крайнього положення тощо. Це було реалізовано завдяки Бібліотеці дорожнього руху цього ж продукту – дана бібліотека підтримує деталізоване, але в той же час високоефективне моделювання руху машин на фізичному рівні [19]. Тому ми можемо стверджувати те, що в моделювання транспортних систем в AnyLogic не поступається моделюванню в таких програмних забезпеченнях, як PTV VISSIM та AIMSUN2 та їх аналогів. Хоча варто зазначити те, що AnyLogic першочергово є програмним продуктом для вирішення бізнес-задач [20].

ВИСНОВКИ

Аналіз особливостей імітаційного моделювання логістичних систем: В результаті аналізу було виявлено, що імітаційне моделювання є потужним інструментом для вивчення та оптимізації логістичних систем. Воно дозволяє детально відтворити процеси, виявити слабкі місця системи та прогнозувати її поведінку в різних умовах.

Сучасний стан логістичних систем: Дослідження сучасного стану логістичних систем показало, що вони постійно еволюціонують та зазнають значних змін під впливом нових технологій, глобалізації та зростання вимог клієнтів. Використання інформаційних технологій та імітаційного моделювання стає необхідністю для забезпечення ефективності та конкурентоспроможності логістичних систем. Інформаційні технології імітаційного моделювання логістичних систем: У розділі було визначено, що інформаційні технології відіграють важливу роль у розробці та використанні імітаційних моделей логістичних систем. Вони забезпечують збір та обробку даних, візуалізацію результатів та взаємодію з моделлю, що значно підвищує ефективність та точність аналізу.

Специфіка функціонування логістичних систем: Розглянуто специфіку функціонування логістичних систем, включаючи управління запасами, оптимізацію маршрутів доставки, обробку замовлень та інші процеси. Використання імітаційних моделей дозволяє виявити ефективні стратегії та вдосконалити функціонування системи в цілому.

Розробка діаграм взаємодій: У розділі детально розглянуто процес розробки діаграм взаємодій, що є ключовим етапом при побудові імітаційних моделей. Відображення взаємодії між компонентами системи допомагає зрозуміти їхні ролі та взаємозалежності, що сприяє більш точному моделюванню процесів.

Специфіка побудови імітаційних моделей: Розкрито специфіку побудови імітаційних моделей логістичних систем, зокрема вибір моделюючих елементів, встановлення параметрів та налаштування моделі.

Було виділено основні критерії, які слід враховувати при побудові моделі для досягнення високої достовірності результатів.

Загальні висновки з роботи вказують на важливість імітаційного моделювання в аналізі та оптимізації логістичних систем. Використання інформаційних технологій та імітаційного моделювання дозволяє покращити ефективність, продуктивність та конкурентоспроможність системи. Діаграми взаємодій сприяють кращому розумінню та візуалізації процесів у системі. Побудова імітаційних моделей потребує уважного аналізу особливостей функціонування логістичних систем та належного налаштування параметрів моделі для отримання достовірних результатів.

Ця робота має велике значення для науково-дослідницької спільноти, практиків та менеджерів логістичних систем, оскільки надає інсайти щодо використання імітаційного моделювання для аналізу та оптимізації. Рекомендації, висунуті в роботі, можуть бути використані для подальшого вдосконалення і розширення існуючих моделей, а також для проведення подальших досліджень у цій області.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Харріс, Д. (2003). Логістика в постачаннях. Київ: Видавничий дім "Стандарт".
2. Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2017). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 55(17), 5033-5052.
3. Проноза, І. О., & Кузьменко, О. М. (2018). Логістичне управління підприємством: теоретичні аспекти та практичні рекомендації. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*, 5(1253), 15-22.
4. Li, X., & Shi, J. (2019). Integration of Internet of Things and big data analytics for supply chain management. In 2019 18th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES) (pp. 19-22). Guilin, China: IEEE.
5. Симчишина, О. А. (2021). Оптимізація логістичних систем на основі моделювання. У Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології у логістиці та управлінні промисловими підприємствами" (с. 75-79). Одеса, Україна: Одеський національний політехнічний університет
6. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: навч. посіб. [для студентів техн. спец. вищ. навч. закл.] / [В. Б. Толубко, А. Д. Кожухівський, В. В. Вишнівський та ін.]. – Київ, 2018. – 175 с.
7. Рувінська В. М. Аналіз обчислювальних систем. Конспект лекцій для студентів фахів 8.091501 та 8.080403. / В. М. Рувінська. – Одеса: Наука і техніка, 2016. – 120 с.
8. Купалова Г. І. Теорія економічного аналізу: Навч. посіб. / Г. І. Купалова. – Київ: Знання, 2018. – 639 с.
9. Поняття імітаційного моделювання та імітаційної моделі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

https://pns.hneu.edu.ua/pluginfile.php/293334/mod_resource/content/1/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%2023.pdf.

