

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова**

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра комп'ютеризованих систем управління
(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри

 Черно О.О.

«_18_» _____12_____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

**за спеціальністю 174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»**

ОПП – «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика»

на тему: **Система візуалізації керованого функціонування**

мобільного робота

Виконав

студент 6 курсу, **6341м** групи

Якубець К.В. 
(прізвище та ініціали)

Керівник

Герасін О.С. 
(прізвище та ініціали)

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ННІ автоматики та електротехніки
Кафедра комп'ютеризованих систем управління
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 174– «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
ОПП «Комп'ютеризовані системи управління і автоматика»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри КСУ
Черно О.О.
« » 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Якубець Костянтин Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Система візуалізації керованого функціонування мобільного робота

керівник роботи Герасін Олександр Сергійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "14" жовтня 2025 р. № 1217-уч

2. Строк подання роботи 08.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи розробити засоби програмної візуалізації процесів функціонування колісного і гусеничного роботів у середовищі Unreal Engine, передбачити засоби моделювання керуючих дій оператора

4. Мета дослідження полягає в розробці програми-симулятора для проведення попередніх тестів та моделювань функціонування мобільних роботів під керуванням оператора

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (основні задачі дослідження)

Огляд загальних питань візуалізації робототехнічних систем

Створення базових компонентів системи візуалізації

Реалізація засобів керування у запропонованій системі та розробка користувацького інтерфейсу

Реалізація інтелектуальних засобів керування в обраній системі візуалізації

Моделювання функціонування мобільного робота

Охорона праці та наукопобудовного середовища

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Основні завдання кваліфікаційної роботи

Середовище для моделювання

Карта навколишнього середовища та 3D-моделі мобільних роботів

Схема керування гусеничним роботом

Користувацький інтерфейс

Головне меню

Результати моделювання мобільних роботів

Майбутні покращення

Висновки

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці та навколишнього середовища	Герасін О.С., доцент каф. КСУ	25.11.2025	01.12.2025

Дата видачі завдання: « 01 » _____ 09 _____ 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Огляд загальних питань візуалізації робототехнічних систем	15.09.2025	виконано
	Створення базових компонентів системи візуалізації функціонування мобільного робота	29.09.2025	виконано
	Реалізація засобів керування у запропонованій системі та розробка користувацького інтерфейсу	20.10.2025	виконано
	Реалізація інтелектуальних засобів керування в обраній системі візуалізації	17.11.2025	виконано
	Моделювання функціонування мобільного робота під керуванням оператора	24.11.2025	виконано
	Охорона праці та навколишнього середовища	01.12.2025	виконано
	Оформлення пояснювальної записки	05.12.2025	виконано

Студент


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

Якубець К.В.

(прізвище та ініціали)

Герасін О.С.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка програми симулятора для проведення попередніх тестів та моделювань функціонування мобільних роботів під керуванням оператора.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, шести основних розділів та їх підрозділів, висновку та списку використаних джерел. Перший розділ містить аналіз предметної області, а саме огляд класифікації мобільних роботів, їх принципів функціонування та сучасних середовищ для моделювання. Другий розділ присвячено розробці базових компонентів системи візуалізації, створенню моделей мобільних роботів та карти для випробувань. Третій розділ описує реалізацію користувацького інтерфейсу для оператора та створення підказок для пришвидшення розуміння улаштування симулятора. В четвертому розділі розглянуто способи реалізації інтелектуального управління роботами та створення інтерактивних перешкод. В п'ятому розділі виконано тестування створеної системи та аналіз результатів функціонування мобільних роботів.

Для забезпечення безпеки і зручності роботи персоналу були розглянуті питання з охорони праці, техніки безпеки та охорони навколишнього середовища.

Обсяг кваліфікаційної роботи становить 113 сторінок, 74 рисунки, 4 таблиці та 15 використаних джерел.

Ключові слова: Unreal Engine, візуалізація, моделювання, мобільний робот, симулятор, тестування.

ABSTRACT

The purpose of the qualification work is to develop a simulator program for conducting preliminary tests and simulations of the functioning of mobile robots under operator's control.

Qualification work consists of an introduction, six main sections and their subsections, a conclusion and references. The first section contains an analysis of the subject area, namely an overview of the classification of mobile robots, their principles of functioning and modern environments for modeling. The second section is devoted to the development of basic components of the visualization system, the creation of models of mobile robots and maps for testing. The third section describes the implementation of the user interface for the operator and the creation of tips to speed up the understanding of the simulator. In the fourth chapter, methods of implementing intelligent robot management and creating interactive obstacles. In the fifth section, testing of the created system and analysis of the results of the functioning of mobile robots are performed.

Health and safety issues were addressed to ensure the safety and convenience of staff, also deals with environment protection.

The volume of the qualification work is 113 pages, 74 figures, 4 tables, 15 used sources.

Key words: Unreal Engine, visualization, modeling, mobile robot, simulation, testing.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЗАГАЛЬНИХ ПИТАНЬ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РОБОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	10
1.1. Класифікація роботів	10
1.2. Принципи функціонування мобільних роботів.....	14
1.3. Базові алгоритми пошуку шляху.....	16
1.4. Сучасні середовища для моделювання поведінки роботів	21
Висновок за розділом 1	26
РОЗДІЛ 2. СТВОРЕННЯ БАЗОВИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА	27
2.1. Аналіз вимог на розробку та вибір програмного середовища для візуалізації	27
2.2. Побудова карти за допомогою засобів вбудованої геометрії.....	27
2.3. Розробка складових моделі мобільного робота	35
2.3.1. Створення конструкції.....	36
2.3.2. Розробка моделі системи ручного керування мобільним роботом	37
Висновок за розділом 2	43
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОРИСТУВАЦЬКОГО ІНТЕРФЕЙСУ У ЗАПРОПОНОВАНІЙ СИСТЕМІ МОДЕЛЮВАННЯ	44
3.1. Створення інтерфейсу оператора	44
3.1.1. Встановлення базових параметрів.....	44
3.1.2. Візуалізація поточного стану мобільного робота.....	49
3.1.3. Встановлення параметрів для інтерактивних перешкод.....	50
3.2. Налаштування початкового екрану та вікна з вибором виду мобільного робота.....	51
3.3 Розробка підказок для навчання операторів	53
Висновок за розділом 3	55
РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ В ЗАПРОПОНОВАНІЙ СИСТЕМІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ	56
4.1 Способи реалізації інтелектуальних засобів керування роботів.....	56
4.2 Створення інтелектуальних засобів керування роботами.....	62
4.3 Розміщення інтерактивних перешкод	66
Висновок за розділом 4	71

