

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

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Проектування та моделювання транспортного потоку в місті»

Студента 4 курсу, 9 групи,
спеціальності
122 «Комп'ютерні науки»

Шиденко Максим
Олексійович

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

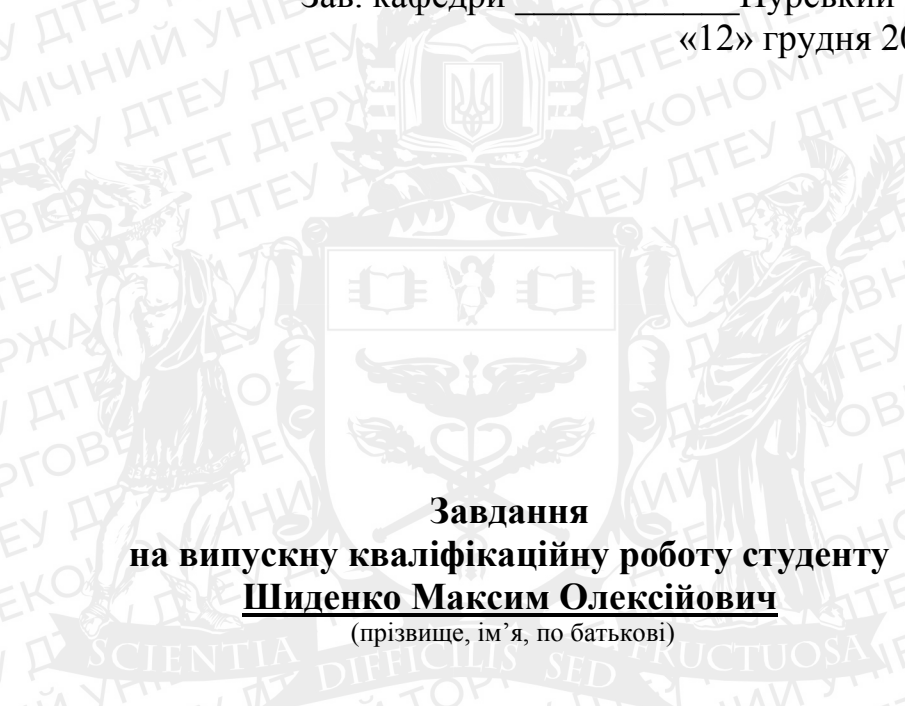
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

Зав. кафедри _____

Затверджую

Пурський О.І.

«12» грудня 2022 р.



Завдання **на випускню кваліфікаційну роботу студенту** **Шиденко Максим Олексійович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи
«Проектування та моделювання транспортного потоку в місті»
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 транспортного потоку в місті

Об'єкт дослідження: процеси функціонування транспортних потоків в місті

Предмет дослідження: інформаційні технології імітаційного моделювання

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	15.12.2022
2	Селіванова А.В.	15.12.2022	15.12.2022
3	Селіванова А.В.	15.12.2022	15.12.2022

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

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. Загальна проблематика імітаційного моделювання

- 1.1. Сучасний стан імітаційного моделювання
- 1.2. Аналіз особливостей імітаційного моделювання
- 1.3. Інформаційні технології проектування та імітаційного моделювання

РОЗДІЛ 2. Розробка імітаційної моделі транспортного потоку в місті

- 2.1. Специфіка проектування транспортного потоку в місті
- 2.2. Специфіка агентного моделювання
- 2.3. Розробка імітаційної моделі транспортного потоку

РОЗДІЛ 3. Реалізація імітаційної моделі транспортного потоку в місті

- 3.1. Розробка діаграм взаємодії
- 3.2. Реалізація імітаційної моделі в середовищі AnyLogic
- 3.3. Проведення оптимізаційного експерименту

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

7. Календарний план виконання роботи

№ Пор.	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів 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 імітаційного моделювання</i>	28.02.2023	28.02.2023
5	<i>РОЗДІЛ 2. Розробка моделі імітаційної моделі транспортного потоку в місті</i>	06.04.2023	06.04.2023
6	<i>РОЗДІЛ 3. Реалізація імітаційної моделі транспортного потоку в місті</i>	12.05.2023	12.05.2023
7	<i>Висновки</i>	15.05.2023	15.05.2023
8	<i>Здача випускної кваліфікаційної роботи на кафедрі 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 кафедрі</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

Шиденко М.О.

(прізвище, ініціали, підпис)

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ПРОБЛЕМАТИКА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

1.1. Сучасний стан імітаційного моделювання.

Імітаційне моделювання є методом дослідження та аналізу реальних систем шляхом створення комп'ютерних моделей, які імітують поведінку цих систем у віртуальному середовищі. Цей підхід використовується в різних сферах, таких як наука, інженерія, економіка, медицина та багато інших. Сучасний стан імітаційного моделювання характеризується декількома важливими розвитками:

1. Зростання обчислювальної потужності: Завдяки постійному зростанню обчислювальної потужності комп'ютерів, стало можливим створення більш складних та реалістичних імітаційних моделей. Це дозволяє дослідникам створювати більш точні та деталізовані моделі, які здатні вірно відображати складні реальні системи.
2. Вдосконалення алгоритмів та методів: Розвиток нових алгоритмів та методів імітаційного моделювання дозволяє отримувати більш швидкі та ефективні результати. Наприклад, використання методів паралельних обчислень, оптимізованих алгоритмів та машинного навчання може значно покращити продуктивність моделей і зменшити час, необхідний для їхньої побудови.
3. Інтеграція з великими наборами даних: Імітаційне моделювання стає все більш інтегрованим з великими наборами даних, що забезпечують додаткові можливості для аналізу та перевірки моделей. Застосування методів машинного навчання до цих даних може допомогти автоматизувати процес побудови моделей та забезпечити більш точні результати.
4. Використання в реальному часі: Сучасні імітаційні моделі стають більші реалістичними та здатними до функціонування в реальному часі. Це дозволяє застосовувати їх для вирішення нагальних проблем та приймати рішення в режимі реального часу. Наприклад, вони можуть

бути використані для прогнозування поведінки ринків, управління трафіком, оптимізації виробничих процесів та багато інших задач.

5. Візуалізація та взаємодія: Застосування нових технологій візуалізації та взаємодії дозволяє користувачам більш зручно працювати з імітаційними моделями. Вони можуть бути представлені у вигляді 3D-моделей, віртуальних середовищ або веб-інтерфейсів, що спрощують сприйняття та маніпуляцію моделями.

Сучасний стан імітаційного моделювання є досить розвиненим і має широкий спектр застосувань. Ось деякі ключові аспекти сучасного стану імітаційного моделювання:

1. Розширення областей застосування: імітаційне моделювання застосовується в різних галузях, включаючи логістику, транспорт, енергетику, економіку, медицину, екологію, соціальні науки та інші. Його застосовують для дослідження складних систем, прогнозування та прийняття рішень.
2. Застосування штучного інтелекту: сучасні імітаційні моделі можуть включати елементи штучного інтелекту, такі як автономні агенти, нейронні мережі, генетичні алгоритми тощо. Це дозволяє створювати більш реалістичні та складні моделі систем з більш точними прогнозами.
3. Використання великих обчислювальних потужностей: завдяки зростанню обчислювальних можливостей, сучасні імітаційні моделі можуть працювати з великими обсягами даних та складними алгоритмами, це дозволяє розглядати більші та більш складні системи.
4. Інтерактивне моделювання та візуалізація: сучасні інструменти для імітаційного моделювання надають зручні способи взаємодії з моделями та візуалізації результатів. Це дозволяє налаштовувати та виконувати експерименти, а також аналізувати та інтерпретувати результати моделювання.

5. Імітаційне моделювання у системах прийняття рішень: імітаційні моделі використовуються для підтримки прийняття рішень у реальному часі. Вони дозволяють оцінювати різні стратегії та сценарії, враховуючи незважаючи на нестабільність і невизначеність ситуацій.
6. Використання в навчанні та навчальних програмах: Імітаційне моделювання є важливою складовою сучасних навчальних програм у галузі системного аналізу, управління та інших дисциплінах. Воно допомагає студентам розвивати навички аналізу, моделювання та прийняття рішень.