10. Кос М. В. Імітаційне моделювання в процесі професійної підготовки майбутніх офіцерів тактичного рівня як науково-педагогічна проблема / М. В. Кос. // «Young Scientist». – 2018. – С. 49.
11. Дацій О.І. Теорія економічного аналізу: навч. посіб. / [О.І. Дацій, О. О. Шевченко, Н. О. Шевченко, Н. І. Демчук, М. О. Сичова, В. П. Жук]; за ред. О. І. Дація. - Дніпропетровськ: Біла К. О., 2014. - 236 с.
12. Жерновий Ю. В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: Практикум / Ю. В. Жерновий. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 307 с.
13. Таха Х. А. Введение в исследование операций, 7-е издание / Хемди А. Таха. – Москва: Издательский дом "Вильямс", 2015.
14. Шевчук Я. В. Імітаційне моделювання транспортних систем / Я. В. Шевчук. // International Scientific Journal. – 2016.
15. А. Богачевский, В. Ю. Шумский. // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2016.
16. Капінус С. В. Імітаційне моделювання параметрів дорожнього руху у критичних ситуаціях на транспортній мережі / С. В. Капінус. // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – 2017.
17. Томашевський В. М. Моделювання систем / В. М. Томашевський. – Київ: Видавнича група ВНУ, 2015. – 352 с.
18. Заборонні знаки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://roadrules.com.ua/pdr-ukraini/pdr-znaki-rozmitka/zaboroni-znaki/zaboroni-znaki.html>.
19. Початок руху та зміна його напрямку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://vodiy.ua/pdr/10/>.
20. ПРО ЖОВТИЙ СИГНАЛ СВІТЛОФОРА [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ukravtodor.gov.ua/press/news/pro_zhovtyi_syhnal_svitlofora.html.

21. Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., & Werner, F. (2016). Resilient supply chain network design under disruptions: A proactive-reactive approach. *European Journal of Operational Research*, 258(2), 604-624.
22. Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. Boston: Irwin/McGraw-Hill.
23. Fu, L., Gao, X. Z., Lv, Z., & Lu, Z. (2017). A hybrid simulation-optimization framework for logistics network design under demand uncertainty. *Expert Systems with Applications*, 73, 238-254.
24. Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1-14.
25. Laporte, G., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F. (2006). Location-routing. In *Facility location: Applications and theory* (pp. 185-212). Berlin: Springer.
26. Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2008). *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and case studies*. New York: McGraw-Hill.
27. *City Logistics: Mapping the Future* (Hansen, C., & Golinska-Dawson, P. Eds.). (2014). Boca Raton: CRC Press.
28. Macharis, C., Bontekoning, Y. M., & Trip, J. J. (2014). *Sustainable logistics and supply chain management: Principles and practices for sustainable operations and management*. Abingdon: Kogan Page.
29. Chakraborty, A., & Talluri, S. (2012). Greening of the supply chain. In *The Oxford handbook of supply chain management* (pp. 451-470). Oxford: Oxford University Press.
30. Fleischmann, B., Krikke, H., Dekker, R., & Flapper, S. (2000). A characterization of logistics networks for product recovery. *Omega*, 28(6), 653-666.
31. Lu, L., Song, H., & Zhang, J. (2017). Understanding the impacts of big data on travel demand and travel behavior: An application of random forest models. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 79, 96-114.

32. Stanciu-Pană, R., Popa, V., & Bâzoi, G. (2015). Designing sustainable supply chains using agent-based simulation. *Procedia Engineering*, 132, 120-127.
33. Li, S., & Villegas, J. G. (2019). Blockchain for traceability in manufacturing: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2049-2069.
34. Holmström, J., Ala-Risku, T., & Franke, U. (2019). Exploring the potential of digital twins in supply chain analytics. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-28.
35. Chen, L., Liu, L., & Zhang, C. (2020). The impacts of blockchain technology on supply chain management: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 232, 107878.
36. Ojala, L., Hallikas, J., & Tuominen, M. (2008).