РОЗДІЛ 5. МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА ПІД КЕРУВАННЯМ ОПЕРАТОРА.....	72
5.1. Тестування роботи системи та виправлення недоліків	72
5.2. Визначення основних технічних параметрів функціонування мобільного робота.....	74
5.3. Аналіз результатів для різних видів мобільних робіт	76
Висновок за розділом 5	78
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	79
6.1. Шкідливий вплив різних факторів на організм людини	80
6.2. Шкідливий вплив електронних обчислювальних машин	81
6.3. Вимоги до охорони праці під час роботи за персональним комп'ютером	88
6.4. Засоби зменшення шкідливого впливу різних факторів	97
6.5. Охорона навколишнього середовища	104
Висновок за розділом 6	109
ВИСНОВКИ.....	110
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	112

ВСТУП

Час, коли винайшли перший паровий двигун, а згодом і електроенергетику, змінив плин життя людей в сторону розвитку автоматизації ручної праці та зменшення годин коли було необхідно працювати власноруч. З покращенням технологій та розвитком науки, людство дійшло до думки створити собі «помічників», яких згодом почали називати «автономні роботи».

Саме значення слова «автономний» містить не тільки інформацію що робот складається з батареї, центрального процесору для обчислень та запрограмованих «поведінкових» звичок, а й з великої кількості інших частин. За даними компанії Steels [1, с. 112], автономність – це можливість створювати власні правила там, де вже існують поєднання правил що мають певний зміст. Для роботів, на відміну від людей, існують певні складнощі для задач переміщення чи прокладання шляху. Основна відмінність в тому, що люди використовують свої природні розумові здібності для вирішення таких задач, і тому при аналізі поставлених проблем можуть визначити їх складність як «прості».

За останні десятиліття широкого розповсюдження набувають різні підходи зі сфери комп'ютерних наук для покращення власної роботи, найбільшого впливу зазнала сфера робототехніки. Так як адаптація до зовнішніх умов потребує різних форм, датчиків, сенсорів та ефективних алгоритмів, то роботи повинні мати змогу до прийняття розумних рішень.

Основною проблемою робототехніки є різноманітність зовнішнього середовища, що спричиняє великі складнощі для пересування роботів. Для прикладу промислові чи навіть житлові приміщення мають вельми просте планування, яке майже не ускладнює пошук оптимального шляху. Як наслідок, розробники мають брати до уваги різні варіації навколишнього середовища та реалізовувати нові, більш універсальні системи, що допоможуть розширити сферу застосування їх виробу.

Однак, велика частина розробників зіштовхуються з другою проблемою – чим вища якість параметрів робота, тим набагато більші необхідні затрати. Таке співвідношення виникає через процес багатоетапної розробки робота, для якого

необхідні варіативні знання з різних спеціалізацій. Основними є: алгоритми для переміщення, інженерна частина, навігація, отримання інформації про середовище та набагато більше. Як наслідок виникає вимога у створенні спеціального симулятора робота для проведення моделювань та оцінки результатів роботи певних створених алгоритмів без втрати великої частини бюджету на відновлення.

Саме тому дана кваліфікаційна робота спрямована на створення такої програми-симулятора для проведення попередніх тестів та моделювань функціонування мобільних роботів. Результати роботи дозволять зробити крок вперед для актуального на сьогоднішній день питання: «Як зменшити виробничі витрати для перевірки результативності функціонування мобільних роботів».

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) проаналізувати вимоги на розробку та створити базові компоненти системи візуалізації функціонування мобільного робота;
- 2) реалізувати засоби керування у запропонованій системі візуалізації;
- 3) провести моделювання процесу функціонування мобільного робота.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЗАГАЛЬНИХ ПИТАНЬ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РОБОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

1.1. Класифікація роботів

Розподіл роботів здійснюється за ключовими критеріями, що визначають їхню категорію. Перши і найважливішим із них є призначення, тобто область застосування, яка дозволяє поділити роботів на дві основні групи. Зі зростанням кількості сфер, у яких вони застосовуються, постійно розширюється і перелік їхніх типів, сформованих відповідно до основних напрямів використання.

На сьогодні найбільш поширеним типом роботів є промислові, які використовуються в різних галузях промисловості та становлять приблизно 80% від загальної кількості роботів у світі. Водночас промислові роботи поділяються на численні підтипи, що мають вузькоспеціалізоване призначення, зокрема: роботи для фарбування, зварювання, транспортування, обслуговування верстатів, пресів, ливарного обладнання тощо.

Залежно від характеру виконуваних операцій, промислові роботи класифікуються на дві основні групи: технологічні, що виконують основні виробничі процеси, та допоміжні, призначені для здійснення допоміжних операцій, пов'язаних з обслуговуванням обладнання. Технологічні роботи входять до складу основного технологічного устаткування, тоді як допоміжні можуть розглядатися як елементи систем автоматизації виробництва.

Залежно від кількості операцій, які робот здатен виконувати, виділяють три основні типи: Спеціальні, спеціалізовані та універсальні.

Спеціальні роботи призначені для виконання однієї конкретної задачі. Спеціалізовані роботи здатні виконувати обмежене коло однотипних задач. А універсальні забезпечують виконання як основних, так і допоміжних операцій у межах своєї технічної конфігурації. Підвищення універсальності робота розширює спектр цього можливого застосування, однак, це як правило супроводжується зниженням ефективності при виконанні конкретних завдань [2, с. **Ошибка! Закладка не определена.**].

З точки зору ефективності найбільш доцільними є спеціальні роботи, але їхня вузька спеціалізація обмежує сферу використання, що у свою чергу, зменшує попит і масштаби їхнього виробництва.