Загалом, сучасне імітаційне моделювання характеризується збільшенням доступності даних і розширенням областей застосування. Це відкриває нові можливості для досліджень, аналізу та вирішення проблем у різних сферах людської діяльності.

1.2. Аналіз особливостей імітаційного моделювання.

Імітаційне моделювання дозволяє наблизити реальний світ та його процеси до модельного середовища. Це дозволяє аналізувати та розуміти реальні явища, системи та процеси в контрольованому середовищі, забезпечуючи можливість вивчення їхньої поведінки та впливу різних факторів. Одним із підходів імітаційного моделювання є агентне моделювання, де система моделюється як сукупність взаємодіючих агентів. Це означає, що окремі компоненти системи (агенти) можуть мати свої власні характеристики, поведінку та правила взаємодії, що сприяє реалістичному відтворенню системи та її динаміки.

Агентне моделювання є підходом до моделювання та аналізу систем, в якому система розглядається як сукупність взаємодіючих агентів. Кожен агент володіє своїми характеристиками, здатностями, поведінкою та правилами взаємодії з іншими агентами та середовищем. Агентне моделювання зосереджується на динаміці та взаємодії агентів, що визначає поведінку і властивості системи в цілому. Агенти є основними елементами

агентної моделі. Кожен агент представляє собою окремий суб'єкт, який має внутрішній стан, поведінку, цілі та може взаємодіяти з іншими агентами та середовищем. Агенти можуть мати різні рівні складності - від простих автоматичних агентів до складних інтелектуальних агентів. Агенти взаємодіють один з одним та зовнішнім середовищем шляхом обміну повідомленнями, передачі даних, спільних дій або інших форм взаємодії. Взаємодія між агентами визначається правилами, протоколами або іншими механізмами. Середовище є контекстом, в якому відбувається діяльність агентів. Воно може бути фізичним простором, віртуальною системою або соціальною ситуацією, та надає умови для взаємодії та визначає обмеження та можливості для агентів. Кожен агент має власну поведінку, яка визначає, як він реагує на зміни в середовищі та взаємодіє з іншими агентами. Поведінка агента може бути простою та зарані визначеною, або вона може бути складною та базуватися на інтелектуальних алгоритмах. Одна з особливостей агентного моделювання полягає в тому, що глобальна поведінка системи може виникати як результат локальної взаємодії та поведінки окремих агентів. Це допомагає розуміти, як система працює, як змінюються її властивості та які можливі наслідки різних варіантів поведінки агентів.

Імітаційні моделі зазвичай засновані на часовій шкалі, де час прогресує кроками. Це дозволяє відтворити часові залежності та динаміку процесів у системі. Моделювання часової динаміки дозволяє вивчати зміни в системі з плином часу та ефективно аналізувати довгострокові ефекти, що дозволяє проводити експерименти та тестувати різні сценарії в системі без прямого впливу на реальну систему. Це дозволяє аналізувати вплив різних факторів та варіантів дій, спостерігати їхні наслідки та приймати інформовані рішення.

Характеристики імітаційних моделей включають наступні аспекти:

- ✓ Структура моделі: включає склад, організацію та взаємозв'язки компонентів моделі. Структура визначає, як елементи моделі пов'язані між собою та як вони взаємодіють;

- ✓ Властивості компонентів: кожен компонент моделі може мати свої властивості, які характеризують його стан, характеристики або поведінку. Ці властивості можуть бути числовими, категорійними, часовими або іншими типами;
- ✓ Взаємодія між компонентами: описує способи, якими компоненти моделі взаємодіють між собою. Це може бути передача даних, обмін повідомленнями, виконання спільних дій або інші форми взаємодії;
- ✓ Часова модель: імітаційні моделі мають часову вісь, яка визначає, як час прогресує в моделі. Це може бути неперервна або дискретна шкала, яка відображає зміни в часі та послідовність подій;
- ✓ Генерація подій: імітаційні моделі можуть генерувати події, які відбуваються в системі. Це можуть бути зовнішні події або внутрішні події, що виникають в результаті взаємодії компонентів;
- ✓ Статистика та збір даних: імітаційні моделі зазвичай забезпечують можливість збирати статистичні дані про різні аспекти моделі, такі як час роботи, пропускна здатність, стан системи тощо. Це дозволяє проводити аналіз та оцінку продуктивності моделі;
- ✓ Валідація та верифікація: процес перевірки та підтвердження правильності та адекватності моделі. Валідація включає порівняння результатів моделювання з реальними даними або експериментальними результатами, щоб переконатися у відповідності моделі до реальності.

Ці характеристики допомагають створити адекватну модель системи, відобразити її основні аспекти та дослідити різні сценарії та варіанти поведінки. Крім того, це дозволяє аналізувати вплив різних факторів та приймати інформовані рішення з урахуванням властивостей системи. Оскільки у реальних системах багато процесів піддаються варіативності та випадковості, технології моделювання дозволяють враховувати ці елементи та моделювати їх за допомогою випадкових величин та розподілів. Це дозволяє враховувати невизначеність та непередбачуваність реальних систем.

Аналіз особливостей імітаційного моделювання передбачає детальне дослідження та оцінку характеристик імітаційних моделей, їхньої точності, продуктивності, надійності та придатності для вирішення поставлених завдань. Особливості імітаційного моделювання можуть бути розділені на кілька ключових аспектів:

1. Структура моделі:

- Компоненти моделі: Імітаційна модель складається з різних компонентів, які відображають елементи реальної системи та їх взаємодію. Ці компоненти можуть включати об'єкти, події, стани, рішення та інші елементи, які моделюються для досягнення мети дослідження.
- Взаємодія компонентів: Одна з ключових особливостей імітаційного моделювання - це взаємодія між компонентами моделі. Це відображає взаємодію реальних елементів системи, дозволяючи відтворити їх вплив та залежності на один одного.
- Динаміка моделі: Імітаційна модель може відображати зміну станів компонентів і системи в цілому з часом. Це включає в себе реакції на події, виконання дій, зміни параметрів та інші аспекти, які впливають на поведінку системи.

2. Введення даних:

- Вихідні дані: Для побудови імітаційної моделі потрібні вихідні дані, такі як параметри системи, початкові умови, розподіл подій тощо. Ці дані визначаються на підставі зібраних даних або дослідницьких припущень.
- Розподіл даних: Деякі параметри моделі можуть бути задані за допомогою розподілів ймовірностей, що відображають невизначеність та випадковість в системі. Це дозволяє моделювати різні сценарії та аналізувати статистичні характеристики системи.

3. Методи та алгоритми:

- Методи моделювання: Існує багато різних методів моделювання, таких як подійне, процесне, агентне моделювання тощо. Вибір методу залежить від характеру системи та поставлених завдань.
- Алгоритми симуляції: Для виконання імітаційного моделювання необхідні алгоритми симуляції, які визначають правила та послідовність дій моделі. Ці алгоритми виконуються на кожному кроці часу для зміни станів компонентів та системи.

4. Валідація та верифікація:

- Валідація: Це процес порівняння результатів імітаційної моделі з реальними даними або іншими джерелами правдоподібної інформації. Валідація допомагає переконатися, що модель адекватно відтворює систему та її поведінку.
- Верифікація: Це процес переконання в тому, що модель була побудована правильно, тобто відповідає поставленим специфікаціям та правилам.

5. Аналіз результатів:

- Вимірювання показників: Імітаційна модель надає можливість виміряти різні показники та характеристики системи, такі як продуктивність, час реакції, навантаження, якість обслуговування, тощо.
- Чутливість аналізу: Імітаційна модель може бути використана для аналізу впливу змін в системі, таких як зміни параметрів, розподілів, алгоритмів тощо. Це допомагає встановити, які фактори найбільше впливають на поведінку системи.

Аналіз особливостей імітаційного моделювання є важливою складовою для ефективного використання цього підходу в дослідженнях, плануванні та прийнятті рішень. Врахування цих особливостей дозволяє створювати точні, достовірні та придатні для використання моделі.

