

# ДЕРЖАВНИЙ ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем

## ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

### «ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ДОСТАВКИ»

Студентка 4 курсу, 10 групи

спеціальності

122 «Комп'ютерні науки»

Солоненко  
Валерія Олегівна

*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 студентці

**Солоненко Валерії Олегівни**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

«Проектування та моделювання системи доставки»

Затверджена наказом ректора від «09» 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 системи доставки.

Об'єкт дослідження: процеси функціонування систем доставки.

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 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 випускного кваліфікаційного проекту (перелік питань за кожним розділом)

### ВСТУП

#### РОЗДІЛ 1. Загальна проблематика моделювання систем доставки

##### 1.1 Сучасний стан систем доставки

##### 1.2 Аналіз особливостей імітаційного моделювання систем доставки

##### 1.3 Інформаційні технології імітаційного моделювання систем доставки

#### РОЗДІЛ 2. Розробка моделі системи доставки

##### 2.1. Специфіка функціонування систем доставки

##### 2.2. Розробка діаграм взаємодії

##### 2.3. Розробка імітаційної моделі системи доставки

#### РОЗДІЛ 3. Реалізація імітаційної моделі системи доставки

##### 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

№ 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 випускню 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 систем доставки</i>	28.02.2023	28.02.2023
5	<i>РОЗДІЛ 2. Розробка моделі системи доставки</i>	06.04.2023	06.04.2023
6	<i>РОЗДІЛ 3. Реалізація імітаційної моделі системи доставки</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 «15» грудня 2022 р.

9. Керівник випускної кваліфікаційної роботи

Селіванова А.В.

(прізвище, ініціали, підпис)





## Анотація

Робота присвячена розробці імітаційної моделі системи доставки, яка дозволяє визначити оптимальний режим її функціонування.

У розділі 1 проведено аналіз сучасного стану систем доставки та особливостей їх функціонування, а також досліджено інформаційні технології імітаційного моделювання, необхідні для розробки моделі системи доставки.

Розділ 2 присвячений розробці моделі системи доставки, включаючи специфіку її функціонування та розробку діаграм взаємодій. Результатом роботи є імітаційна модель системи доставки, яка була розроблена з використанням середовища моделювання AnyLogic.

У розділі 3 проведено реалізацію імітаційної моделі системи доставки та проведено оптимізаційний експеримент. Результати дослідження демонструють, що використання розробленої імітаційної моделі може допомогти визначити оптимальний режим функціонування системи доставки та покращити її ефективність.

**Ключові слова:** імітаційне моделювання, система доставки, діаграма взаємодій, оптимізація, AnyLogic.

## Abstract

The work is devoted to the development of the simulation model of the delivery system, which allows determining the optimal mode of its functioning.

In chapter 1, an analysis of the current state of delivery systems and the peculiarities of their functioning was carried out, as well as information technologies of simulation modeling, necessary for the development of a model of the delivery system, were investigated.

Chapter 2 is devoted to the development of the model of the delivery system, including the specifics of its operation and the development of interaction diagrams. The result of the work is a simulation model of the delivery system, which was developed using the AnyLogic simulation environment.

In Chapter 3, the simulation model of the delivery system was implemented and an optimization experiment was carried out. The results of the study demonstrate



that the use of the developed simulation model can help determine the optimal operating mode of the delivery system and improve its efficiency.

**Keywords:** simulation modeling, delivery system, interaction diagram, optimization, AnyLogic.



## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>9</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ПРОБЛЕМАТИКА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ДОСТАВКИ.....</b>	<b>11</b>
1.1 Сучасний стан систем доставки .....	11
1.2 Аналіз особливостей імітаційного моделювання систем доставки.....	12
1.3 Інформаційні технології імітаційного моделювання систем доставки .....	15
<b>РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ ДОСТАВКИ.....</b>	<b>18</b>
2.1. Специфіка функціонування систем доставки .....	18
2.2. Розробка діаграм взаємодій .....	20
2.3. Розробка імітаційної моделі системи доставки .....	23
<b>РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ДОСТАВКИ.....</b>	<b>26</b>
3.1. Специфіка побудови імітаційних моделей.....	26
3.2. Реалізація імітаційної моделі в середовищі AnyLogic.....	28
3.3. Проведення оптимізаційного експерименту.....	45
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>49</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>51</b>



## ВСТУП

Моделювання є невід'ємною частиною життя людства, чи то створення паперової моделі корабля, або моделювання складної системи аеропорту. Чим багатше і точніше ними можна маніпулювати, тим краще наша свідомість, наша «найважливіша модель» збігається з реальністю та виявляє можливі шляхи її зміни.

Реальні системи завжди складніші за свої моделі. Найчастіше будівництво нових об'єктів, знесення або модифікація існуючої інфраструктури є занадто дорогим, небезпечним чи неможливим кроком для вирішення проблем. У подібних випадках, коли складно вирішити питання шляхом проведення натурного експерименту, відбувається створення моделі реальної системи та її опис мовою моделювання. Абстрагуючи процес ми опускаємо неважливі деталі і розглядаємо лише те, що вважаємо важливим.

Стрімке зростання потенціалу знань фундаментальних та прикладних наук є другим фундаментом моделювання. Поєднання даних знань із сучасним технологічним розвитком створює надзвичайні можливості для моделювання, що обмежуються лише уявою дослідників.

Моделювання допомагає розібратися, як влаштований наш світ. Щоденно безперервну перевірку моделюванням проходять такі глобальні процеси, як політика, економіка або екологія.

Отже, **актуальності** набуває використання імітаційного моделювання для вирішення прикладних задач, подібних побудові та організації роботи важливих на підприємстві складових відділів в системах масового обслуговування доставкового сервісу.

**Мета і завдання дослідження.** Метою даного дослідження є розробка імітаційної моделі доставкового підприємства (системи доставки). Потрібно було вирішити наступні **завдання** для досягнення поставленої мети:

- провести комплексний аналіз існуючих систем доставки;
- виявити слабкі ланки, що впливають на ефективність бізнес-процесів;

- розробити імітаційну модель системи, використовуючи програмний засіб AnyLogic;
- провести експерименти з функціонування системи;
- перевірити ефективність параметрів змодельованої системи;
- створити діаграми, що допоможуть визначити та проаналізувати показники, які потребують оптимізації;
- встановлення рекомендацій, щодо вдосконалення системи доставкового підприємства.

**Об'єкт дослідження:** процеси функціонування системи доставки.

**Предмет дослідження:** інформаційні технології імітаційного моделювання.

**Методи дослідження.** Інформаційною базою дослідження є статті, навчальні посібники, підручники, монографії науковців у сфері розробки імітаційних моделей, та ресурси глобальної мережі інтернет. Також для вирішення поставлених задач використовувалися наступні методи дослідження: загальнонауковий метод, аналітичний метод, емпіричний метод, системний метод, метод імітаційного моделювання.

**Практичне значення.** Досягнуті результати допоможуть забезпечити широкі можливості для вдосконалення бізнес-процесів, оскільки стали відомі слабкі ланки, за допомогою опрацювання яких можна зекономити важливі ресурси підприємства. Спостереження за показниками тривалості очікування в чергах у відповідний проміжок часу до комірників/поштомоту дає змогу обрати найліпші шляхи для оптимізації робіт. Завдяки моделюванню реальних процесів можна прослідкувати за повним циклом роботи системи, та на основі отриманих результатів приймати управлінські рішення по вдосконаленню роботи доставкового підприємства.

**Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи.** Випускна кваліфікаційна робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел із 30 найменувань, і містить 46 сторінки основного тексту, 30 рисунків та 2 таблиці.



# РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ПРОБЛЕМАТИКА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ДОСТАВКИ

## 1.1 Сучасний стан систем доставки

Роботу над вивчення даного пункту предметної області можна розділити на наступні етапи: поняття системи доставки та її класифікація, тенденція розвитку системи доставки, огляд основних гравців на ринку доставки, аналіз особливостей функціонування системи доставки в Україні. Давайте більш детально розглянемо кожен пункт. Поняття систем доставки та їх класифікація. Система доставки - це комплекс технологічних і організаційних процесів, що забезпечують доставку товарів або послуг до клієнтів. Системи доставки можна класифікувати за різними критеріями, такими як спосіб доставки, тип товару, складність логістики тощо.

Тенденції розвитку систем доставки. На сьогоднішній день спостерігається збільшення обсягів онлайн-продажів, що призводить до зростання попиту на системи доставки. Тенденції розвитку систем доставки включають в себе впровадження новітніх технологій, автоматизацію процесів, зменшення витрат на логістику, збільшення швидкості доставки та поліпшення якості обслуговування.

Огляд основних гравців на ринку доставки. На ринку доставки присутні різноманітні компанії, такі як логістичні оператори, кур'єрські служби, міжнародні поштові оператори та інші. Кожен з цих гравців має свої переваги та недоліки, а також різні цінові стратегії.

Сьогодні системи доставки стали важливою складовою логістики в бізнесі. За останні роки, розвиток електронної комерції змінив наше сприйняття процесу доставки товарів і послуг. За допомогою мережі Інтернет, клієнти можуть легко знайти і придбати будь-який товар, який їм необхідний, з будь-якої точки світу, не виходячи з дому. Втім, цей процес має свої виклики для

бізнесу, особливо для систем доставки, які забезпечують доставку товарів клієнтам [5].

За сьогоdnішніми стандартами, система доставки має забезпечити доставку товарів в найкоротші терміни, з мінімальними витратами і забезпеченням якості. Всі ці фактори мають значний вплив на бізнес, і тому системи доставки повинні бути оптимізовані таким чином, щоб забезпечити максимальну ефективність і надійність.

## **1.2 Аналіз особливостей імітаційного моделювання систем доставки**

Імітаційне моделювання - це техніка моделювання, що заснована на створенні моделі системи, яка збігається з оригінальною системою у певних аспектах, з метою аналізу її поведінки та визначення найкращих стратегій для її вдосконалення. Цей метод є ефективним для моделювання складних систем, таких як системи доставки [2].

Основними перевагами імітаційного моделювання є те, що воно дозволяє дослідити систему без реальних витрат часу та коштів, що необхідні для реалізації задуманого. На сьогоdnішній день існує багато різноманітних систем доставки, які відрізняються за багатьма параметрами, такими як швидкість, вага та розмір перевозваного вантажу, дальність доставки, режим роботи, ступінь автоматизації та інші. Однією з найпоширеніших форм доставки є автомобільна доставка. За допомогою автомобільних перевезень можна доставляти різноманітний вантаж, від малих посилок до великих контейнерів. Автомобільна доставка відрізняється від інших форм доставки своєю гнучкістю та швидкістю. Однак, вона має свої обмеження: обмежений радіус дії, залежність від стану дорожньої мережі та різних транспортних заторів [3].

Ще однією формою доставки є залізнична доставка. Вона зазвичай використовується для перевезення великих вантажів на великі відстані. Основними перевагами залізничної доставки є високі швидкості перевезень та



велика вантажопідйомність. Однак, залізнична доставка має свої недоліки: обмежена гнучкість та залежність від стану залізничної інфраструктури.

Авіаційна доставка є найшвидшим та найефективнішим способом доставки, особливо для міжнародних перевезень [11]. Завдяки швидкості та гнучкості авіаційна доставка є найбільш популярною формою доставки для міжнародних компаній. Однак, вона має свої недоліки: висока вартість перевезень та обмежена вантажопідйомність.

Комплексне дослідження СМО дає змогу отримати необхідну інформацію і, таким чином, підготувати основу для прийняття рішень щодо режиму роботи системи, удосконалення її організації тощо. При цьому враховується той факт, що системи, які розглядаються, вже функціонують або перебувають на стадії проектування. У першому випадку рішення, що приймаються, можуть бути спрямовані на підвищення якості функціонування системи, поліпшення її організації відповідно до прийнятого критерію якості системи (наприклад, зменшення відмов в обслуговуванні, скорочення часу очікування обслуговування і т.д.) У другому випадку, в залежності від умов, в яких буде функціонувати система, її потужності і т.д., визначаються якісні характеристики системи, оцінюються, а в деяких випадках прогнозуються такі якісні характеристики системи, як можливість виникнення неприпустимих, або небажаних ситуацій (черги, що перевищують певну межу, тривалий час очікування в черзі тощо) [9].

Основою для прийняття рішень є параметри, що характеризують різні аспекти функціонування системи в цілому та її окремих елементів. Оскільки моменти надходження вимог в систему і тривалість їх обслуговування, як правило, є випадковими, для опису окремих елементів системи використовують розподіл випадкових величин та їх числові характеристики (середні значення, дисперсії тощо). Основними характеристиками функціонування та стану СМО є середня кількість заявок у черзі, або в системі, середній час очікування обслуговування та інші, а також значення деяких ймовірностей, наприклад, ймовірність відмови в обслуговуванні, ймовірність того, що в системі є не

менше певної кількості заявок, ймовірність того, що система вільна від обслуговування тощо [11].

Розглядаючи задачі, які вирішуються на основі теорії масового обслуговування, необхідно мати на увазі можливі варіанти взаємозв'язку між цілями, які переслідує система в цілому, і цілями, до яких прагнуть об'єкти обслуговування. Можливі наступні ситуації.

Цілі повністю збігаються або тісно відповідають одна одній. Таку відповідність можна знайти в значній кількості систем, наприклад, в системі ремонту комп'ютерів. І сервісні центри, і власники обладнання, хоча і з різних причин, зацікавлені в якнайшвидшому усуненні несправностей. Звідси прагнення змінювати параметри системи в одному напрямку.

Цілі суперечать одна одній. Наприклад, співвідношення між цілями ППО і літаками противника. Якщо одна сторона хоче максимізувати середню ймовірність влучення (в термінах теорії масового обслуговування - ймовірність того, що вимога буде обслужена), то інша, природно, буде вживати заходів для її зменшення [1].

Цілі не повністю збігаються, але й не суперечать одна одній. Наприклад, інтереси пасажирів і трамвайно-тролейбусного підприємства не перебувають у повній гармонії. Покращення одного параметру, скажімо, зменшення щільності пасажиропотоку, призведе до погіршення іншого параметру, наприклад, прибутку. Підвищення якості функціонування таких систем обслуговування може бути пов'язане з компромісом інтересів обох сторін [6].

Теорія масового обслуговування стикається з проблемами, які пов'язані не тільки з аналізом поведінки системи, але і з синтезом системи. Поведінковий аналіз включає в себе розрахунок різних характеристик і оцінку їх впливу на стан, якість і ефективність системи. Оперативне втручання в роботу системи обслуговування досягається заміною правил вибору вимог до каналу обслуговування, впливом на механізм обслуговування (збільшенням кількості обслуговуючих пристроїв, або впровадженням більш продуктивного обладнання), а також на область, де виникають вимоги. Тому при розгляді



проблем синтезу системи необхідно враховувати не тільки вищезазначене, але й наявність витрат, які викликані очікуванням задоволення вимог або простим об'єктів обслуговування [2].

### **1.3 Інформаційні технології імітаційного моделювання систем доставки**

За останні роки системи доставки стали однією з галузей, що найбільш активно розвиваються. Це стало можливим завдяки поширенню інформаційних технологій, які значно полегшили та прискорили процес доставки товарів. Сьогодні, системи доставки є необхідною складовою електронної комерції, а також активно використовуються в логістичному та маркетинговому секторах [4]. Сучасні системи доставки можуть бути класифіковані за різними ознаками. Зокрема, за зонами доставки (міська, міжміська, міжнародна), видами товарів (продукти харчування, електроніка, меблі та інше), способами доставки (кур'єрська доставка, самовивіз, поштова доставка) та технологіями (автотранспорт, дрони, роботи-кур'єри). Однією з найбільш розвинених технологій доставки є кур'єрська доставка, яка передбачає доставку товару протягом декількох годин у визначений час та місце. Для цього використовуються мобільні додатки, які дозволяють замовити доставку з вказанням адреси та інших параметрів. У деяких випадках також можуть використовуватися GPS-навігатори, які дозволяють кур'єру швидко знайти місце доставки [12].

Інформаційні технології імітаційного моделювання систем доставки використовуються для розробки імітаційних моделей систем доставки, що дозволяє оцінити їх роботу в умовах, які моделюють різні варіанти реального середовища.