Окрім функціонального призначення, роботів часто класифікують за конструктивними ознаками. До таких належать: тип приводу, вантажопідйомність, кількість маніпуляторів, тип і параметри робочої зони, рухомість, спосіб встановлення, а також конструктивні особливості, пов'язані з їхнім функціональним призначенням. Розглянемо ці показники детальніше.

Приводи, що застосовуються у системах переміщення роботів та їхніх маніпуляторах, класифікуються на пневматичні, гідравлічні та електричні. У більшості випадків використовуються їх комбінації. Наприклад для підняття важких вантажів у ланках маніпулятора зазвичай використовуються гідравлічні приводи, тоді як у захватному механізмі - пневматичні.

Вантажопідйомність робота визначається, передусім, можливостями його маніпуляторів, а у випадку транспортних роботів – також характеристиками шасі. Вантажність маніпулятора визначається максимальною масою об'єкта, яку він може переміщувати, і вона може варіюватися від кількох грамів до декількох тонн, залежно від призначення пристрою. Наприклад, існують як надлегкі роботи для використання в мікроелектроніці, так і надважкі – для промислових або космічних застосувань.

У більшості конструкцій роботів передбачено лише один маніпулятор, проте, відповідно до функціонального призначення, можуть розроблятися моделі з двома, трьома або навіть чотирма маніпуляторами. Зазвичай вони мають однакову конструкцію, хоча й трапляються варіанти з різнотипними виконавчими механізмами. Наприклад для обслуговування пресів холодного штампування використовуються роботи оснащені двома різними маніпуляторами: основний відповідає за захоплення заготовки та її розміщення в пресі, тоді як другий, спрощеної конструкції, виконує операцію переміщення готового виробу до зони подальшої обробки [2, с. **Ошибка! Закладка не определена.**].

Робоча зона маніпулятора визначає просторову область, у межах якої робот здатен виконувати необхідні маніпуляції без зміни власного положення. Інакше кажучи, це простір, у якому може розміщуватись виконавчий орган маніпулятора в усіх можливих конфігураціях його ланок. Форма цієї зони залежить від обраної системи координат, у якій здійснюється переміщення, а також від кількостей ступенів рухливості.

Рухливість робота обумовлюється наявністю системи пересування. Якщо така система присутня, то робот класифікується як мобільний, інакше – як стаціонарний. Вибір типу пересування визначається сферою застосування: це можуть бути колісні або гусеничні шасі для переміщення по твердих поверхнях, а також спеціалізовані платформи для пересування у воді, під землею, у повітрі чи навіть у космічному просторі. У сфері робототехніки також виділяють крокуючий спосіб пересування, який має низку специфічних особливостей.

За способом розташування, роботи можуть бути: підлоговими, підвісними (зокрема, мобільні роботи, що пересуваються рейковими шляхами, закріпленими над робочою зоною), вбудованими в інше обладнання (наприклад, у верстати, які вони обслуговують).

Виконання робота за умовами експлуатації залежить від навколишнього середовища, у якому він має функціонувати. Існують роботи у звичайному виконанні, пилозахисному, теплозахисному, вологозахисному, вибохозахисному тощо.

За способом управління роботів класифікують на роботів з програмним керуванням, роботів з адаптивним керуванням та роботів з інтелектуальним керуванням. Рух окремих ступенів свободи може бути безперервним або дискретним. У дискретному режимі задається фіксована кількість точок (позицій), між якими робот переміщується кроками без контролю траєкторії між ними. Найпростішим видом дискретного керування є циклове, де передбачено лише дві позиції – початкову та кінцеву [2, с. **Ошибка! Закладка не определена.**].

Ще одним важливим критерієм є точність рухів та швидкодія, які тісно взаємопов'язані й визначають динамічні характеристики роботизованої системи.

Швидкодія маніпулятора визначається максимальною швидкістю переміщення робочого органу. В залежності від цього параметра виділяють такі діапазони:

- малий – де лінійні швидкості досягають 0,5 м/с;
- середній – де лінійні швидкості збільшуються від 0,5 до 1-3 м/с;
- високий – при більших швидкостях (3-9 м/с);
- найбільший – швидкість маніпуляторів досягає 10 м/с й вище.

Для більшості застосувань цей параметр є критично важливим, оскільки прямо впливає на продуктивність. Водночас, зі збільшенням швидкості часто виникає протиріччя з точністю, що ускладнює оптимізацію роботи.

Точність маніпулятора та системи переміщення робота в цілому визначається результуючою похибкою позиціонування (у випадку дискретного руху) та відхиленням від заданої траєкторії (у випадку безперервного керування). Переважно точність характеризується абсолютною лінійною похибкою, для якої виділяють такі діапазони:

- малий – коли лінійна похибка складає > 0.1 мм;
- середній – коли похибка в діапазоні 0,1...1 мм;
- високий — за найменшої лінійної похибки.

На відміну від людської руки, яка завдяки поділу рухів на «грубі» (швидкі) та «точні» забезпечує високу точність навіть на великій швидкості, роботи часто демонструють зниження точності при збільшенні швидкодії [2, с. **Ошибка! Закладка не определена.**].

1.2. Принципи функціонування мобільних роботів

Системи живлення та утримання на поверхні, приводи переміщення чи сенсори аналізу навколишнього середовища, система керування і технологічне оснащення, усе це – основні частини загальної картини робота.



Рис. 1.1 – Загальна структура підсистем мобільних роботів

Апаратною реалізацією системи керування зазвичай виступає спеціалізований контролер або деякий скрипт, що завантажують у процесор. Вона зв'язує нижчі рівні абстракції з вищим, отримує інформацію про стан робота та передає відповідні команди та завдання [3, с.112].

Використовуючи сенсорні системи робот може отримувати відомості про топологію робочого простору, який можна відобразити у декартовій (X, Y, Z) або сферичній (R, β, γ) системах координат, де точки на відстані R можуть бути досягнені виконавчими органами робота за кутів повороту β і γ . Таким чином робот отримує інформацію про своє оточення та стан.