1.3. Інформаційні технології проектування та імітаційного моделювання.

Інформаційні технології проектування та імітаційного моделювання використовуються для підтримки процесу створення, аналізу та управління імітаційними моделями. Вони надають інструменти та ресурси, що спрощують розробку та використання моделей, а також допомагають вирішувати реальні проблеми та приймати обґрунтовані рішення.

Інформаційні технології проектування та імітаційного моделювання включають різні програмні та апаратні засоби, методи та підходи, що допомагають розробляти та використовувати імітаційні моделі:

- ✓ Спеціалізовані програмні засоби: існує багато спеціалізованих програмних продуктів для створення імітаційних моделей, таких як AnyLogic, Simio, Arena, MATLAB Simulink, ProModel і т.д. Ці програми надають інтерфейси та бібліотеки для створення моделей, візуалізації та аналізу результатів.
- ✓ Програмування: застосування загальної мови програмування, такого як Python, Java або C++, дозволяє створювати власні імітаційні моделі та використовувати спеціалізовані бібліотеки для імітаційного моделювання.
- ✓ Візуалізація: графічне відображення моделей та результатів дозволяє краще розуміти систему, сприяє візуальному аналізу та сприяє зручності в спілкуванні зі зацікавленими сторонами. Інструменти візуалізації, такі як діаграми, графіки, анімація та інші візуальні елементи, допомагають представити складну інформацію зрозумілою формою.
- ✓ Оптимізація та аналіз: спеціальні інформаційні технології дозволяють проводити оптимізацію моделей та аналізувати їх продуктивність. Це включає пошук оптимальних стратегій, встановлення пріоритетів, визначення чутливості до параметрів та інші аналітичні процеси.
- ✓ Хмарні та розподілені обчислення: застосування хмарних технологій та розподілених обчислень дозволяє використовувати потужні

обчислювальні ресурси для виконання складних імітаційних моделей, а також спільної роботи над проектами.

- ✓ Бази даних та зберігання даних: імітаційні моделі можуть використовувати бази даних для зберігання вхідних даних, параметрів моделей, результатів та іншої важливої інформації. Це дозволяє зберігати та обробляти великі обсяги даних та легко здійснювати зворотний зв'язок з реальною системою.

Ці технології допомагають розробникам та дослідникам створювати, аналізувати та використовувати імітаційні моделі для дослідження складних систем, прийняття рішень та оптимізації процесів. Вони сприяють більш ефективному та точному моделюванню, що дозволяє здійснювати передбачення, аналізувати ризики та розробляти стратегії для вирішення проблем і вдосконалення систем.

Одним із найпопулярніших засобів імітаційного моделювання є AnyLogic - програмне забезпечення для імітаційного моделювання, яке використовується для дослідження, аналізу та прогнозування різних видів систем, що надає потужні інструменти для створення імітаційних моделей з різними рівнями деталізації, включаючи дискретно-подієву, системно-динамічну та агентно-орієнтовану моделювання. Варто виділити ключові особливості та можливості AnyLogic:

- ✓ Багаторівневе моделювання: AnyLogic дозволяє створювати моделі з різними рівнями деталізації, поєднуючи дискретні та неперервні процеси, що дозволяє моделювати складні системи з різними типами взаємодії та залежностями.
- ✓ Велика бібліотека компонентів: AnyLogic постачається з великою бібліотекою готових компонентів, таких як черги, обробники, розподільчі функції, агенти та багато іншого. Це спрощує процес створення моделей і дозволяє швидко складати складні системи зі зручним інтерфейсом перетягування та випадання.

- ✓ Візуалізація та анімація: AnyLogic має потужні можливості візуалізації, що дозволяють відображати стан системи у реальному часі, анімувати рух агентів та компонентів, будувати графіки та діаграми. Це допомагає краще розуміти модель та візуально аналізувати результати.
- ✓ Інтеграція з різними методами моделювання: AnyLogic поєднує в собі різні підходи до моделювання, такі як дискретно-подієве моделювання, системно-динамічне моделювання та агентне моделювання. Це дозволяє використовувати найбільш підходящий метод для конкретних потреб моделі.
- ✓ Інтеграція з програмуванням: AnyLogic підтримує вбудований Java-редактор, що дозволяє розширювати функціональність моделей за допомогою програмування. Це дає змогу реалізовувати складні логіки та алгоритми у моделі, які не можуть бути виражені за допомогою стандартних компонентів.
- ✓ AnyLogic використовується в різних галузях, таких як логістика, транспорт, виробництво, телекомунікації та інші, для моделювання та аналізу різних видів систем та процесів.

Серед сучасних засобів моделювання варто відмітити Simio - програмне забезпечення для імітаційного моделювання та аналізу систем, що використовується для створення імітаційних моделей, їх візуалізації, аналізу продуктивності та оптимізації різних типів систем. Основні особливості та можливості Simio включають:

- ✓ Багаторівневе моделювання: Simio дозволяє створювати моделі з різними рівнями деталізації, поєднуючи дискретні та неперервні процеси. Це дозволяє моделювати складні системи зі зручністю і точністю.
- ✓ Інтерактивне моделювання: Simio надає інтерактивне середовище для створення та зміни моделей у режимі реального часу. Ви можете перетягувати, розміщувати та налаштовувати об'єкти моделі безпосередньо на візуальному інтерфейсі.

- ✓ Велика бібліотека компонентів: Simio має широку бібліотеку готових компонентів, які можуть бути використані для швидкого створення моделей. Це включає різні типи об'єктів, такі як ресурси, черги, процеси, рухомі об'єкти та багато іншого.
- ✓ Візуалізація та анімація: Simio надає візуальну відображення моделей у режимі реального часу, можна анімувати рух об'єктів, будувати графіки та графіки продуктивності, що допомагає краще розуміти модель та аналізувати її результати.
- ✓ Оптимізація та аналіз: Simio надає інструменти для аналізу продуктивності моделей та пошуку оптимальних рішень, що дає можливість виконувати експерименти, змінюючи параметри моделі та спостерігаючи за її продуктивністю, а також використовувати вбудовані оптимізаційні алгоритми для знаходження найкращих стратегій та рішень.

Популярним програмним забезпеченням для дискретно-подієвого моделювання та аналізу систем є Arena. Дане програмне забезпечення використовується для створення імітаційних моделей складних процесів та систем з метою аналізу продуктивності, вдосконалення процесів та прийняття рішень. Основні особливості та можливості Arena включають:

- ✓ Візуальне середовище розробки: Arena надає зручне візуальне середовище для створення моделей. Ви можете перетягувати та розміщувати компоненти моделі на робочому просторі та налаштовувати їх параметри за допомогою графічного інтерфейсу.
- ✓ Багаторівневе моделювання: Arena дозволяє створювати моделі з різними рівнями деталізації. Ви можете використовувати стандартні блоки, такі як черги, обробники, ресурси, або створювати власні блоки для виконання специфічних операцій.
- ✓ Візуалізація та анімація: Arena дозволяє відображати модель у режимі реального часу. Ви можете анімувати рух об'єктів, створювати графіки та графіки продуктивності для аналізу результатів моделювання.

- ✓ Оптимізація та аналіз продуктивності: Arena надає інструменти для аналізу продуктивності моделей та визначення оптимальних стратегій. Ви можете виконувати експерименти, змінюючи параметри моделі, та спостерігати за впливом цих змін на результати.
- ✓ Інтеграція зі статистичним аналізом: Arena має вбудовані інструменти для статистичного аналізу результатів моделювання. Це дає можливість проводити експерименти з випадковими величинами, аналізувати статистику та отримувати надійні результати.

ProModel є програмним забезпеченням для моделювання та аналізу систем на основі дискретно-подієвого моделювання, та використовується для створення імітаційних моделей, аналізу продуктивності та оптимізації різних видів систем та процесів.