Основна ідея імітаційного моделювання полягає в тому, що на підставі зібраних даних про роботу системи доставки створюється її математична модель, що дозволяє провести аналіз та оцінку різних варіантів її роботи в

умовах, які моделюють різні фактори, такі як збільшення обсягів доставки, зміни в режимі роботи персоналу, зміни у технологічному процесі тощо.

Інформаційні технології, такі як програмне забезпечення для імітаційного моделювання, дозволяють ефективно проводити аналіз роботи систем доставки, оцінювати ризики та знаходити шляхи їх зменшення. Крім того, вони дозволяють проводити оптимізацію роботи систем доставки, що може привести до зменшення витрат та покращення якості надання послуг.

Основні підходи до імітаційного моделювання систем доставки можуть бути різними і залежать від конкретних цілей дослідження. Проте, існують деякі загальні підходи та інструменти, які можна використовувати для моделювання таких систем [15].

Одним з найпоширеніших інструментів імітаційного моделювання є програмне забезпечення AnyLogic, яке дозволяє розробляти детальні імітаційні моделі різних систем, включаючи системи доставки. AnyLogic має можливості моделювання різних типів систем, таких як чергові системи, системи з розподілом часу, системи з обслуговуванням з пріоритетом тощо [19].

Ще одним важливим аспектом імітаційного моделювання систем доставки є врахування різних параметрів, таких як час доставки, вартість, пропускна здатність тощо. Наприклад, можна розглядати різні типи транспорту, які використовуються для доставки (наприклад, автомобілі, велосипеди, дрони тощо), і аналізувати вплив цих параметрів на ефективність системи доставки.

Також, інформаційні технології можуть використовуватися для збору даних про роботу системи доставки, аналізу цих даних і оптимізації роботи системи. Наприклад, можна використовувати датчики для відстеження руху транспорту та інформаційні системи для збору даних про час доставки та вартість.

Отже, інформаційні технології імітаційного моделювання можуть бути використані для розробки детальної імітаційної моделі системи доставки, аналізу різних параметрів і оптимізації роботи системи.

Програма AnyLogic є потужним інструментом для імітаційного



моделювання систем доставки. Її особливість полягає в можливості моделювання як дискретних, так і неперервних систем, що відображає реальні умови функціонування систем доставки [22].

Для моделювання системи доставки в середовищі AnyLogic необхідно виконати такі кроки:

1. Розробка концептуальної моделі системи доставки, яка включатиме опис основних процесів та компонентів системи.
2. Розробка діаграм взаємодій, що дозволить визначити поведінку системи та взаємодію її компонентів.
3. Розробка імітаційної моделі, включаючи створення агентів, ресурсів та процесів, що відбуваються в системі.
4. Налаштування параметрів моделі та визначення критеріїв її ефективності.
5. Проведення оптимізаційних експериментів, що дозволить визначити оптимальні параметри системи доставки та її компонентів [24].

Інструменти AnyLogic дозволяють реалізувати моделі систем доставки різного рівня складності, включаючи взаємодію замовників, доставкових служб та водіїв, враховуючи особливості транспортних мереж та дорожнього руху. В цілому, застосування інформаційних технологій імітаційного моделювання в програмі AnyLogic дозволяє ефективно аналізувати та оптимізувати процеси функціонування систем доставки [23].

## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ ДОСТАВКИ

### 2.1. Специфіка функціонування систем доставки

Система доставки - це комплекс взаємопов'язаних процесів, що забезпечують доставку різноманітних товарів від виробника до споживача. Система доставки може включати в себе такі етапи, як прийом товарів від виробника, зберігання на складах, упакування, транспортування, доставку до адреси споживача і т.д.

Основні елементи системи доставки можна поділити на такі групи:

1. Виробництво товарів: включає в себе виробництво товарів, їх пакування та маркування.
2. Складське господарство: включає в себе зберігання товарів на складах, управління запасами, відбір товарів та їх підготовку до відправки.
3. Транспортування: включає в себе вибір виду транспорту, розклад транспортування, маршрутизацію, відстеження транспорту, забезпечення безпеки перевезень та інші важливі фактори [18].

Доставка: включає в себе доставку товарів до адреси споживача, управління зворотними потоками, обробку різноманітних заявок на повернення товарів і т.д.. Інформаційні технології можуть відігравати важливу роль у функціонуванні систем доставки, дозволяючи забезпечувати їх ефективність та оптимальність. Наприклад, застосування автоматизованих систем управління складським господарством дозволяє зменшити час зберігання товарів на складах, знизити рівень втрат товарів, забезпечити точність ведення обліку тощо.

Імітаційне моделювання може бути використане для оцінки різних альтернативних варіантів функціонування систем доставки, що дозволяє зменшити витрати на впровадження та тестування нових систем. Наприклад, можна моделювати вплив змін у розкладі доставки, зміни роутингу транспорту,



зміни пріоритетів в обробці замовлень та інші фактори, що впливають на ефективність та економічність системи доставки [20].

Імітаційне моделювання дозволяє проводити експерименти на віртуальній моделі системи доставки, що дозволяє ефективно виявляти та усувати недоліки та помилки у процесі функціонування системи доставки. Крім того, імітаційна модель дозволяє проводити експерименти в умовах, які неможливо відтворити на реальній системі доставки, що дозволяє отримати більш точні та повні дані про роботу системи [17]. У процесі імітаційного моделювання системи доставки можна враховувати різні фактори, що впливають на функціонування системи доставки, наприклад:

**Розклад доставки:** можна моделювати різні варіанти розкладу доставки, щоб визначити оптимальний варіант, який дозволить забезпечити максимальну ефективність та економічність системи доставки.

**Транспорт:** можна моделювати використання різних видів транспорту, різні маршрути руху, різний час руху транспорту та інші фактори, що впливають на час доставки та вартість доставки [26].

**Обробка замовлень:** можна моделювати різні варіанти обробки замовлень, наприклад, різні пріоритети замовлень, різні методи оплати, різні способи пакування товарів та інші фактори.

Отже, імітаційне моделювання є потужним інструментом для аналізу та оптимізації різних аспектів функціонування систем доставки. Зокрема, воно дозволяє оцінити ефективність різних стратегій розміщення складів і транспортування товарів, а також здійснювати прогнозування рівня попиту на товари в різні періоди часу [25].

Імітаційна модель системи доставки може бути розроблена з використанням різних математичних алгоритмів та методів, таких як алгоритми чергової обробки, метод Монте-Карло, алгоритми генетичного пошуку та інші. Застосування цих алгоритмів дозволяє моделювати різні аспекти функціонування системи доставки, включаючи виробничі процеси, процеси логістики та процеси обслуговування клієнтів [28].

Застосування імітаційного моделювання в системах доставки дозволяє значно зменшити витрати на експерименти та випробування різних стратегій розміщення складів та транспортування товарів. Крім того, воно дозволяє здійснювати прогнозування попиту на товари, що є важливим елементом стратегії управління запасами та планування виробничих процесів. В результаті, застосування імітаційного моделювання дозволяє зменшити ризики прийняття неправильних рішень та покращити ефективність системи доставки [29].

## 2.2. Розробка діаграм взаємодій

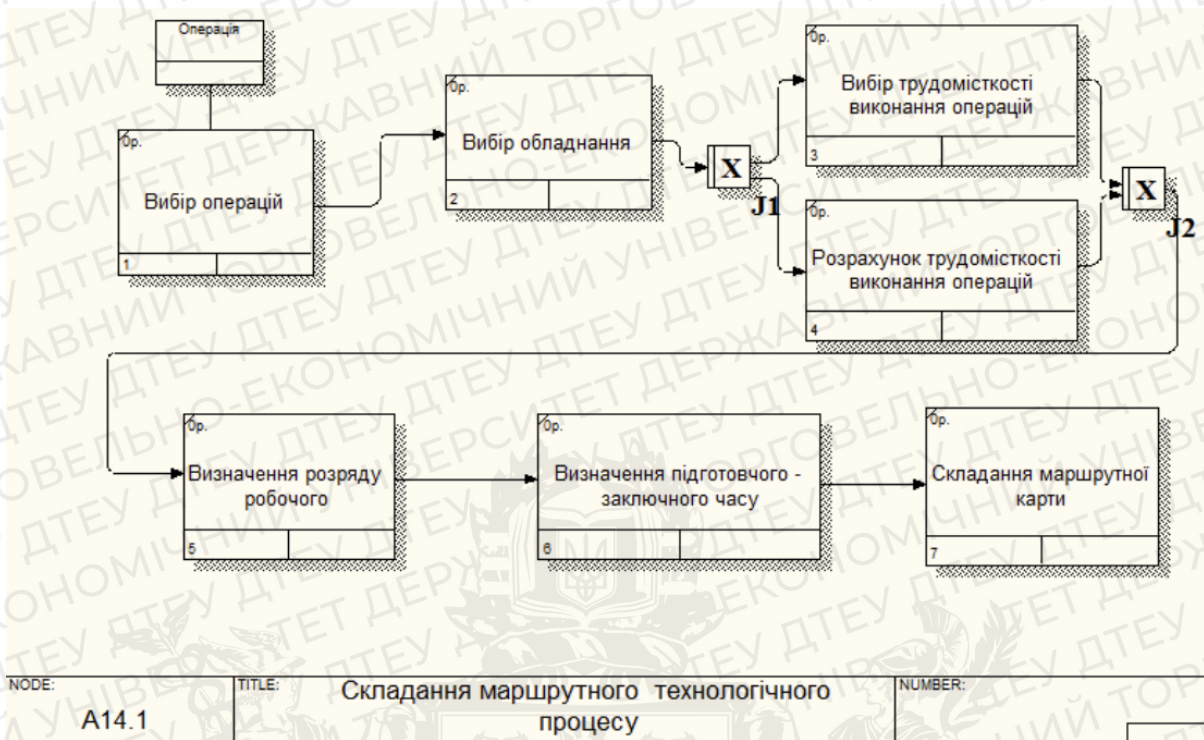
Діаграма взаємодії - це графічний засіб моделювання, який показує взаємодію між компонентами системи, що досліджується. У контексті нашого проекту з імітаційного моделювання системи доставки, діаграма взаємодії відображатиме взаємодію між різними елементами системи, такими як доставка, транспорт, клієнти та інші [27].

Основними елементами діаграми взаємодії для нашої системи доставки будуть:

1. Клієнти - користувачі, які роблять замовлення на доставку товарів.
2. Замовлення - це товари, які були замовлені клієнтами.
3. Склад - це місце, де зберігаються товари до відправлення.
4. Транспорт - це транспортні засоби, які використовуються для доставки товарів від складу до клієнтів.
5. Водії - люди, які керують транспортом.
6. Менеджери - люди, які керують процесом доставки та взаємодіють з клієнтами [27].

Діаграма взаємодії для нашої системи доставки може мати наступний вигляд:





**Рис. 2.1.** Діаграма взаємодії на маршрутному технологічному процесі

На цій діаграмі зображено, як взаємодіють різні елементи нашої системи доставки (рис.2.1). Клієнти можуть зробити замовлення, які потім зберігаються на складі. Менеджери керують процесом доставки, зв'язуються з клієнтами та видають замовлення водіям. Водії беруть товари зі складу та доставляють їх клієнтам.

Першим елементом є клієнт, який замовляє доставку товару. Він взаємодіє з інтернет-магазином, використовуючи веб-інтерфейс, де він може вибрати товар та внести адресу доставки [30].

Після того, як замовлення отримано, воно обробляється в системі замовлень. Тут замовлення отримує унікальний номер та обробляється відповідними робітниками, які перевіряють наявність товару на складі та підготовлюють його до доставки.

Після цього замовлення передається в систему доставки, яка відповідає за пошук доступних доставників та визначення найбільш оптимального маршруту доставки. Для цього вона може використовувати різні алгоритми та критерії, такі як швидкість доставки, відстань від складу до адреси доставки, наявність заторів на дорозі та інші. Далі замовлення передаються до доставника, який

прибуває на склад та отримує замовлення. Після цього доставник збирає товар та вирушає до адреси доставки, використовуючи отриманий маршрут (рис.2.2; рис.2.3). У процесі доставки можуть виникати різні проблеми, такі як затори на дорозі, несправність доставкового транспорту, неправильно вказана адреса та інші. Для вирішення цих проблем в системі передбачені відповідні механізми, наприклад, зміна маршруту доставки, заміна транспорту або зв'язок з клієнтом для уточнення адреси [16].

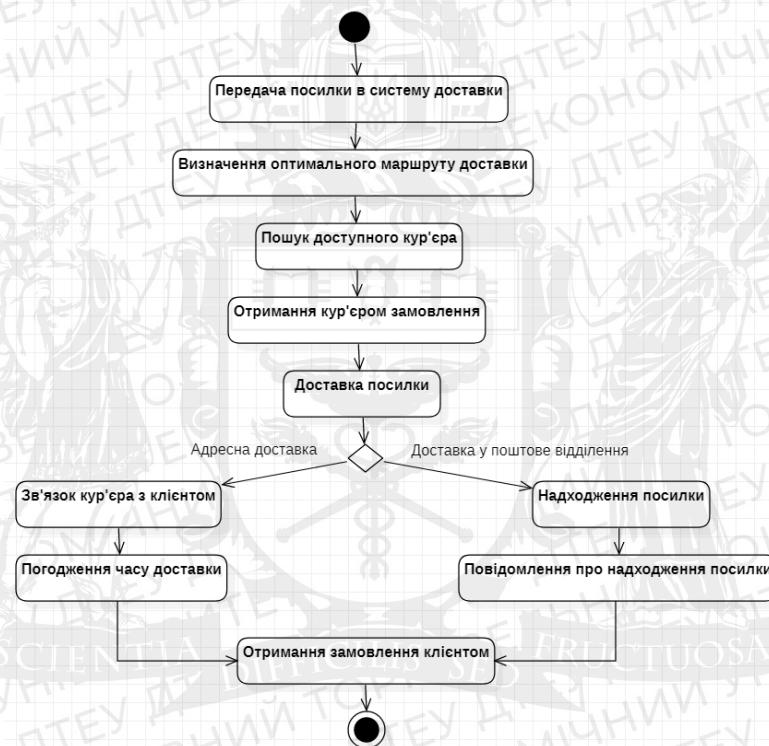


Рис. 2.2. Діаграма діяльності системи доставки



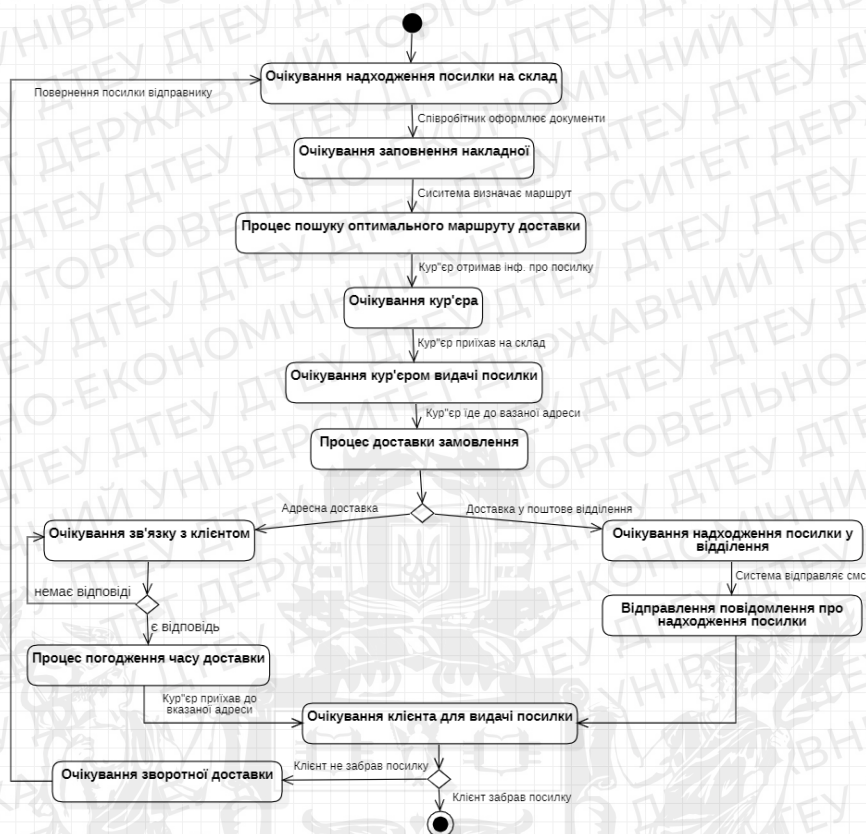


Рис. 2.3. Діаграма станів системи доставки

### 2.3. Розробка імітаційної моделі системи доставки

Реальні складні системи, в тому числі сучасні автоматизовані системи управління, можна вивчати за допомогою двох типів моделей: аналітичних та імітаційних. В аналітичних моделях поведінка складних систем записується у вигляді деяких функціональних залежностей або логічних умов. Для побудови аналітичних моделей існує потужний математичний апарат (алгебра, функціональний аналіз, теорія автоматичного управління тощо), який значно полегшує побудову моделей такого роду. Однак при аналітичному описі складних систем часто доводиться спрощувати представлення реальних явищ, що дещо знижує точність аналітичних моделей [14].