За допомогою різноманітних датчиків можна досягти максимальної ефективності та точності орієнтації. Прикладами є ультразвукові далекоміри, які використовуються для вимірювання відстані до перешкод, звичайні камери для

візуального розпізнавання маркерів або об'єктів та інфрачервоні датчики для визначення теплових джерел. Проте необхідно брати до уваги такі вимоги як точність і надійність, також слід згадати про область застосування роботи. Так як отриману з датчиків інформацію треба оброблювати то ключовим елементом є певні алгоритми, які також використовуються для управління роботом і складають собою систему орієнтації. Система візуальної навігації та позиціонування є одним з таких алгоритмів. Принцип роботи дуже простий – дана система оброблює інформацію про навколишнє середовище [4, с.112].

Сенсорні датчики є найменш енергозатратними серед усіх частин роботи, система керування також у цій категорії. В свою чергу система для утримання на поверхні та приводи переміщення вимагають найбільших енергетичних витрат, в деяких випадках пристрої технічного оснащення також використовують джерело живлення роботи. Збільшення загальної маси роботи впливає на необхідну потужність механізмів, які утримують роботу на поверхні для переміщення. Тому виникає потреба у великій кількості енергії для підтримання працездатності роботи, зазвичай рішенням є використання автономного джерела живлення що може покрити усі витрати енергії. Перевагу, у цій сфері, мають мобільні роботи, які, зазвичай використовують акумулятори з обмеженим ресурсом або природні джерела живлення.

Інша категорія пристроїв та приводів для утримання роботи на поверхні переміщення, вони необхідні для того щоб втримувати роботу у нормальному положенні та діє під керуванням системи зчеплення. Найбільш поширені типи таких пристроїв є вакуумними або механічними, також слід згадати про електро-магнітні, електричні та на основі адгезії, існують також інші типи. При динамічних навантаженнях, такі пристрої мають витримувати силу гравітації та власну вагу роботи.

Зазвичай у мобільних роботах ефективніше використовувати електроприводи. Вони мають можливість до гнучкого програмування та меншу масу, проте точність в них трохи нижча ніж у пневматичних чи гідроприводах.

Трансмisiю робота обирають в залежності від системи приводів яка й відповідає за рух елементів робота, іншим критерієм є система координат (декартова, сферична, ангулярна чи циліндрична) та рельєф поверхні переміщення [3, с.112].

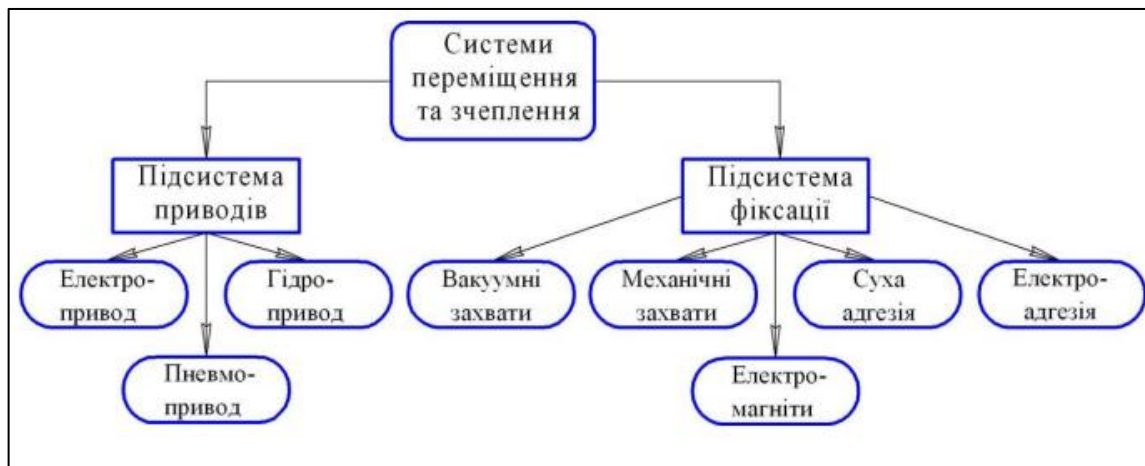


Рис. 1.2 – Структура підсистем переміщення та зчеплення

1.3. Базові алгоритми пошуку шляху

Під час симуляції функціонування робота має місце реалізація певних засобів для допомоги роботу щоб самостійно дістатися до заданої точки для виконання свого завдання чи при зменшенні ресурсів до критичної точки. Через це увагу приділяють системі пошуку шляху, яка знаходить найоптимальніший маршрут від поточного місцезнаходження до назначеної позиції на карті. На сьогоднішній день існує велике різноманіття реалізованих систем які мають назву «алгоритми пошуку оптимального шляху». Тож, далі розглянемо найбільш відомі алгоритми:

1. A* (А-стар).

Одним з найбільш відомих алгоритмів пошуку оптимального шляху, який був розроблений в 1968 році Полом Хартон, Нільсом Нільсоном і Бертрамом Рафаселем як модифікація алгоритму Дейкстри є алгоритм A*. Він вийшов не дуже складним для розуміння та імплементації до систем.

Прораховуючи цінність шляху для кінцевої точки, цей алгоритм знаходить шлях який є найоптимізованишим і має найменшу відносну цінність. З кожним

кроком він прямує вперед до цілі за найменшою евристичною оцінкою, відкладаючи групу з послідовних секторів шляху. Висока точність алгоритму обумовлюється тим, що він записує вже прораховані клітини та складає найкоротший маршрут. Базовий принцип роботи цього алгоритму базується на наступній формулі:

$$\mathbf{F}(\mathbf{x}) = \mathbf{G}(\mathbf{x}) + \mathbf{H}(\mathbf{x}), \quad (1.1)$$

де x – це сектор поточного місцезнаходження, $G(x)$ – дистанція з початкової клітини до x , а $H(x)$ – евристична функція, що оцінює вартість найдешевшого шляху з x до фінальної точки (рис. 1.3). Кожен сектор отримує загальну оцінку F , за допомогою якої і буде побудований найоптимальніший маршрут [2, с.112].



Рис. 1.3 – Робота алгоритму А-стар з позначеннями обрахованих F, G та H.

Також, при виконанні алгоритму, дозволяється рухатися не тільки вперед-назад та вліво-вправо, а й по діагоналях. Переміщення по горизонталі чи вертикалі оцінюється в 10 умовних одиниць, а інші – в 14. Числа 10 і 14 були обрані з огляду на те, що в звичайній реалізації алгоритму ці значення дорівнюють 1 та 1.414 (діагональ клітини що рівна квадратному кореню з 2), тому відповідно це зроблено для спрощення та пришвидшення обрахунків [5, с.112].