Основні особливості та можливості ProModel включають:

- ✓ Графічний інтерфейс: ProModel має інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс, що спрощує створення моделей та налаштування параметрів.
- ✓ Багаторівневе моделювання: ProModel дозволяє створювати складні моделі з різними рівнями деталізації
- ✓ Анімація та візуалізація: ProModel дозволяє відображати модель у режимі реального часу з можливістю анімації та візуалізації процесів.
- ✓ Аналіз продуктивності: ProModel надає різноманітні інструменти для аналізу продуктивності моделей, можна виконувати експерименти зі змінними параметрами, створювати звіти та графіки продуктивності, а також визначати ключові метри продуктивності системи.
- ✓ Інтеграція з іншими системами: ProModel може бути інтегрований з іншими програмними системами, такими як ERP (Enterprise Resource Planning), для обміну даними та використання реальних даних для моделювання та аналізу.

Інформаційні технології використовуються для підтримки усіх етапів життєвого циклу імітаційних моделей, від їхнього проектування та розробки до аналізу результатів та використання для прийняття рішень.



РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ В МІСТІ

2.1. Специфіка проектування транспортного потоку в місті.

Проектування транспортного потоку в місті є складним завданням, що вимагає уваги до різних аспектів, включаючи інфраструктуру, рух транспорту, безпеку, ефективність та сталість системи.

Основні проблеми, з якими стикаються транспортні системи у містах, включають наступне:

- Зростання автомобілізації населення, що призводить до збільшення кількості приватних автомобілів на дорогах.
- Збільшення інтенсивності використання індивідуального транспорту, зокрема автомобілів, що призводить до заторів та перевантаження доріг.
- Зниження ефективності міського пасажирського транспорту, зокрема затримки, недостатня частота руху та некомфортні умови.
- Зростання потреби жителів міста в переміщеннях, що вимагає розширення транспортної інфраструктури та покращення доступності.
- Диспропорція між зростанням автомобілізації та темпами розвитку доріг, що може призводити до перевантаження та незадовільного стану дорожньої мережі.
- Містобудівні проблеми, пов'язані з розвитком міської території, такі як неадекватне планування, недостатнє просторове планування та недостатня інфраструктура для пішоходів та велосипедистів.

Ці проблеми супроводжуються значними економічними витратами, такими як витрати на логістику, затори, аварії та забруднення повітря. Тому головним завданням полягає у модернізації концепцій мобільності в містах, включаючи розвиток ефективних систем громадського транспорту, сприяння використанню альтернативних видів транспорту, покращення інфраструктури для пішоходів та велосипедистів, впровадження

інтелектуальних систем управління рухом транспорту та зменшення використання приватного автотранспорту.

Ось детальний огляд специфіки проектування транспортного потоку в місті:

- **Аналіз потреб:** Перед початком проектування транспортного потоку в місті необхідно провести аналіз потреб населення та існуючого стану транспортної системи. Це включає вивчення демографічних даних, рухових потоків, популярних напрямків пересування, потреб у різних видів транспорту та інше. Такий аналіз допомагає визначити основні виклики та потреби, які повинні бути враховані при проектуванні.
- **Інфраструктура:** Проектування транспортного потоку в місті передбачає розробку ефективної інфраструктури, яка забезпечує безперешкодний рух транспорту. Це включає проектування доріг, вулиць, мостів, тунелів, розташування зупинок громадського транспорту, парковок та інфраструктури для пішоходів і велосипедистів. При проектуванні слід враховувати пропускну спроможність, швидкість руху, безпеку та ергономіку дорожнього середовища.
- **Рух транспорту:** Ефективне проектування транспортного потоку вимагає аналізу та моделювання руху транспортних засобів в місті. Це включає вивчення шаблонів руху, часу поїздок, впливу сигналізації світлофорів, розташування перехресть, потоків громадського транспорту та інших факторів, що впливають на рух транспорту. Моделювання руху допомагає визначити оптимальні рішення з розміщення та синхронізації сигналізації світлофорів, планування маршрутів громадського транспорту та управління рухом.
- **Безпека:** Безпека є важливим аспектом проектування транспортного потоку в місті. Розробка заходів безпеки, таких як правильне розташування пішохідних переходів, розділення руху транспортних засобів різних видів, створення безпечних велосипедних доріжок та

забезпечення відповідного освітлення і сигналізації, допомагають запобігти ДТП та забезпечити безпеку учасників руху.

- Ефективність та сталість: При проектуванні транспортного потоку слід забезпечувати ефективне використання ресурсів та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Враховуючи зростаючу кількість транспортних засобів у містах, необхідно розробляти рішення, спрямовані на зменшення заторів, використання альтернативних видів транспорту, підтримку громадського транспорту та розвиток розумних транспортних систем. Крім того, сталість системи передбачає довготривалу ефективність, розумне управління ресурсами та забезпечення розвитку транспортної інфраструктури з урахуванням майбутніх потреб.

Проектування транспортного потоку в місті вимагає інтегрованого підходу, який поєднує аналіз потреб, розробку ефективної інфраструктури, управління рухом транспорту, забезпечення безпеки та досягнення ефективності та сталості системи. Коректне проектування може сприяти поліпшенню руху транспорту, зменшенню заторів, збільшенню безпеки та створенню сталого транспортного середовища в місті.

Програмні пакети та інформаційні технології використовуються транспортними проектувальниками для аналізу та моделювання транспортних процесів. Завдяки розвитку інформаційних та комп'ютерних технологій, інтегрований системний підхід стає можливим.

Програмні пакети, такі як AnyLogic, Simio, Arena та ProModel, надають інструменти для моделювання транспортних процесів. Вони дозволяють вирішувати різноманітні задачі, такі як аналіз потоків транспорту, виявлення заторів, вплив змін у транспортній інфраструктурі та розкладах руху.

Ці програмні пакети надають інструменти для створення дискретних або неперервних моделей, визначення параметрів, введення реальних даних та сценаріїв, проведення симуляцій та аналізу результатів. Вони дозволяють досліджувати різні варіанти транспортних рішень та оцінювати їх

ефективність, допомагаючи приймати кращі рішення щодо планування, проектування та управління транспортними системами. Застосування цих програмних пакетів дозволяє зменшити витрати, покращити продуктивність та ефективність транспортних систем, а також прогнозувати та уникати потенційних проблем, таких як затори, перевантаження та неплановані затримки. Вони сприяють оптимізації ресурсів, плануванню маршрутів та управлінню рухом транспорту, сприяючи сталому розвитку транспортної інфраструктури.

2.2. Специфіка агентного моделювання.

Агентне моделювання є підходом до моделювання та аналізу систем, в яких взаємодіють окремі автономні агенти. Агенти можуть бути комп'ютерними програмами, роботами, людьми або будь-якими іншими сутностями, здатними приймати рішення та взаємодіяти з оточуючим середовищем. Основна ідея агентного моделювання полягає в тому, що окремі агенти мають свої власні цілі, знання, переконання та здатність взаємодіяти один з одним та з оточуючим середовищем. Агенти можуть спостерігати своє оточення, приймати рішення, виконувати дії та взаємодіяти з іншими агентами чи елементами системи.

Важливою частиною агентного моделювання є аналіз взаємодії та динаміки між агентами. Взаємодія може бути кооперативною, конфліктною або змішаною, залежно від цілей та стратегій агентів. Агентне моделювання дозволяє вивчати та розуміти складні системи, де поведінка системи визначається не централізованим керівництвом, а взаємодією окремих агентів. Агентне моделювання знаходить застосування у багатьох галузях, включаючи розумні системи, соціальні науки, економіку, робототехніку та багато інших. Воно дозволяє аналізувати складні системи та прогнозувати їх поведінку, враховуючи взаємодію між агентами.

Агенти є основними складовими агентного моделювання. Вони можуть бути різними сутностями, які діють у визначеному середовищі. Основні риси агентів включають:

Автономність: Агенти мають здатність приймати рішення та діяти незалежно від інших агентів. Вони можуть мати власні цілі, знання, переконання та стратегії.

Реактивність: Агенти спостерігають стан оточуючого середовища та реагують на нього. Вони виконують дії, щоб змінити стан середовища або досягти своїх цілей.