Коли явища в складних системах настільки різноманітні і складні, що аналітична модель стає занадто грубим наближенням до реальності, дослідник повинен використовувати імітаційне моделювання.

В імітаційній моделі поведінка компонента складної системи описується набором алгоритмів, які потім реалізують ситуації, що виникають в реальній системі.

При дослідженні операцій часто доводиться мати справу з системами, призначеними для багаторазового використання під час вирішення однотипних завдань. Процеси, які виникають при цьому, називаються процесами обслуговування, а системи - системами масового обслуговування (СМО). Прикладами таких систем є телефонні системи, ремонтні майстерні, комп'ютерні системи, квиткові каси, магазини, перукарні тощо[11].

Заявка (запит, вимога, виклик, клієнт, повідомлення, пакет) - це об'єкт, який надходить до СМО і потребує обслуговування в пристрої. Сукупність послідовних запитів, розподілених у часі, утворюють вхідний потік заявок [22].

При цьому запити виконуються з використанням доступних системі каналів обслуговування.

З точки зору моделювання процесу масового обслуговування, ситуації, в яких формуються черги заявок (вимог) на обслуговування, виникають наступним чином. Запит, що надходить до системи обслуговування, додається до черги тих, що надійшли раніше. Канал обслуговування вибирає запит з черги і починає його обслуговувати. Після завершення обслуговування чергової заявки канал обслуговування приступає до обслуговування наступної заявки, якщо вона знаходиться в блоці очікування.

Цей цикл роботи системи масового обслуговування повторюється багато разів протягом усього періоду функціонування системи обслуговування. Передбачається, що перехід системи до обслуговування наступної заявки після завершення обслуговування попередньої заявки відбувається миттєво, у випадковий момент часу [24].

Для опису вхідного потоку вимог необхідно задати імовірнісний закон, який визначає послідовність моментів надходження вимог на обслуговування і вказати кількість таких вимог в кожному наступному надходженні. При цьому, як правило, використовується поняття "імовірнісний розподіл моментів



надходження вимог". При цьому можуть надходити як поодинокі, так і групові вимоги (вимоги надходять в систему групами). В останньому випадку мова йде про систему обслуговування з паралельно-груповим обслуговуванням [30].



## **РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ДОСТАВКИ**

### **3.1. Специфіка побудови імітаційних моделей**

Кожний підприємець, який бажає створити гарну та процвітаючу компанію, або вже має таку, та хоче її вдосконалити, повинен перш за все правильно організувати своє виробництво. Від належної організаційної політики буде залежати наскільки точно та якісно протікатимуть всі етапи виробництва товару чи надання послуги, адже точне розуміння кожним працівником своїх обов'язків у конкретних ситуаціях набагато поліпшує та покращує процес виробництва. Не новина те, що компаніям, або приватним підприємцям, властиво розвиватися та розширювати свої продуктивні можливості. Одним з таких шляхів є перехід від виробництва одного типу товарів до багато продуктового виробництва, яке полягає в тому, що за мінімально необхідної ресурсної бази буде зроблено декілька різних видів товару. Така модель організації виробництва має свої тонкощі та потребує особливого підходу до її планування. Багато продуктова модель потребує більш глибокого аналізу факторів, які впливають на виробництво, адже це значно покращить продуктивність та якість роботи організації в цілому [29].

Проте багато компаній відмовляється від такого підходу та використовують звичні їм моделі бізнес-процесів, аргументуючи це зайвими затратами на перебудовування моделі процесів, та складністю реалізації багато продуктової моделі бізнес-процесів. Дана проблематика описує актуальність створення імітаційної багато продуктової моделі бізнес-процесів, яка зможе продемонструвати роботу такої моделі організації за реальних обставин з існуючими ризиками.

Відчувається, що подібний характер задачі, відповідно й інший бізнес-процес, швидше, вигідніше та результативніше реалізовувати за допомогою саме засобам для побудови імітаційної моделі [21].



Протягом моделювання схематичного представлення системи буде використано наступні бібліотеки: «Бібліотека моделювання процесів» та «Статистика».

Моделюючи анімаційну частину буде застосовано бібліотеки: «Пішохідна бібліотека», «Системна динаміка», «Презентація», «Розмітка простору» та «3D об'єкти».

Для проектування системи використано наступні елементи моделювання:

Source — застосовується для створення нових агентів. В більшості випадків є початковим блоком діаграми процесів.

Select Output — спрямовує вхідних агентів у різні підпроцеси (вихідні порти), відповідно до заданої ймовірності або умови. Дана умова може залежати від параметрів самого агента, або ж від зовнішніх факторів.

Queue — використовується для моделювання черги з агентів, що знаходяться в режимі очікування на прийом об'єктами, які є наступними в діаграмі. За необхідності доступна функція максимального часу очікування агента в черзі.

Delay — на заданий період часу затримує агентів. Здатен затримувати одразу декілька агентів, залежно від заданої місткості. Є корисним для моделювання тривалої операції.

Sink — застосовується для знищення агентів, що надійшли. Зазвичай є кінцевим блоком моделювання процесів.

Для анімації моделі використано такі елементи, як:

«Path» — використовується для призначення атрибуту агенту. Зберігає єдине значення протягом прогону моделі, якщо не виникає потреба у зміні характеристик агенту.

«Node» — визначає транзитний вузол мережі, або місце, в якому може знаходитися один агент.

«Прямокутний вузол» — візуально задає місце прямокутної форми, де можуть знаходитися агенти. Використовуючи атрактори можна задати відповідне місце очікування у вузлі.

«Атрактор» — задає відповідне місце у прямокутному/багатокутному вузлі, а його стрілка вказує положення анімації агента.

«Resource Pool» — використовується для призначення набору ресурсів відповідного типу, які можуть захоплюватися та звільнюватися блоками «Seize», «Release», «Assembler» та «Service».

Під час реалізації кваліфікаційного проекту слід зупинитися саме на програмному засобі моделювання AnyLogic, оскільки він має ряд значних переваг поміж своїх конкурентів.

Наприклад, для збирання даних гістограмами та відтворення статистики, що є ключовим в процесі постановки задачі, з наступним зведенням її в результат потрібно лише зв'язати їх з елементом «Time Measure End» [19].

Щоб переконатися в тому, що отримані результати дослідження є доцільними і їх можна використовувати – проводимо перевірку моделі на адекватність та робимо заключні висновки.

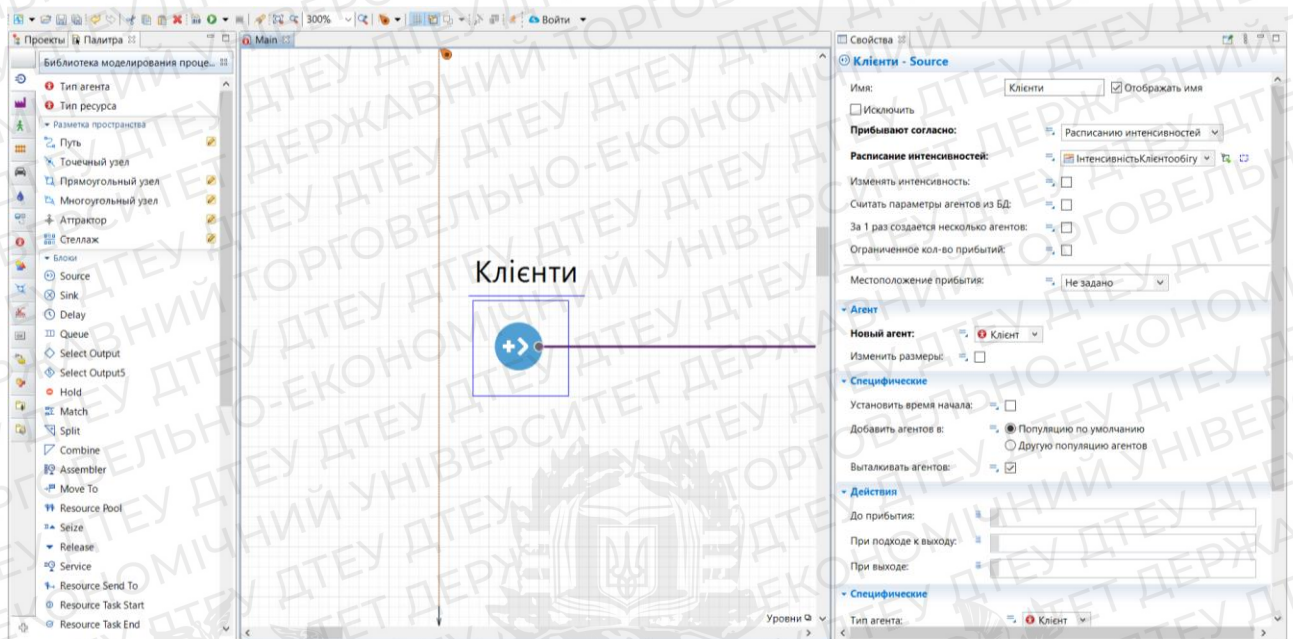
### **3.2. Реалізація імітаційної моделі в середовищі AnyLogic**

Першим кроком створюємо нову модель у програмі Anylogic, задаючи назву моделі та встановлюючи одиниці модельного часу – хвилини.

Далі безпосередньо приступаємо до роботи з програмним компонентом. Перед нами відкривається пусте поле «Main» у якому ми задаємо дію моделі.

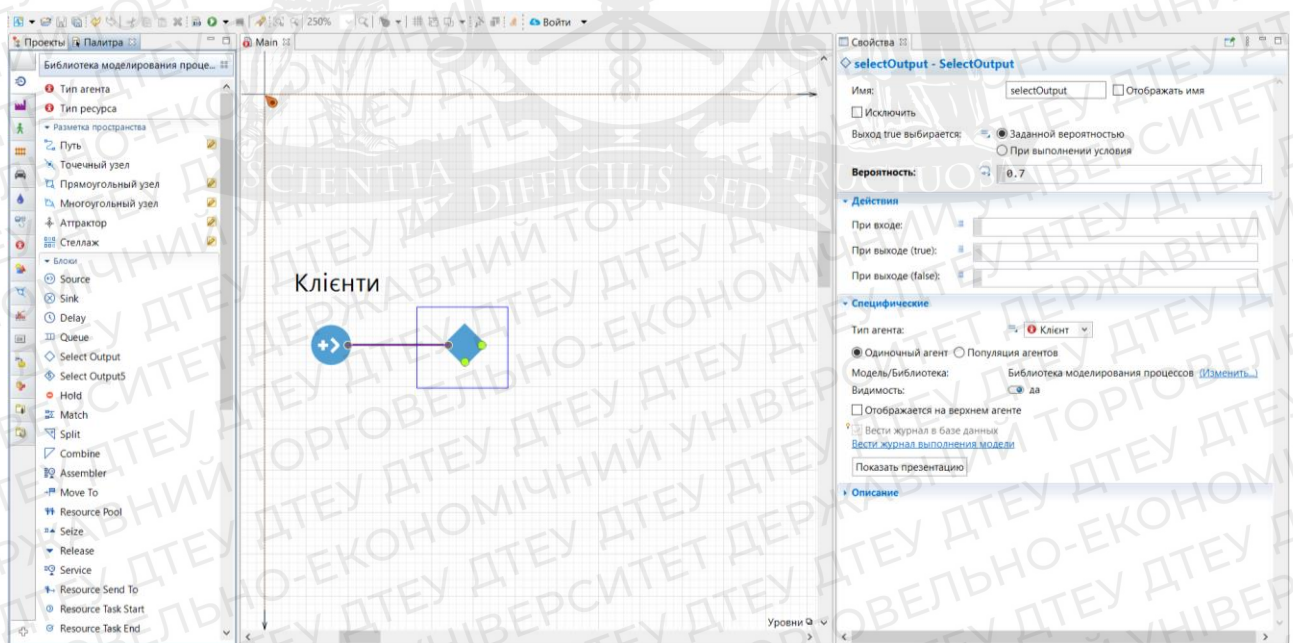
Використовуючи бібліотеку моделювання процесів захопуємо початковий елемент «Source». У властивостях називаємо доданий елемент «Клієнти», та задаємо прибуття відповідно «Інтенсивності» (рис.3.1).





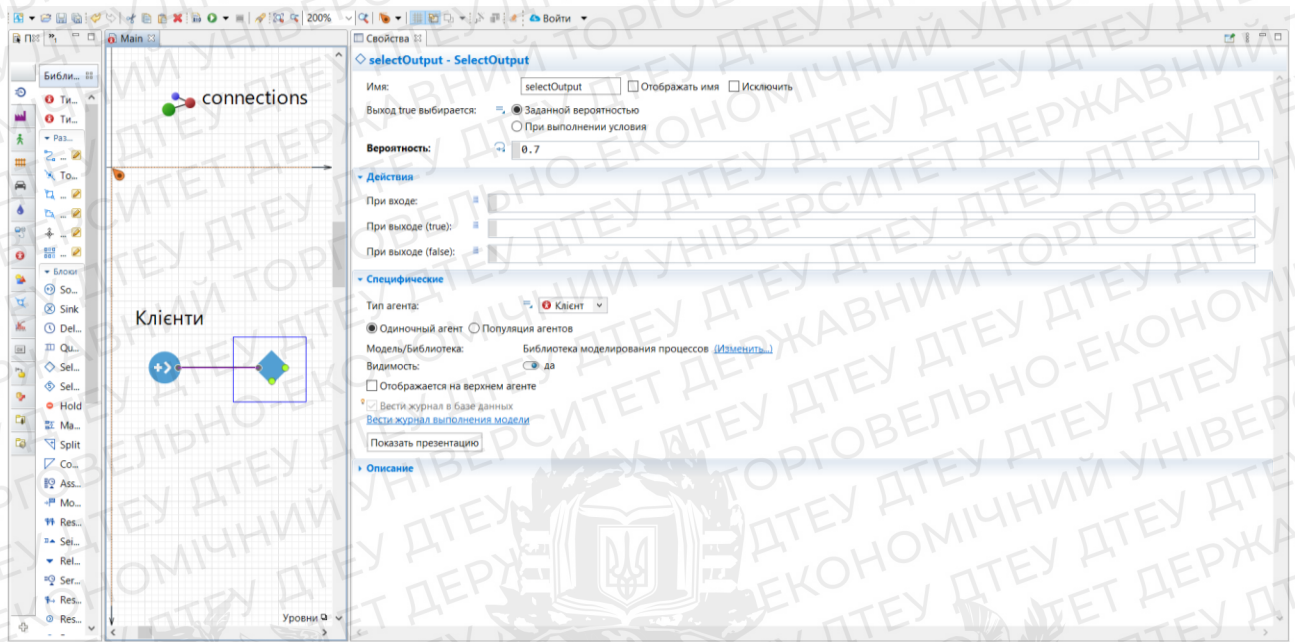
**Рис. 3.1.** Створення елементу «Source»

Далі потрібно створити елемент, який розподілить клієнтів по чергам на відправлення і до поштоводу. Для цього використовуємо блок «SelectOutput» і з'єднуємо його з початком моделі, як зображено на рис.3.2.