2. Алгоритм Дейкстри.

Алгоритм Дейкстри — ефективний метод пошуку найкоротшого шляху в зваженому графі з невід’ємними вагами ребер. Він був розроблений нідерландським вченим Едсгером Дейкстрою у 1959 році та використовується для знаходження найкоротших шляхів від однієї вихідної вершини до всіх інших або до конкретної цільової вершини. Він працює покроково, кожного разу обираючи вершину з найменшим відомим шляхом та оновлюючи відстані до інших.

Цей алгоритм широко використовується в навігаційних системах (наприклад, GPS для пошуку найкоротших маршрутів), мережевих маршрутизаторах (протокол OSPF для маршрутизації в інтернеті), та штучному інтелекті (для пошуку оптимальних шляхів у іграх або логістичних завданнях).

Проте він не працює з графами, що містять від’ємні ваги ребер (оскільки алгоритм припускає, що вже знайдений шлях є найкоротшим, що не завжди справедливо у випадку з від’ємними вагами).

Таким чином, алгоритм Дейкстри є одним із найбільш ефективних методів для знаходження найкоротших шляхів у графах, особливо у випадках, коли всі ваги ребер невід’ємні.

3. Пошук в ширину (Breadth-First-Search, BFS);

Пошук у ширину є одним із фундаментальних алгоритмів обходу графів і відомий як неінформований пошук, оскільки він не використовує жодної додаткової інформації про відстань до цілі чи можливу вигідність певних маршрутів.

Основний принцип роботи алгоритму полягає в послідовному дослідженні всіх вершин графа на одному рівні перед переходом до наступного рівня. Це здійснюється за допомогою черги за принципом FIFO (First In, First Out), яка дозволяє алгоритму поступово розширювати область пошуку у всіх можливих напрямках. BFS гарантує знаходження найкоротшого шляху (за кількістю ребер) у графі без ваг, що робить його надзвичайно корисним у багатьох завданнях.

Наприклад генерація процедурних карт, аналіз потоків та розповсюдження чи побудова карт відстаней (рис. 1.4).

Головними перевагами BFS є його гарантоване знаходження оптимального рішення в графах без ваг та проста реалізація. Проте основний недолік – висока вимога до пам'яті, оскільки алгоритм зберігає всі вузли поточного рівня перед переходом до наступного, що може бути неефективним у великих або густо з'єднаних графах.

4. Пошук в глибину (Depth-First-Search, DFS).

Пошук у глибину (Depth-First Search, DFS) — це один із основних методів обходу графа, який працює за принципом просування «вглиб» графа, доки це можливо, а коли подальший рух стає неможливим, алгоритм повертається назад і шукає альтернативні шляхи.

Основний механізм роботи DFS полягає у використанні стеку (принцип LIFO – Last In, First Out), що дозволяє алгоритму рекурсивно заглиблюватися у структуру графа (рис. 1.4). У процесі виконання алгоритм позначає відвідані вершини та ребра, щоб уникнути повторного відвідування [5, с.112].

Цей алгоритм широко використовується в багатьох сферах, зокрема: пошук шляхів у графі, перевірка зв'язності графа, обхід деревоподібних структур і т.д.

Основними його перевагами є:

- DFS працює з меншими вимогами до пам'яті порівняно з пошуком у ширину (BFS), оскільки зберігає лише шлях до поточної вершини.
- У багатьох випадках DFS працює швидше за BFS, особливо якщо рішення розташоване глибоко в графі.
- Простота реалізації як у рекурсивному, так і в ітеративному варіанті.

Недоліки:

- DFS не гарантує знаходження найкоротшого шляху у незважених графах (на відміну від BFS).

- У глибоких або нескінченних графах може виникнути проблема зациклення, якщо алгоритм не позначає відвідані вершини.

- Може бути неефективним для пошуку в графах із великою глибиною, оскільки може заглибитися в довгий нерелевантний шлях.

Таким чином, DFS є потужним алгоритмом для обходу графа, але його ефективність залежить від конкретної задачі та структури графа.

5. Жадібний алгоритм (Greedy).

Жадібний алгоритм – це метод пошуку оптимального рішення задачі, яка містить велику однорідну структуру даних. Його основний принцип полягає в тому, що на кожному кроці алгоритм обирає найбільш вигідний варіант із доступних, спираючись на локальну оптимальність у надії отримати глобально оптимальне рішення [5, с.112].

Головною перевагою такого алгоритму є його простота, швидкодія та ефективність у багатьох практичних випадках. Однак недоліком є те, що він не завжди знаходить глобально оптимальне рішення, оскільки орієнтується лише на локальну вигоду, і тому не завжди може дати найкращий можливий результат.

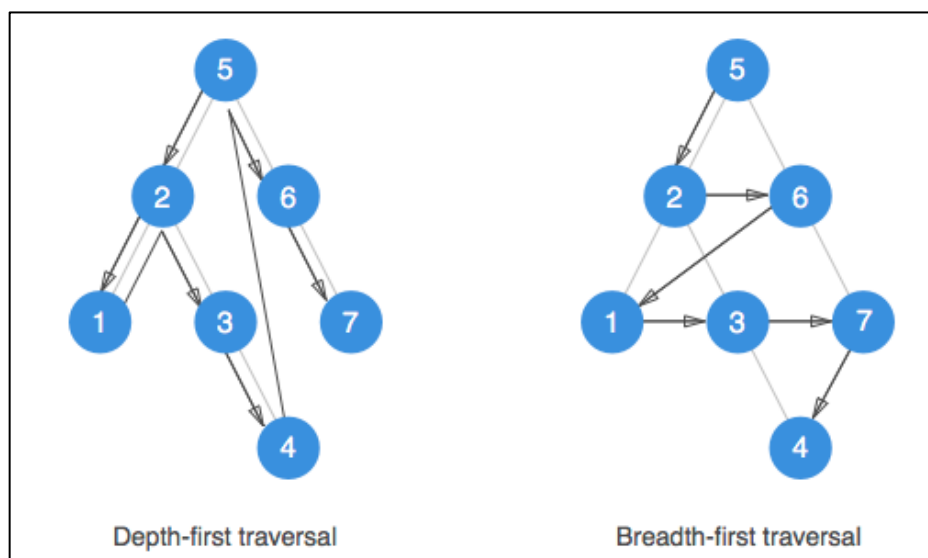


Рис. 1.4 – Ілюстрація роботи алгоритмів пошуку в глибину та ширину

1.4. Сучасні середовища для моделювання поведінки роботів

У сучасну епоху математичні моделі стають дедалі складнішими, і їх реалізація без використання комп'ютерів або вбудованих контролерів є практично неможливою. Для цього було розроблено безліч програмних засобів і середовищ моделювання, таких як MathCad, MatLab, Mathematica, Maple, Derive, VisSim, Genius та інші. Ці інструменти суттєво спрощують процес математичного моделювання, дозволяючи ефективно вирішувати поставлені завдання.