Продуктивність: Агенти можуть виконувати активні дії, змінювати своє середовище та взаємодіяти з іншими агентами.

Соціальність: Агенти можуть взаємодіяти один з одним. Вони можуть обмінюватися повідомленнями, співпрацювати, конкурувати або впливати один на одного.

Моделювання поведінки агентів може включати наступні підходи:

Знання та переконання: Агенти можуть мати внутрішню модель світу, знання про свої цілі та стратегії. Вони можуть використовувати ці знання для прийняття рішень та взаємодії з оточуючим середовищем.

Поведінкові правила: Агенти можуть мати набір правил або евристик, які визначають їх поведінку. Ці правила можуть бути програмно реалізовані та виконуватися в залежності від стану середовища.

Машинне навчання: Агенти можуть використовувати методи машинного навчання для набуття знань та покращення своєї поведінки. Вони можуть навчатися на основі досвіду, використовуючи алгоритми навчання з підсиленням або навчання з учителем.

Еволюційні алгоритми: Агенти можуть бути модельовані з використанням еволюційних алгоритмів. Вони можуть мати генетичний код, який еволюціонує з часом, дозволяючи відібрати найкращі стратегії та поведінку.

Моделювання поведінки агентів може бути виконане на різних рівнях складності. Від простих правил до складних інтелектуальних систем, здатних до самонавчання та прийняття рішень в реальному часі. Специфіка роботи з агентним моделюванням полягає в розумінні та врахуванні особливостей агентів та їх взаємодії в системі. Основні аспекти, які варто враховувати при роботі з агентним моделюванням, включають:

1. Автономність агентів: Агенти мають власні цілі та здатність приймати незалежні рішення. Робота з агентним моделюванням вимагає розуміння цих цілей та врахування автономності кожного агента при аналізі системи.
2. Взаємодія агентів: Агенти можуть спілкуватися, обмінюватися повідомленнями, співпрацювати або конкурувати один з одним. Розуміння взаємодії між агентами та врахування її впливу на систему є важливим аспектом агентного моделювання.
3. Динамічність та зміна стану: Агентне моделювання часто зосереджене на моделюванні динаміки системи, де агенти можуть змінювати свій стан та взаємодіяти з оточуючим середовищем. Врахування зміни стану агентів та їх впливу на систему дозволяє отримати більш реалістичне розуміння процесів, що відбуваються.
4. Нестабільність та невизначеність: Агентне моделювання може бути пов'язане з нестабільністю та невизначеністю. Агенти можуть приймати рішення на основі обмеженої інформації або в умовах неповної інформації. Робота з такими умовами вимагає уваги до обробки нечіткої, неповної або протирічливої інформації.
5. Масштабованість: Агентне моделювання може включати велику кількість агентів, які взаємодіють між собою. Управління та аналіз систем з великою кількістю агентів може бути викликом і вимагати ефективних алгоритмів та ресурсів.

Робота з агентним моделюванням може включати створення моделей агентів, розробку алгоритмів взаємодії та прийняття рішень,

експериментальне тестування та аналіз результатів. Врахування специфіки агентів та їх взаємодії дозволяє отримати глибше розуміння складних систем та їх поведінки. Для агентного моделювання існує різноманітні технології та підходи. Ось декілька з них:

Multi-Agent Systems (MAS): MAS є підходом до агентного моделювання, де агенти моделюються як окремі програми або сутності, які взаємодіють між собою в певному середовищі. MAS надають засоби для спільної комунікації, координації та співпраці між агентами.

Agent-based Modeling and Simulation (ABMS): ABMS використовує агентну парадигму для створення моделей та симуляції складних систем. Агенти моделюються з використанням правил поведінки, знань та взаємодіють з оточуючим середовищем. ABMS дозволяє досліджувати та прогнозувати поведінку системи через взаємодію агентів.

Swarm Intelligence: Swarm Intelligence використовує природний приклад колективної поведінки в стаях комах або птахів для моделювання системи агентів. Агенти утворюють колективну інтелектуальну систему, взаємодіючи між собою на основі простих правил та локальної комунікації. Цей підхід може бути застосований у робототехніці, оптимізації та інших галузях.

Cognitive Architectures: Когнітивні архітектури використовують підхід, що моделює когнітивні процеси та ментальні стани агентів. Вони дозволяють моделювати розумові здібності, прийняття рішень та навчання агентів. Приклади когнітивних архітектур включають ACT-R, SOAR, або OpenCog.

Machine Learning: Машинне навчання використовується для моделювання поведінки агентів шляхом навчання на основі даних або взаємодії з середовищем. Алгоритми машинного навчання, такі як навчання з підсиленням або навчання з учителем, можуть допомогти агентам набувати знання та покращувати свою поведінку.

Для агентного моделювання існує кілька засобів та платформ, які можуть бути використані. Ось деякі з них:

1. AnyLogic: AnyLogic є повністю функціональним середовищем моделювання та симуляції, яке підтримує агентне моделювання, серед інших підходів. Воно надає можливості для визначення агентів, їх поведінки та взаємодії у різних галузях застосування.
2. NetLogo: NetLogo є платформою для моделювання та симуляції, яка спеціалізується на агентних моделях. Вона надає легкий у використанні інтерфейс, засоби для визначення агентів та їх правил поведінки, а також можливості для аналізу та візуалізації результатів.
3. Repast: Repast є інструментарієм для розробки агентних моделей та симуляцій. Він має велику кількість функціональних можливостей, включаючи розширені можливості для визначення агентів, взаємодії та поведінки, а також для аналізу результатів.
4. GAMA: GAMA є інтегрованою розробкою середовища для агентного моделювання та аналізу. Воно надає засоби для визначення агентів, їхньої географічної розташованості, взаємодії та поведінки, а також для візуалізації результатів.
5. MASON: MASON є бібліотекою та середовищем моделювання, яке підтримує агентне моделювання. Воно надає можливості для визначення агентів, взаємодії та поведінки, а також для розробки власних моделей та симуляцій.

Це лише кілька прикладів технологій та засобів, що використовуються у агентному моделюванні. Вибір конкретної технології залежить від завдання, яке необхідно вирішити, та вимог до системи.

2.3. Розробка імітаційної моделі транспортного потоку.

У моделюванні дорожнього руху існують два основні підходи: детермінований і стохастичний (імовірнісний) підходи. Детерміновані моделі ґрунтуються на функціональних залежностях між різними показниками, такими як швидкість і дистанція між автомобілями у потоці. Стохастичні моделі розглядають транспортний потік як випадковий процес. Моделі

транспортних потоків можна розділити на три класи: моделі-аналоги, моделі проходження за лідером і стохастичні моделі. Моделі-аналоги намагаються відтворити рух транспортних засобів, наслідуючи фізичний потік, такі як гідродинамічні або газодинамічні моделі. Ці моделі відомі як макроскопічні моделі. Моделі проходження за лідером базуються на припущенні, що є зв'язок між рухом ведучого і зачіплюваного автомобіля. Вони досліджують рух на багатосмугових дорогах, час реакції водіїв, стабільність руху та інші аспекти. У стохастичних моделях транспортний потік розглядається як результат взаємодії транспортних засобів на елементах транспортної мережі. Ці моделі дозволяють вивчити формування черг, інтервалів, завантажень по смугах дороги тощо. Вони мають виражений стохастичний характер через обмеження мережі та масовий рух у транспортному потоці. Останнім часом в дослідженнях транспортних потоків все більше застосовують міждисциплінарні математичні ідеї, методи та алгоритми нелінійної динаміки. Вони дозволяють враховувати стійкі та нестійкі режими руху, втрату стабільності при зміні умов руху, нелінійні зворотні зв'язки і потребу в багатьох змінних для адекватного опису системи.

Розробка імітаційної моделі транспортного потоку - це процес створення комп'ютерної моделі, яка дозволяє моделювати рух транспортних засобів у певній географічній області або дорожній мережі. Імітаційні моделі транспортного потоку використовуються для дослідження та аналізу різних аспектів транспортних систем, таких як потік транспортних засобів, час затримок, ефективність дорожньої інфраструктури та інші.