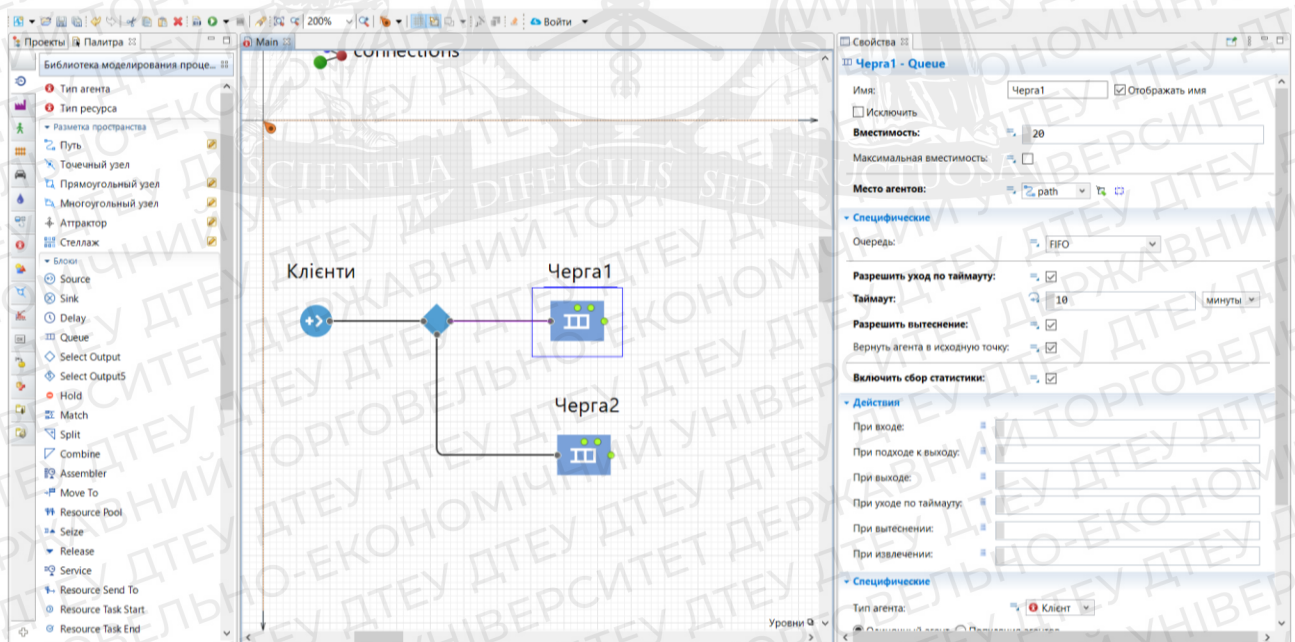
**Рис. 3.2.** Створення елементу «SelectOutput»

У пункті «Вихід true обирається» позначаємо, що розподіл клієнтів буде відбуватися із заданою ймовірністю 0.7 на відправлення і 0.3 до поштоводу відповідно (рис.3.3).



**Рис. 3.3.** Налаштування властивостей елемента «SelectOutput»

На даному етапі побудови схеми нам слід додати черги на відправлення посилок та поштомоту. Перетягуємо з бібліотеки моделювання процесів два блоки «Queue» (рис.3.4).



**Рис. 3.4.** Створення елементів «Queue»

У властивостях задаємо елементам назви «Черга1» та «Черга2». Обмежуємо місткість черг до 20 людей і 15 людей відповідно.

Дозволяємо «Вихід по таймауту» і встановлюємо його час – 10 хвилин для черги на відправлення та 6 хвилин до поштомоту. Тож, людина,



прочекавши більше 10 хвилин у черзі №1 і 6 хвилин у черзі №2, буде покидати чергу без обслуговування (див. рис.3.5).

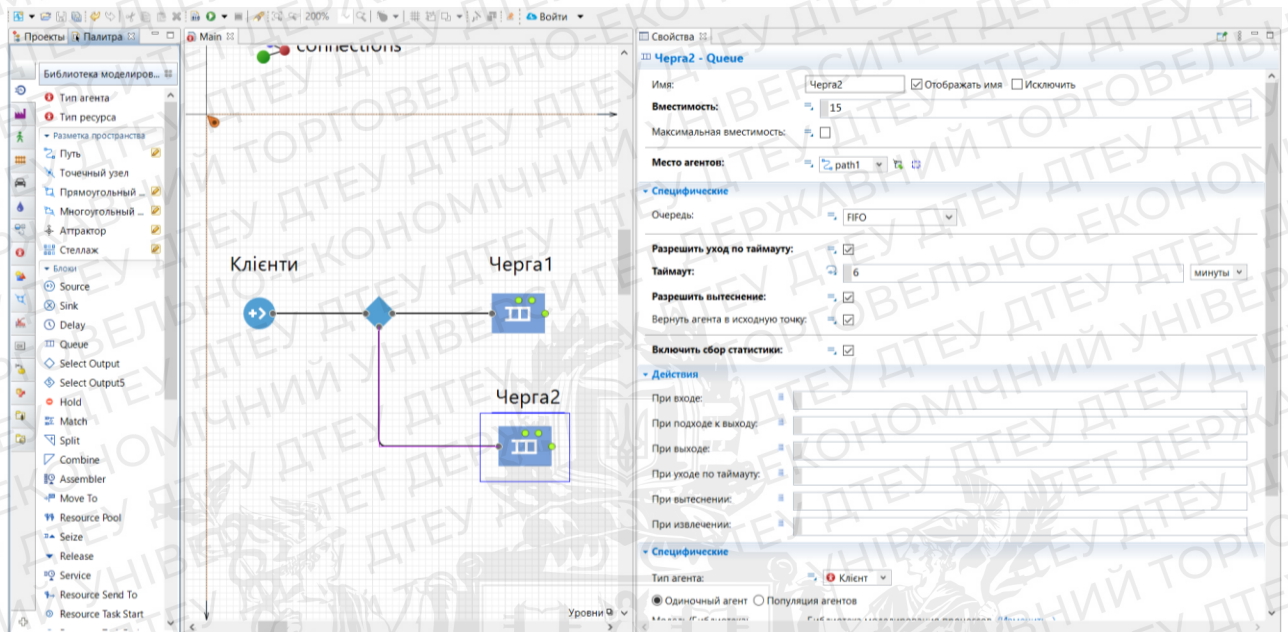


Рис. 3.5. Налаштування властивостей елементів «Queue»

Наступним кроком додаємо до схеми 2 блоки «Delay» для затримки агентів на відповідний відрізок часу та моделювання процесу обслуговування комірниками, або самообслуговування за допомогою поштомату (рис.3.6).

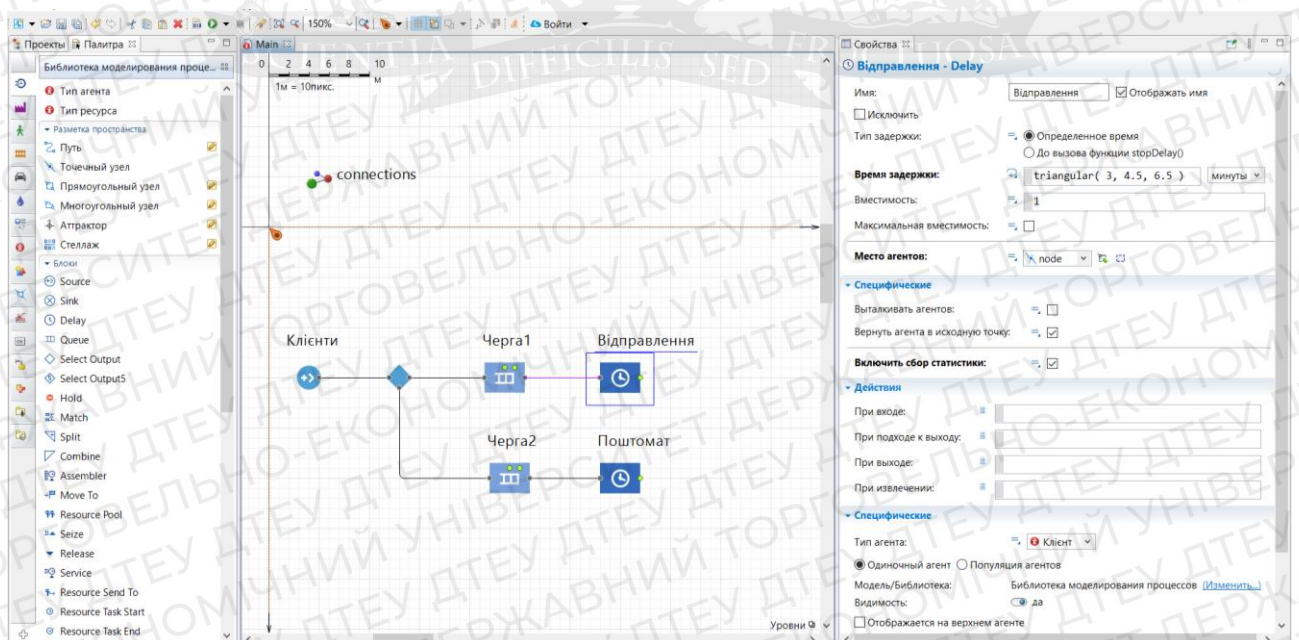


Рис. 3.6. Створення елементів «Delay»

Називаємо елементи – «Відправлення» та «Поштомат».

Обираємо тип затримки «Визначений час», де для «Відправлення» записуємо функцію « $\text{triangular}(3, 4.5, 6.5)$ », а для «Поштоводу» – « $\text{triangular}(2, 3.5, 5.5)$ », та обираємо хвилини в одиницях модульного часу.

Використовуючи функцію « $\text{triangular}$ » елемент «Delay» затримує агентів на заданий час. Тобто час на обслуговування клієнтів, що прийшли на відправлення розподіляється наступним чином:

- Мінімальний – 3 хвилини;
- Середній – 4.5 хвилини;
- Максимальний – 6.5 хвилин.

Відповідно для «Поштоводу»:

- Мінімальний – 2 хвилини;
- Середній – 3.5 хвилини;
- Максимальний – 5.5 хвилин.

У полі «Місткість» для моделювання відправлення залишаємо цифру 1, адже комірник має змогу обслужити лише одного клієнта у заданий час (рис.3.7). Для «Поштоводу» ж задаємо місткість у кількості 3 клієнів (рис.3.8).

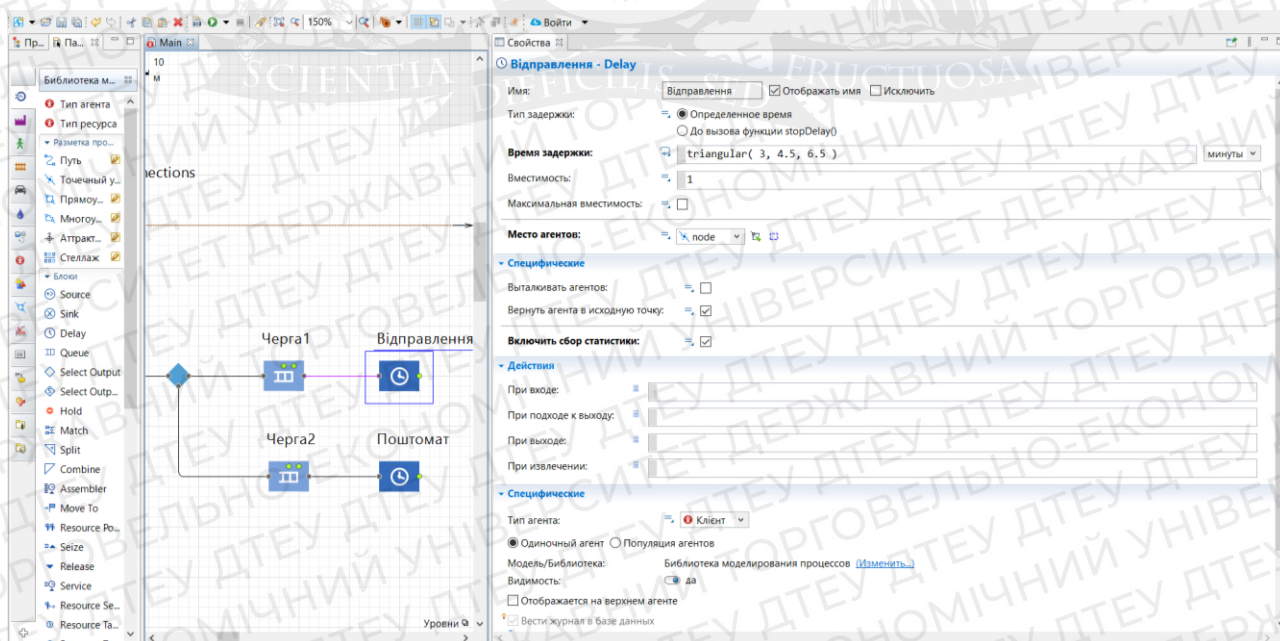
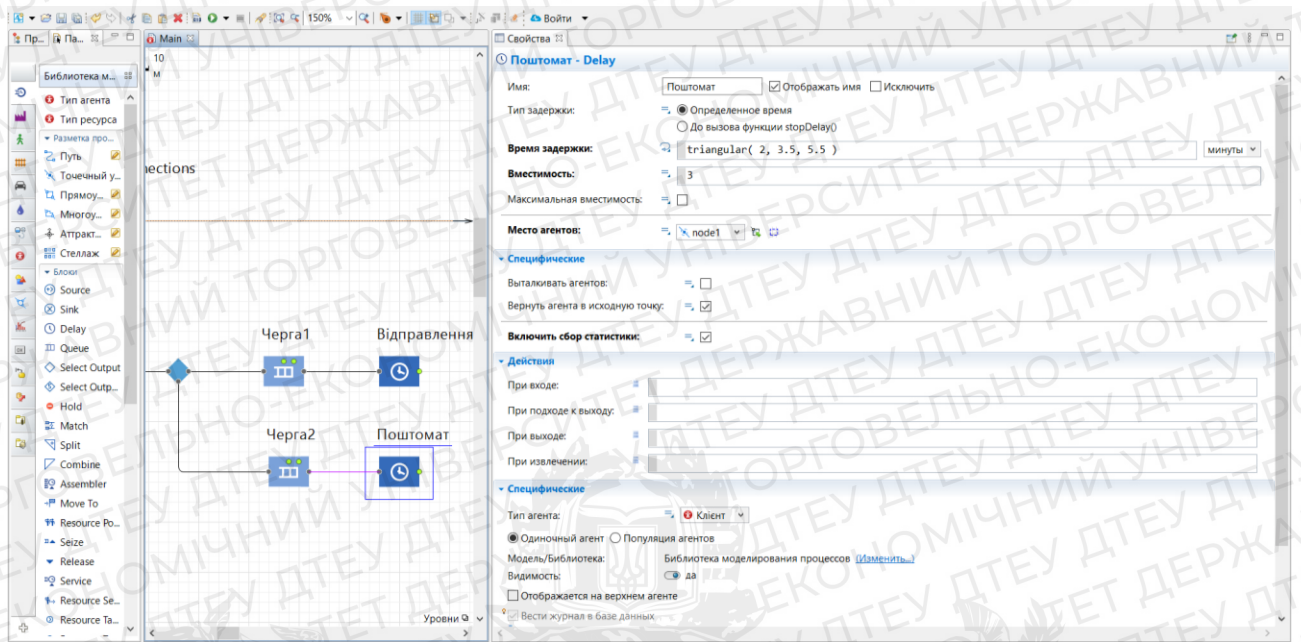