Щоб максимально ефективно використовувати обчислювальні ресурси, необхідно ще на ранніх етапах вибрати найбільш відповідний програмний пакет для вирішення конкретної задачі. Адже кінцева мета полягає не в самому обчисленні, а в отриманні правильного та оптимального рішення.

Наприклад, при дослідженні систем автоматичного регулювання або розв'язанні математичних задач чисельного аналізу найкраще підходить програмне середовище Matlab, яке містить широкий набір предметно-орієнтованих бібліотек (toolbox) та інструмент візуального моделювання Simulink. Matlab також має розвинуті можливості програмування, що дозволяє створювати складні математичні алгоритми та автоматизувати процеси моделювання [6, с.112].

Для візуалізації результатів моделювання у Matlab передбачена бібліотека Image Processing Toolbox, яка містить широкий спектр функцій для обробки зображень, аналізу даних та побудови графіків безпосередньо в середовищі Matlab.

Іншим пакетом є MathCad. На відміну від потужного Matlab, який орієнтований на високопродуктивні обчислення та аналіз даних, він є, скоріше, редактором математичних текстів із широкими можливостями символьних обчислень. MathCad не має повноцінної мови програмування, а його функціонал у сфері символьних обчислень частково запозичений із пакета Maple. Водночас, MathCad вирізняється зручним інтерфейсом і простотою використання: всі обчислення виконуються у формі візуального запису математичних виразів, що робить його доступним для користувачів без глибоких знань у програмуванні. Хоча MathCad поступається за можливостями таким системам, як Maple, Mathematica,

Matlab, він залишається корисним інструментом для розв'язання менш складних математичних задач та створення структурованих документів із розрахунками [6, с.112].

Окрім суто математичних пакетів, у сфері моделювання активно застосовуються 3D-середовища, які використовуються для розробки віртуальних середовищ та симуляцій. До найвідоміших серед них належать кросплатформні ігрові рушії, такі як: Unity, Unreal Engine, Godot, CryEngine та багато інших.

Оскільки тематика роботи безпосередньо пов'язана з використанням ігрових рушіїв, далі буде розглянуто два найпопулярніші з них: Unity та Unreal Engine, які є провідними інструментами для створення тривимірних віртуальних світів та інтерактивних симуляцій.

Першим розглянемо рушій Unity. Це потужне кросплатформенне середовище розробки ігор, створене компанією Unity Technologies. Воно дозволяє розробляти додатки для понад 25 різних платформ, зокрема персональних комп'ютерів, ігрових консолей, мобільних пристроїв, віртуальної та доповненої реальності та навіть вбудованих систем.

Однією з ключових переваг Unity є гнучкість та зручність розробки. Завдяки підтримці Drag & Drop для багатьох елементів інтерфейсу користувач може легко налаштувати редактор під власні потреби. Проекти в Unity можуть містити одну або кілька сцен, які можуть змінюватися під час виконання програми. У кожній сцені розміщуються ігрові об'єкти у вигляді 3D-моделей або як порожні об'єкти, що використовуються для логічних операцій чи керування [7, с. 112].

У Unity використовується компонентна система, що дозволяє легко налаштовувати поведінку об'єктів. Кожен ігровий об'єкт може містити різні компоненти, які можна додавати, змінювати або видаляти. Наприклад, Rigidbody додає фізичні властивості, такі як гравітація та маса, Collider визначає форму об'єкта для взаємодії з фізичним середовищем, Light додає джерела світла, а AudioSource відповідає за відтворення звуків. Розробники також можуть створювати власні компоненти, написані мовою C#, шляхом створення класу, який успадковує

MonoBehaviour. Це дозволяє визначати індивідуальну поведінку об'єктів у грі, керувати їхнім рухом, обробляти події тощо.

Кожен об'єкт у сцені має кілька важливих характеристик: назву, яка повинна бути унікальною для коректної взаємодії між об'єктами; тег (Tag), що дозволяє групувати об'єкти для зручного доступу через код; шар (Layer), який використовується для визначення, як об'єкти взаємодіють між собою (наприклад, що бачить камера або на що впливають фізичні ефекти); а також компонент Transform, який є обов'язковим для всіх об'єктів і містить їх позицію, обертання та масштаб у просторі (рис. 1.5).