Основні етапи розробки імітаційної моделі транспортного потоку включають:

Визначення об'єкту моделювання: спочатку потрібно визначити географічну область або дорожню мережу, яку необхідно змоделювати. Це може бути місто, район, шлях або комплексна дорожня система.

Визначення транспортних засобів: обрання транспортних засобів, які будуть присутні в моделі. Це можуть бути автомобілі, автобуси, велосипеди або будь-які інші засоби пересування.

Моделювання дорожньої інфраструктури: створення дорожньої мережі з дорогами, перехрестями, сигналізацією, пішохідними переходами та іншими елементами. Встановлення параметрів, такі як швидкість руху на різних ділянках дороги, пропускну здатність світлофорів тощо.

Визначення поведінки транспортних засобів: визначення правил та алгоритми, за якими транспортні засоби приймають рішення про рух, зміну швидкості, зупинку, обгін та інші дії. Ці правила можуть бути засновані на реальних правилах дорожнього руху або специфічні для вашої моделі.

Збір та обробка даних: визначення, які дані потрібно збирати з моделі. Це можуть бути дані про рух транспортних засобів, час затримок, використання дороги тощо. Розробка методів збору даних та алгоритмів для обробки отриманих результатів.

Валідація та аналіз моделі: перевірка, наскільки добре модель відтворює реальну ситуацію. Порівняння результатів моделювання зі збраними даними або знаннями про реальну дорожню ситуацію. Аналіз результатів, виявлення потенційних проблем та розробка стратегії для їх вирішення.

У розробці імітаційних моделей транспортного потоку можуть використовуватися спеціалізовані програмні засоби, такі як SUMO (Simulation of Urban MObility), MATSim (Multi-Agent Transport Simulation) та інші. Однак, можливо також створити власну модель на базі загальнопризначених імітаційних платформ, таких як AnyLogic, NetLogo або Repast.

РОЗДІЛ 3. Реалізація імітаційної моделі транспортного потоку в місті

3.1. Розробка діаграм взаємодій.

Діаграма взаємодій, також відома як діаграма сценаріїв взаємодії або діаграма акторів, є важливим інструментом в аналізі та проектуванні програмного забезпечення. Вона допомагає візуалізувати взаємодію акторів з системою або її компонентами. Ось кроки процесу розробки діаграми взаємодій:

1. **Визначення акторів:** Спочатку потрібно визначити всіх акторів, які взаємодіють з системою. Актори можуть бути користувачами, адміністраторами, зовнішніми сервісами та іншими особами, системами або процесами, що мають вплив на систему.
2. **Створення основних сценаріїв взаємодії:** Для кожного актора визначаються основні сценарії взаємодії з системою. Ці сценарії охоплюють основні функціональні можливості системи, наприклад, реєстрацію користувача, вхід у систему, створення та редагування об'єктів.
3. **Визначення дій та повідомлень:** Для кожного сценарію визначаються дії, які виконуються акторами, і повідомлення, які передаються між акторами та системою. Дії можна представити у вигляді стрілок, що показують взаємодію між акторами та системою, а повідомлення містять вхідні та вихідні дані.
4. **Розроблення діаграми взаємодій:** За допомогою отриманих даних про акторів, сценарії та взаємодію створюється діаграма взаємодій. Це можна зробити за допомогою спеціального програмного забезпечення для моделювання або стандартних інструментів, наприклад, UML-інструментів або онлайн-інструментів для створення діаграм.

5. Деталізація діаграми: Після створення початкової діаграми можна додати додаткові деталі або уточнити взаємодію акторів та системи. Наприклад, можна додати умови або цикли, що впливають на послідовність дій, або додаткові повідомлення для уточнення передачі даних.
6. Перевірка та оптимізація діаграми: Перед завершенням розробки діаграми ретельно перевіряється на наявність помилок, пропусків та неузгодженостей. Також можна проаналізувати діаграму для пошуку можливостей оптимізації взаємодії або виявлення надлишків.

Цей процес допоможе створити зрозумілу та ефективну діаграму взаємодій, яка буде використовуватися для аналізу та проектування програмного забезпечення.

У моделюванні дорожнього руху існують два основні підходи: детермінований і стохастичний (імовірнісний) підходи. Детерміновані моделі ґрунтуються на функціональних залежностях між різними показниками, такими як швидкість і дистанція між автомобілями у потоці. Стохастичні моделі розглядають транспортний потік як випадковий процес. Моделі транспортних потоків можна розділити на три класи: моделі-аналоги, моделі проходження за лідером і стохастичні моделі. Моделі-аналоги намагаються відтворити рух транспортних засобів, наслідуючи фізичний потік, такі як гідродинамічні або газодинамічні моделі. Ці моделі відомі як макроскопічні моделі. Моделі проходження за лідером базуються на припущенні, що є зв'язок між рухом ведучого і зачіплюваного автомобіля. Вони досліджують рух на багатосмугових дорогах, час реакції водіїв, стабільність руху та інші аспекти. У стохастичних моделях транспортний потік розглядається як результат взаємодії транспортних засобів на елементах транспортної мережі. Ці моделі дозволяють вивчити формування черг, інтервалів, завантажень по смугах дороги тощо. Вони мають виражений стохастичний характер через

обмеження мережі та масовий рух у транспортному потоці. Останнім часом в дослідженнях транспортних потоків все більше застосовують міждисциплінарні математичні ідеї, методи та алгоритми нелінійної динаміки. Вони дозволяють враховувати стійкі та нестійкі режими руху, втрату стабільності при зміні умов руху, нелінійні зворотні зв'язки і потребу в багатьох змінних для адекватного опису системи.

3.2. Реалізація імітаційної моделі в середовищі AnyLogic

Об'єктом дослідження є транспортний потік та його параметри у критичному районі міста Києва, яким є в'їзд до мосту, що з'єднує правий та лівий береги Дніпра. Проблемна зона розташована на Броварському проспекті (рис. 1) перед Русанівським мостом.

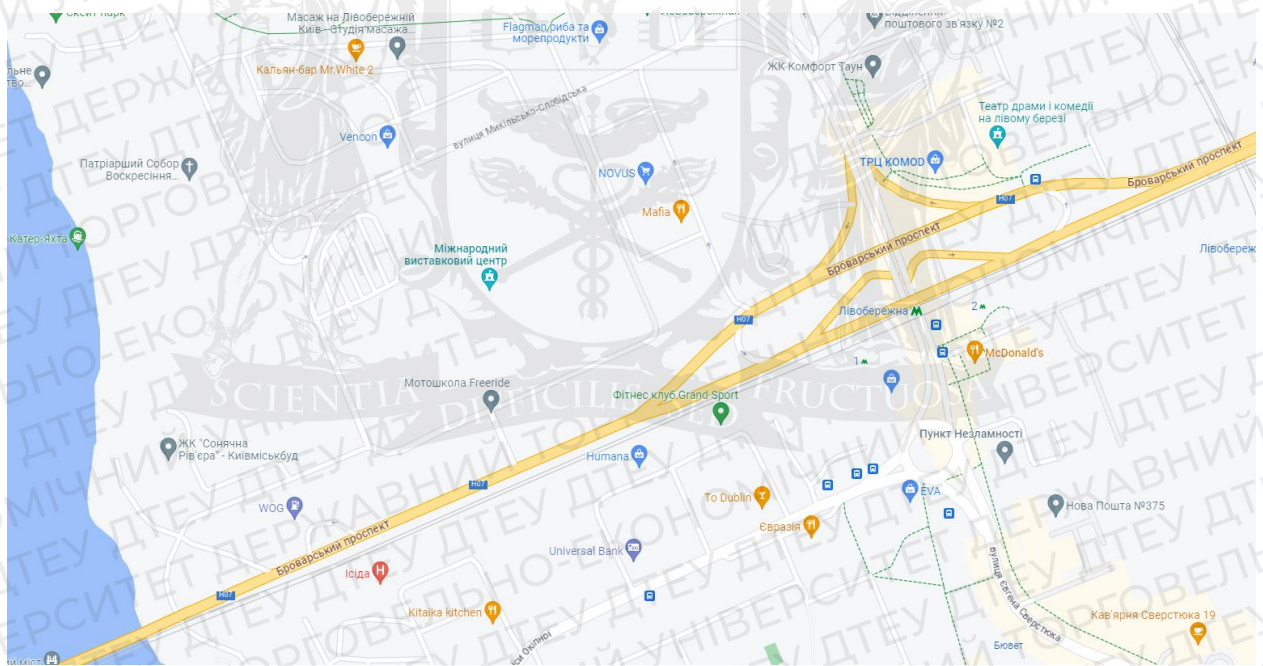


Рис. 1. Броварський проспект, заїзд на Русанівський міст
(м. Київ, Україна)

Заїзд на міст відбувається безпосередньо з самого Броварського проспекту, а також вулиць: Микільсько-Слобідська, Митрополита Андрія Шептицького, Євгена Сверстюка та Раїси Окипної, це великий з'їзд транспорту з центральної частини лівого берега (Рис. 2).