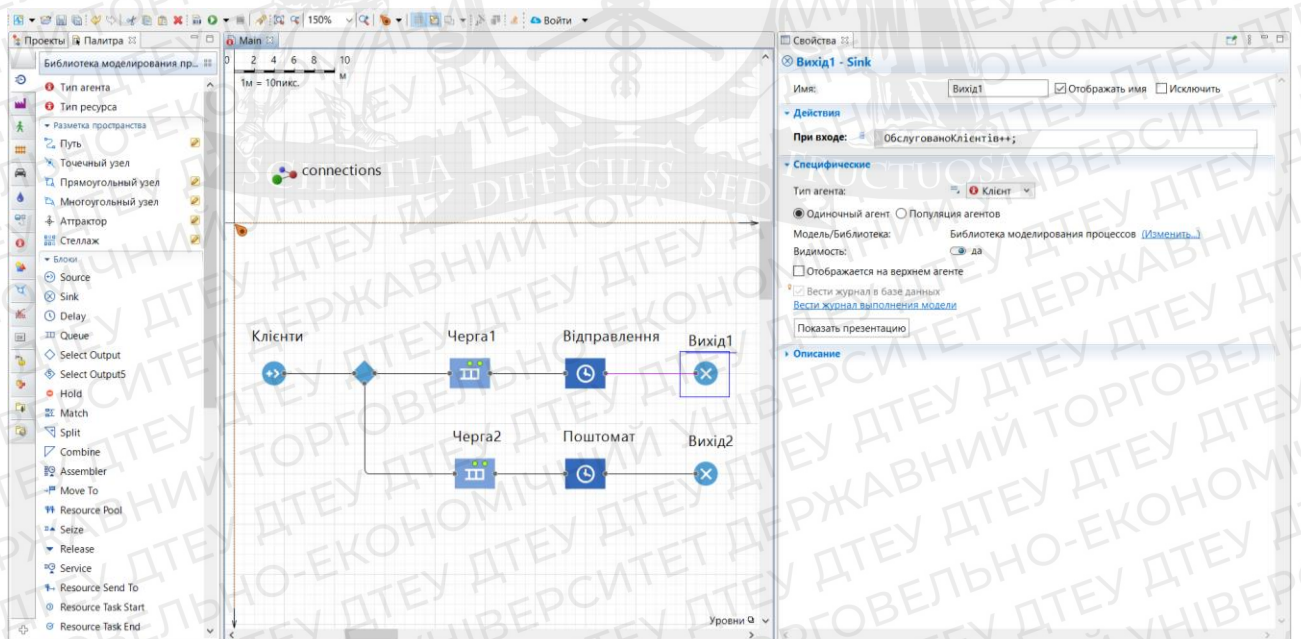
Рис. 3.7. Налаштування властивостей елемента «Місткість»





**Рис. 3.8.** Налаштування властивостей елемента «Поштомат»

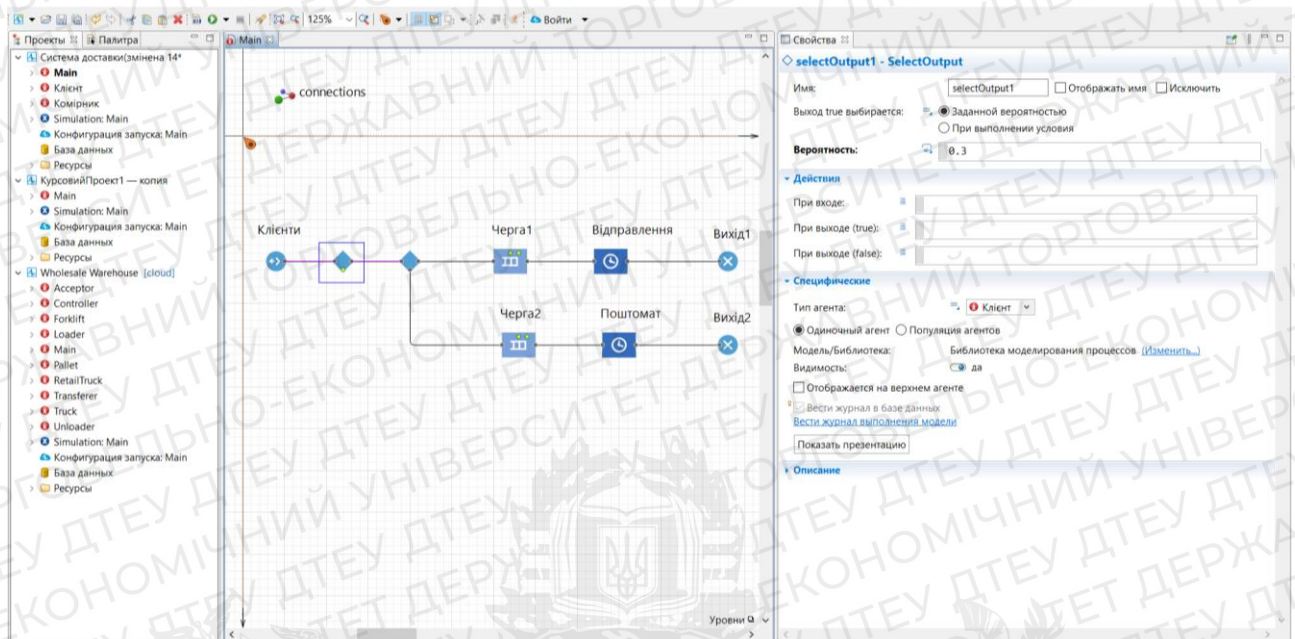
Для знищення агентів, що пройшли через діаграму моделі, використовуємо елемент «Sink». Задаємо даним блокам ім'я «Вихід1» та «Вихід2» (рис.3.9).



**Рис. 3.9.** Створення елементів «Sink»

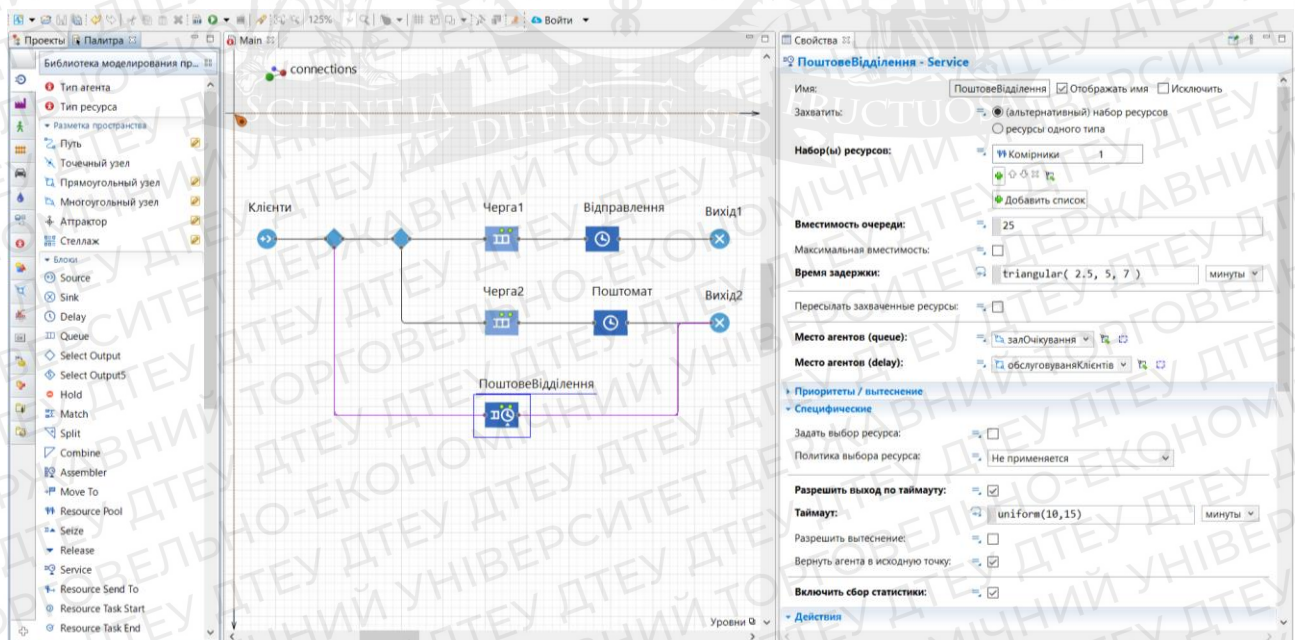
Додамо на початок нашої моделі другий елемент «SelectOutput», який буде розподіляти клієнтів з ймовірністю 70% до поштового відділення (рис.3.10).





**Рис. 3.10.** Створення додаткового елемента розподілу «SelectOutput»

Створимо елемент «Service», що захоплює для агента задану кількість ресурсів, затримує агента на відповідний час, після чого звільнює захоплені ресурси, для моделювання обслуговування клієнтів в поштовоному відділенні. З'єднаємо його з елементом «SelectOutput1» та виходом №2 (рис.3.11).



**Рис. 3.11.** Створення елемента «Service»

Називаємо елемент «Поштове Відділення». Задаємо місткість черги у кількості 25 клієнтів. Встановлюємо час затримки за допомогою функції « $\text{triangular}(2.5, 5, 7)$ » (одиниці модельного часу – хвилини).



Додатково створюємо комірників, що будуть обслуговувати клієнтів. Використовуємо елемент «ResourcePool», надаємо ім'я «Комірники» та встановлюємо кількість 4. У блоці «Поштове відділення» додаємо набір щойно створених ресурсів «Комірники».

Дозволяємо вихід по таймауту, який встановлюємо за допомогою команди «uniform (10,15)». Тобто, клієнт, дочекавшись від 10 до 15 хвилин, може покинути відділення пошти без обслуговування (рис.3.12).

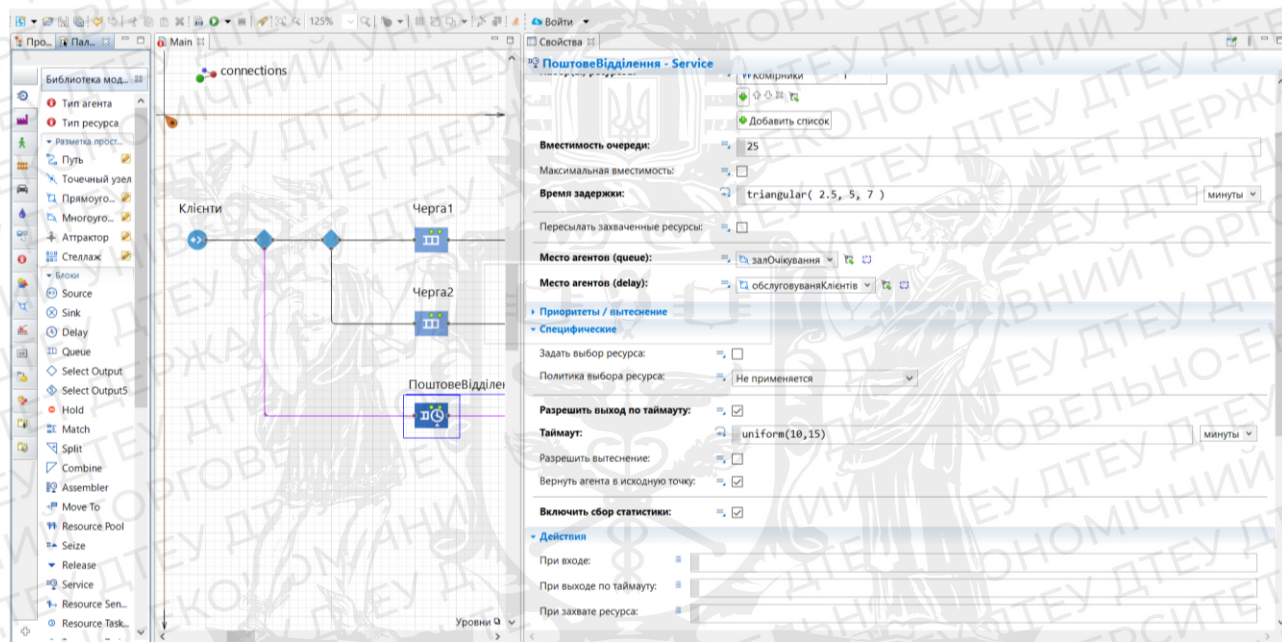
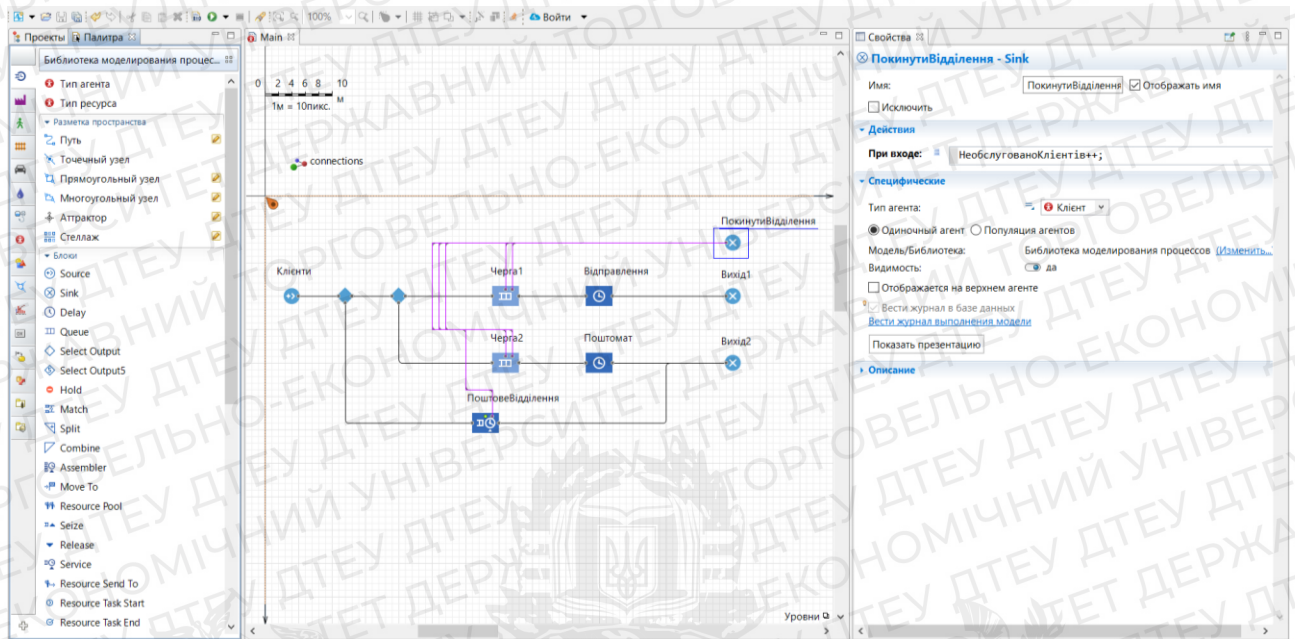


Рис. 3.12. Налаштування елемента «Service»

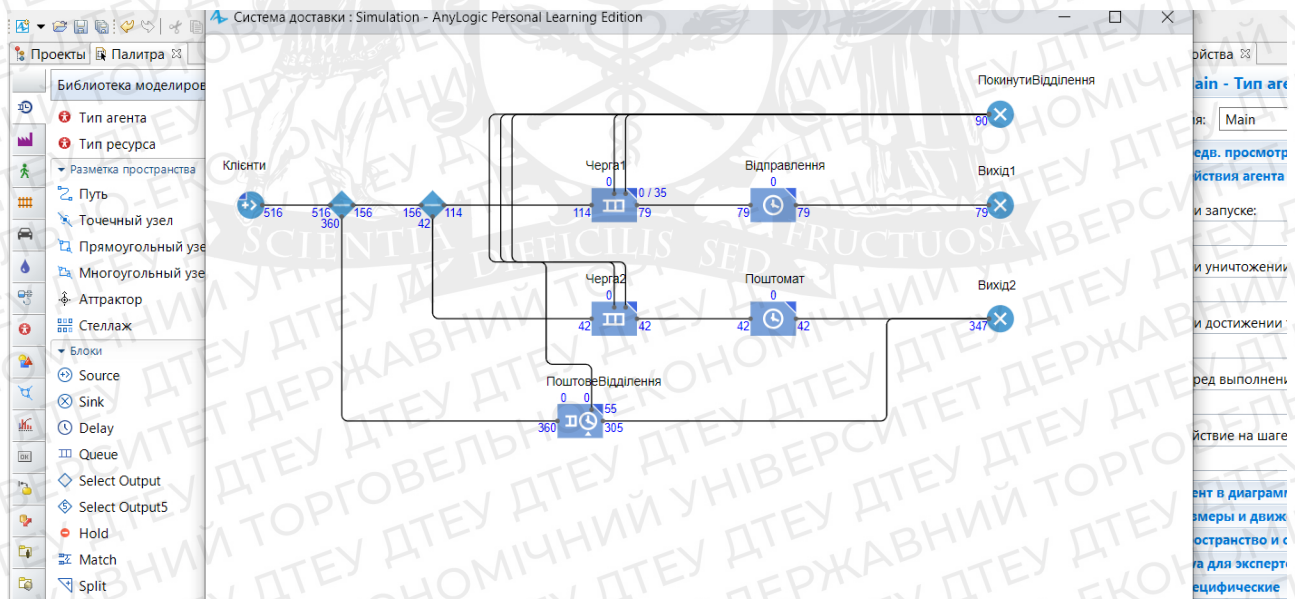
Для того, щоб клієнти могли покинути відділення пошти/зону відправлення/поштомат без обслуговування створимо додатковий елемент «Sink». Надамо йому назву «Покинути Відділення» та з'єднаємо відповідні порти в моделі (рис.3.13).