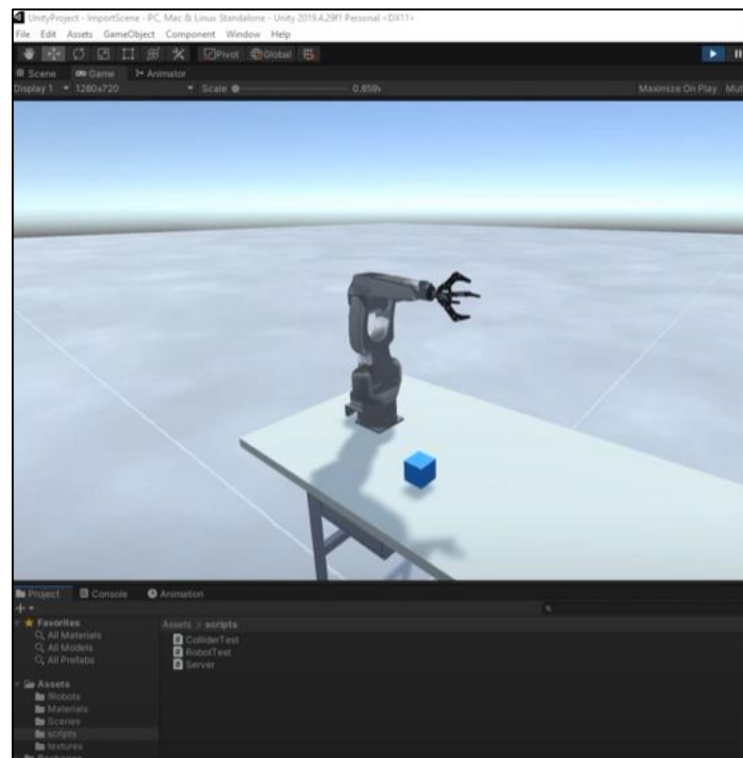


Рис. 1.5 – Приклад моделювання робота-схвата у Unity

Unity надає широкий набір функціональних можливостей, які роблять його зручним для розробки як простих, так і складних ігор та симуляцій. До основних особливостей рушія належать моделювання фізичних середовищ (наприклад, гравітація, сили тертя, зіткнення), підтримка карт нормалей для деталізації поверхонь об'єктів, динамічне освітлення та тіні, що створюють реалістичну візуалізацію сцен, система анімації Mecanim, яка дозволяє створювати складні

анімаційні переходи, а також розширюваність, що дає змогу додавати зовнішні бібліотеки, власні шейдери та інструменти.

Попри значні переваги, рушій Unity має і деякі обмеження. Одним із них є обмеження візуального редактора – при роботі з багатокомпонентними схемами редактор може ставати перевантаженим, що ускладнює навігацію в складних сценах. Крім того, відсутня автоматична підтримка сторонніх бібліотек, тому їх підключення доводиться налаштовувати вручну, що може ускладнювати роботу в командних проектах [7, с. 112].

Другий рушій – Unreal Engine – один із найпопулярніших сучасних ігрових рушіїв, який розробляється та підтримується компанією Epic Games (рис. 1.6). Він містить усе необхідне для розробників, дизайнерів та художників, а його відкритий вихідний код дозволяє кастомізувати рушій відповідно до потреб конкретного проекту, що робить систему надзвичайно гнучкою.

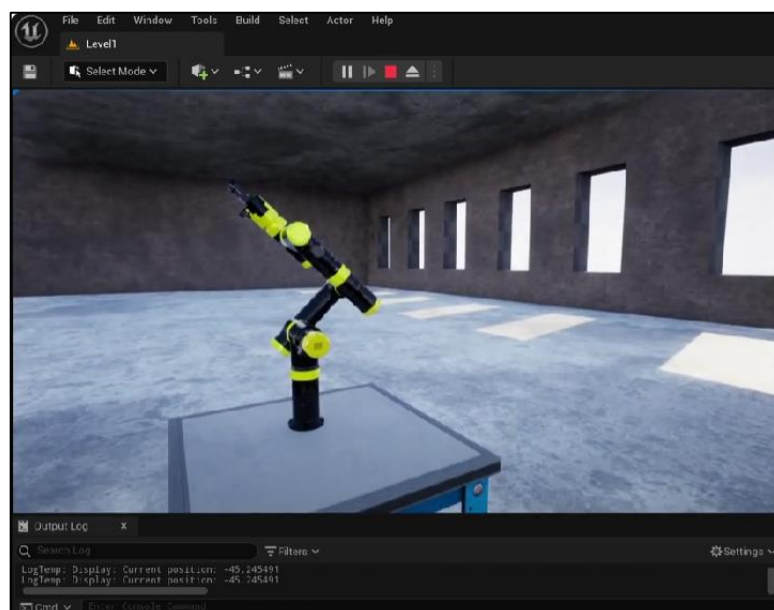


Рис. 1.6 – Приклад моделювання робота-маніпулятора у Unreal Engine 5

Головною відмінністю від Unity є його оптимізація для розробки високоякісної 3D-графіки та реалістичних візуальних ефектів. Завдяки використанню мови програмування C++ рушій забезпечує високу продуктивність і швидкодію, хоча водночас складність мови може створювати додаткові труднощі для початківців. Окрім традиційного програмування, Unreal Engine підтримує

візуальну мову Blueprints, яка дозволяє створювати ігрову логіку без необхідності писати код у стандартному вигляді, що значно прискорює процес розробки.

Рушій пропонує широкий набір інструментів для моделювання та анімації, включаючи систему фізичного рендерингу (PBR), підтримку трасування променів у реальному часі (Ray Tracing), розширені можливості роботи з матеріалами, симуляцію реалістичної фізики та систему Niagara для створення візуальних ефектів. Unreal Engine також активно використовується у сфері кіновиробництва, архітектурної візуалізації та віртуальної реальності завдяки своїм потужним інструментам рендерингу (рис. 1.7).

До недоліків рушія можна віднести високу складність освоєння, особливо при використанні C++, значні системні вимоги, що можуть обмежувати доступ до розробки на слабких пристроях, а також вартість деяких додаткових ресурсів, створених сторонніми розробниками та дизайнерами.

Незважаючи на це, Unreal Engine залишається одним із провідних рішень для розробки високоякісних ігор та інтерактивних проєктів [8, с.112].



Рис. 1.7 – Приклад моделювання автономних колісних роботів у Unreal Engine 5

Висновок за розділом 1

У першому розділі розглянуті загальні питання, які стосуються візуалізації робототехнічних систем. Перший підрозділ присвячено основній класифікації роботів за різними параметрами. У другому підрозділі освітлено принципи функціонування та базові складові мобільних роботів. В третьому – проаналізовано найрозповсюдженіші алгоритми пошуку шляху. А в четвертому – розглянуті сучасні середовища для моделювання поведінки мобільних роботів.

Отже, за мету кваліфікаційної роботи поставлено створення сучасного симулятора для візуалізації мобільних роботів, який можна використовувати для безпечної перевірки якості їх функціонування на різних етапах створення під керуванням оператора.