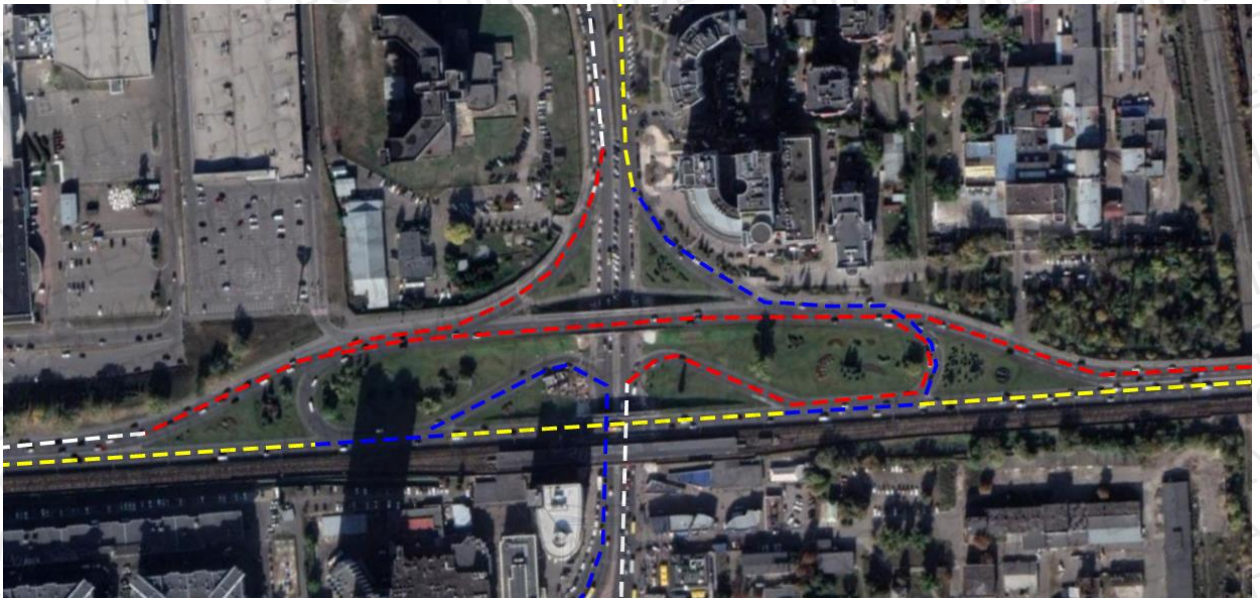


Рис.2. Білими та червоними штрихованими лініями позначено заїзд до мосту(Зокрема червоною лінією – місця утворення заторів у години пік). Жовтими та синіми штрихованими лініями позначено з'їзд з мосту(Зокрема синьою лінією – місця утворення заторів у години пік).

Поблизу проспекту розташовані Торговий Центр, МакДональдз а також велика кількість продовольчих та промислових магазинів які користуються попитом у населення. Люди приїжджають сюди як громадським, так і особистим транспортом, тому автівки паркуються у крайній правій смузі руху. У моделюванні враховується рух лише по трьох смугам.

Одним з найбільш проблемних місць є злиття трьох потоків на в'їзді до мосту, а також прилеглих доріг. Потоки складаються з електротранспорту, маршруток та вантажівок з напівпричепами. Також на мосту виникають перепади висот дорожнього покриття, що знижує швидкість руху.

В табл. 1 представлені дані про розклад руху транспорту, який курсує Броварським проспектом та впливає на транспортний потік. Як можна побачити, інтервал руху більшості з них в середньому складає 27 хв. Година пік припадає на 07:00 – 10:00 при заїзді на міст з лівого берегу, та на 17:00 – 20:00 при виїзді з мосту з правого берегу.

Таблиця 1

Розклад руху міського транспорту

Розклад руху міського транспорту через Броварський проспект			
н/п	Вид транспорту	Номер маршруту	Інтервал руху, хв
1	Автобуси КП «Київпастрас»	42	25-30
2		44	15-20
3		46	20-25
4		70	25-30
5		87	25-30
6		95	30-35
7		108	20-25
8		117	40-45
9		177	25-30
10	Маршрутні таксі приватних підприємств	178	25-30
11		215K	20-25
12		222	20-25
13		503	30-35
14		535	20-25
15		578	30-35
16		580	20-25

Отже, з отриманої статистики можна бачити, що Русанівський міст є перенавантаженим у години пік, які збільшуються пропорційно довжині заторів. З іншого боку саме заїзд на міст з лівого берегу є складним, та потребує модернізації.

3.3. Проведення оптимізаційного експерименту

Моделювання відбуватиметься на ділянці перед Русанівським мостом з боку Броварського проспекту, вулиць Микільсько-Слобідська, Митрополита

Андрія Шептицького, Євгена Сверстюка та Раїси Окипної а також із зупинки міського транспорту. Для побудови моделі з'ясуємо деталі моделювання. Почнемо з обмежень руху, які встановлені на дорозі. З 1 січня 2018 року швидкість руху в межах міста обмежена до 50 км/год. Проаналізувавши дані наведені в табл. 1 можемо сказати, що близько 10 одиниць громадсько автомобільного транспорту з інтервалом 25–30 хв відправляється за різними маршрутами від вулиці Андрія Шептицького, при чому кожен з яких має власний інтервал руху. Отже близько 20 одиниць громадського транспорту відправлятимуться від зупинки за одну годину. Інтенсивність руху на вулицях приймемо як «gate», тобто автомобілі генеруються за вказаною швидкістю прибуття (що еквівалентно-експоненціально розподіленому часу приходу з середнім значенням $= 1/\text{швидкість}$). Обмеження стосовно довжини авто будемо приймати такі: для легкових 4 м, для маршрутних таксі приватних підприємств – 8м, для автобусів КП «Київпастрас» – 14м. Інтенсивність надходження транспорту можливо задавати різними способами: згідно інтервалу надходження, кількості одиниць за проміжок часу, згідно розкладу і т. д. Побудова моделі в середовищі Any Logic матиме наступний вигляд, який зображено на рис. 3.