**Рис. 3.13.** Створення додаткового елемента виходу «Sink»

Процес моделювання системи в схематичному представленні завершено.

Запускаємо та перевіряємо роботу моделі (рис.3.14).



**Рис. 3.14.** Запуск моделі

Щоб продемонструвати роботу даної моделі наочно, зробимо 3D візуалізацію проекту.

Використовуючи бібліотеку моделювання процесів створюємо 2 шляхи за допомогою елемента «Path». Далі звертаємося до блоків «Черга1» та «Черга2», і задаємо місце агентів – «path» і «path1».



Для відтворення сектору відправлення та поштоводу додаємо точкові вузли «node». Повертаємося до раніше створених елементів «Відправлення» і «Поштомат», та відмічаємо у властивостях місце агентів – «node» і «node1».

Тепер створюємо агентів переміщенням блоку «Тип агента» на робочу область. У виниклому вікні задаємо ім'я агенту «Клієнт», налаштовуємо анімацію. Повертаємося до елементу «Source» та у вкладці «Агент», в якості нового агента, встановлюємо «Клієнт».

Для моделювання приміщень використовуємо прямокутний вузол. Формуємо три зони з іменами «Поштове Відділення», «Обслуговування Клієнтів», «Комірники». За допомогою атракторів, в кількості 4 елементів, задаємо місце знаходження агентів в зонах «Обслуговування Клієнтів» та «Комірники».

Повертаємося до блоку «Service» і налаштовуємо наступні властивості:

Місце агентів (queue): зал Очікування;

Місце агентів (delay): обслуговування Клієнтів.

Створюємо новий тип ресурсу «Комірник», налаштовуємо анімацію. В блоці «ResourcePool» задаємо ресурс в якості комірника.

Додаємо 3D вікно для візуалізації моделі в тривимірному просторі і перевіряємо роботу анімації (рис.3.15).

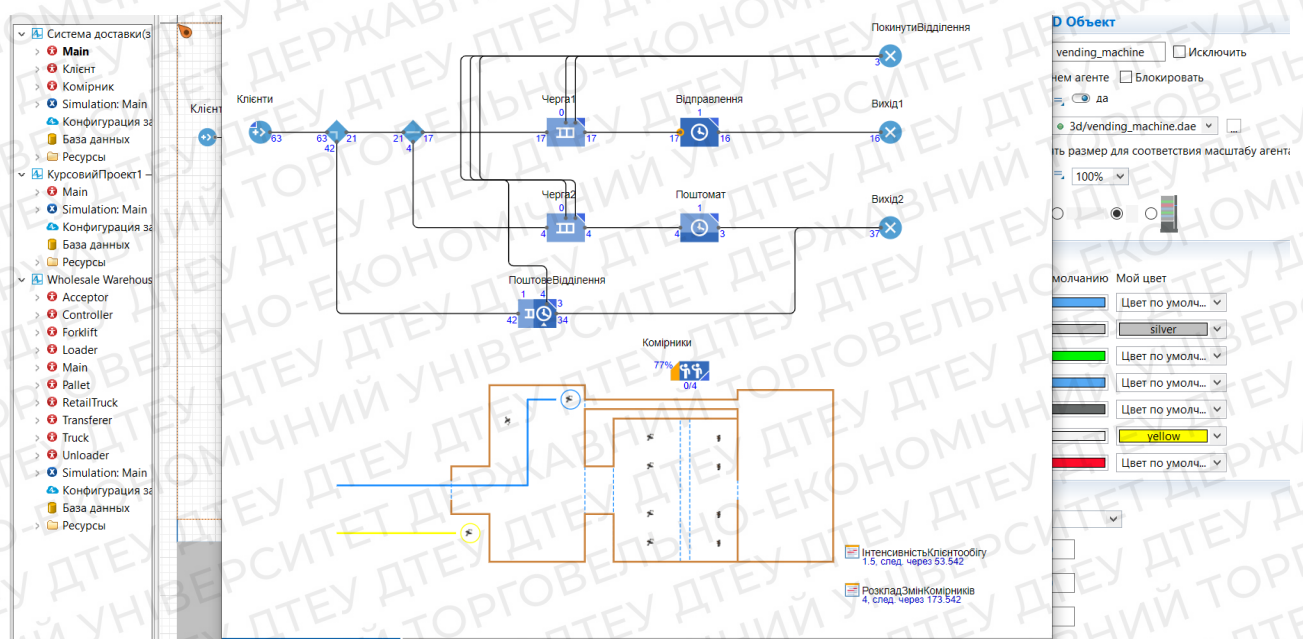


Рис. 3.15. Запуск анімаційної моделі

Побудуємо стіни для поштового відділення за допомогою блоку «Стіна» з бібліотеки «Розмітка простору». Обираємо колір «gainsboro» та висоту стіни 35. Також задаємо колір заливки підлоги «lightSlateGray».

Далі, використовуючи бібліотеку 3D об'єктів створюємо двері для входу/виходу з приміщення, додаємо двері, що ведуть на склад та для входу, через який буде здійснюватися отримання вантажу.

Біля парадного входу у відділення поставимо поштомат та лавицю для очікування.

На зону відправлення та видачі встановимо столи для зручного огляду посилок та комп'ютери для персоналу, піднявши елементи на відповідну висоту по осі z – 11.

У приміщенні складу створюємо селективні стелажі у кількості чотирнадцяти, що є найбільш економічним рішенням. Кількість полиць встановлюємо шість, а їх висоту 40 см. Задаємо колір полиць «paleGoldenRod» та колір рами «gray».

Перевіряємо вигляд анімаційної 3D моделі (рис.3.16).



**Рис. 3.16.** Готова анімація моделі

Залежно від часу доби може змінюватися і наплив клієнтів (табл.3.1.). Тож, створимо розклад інтенсивності прибуття клієнтів за допомогою елемента «Розклад». Вводимо наступні дані:

Ім'я: Інтенсивність надходження клієнтів;

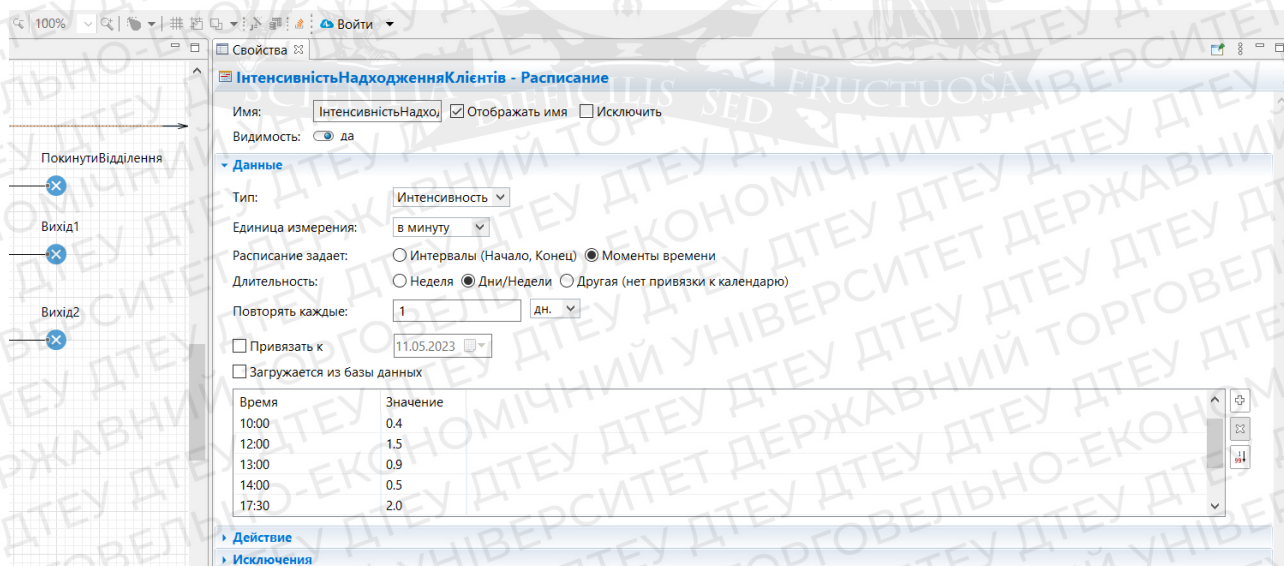


Тип: інтенсивність;  
 Одиниці вимірювання: у хвилину;  
 Розклад задає: моменти часу;  
 Тривалість: дні/тижні;

**Таблиця 3.1.** Інтенсивність надходження клієнтів

Час	Значення
9:00	0.2
10:00	0.4
12:00	1.5
13:00	0.9
14:00	0.5
17:30	2.0
19:00	0.5
19:40	0.2
19:55	0

Повертаємося до блоку «Source» і ставимо прибуття згідно розкладу інтенсивності. Переходимо в налаштування експерименту та налаштовуємо модельний час (рис.3.17).



**Рис. 3.17.** Створення розкладу інтенсивності надходження клієнтів

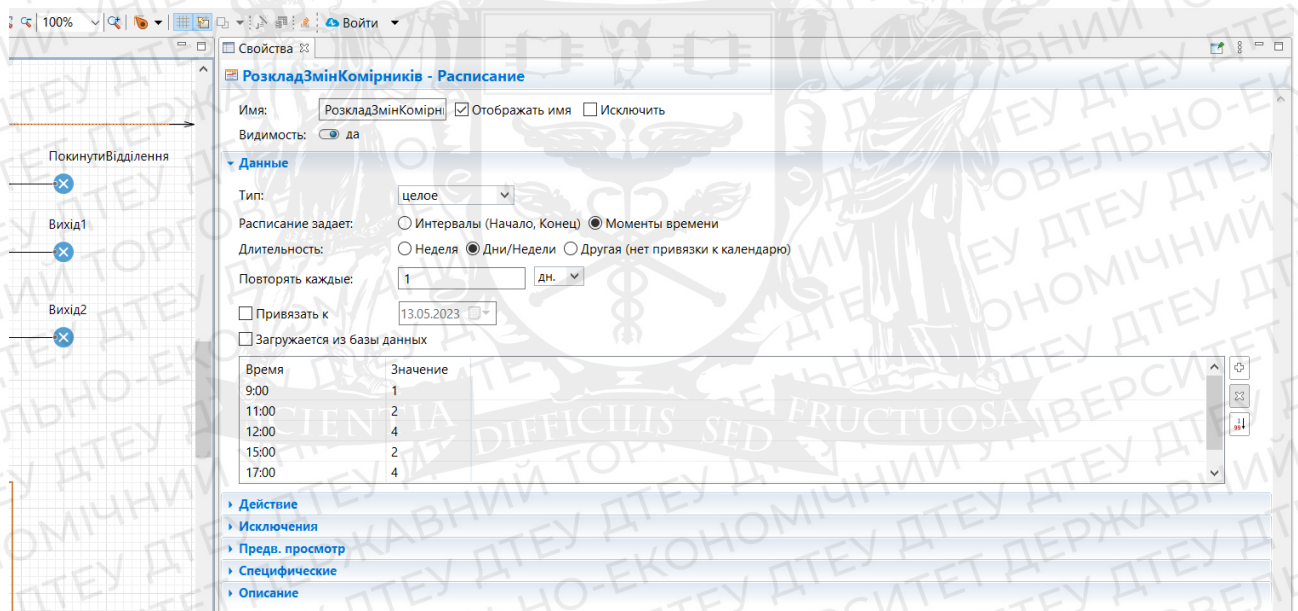
Додамо розклад змін комірників, щоб у пікові години обслуговування відбувалося чотирма комірниками, а в між пікові – двома. Задаємо назву – «Розклад змін комірників» (див. табл.3.2), змінюємо «Тип» на «Цілий»,

відмічаємо «Момент часу» та обираємо тривалість «Дні/Тижні». Далі вносимо наступні дані:

**Таблиця 3.2.** Розклад змін комірників

Час	Значення
9:00	1
11:00	2
12:00	4
15:00	2
17:00	4
19:20	2

Переходимо до елемента «ResourcePool» та обираємо задану кількість «Розкладом» (рис.3.18).



**Рис. 3.18.** Створення розкладу змін комірників

Проведемо аналіз створеної моделі. Додаємо стовпчикову діаграму, щоб дослідити середній час обслуговування в зоні відправлень та поштомати (рис.3.19). Налаштовуємо властивості діаграми:

Заголовок: Середній час обслуговування (відправлення);

Колір: dodgerBlue;

Значення: Відправлення.statsUtilization.mean().

Далі натискаємо на зелений знак плюс для того, щоб додати ще один елемент для відображення, і вносимо наступні дані:



Заголовок: Середній час обслуговування (поштомат);

Колір: yellow;

Значення: Поштомат.statsUtilization.mean().

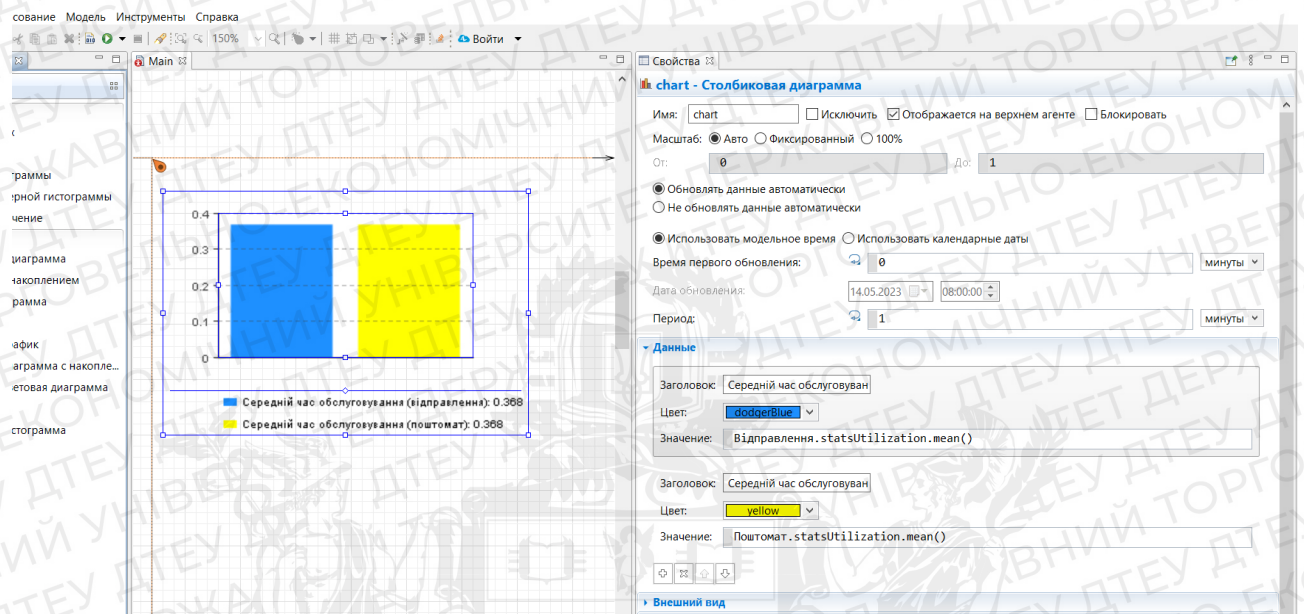


Рис. 3.19. Створення діаграми для з'ясування середнього часу обслуговування

Для збору статистики переходимо до елементів «Delay» та вмикаємо збір статистичних даних. Після зроблених маніпуляцій запускаємо модель і спостерігаємо за зміною діаграми (рис.3.20).

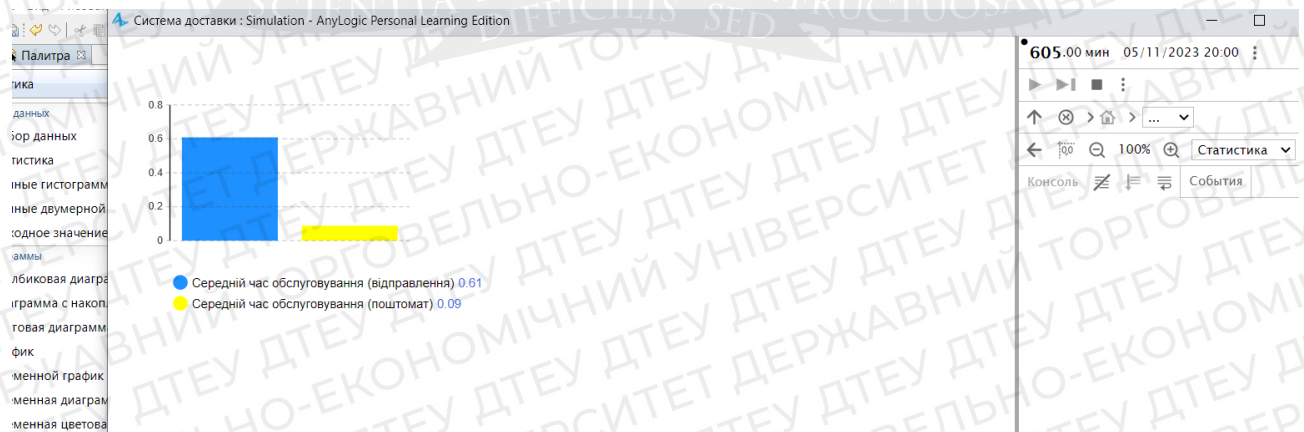


Рис. 3.20. Запуск діаграми середнього часу обслуговування

Додамо другу стовпчикову діаграму для дослідження середньої довжини черги на відправлення та поштомат (рис.3.21). Налаштовуємо властивості діаграми:

Заголовок: Середня довжина черги на відправлення;

Колір: dodgerBlue;

Значення: Черга1.statsSize.mean().

Натискаємо на знак плюс, додаючи ще один елемент для відображення, і вносимо наступні дані:

Заголовок: Середня довжина черги до поштомоту;

Колір: yellow;

Значення: Черга2.statsSize.mean().

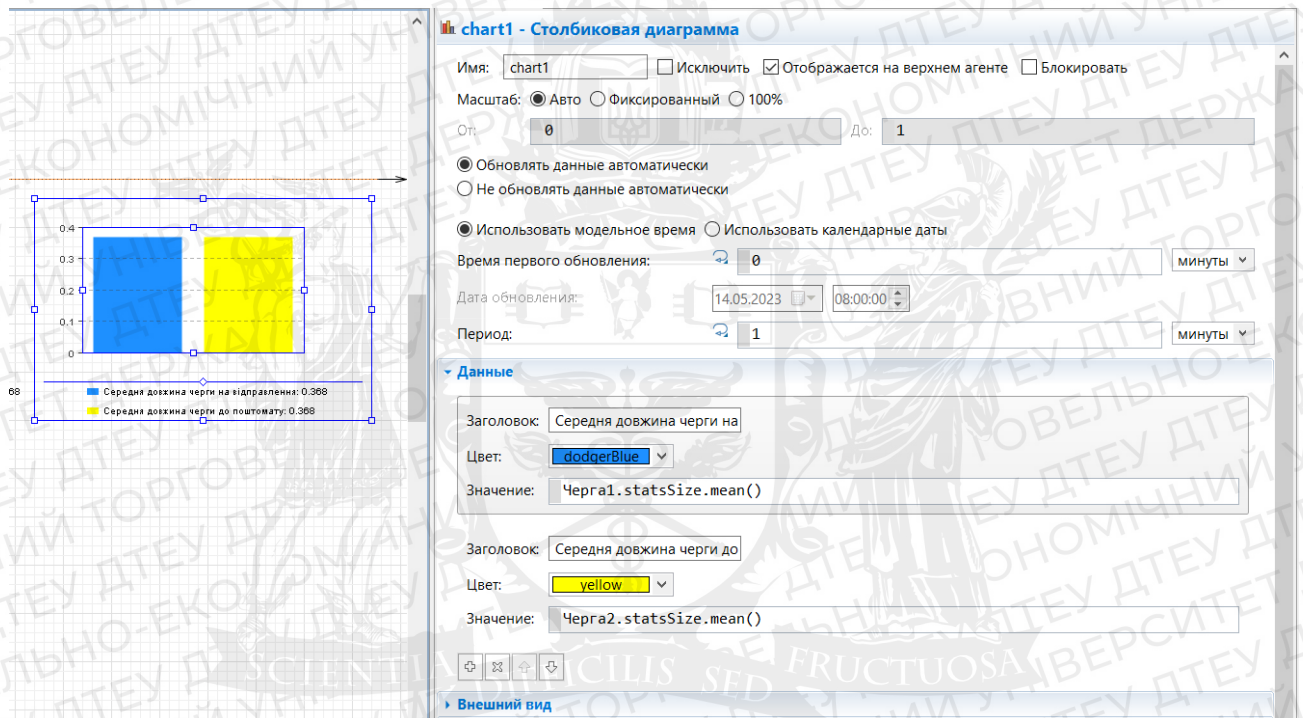


Рис. 3.21. Створення діаграми для з'ясування середньої довжини черги

Для збору статистичних даних переходимо до елементів «Queue» та вмикаємо збір статистики. Запускаємо модель і спостерігаємо за показниками діаграм (рис.3.22).

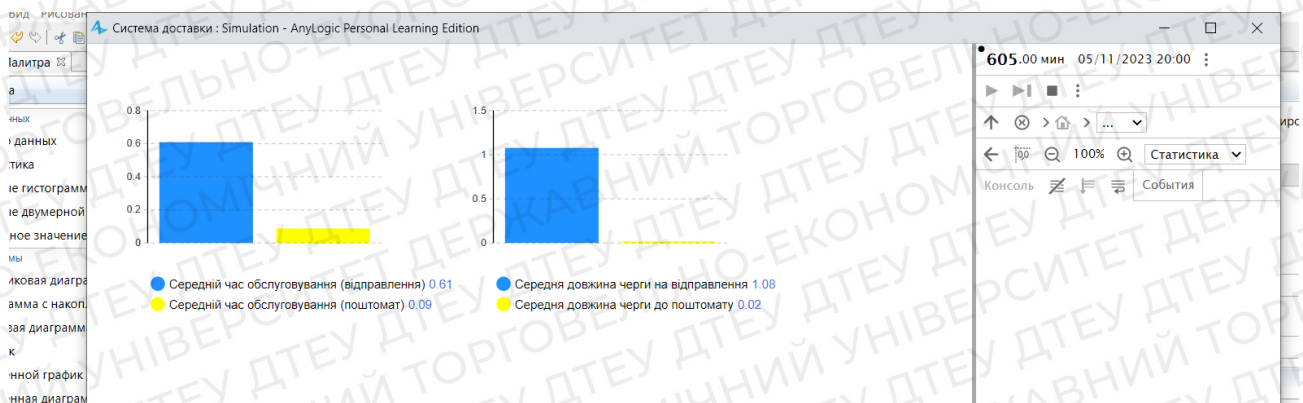


Рис. 3.22. Запуск діаграми середньої довжини черги



Також, для спостереження за динамікою обслуговування клієнтів створимо кругову діаграму (рис.3.23). У полі властивостей заповнюємо дані:

Заголовок: Обслуговано клієнтів;

Колір: lawnGreen;

Значення: Обслуговано Клієнтів.

Додаємо ще один елемент для обчислення:

Заголовок: Не обслуговано клієнтів;

Колір: tomato;

Значення: Не обслуговано Клієнтів.

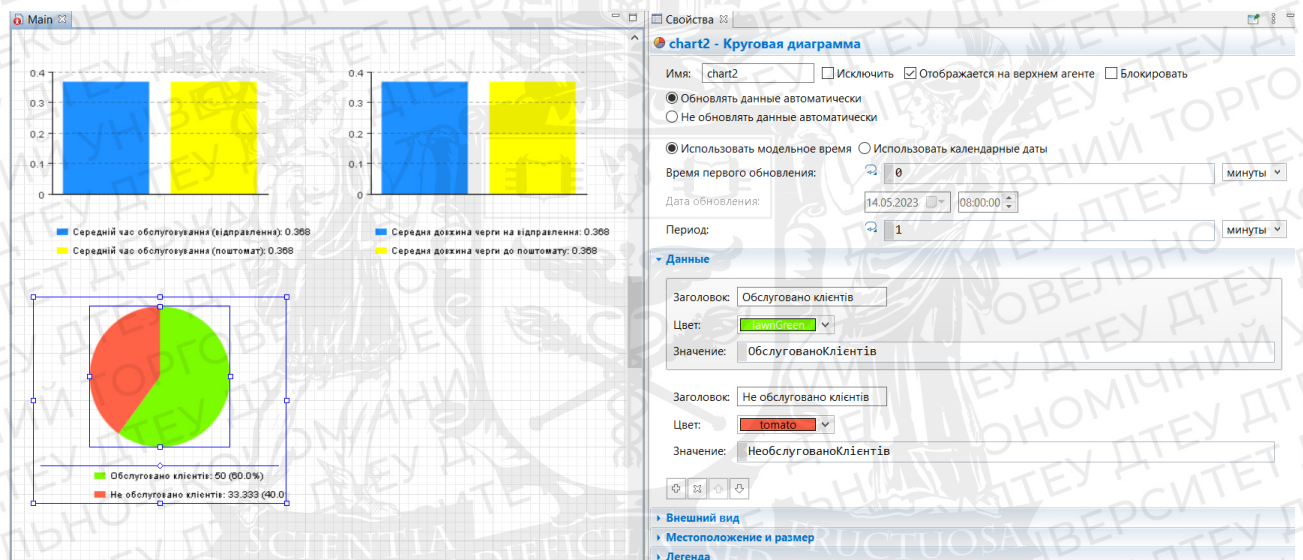


Рис. 3.23. Створення кругової діаграми обслуговування клієнтів

Створюємо параметри «Обслуговано Клієнтів» та «Не обслуговано Клієнтів». Підключаємо блоки «Вихід1» та «Вихід2» за допомогою дії при вході «Обслуговано Клієнтів ++;», і блок «Покинути Відділення» за допомогою «Не обслуговано Клієнтів ++;». Дана функція допоможе підраховувати кількість агентів покинувших «Sink» (рис.3.24).

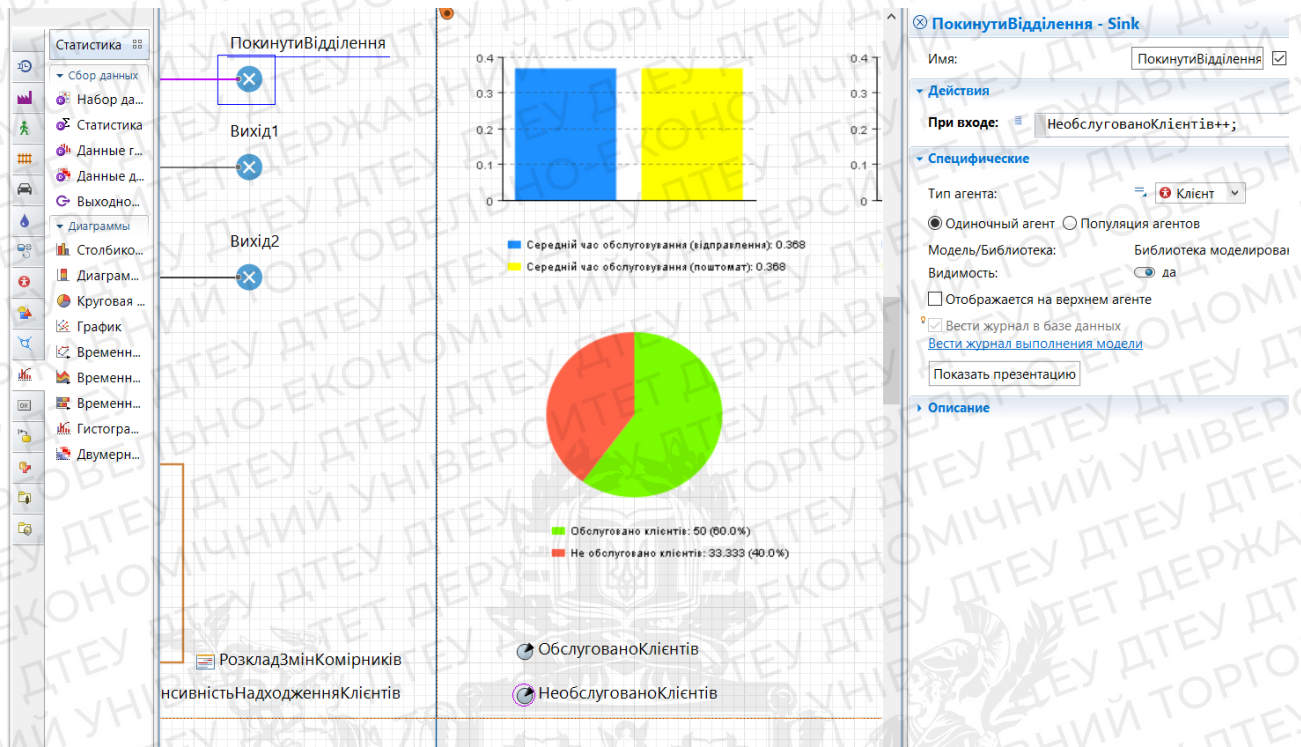


Рис. 3.24. Підключення параметрів до елементів «Sink»

Запускаємо та перевіряємо роботу кругової діаграми (рис.3.25).

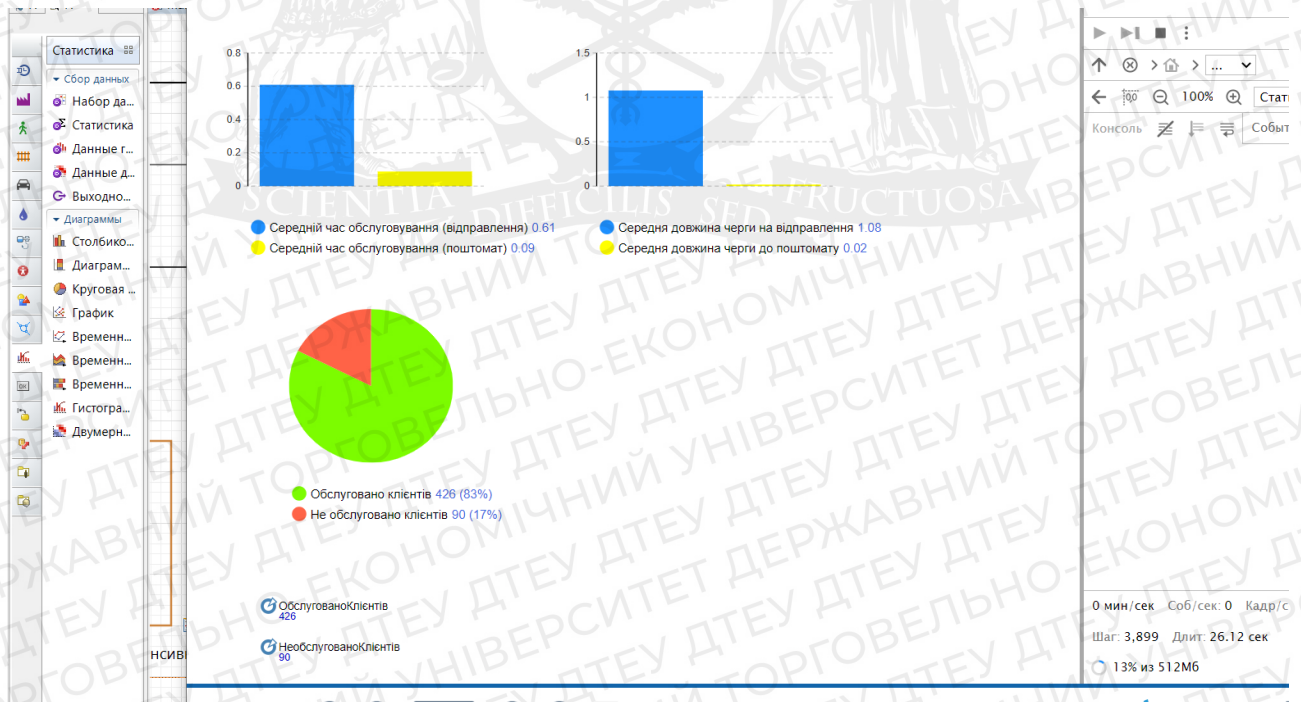


Рис. 3.25. Запуск кругової діаграми обслуговування клієнтів



### 3.3. Проведення оптимізаційного експерименту

Для проведення оптимізаційного експерименту на перевірку роботи за вказаними параметрами в імітаційній моделі, створеній в програмі AnyLogic, можна використовувати метод оптимізації.