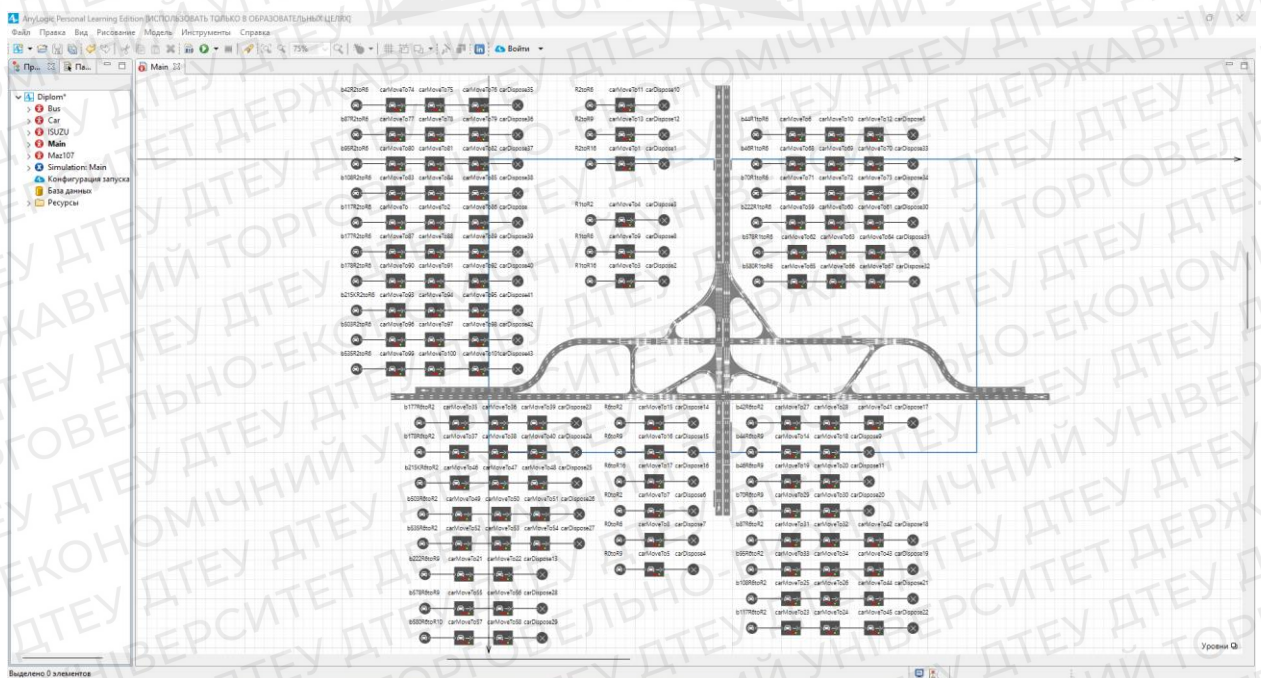


Рис. 3. Зовнішній вигляд побудови моделі

Запустивши модель і прослідкувавши за рухом транспорту можна бачити скупчення транспорту на в'їзді до мосту, а саме на розвилках перехрестя перед заїздом на міст. Завдяки моделюванню і наочності визначено проблемне місце автошляху. Завдяки скупченню у цих зонах можливо також спостерігати і затримку у перетині перехрестя. У табл. 2 та представлені результати експерименту. Судячи із заданих умов на міст заїжджає 1514 авто за 1 годину, а перехрестя перетинає загалом 2265 авто. При інтенсивності, яка була задана, спостерігається скупчення авто.

Результати спостережень за 1 годину

Дані за 1 годину спостережень						
Номер потоку	Номери доріг			Інтенсивність появи авто	Кількість авто на вході	Кількість авто на виході
	Поява	Рух	Зникнення			
R2toR16	2	14, 16	16	1500/год	734	670
R1toR16	1	11, 4, 16	16	1500/год	505	437
R6toR16	6	5, 10, 13, 11, 4, 16	16	1500/год	275	184
Інші 6 напрямків, без заїзду на міст (з урахуванням міського транспорту)				500/год	2265	2080

За цими даними бачимо тенденцію затримки, 9% автомобілів не встигли за годину заїхати на Русанівський міст, також 8% автомобілів затримались на проспекті слідуючи власному потоку без заїзду на міст.

Висновки

1. Проведено польові дослідження транспортних потоків, які впливають на інтенсивність руху на мосту, та зібрано статистичні дані. Визначено інтенсивність потоку в ранковий час з лівого на правий берег на Броварському проспекті, перед Русанівським мостом;
2. Побудовано модель транспортних потоків у середовищі AnyLogic та визначено проблемне місце автошляху, а саме частину Броварського

проспекту по якому йде рух на міст, прилеглих вулиць Андрія Шептицького та Раїси Окіпної. Модель засновується на статистичних даних польових досліджень та представляє собою множину активних агентів, поведінка яких підстроюється. Оскільки регулювання на цих ділянках немає запропоновано розширити дорожнє покриття до 4 функціонуючих смуг, або примусово заборонити паркування транспорту на крайніх правих смугах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стеценко, І.В. Моделювання систем: навчальний посібник / І.В. Стеценко, аналіз с. 11 – 18. – Режим доступу: http://web.kpi.kharkov.ua/auts/wp-content/uploads/sites/67/2017/02/MOCS_Kachanov_posobie.pdf
2. Томашевський В. М. Моделювання систем с. 161 – 168. – Режим доступу: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Tomashev_2005_352.pdf
3. Сумський державний університет Моделі і методи проектування інформаційних систем. – Режим доступу: https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:de1c9452f2a161439391120eef364dd8ce4d8e5e/20160217112601/183252/index.html
4. Jerry Banks, John S. Carson II, Barry L. Nelson, David M. Nicol, Discrete Event System Simulation с. 5 – 16.
5. Фірсов О. Д., Бібля А. Н. Проектування інтелектуальної транспортної системи міста с. 20-31.
6. Моделювання регулювання транспортного потоку на в'їзді до шляхопроводу у середовищі AnyLogic
7. Інформаційні системи в економіці : навч. посібник / Пономаренко В. С., Золотарьова І. О., Бутова Р. К. та ін. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2011. – 176 с.
8. Годун В.М. Інформаційні системи і технології в статистиці: навч. посіб. / В.М. Годун, Н.С. Орленко, М. А. Сендзюк; за ред. В.Ф. Ситника. – К.: КНЕУ, 2003. – 267 с.
9. AnyLogic Tutorial. XJ Technologies. - Режим доступу: <http://www.xjtek.com>.

10. Анісімов А.В. Інформаційні системи та бази даних: Навчальний посібник для студентів факультету комп'ютерних наук та кібернетики. / Анісімов А.В., Кулябко П.П. – Київ. – 2017. – 110 с.
11. Ситник В.Ф., Орленко Н.С. Імітаційне моделювання: Навч.-метод. посібник для самот. вивч. дисц. – Режим доступу: <http://studentam.kiev.ua/content/view/701/94/>.
12. Пономаренко, С. В. Теорія та практика моделювання бізнес-процесів: монографія / В. С. Пономаренко, С. В. Мінухін, С. В. Знахур. - Х.: Вид. ХНЕУ, 2013. - 244 с.
13. Моделювання і симуляція логістичних систем / Ю.І. Толу, С.І. Планка / - Курс лекцій для вищих технічних навчальних закладів. - Київ: «Міленіум», 2010. - 85 с.
14. Інформаційні системи в промисловості : навчальний посібник / Л. О. Добровольська, О. О. Черевко. – Маріуполь : ПДТУ, 2014. – 238 с.
15. Коробова М.В. Основи математичного моделювання економічних, екологічних та соціальних процесів / М.В. Коробова, І.М. Ляшенко, А.М. Столяр. - Тернопіль: "Навчальна книга - Богдан", 2016. - 304 с.
16. Рославцев Д. М. Конспект лекцій з курсу «Організація і проектування логістичних систем» / Д. М. Рославцев; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. - Х. : ХНАМГ, 2012. - 111 с.
17. Грицунов О. В. Інформаційні системи та технології: навч. посіб. для студентів за напрямом підготовки «Транспортні технології» / О. В. Грицунов; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 222 с.
18. Томашевський В.М. Моделювання систем. Підручник / В.М. Томашевський.- К. : Видавнича група ВНУ, 2015. - 352с.
19. Кравець І.О. Імітаційне моделювання: Навч. Посібник / І.О. Кравець. - ЧДУ ім. Петра Могили, 2010.- 107 с.
20. Стеценко І.В., Батора Ю.В. Імітаційне моделювання транспортного руху через світлофорні об'єкти // Вісник Черкаського державного технологічного університету. - Черкаси, 2016. - №3. - С.75-79.

Завідувач кафедри _____

Пурський О.І.

(підпис, прізвище, ініціали)

« _____ »

2023 р.