Функціональні можливості AnyLogic Optimization Experiment дозволяють оптимізувати показники для вказаної метрики та автоматично проводити експерименти з різними параметрами.

Послідовність проведення оптимізаційного експерименту:

- 1) Вибір методу оптимізації. AnyLogic пропонує різноманітні методи оптимізації, такі як генетичний алгоритм, алгоритм імітації відпалу, метод рою часток і т.д. Вибір способу залежить від конкретного завдання та розміру моделі. Наприклад, для задач з обмеженими можливостями ефективніше використовувати алгоритм імітації відпалу, тоді як для великих моделей краще підійде генетичний алгоритм.
- 2) Визначення критеріїв оцінки. Оптимізаційний експеримент потребує визначення метрики для оцінки якості рішення. Показниками для оцінки можуть бути швидкість обслуговування клієнтів, час обробки замовлень або вартість доставки.
- 3) Визначення параметрів. Визначаються параметри, які потрібно оптимізувати. Наприклад, кількість робочих годин на складі, кількість комірників і т.д.
- 4) Налаштування експерименту. Встановлюються параметри експерименту, такі як кількість ітерацій, кількість поколінь для генетичного алгоритму, розмір популяції тощо. Задаються початкові значення та інтервали зміни параметрів.
- 5) Запуск експерименту. Провівши налаштування можна запустити експеримент. AnyLogic автоматично проведе оптимізацію, після чого збереже результати в окремому файлі.

б) Аналіз результатів. По завершенню експерименту проводиться аналіз отриманих результатів та обираються оптимальні значення параметрів.

Запускаємо імітаційну модель та спостерігаємо за поведінкою графіків та перебігом процесів в моделі в цілому (рис.3.26).

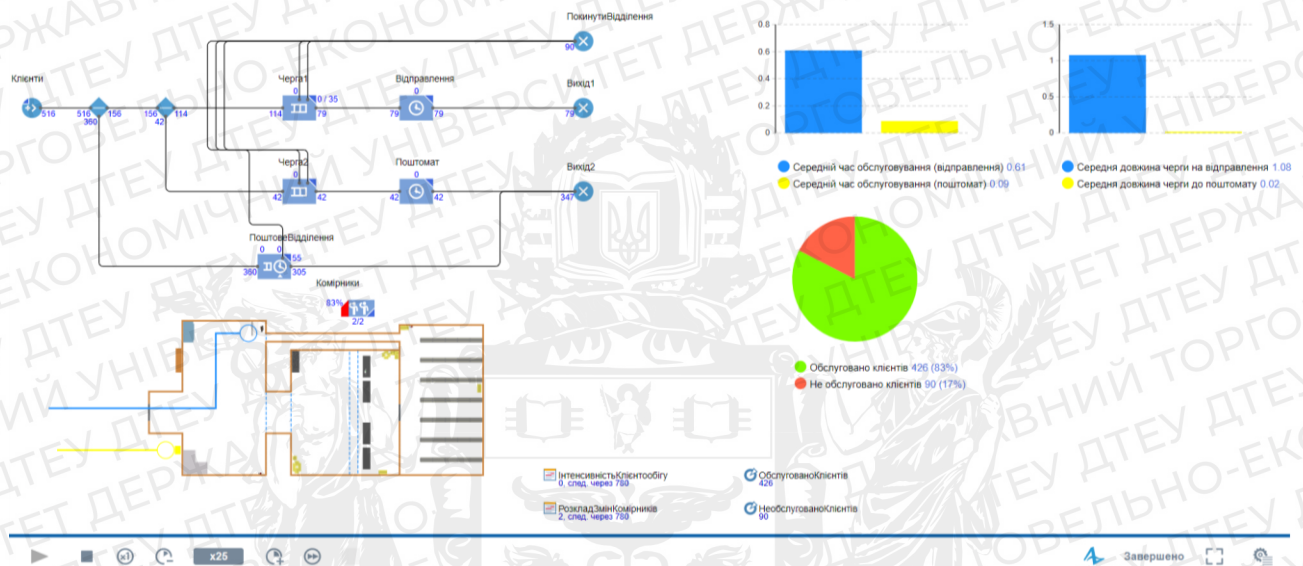


Рис. 3.26. Модель системи доставки. Поштове відділення

Бачимо, що на круговій діаграмі зображено великий відсоток клієнтів – 17%, що покинули відділення без обслуговування, не дочекавшись своєї черги. Втрата такої кількості клієнтів може серйозно вплинути як на фінансові показники, так і на рейтинг популярності компанії. Тож, використовуючи створену модель, можна зручно налаштувати необхідну кількість ресурсів для вирішення подібного роду проблеми.

За допомогою панелі розробника обираємо область «window3d» та спостерігаємо анімаційну версію імітаційної моделі (рис.3.27).





**Рис. 3.27.** Анімаційна модель поштового відділення

Імітаційну модель можна вважати адекватною, оскільки вона пройшла випробування на логічність вихідних результатів, налагоджена пропускна спроможність комірників, яка справляється з напливом клієнтів у пікові години, та повною мірою відповідає очікуваному розв'язку. Завдання дипломної роботи, що було поставлено, виконано, а отримані результати задовольняють поставлену мету – визначають тривалість обслуговування клієнтів комірниками у поштовому відділенні/поштоматі системи доставки. Як наслідок, досягнуті результати допоможуть забезпечити широкі можливості для вдосконалення бізнес-процесів, оскільки стали відомі слабкі ланки, за допомогою припрацювання яких можна зекономити важливі ресурси підприємства.

Спостереження за показниками тривалості очікування в чергах у відповідний проміжок часу до комірників/поштомату дає змогу обрати найліпші шляхи для оптимізації робіт.

Під час розробки випускної кваліфікаційної роботи було продемонстровано практичні навички аналізу систем на основі розробки і побудови імітаційної моделі. Завдяки моделюванню реальних процесів можна прослідкувати за

повним циклом роботи системи, та на основі отриманих результатів приймати управлінські рішення по вдосконаленню роботи підприємства.





## ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі представлено результати досліджень, спрямованих на розробку імітаційної моделі доставкового підприємства та покращення бізнес-процесів, що проходять у поштовому відділенні. У результаті проведеного дослідження були зроблені наступні висновки:

1) Для створення імітаційної моделі необхідно використовувати сучасні інформаційні технології та програмні засоби для імітаційного моделювання.

2) В ході проектування було створено імітаційну модель масової сервісної системи, яка дозволяє відтворити процес обслуговування клієнтів в чергах, що, в свою чергу, надасть змогу обрати найліпші шляхи для оптимізації робіт.

3) Випробування на логічність вихідних результатів, налагодження пропускнуєї спроможності комірників, яка справляється з напливом клієнтів у пікові години, показало, що модель є повністю адекватною та повною мірою відповідає очікуваному розв'язку.

4) Створено діаграми, які демонструють середню довжину черги до комірників/поштомоту, середній час обслуговування клієнтів та кількість клієнтів, яку було/не було обслуговано, що допоможе визначити показники, які потребують оптимізації.

На основі отриманих результатів під час моделювання, можна внести рекомендації, щодо вдосконалення системи та покращення роботи підприємства.

По-перше, кількість комірників має регулюватися відповідно до навантаження. Імітаційна модель продемонструвала, що збільшення кількості працівників та підвищення пропускнуєї спроможності скорочує час очікування на обслуговування для клієнтів, але надмірне задіяння працівників може призвести до марної трати ресурсів. Отже, регулюючи кількість співробітників залежно від навантаження, можна досягти оптимальної продуктивності.

По-друге, рекомендується відстежувати та аналізувати продуктивність системи для виявлення потенційних областей для покращення. Подальше

використання імітаційного моделювання та аналізу даних допоможе оптимізувати систему та зробити її ефективнішою, що, в подальшому, призведе до кращого обслуговування клієнтів та підвищення ефективності бізнесу.





## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Щербань В. Ю. Ресурсоощадні технології та обладнання швейної та текстильної промисловості: монографія: в 2 ч. Ч. 2 / Шляхи підвищення ефективності швейної та текстильної галузей України на базі новітніх технологій та управління / Параска Г. Б., Орловський Б. В. та ін. – К. : КНУТД, 2015. – 260 с.
2. Неруш В. Б. Імітаційне моделювання систем та процесів: Електронне навчальне видання. Конспект лекцій / В. В. Курдеча. – К.: НН ІТС НТУУ «КПІ», 2012. – 115 с.
3. Ширяєва С. В. Аналіз сучасного стану автомобільних і залізничних перевезень швидкопсувних вантажів в Україні / Конрад Т. І. // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – 2014. – Вип. 13(1). – С. 212–220. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal\\_2014\\_13%281%29\\_28](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2014_13%281%29_28).
4. Манорик Г. О. Аналіз зарубіжного досвіду управління логістичним забезпеченням електронної комерції підприємств / Манорик Г. О. // Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія : Міжнародні економічні відносини та світове господарство. - 2018. - Вип. 21(1). – С. 142-146. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuumevcg\\_2018\\_21\(1\)\\_32](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuumevcg_2018_21(1)_32).
5. Буй Т. Г. Розвиток електронної комерції як інструмент підвищення конкурентоспроможності українських компаній / Гаврилів І. Я. // Наукові записки НаУКМА. Економічні науки. – 2015. – Т. 172. – С. 8-14. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NaUKMAe\\_2015\\_172\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NaUKMAe_2015_172_4).
6. Теорія масового обслуговування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.academia.edu/26697420/ТЕОРІЯ\\_МАСОВОГО\\_ОБСЛУГОВУВАННЯ](https://www.academia.edu/26697420/ТЕОРІЯ_МАСОВОГО_ОБСЛУГОВУВАННЯ).
7. Кисельова М. В. Імітаційне моделювання систем у середовищі AnyLogic [Електронний ресурс] / Кисельова М. В. – 2009. – Режим доступу до

ресурсу:

[https://web.kpi.kharkov.ua/asu/wp-](https://web.kpi.kharkov.ua/asu/wp-content/uploads/sites/109/2021/11/GAMAYUN_126_MMAS.pdf)

[content/uploads/sites/109/2021/11/GAMAYUN\\_126\\_MMAS.pdf](https://web.kpi.kharkov.ua/asu/wp-content/uploads/sites/109/2021/11/GAMAYUN_126_MMAS.pdf).

8. Леонтьев О. Б. Засоби імітаційного моделювання, як інструмент синтезу структури інженерно-авіаційної служби авіаційних частин та підрозділів [Електронний ресурс] / Паращенко Т. В. // Системи озброєння і військова техніка. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt\\_2018\\_2\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2018_2_16).
9. Лупенко С. А. Теоретичні основи моделювання та опрацювання циклічних сигналів в інформаційних системах / Лупенко С. А. – Львів: Видавництво "Магнолія 2006", 2016. – 344 с.
10. Бондар М. В. Моделювання систем масового обслуговування засобами ANYLOGIC / Степова С. В. // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2016. – № 4(1). – С. 100-103. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu\\_ekon\\_2016\\_4\(1\)\\_19](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_ekon_2016_4(1)_19).
11. Елементи теорії масового обслуговування. Основні поняття. Класифікація СМО. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://stud.com.ua/80822/ekonomika/elementi\\_teoriyi\\_masovogo\\_obsługovuvan\\_nya](https://stud.com.ua/80822/ekonomika/elementi_teoriyi_masovogo_obsługovuvan_nya).
12. Паламарчук Л. І. Супутникова система моніторингу автомобільного транспорту [Електронний ресурс] / Паламарчук Л. І. // Національний авіаційний університет. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/56352>.
13. Соколовський Я. І. Моделювання систем в середовищі GPSS World : навч. посіб. / Соколовський Я. І., Шабатура Ю. В, Виклюк Я. І. [та ін.] ; за ред. Пасічника В. В. – Львів : «Новий Світ – 2000», 2020. – 288 с.
14. Бахрушин В. Є. Математичні основи моделювання систем: навчальний посібник для студентів. – Запоріжжя: Класичний приватний університет, 2009. – 224 с.
15. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: навчальний посібник / [В. Б. Толубко, А. Д. Кожухівський, В. В. Вишнівський та ін.]. –



Київ, 2018. – 175 с.

16. Кушнір Ю. Організація ефективного процесу доставки вантажів в розподільчій системі на основі імітаційного моделювання / Кушнір Ю., Уткін Г., Тесленко В., Халіпова Н. // ГРААЛІ НАУКИ. – 2022. – №11. – С. 266–75.
17. Сутність імітаційного моделювання процесів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studies.in.ua/mpd-ekzamen/3173-sutnst-ntacynogo-modelyuvannya-procesv.html>.
18. Пакування та зберігання товарів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://elearn.nubip.edu.ua/mod/book/tool/print/index.php?id=315087>.
19. Соколовська З. М. ANYLOGIC – Універсальне середовище імітаційного моделювання економічних систем / Соколовська З. Н. // Одеський національний політехнічний університет. – 2017. – С. 7–12.
20. Стеценко І. В. Моделювання систем: навчальний посібник / Стеценко І. В. – Черкаси: Черкаський державний технологічний університет, 2010. – 399 с.
21. Гамаюн І. П. Моделювання систем: навчальний посібник / Гамаюн І. П., Чередніченко О. Ю. – Харків : Факт, 2015. – 228 с.
22. Боїв В. Д. Імітаційне моделювання систем [Електронний ресурс] / Боїв В. Д. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: [https://stud.com.ua/163945/informatika/osnovni\\_ponyattya\\_sistem\\_masovogo\\_obslugovuvannya](https://stud.com.ua/163945/informatika/osnovni_ponyattya_sistem_masovogo_obslugovuvannya).
23. Рахімі Я. Нечітка мережева модель та методи інформаційного підтримування повних ланцюгів постачання товарів бакалійної групи : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.06 "інформаційні технології" / Рахімі Я. – Черкаси, 2021. – 181 с.
24. Моделі обслуговування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://nmetau.edu.ua/file/03\\_3.3\\_lbr\\_gr\\_rbr\\_.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/03_3.3_lbr_gr_rbr_.pdf).
25. Братушка С. М. Імітаційне моделювання як інструмент дослідження складних економічних систем / Братушка С. М. // Вісник Української академії банківської справи. – 2009. – №2 (27). – С. 113-118.

26. Запорожець О. І. Транспортна екологія: навчальний посібник / [Запорожець О. І., Бойченко С. В., Матвеева О. Л. та ін.]; за заг. редакцією Бойченка С. В. – К.: НАУ, 2017. – 507 с.
27. Unified Modeling Language [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Unified\\_Modeling\\_Language](https://uk.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language).
28. Гамаюн І. П. Аналіз та моделювання проблемно-орієнтованих програмних систем: навчальний посібник / [Гамаюн І. П., Чередніченко О. Ю., Єршова С. І. та ін.] – Харків : ФОП Черняк Л. О., 2019. – 179 с.
29. Соколовська З. М. Діагностика інвестиційних проектів на базі багатопідходного імітаційного моделювання [Електронний ресурс] / Соколовська З. М. // Одеський національний політехнічний університет. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: [https://economics.net.ua/files/science/ek\\_kiber/2016/3.pdf](https://economics.net.ua/files/science/ek_kiber/2016/3.pdf).
30. Поняття систем масового обслуговування (СМО), їх призначення. Основні елементи СМО. Приклади СМО. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://um.co.ua/8/8-17/8-178414.html>.