РОЗДІЛ 2. СТВОРЕННЯ БАЗОВИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

2.1. Аналіз вимог на розробку та вибір програмного середовища для візуалізації

В наш час велику роль для функціонування мобільних роботів грає їх оточення, де з кожним роком збільшується кількість пристроїв та установок які стають перешкодами для активного переміщення. Проте, незважаючи на таку ситуацію, у галузях промислового виробництва попит на них все більше зростає, тож пред'являється набагато більше вимог до їх розробки, які торкаються таких сфер як мобільність, робоча зона чи вантажопідйомність [9, с. 112].

Було прийнято рішення щодо використання базової комплектації робота у даній роботі, такий вибір обумовлюється тим, що більш простіша модель зможе надати результати які можна було б використати й для більш складних моделей. Базова комплектація включає лише основну конструкцію для функціонування: мобільне шасі (колісне чи гусеничне), джерело живлення, мотор та камера для передачі зображення оператору. Такий склад робота повністю задовільняє умови функціонування у віртуальному середовищі.

В якості системи керування робота буде використовуватися віртуальний контролер, що забезпечить змогу повного налаштування ручного управління та інтелектуальні засоби керування для автономної роботи.

Звівши інформацію щодо вимог на розробку можна обрати середовище візуалізації для роботи. Після порівняння двох найвідоміших рушіїв, було прийняте рішення обрати рушій Unreal Engine 5. Його вбудований функціонал майже не відрізняється від рушія Unity, проте він є більш зручним у використанні та освоєнні, а також містить велику довідкову систему.

2.2. Побудова карти за допомогою засобів вбудованої геометрії

Щоб створити необхідне середовище для моделювання потрібен спеціальний функціонал, до розгляду якого й перейдемо у цьому підрозділі. Використання 3D-

моделей – мешей (Meshes) або BSP-геометрії – це основна можливість раніше приведених рушіїв для створення різноманітних середовищ. Правильно розташувавши та об'єднавши базові примітиви можна отримати макет бажаного середовища, який буде імітувати реальне.

Карта для моделювання буде створюватися за допомогою BSP-геометрії, що є основним функціоналом рушія Unreal Engine 5. Першим кроком буде створення макету рівня, далі будуть введені перешкоди та обмеження.

Основою карти є такі частини як атмосфера та світло, в іншому випадку карта без цих компонентів буде виглядати як нескінченна темрява. Використовуючи вбудовані засоби для редагування рівнів створюємо фундамент майбутньої карти, так само створюємо стіни. Після цих маніпуляцій отримано заготовку для майбутнього середовища для моделювання, зазвичай таку заготовку називають «коробкою» (Рис. 2.1).

Використовуючи базові примітиви BSP-геометрії створюється необхідне середовище для моделювання. Для початку відкриваємо меню Selection Mode, яке відповідає за режим вибору та розміщення вбудованих об'єктів у сцені. У ньому переходимо до вкладки Place Actors, де знаходяться різні «фізичні» об'єкти, після чого обираємо вкладку з BSP-примітивами. Скориставшись зручною функцією Drag-and-drop, перетягуємо на сцену потрібний примітив – наприклад, куб. Розміщуємо його на макеті та переходимо до наступного етапу редагування.

Відкривши меню Brush Editing, яке містить інструменти для модифікації саме BSP-об'єктів, можна змінювати розміри, координати вершин або навіть створювати більш складніші форми (рис. 2.2-2.6).

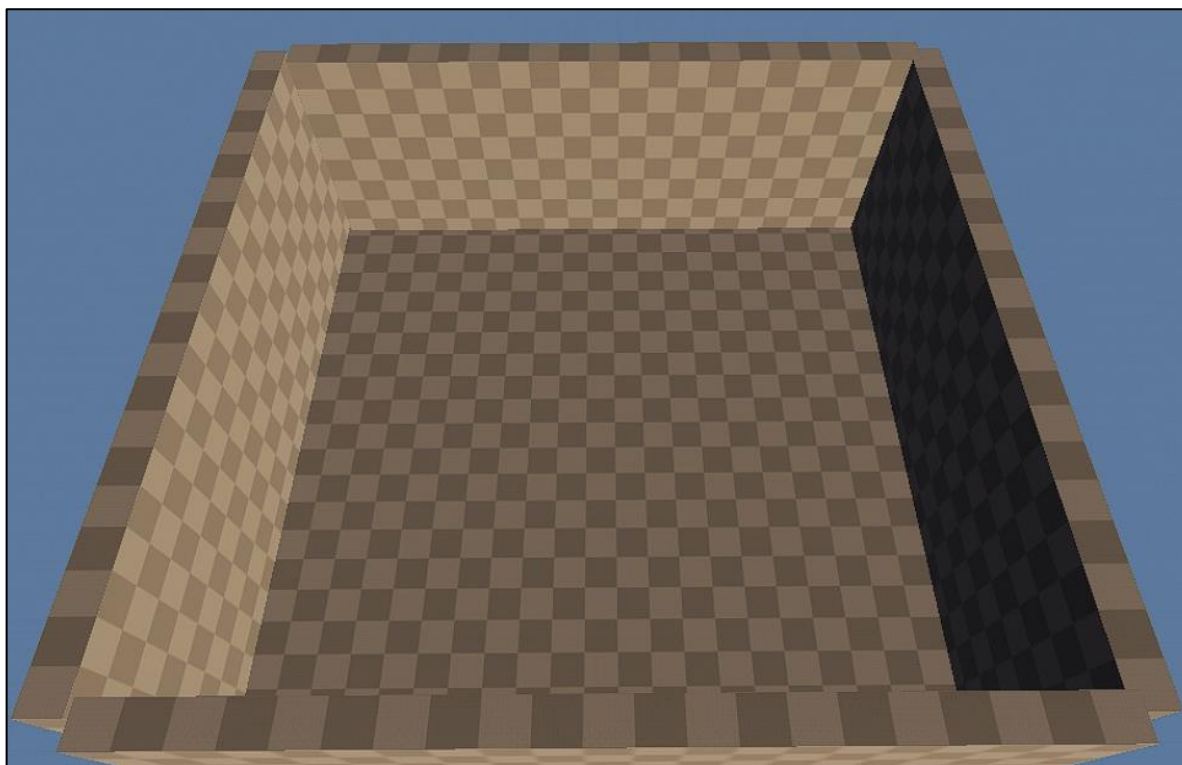


Рис. 2.1 – Заготовка для рівня

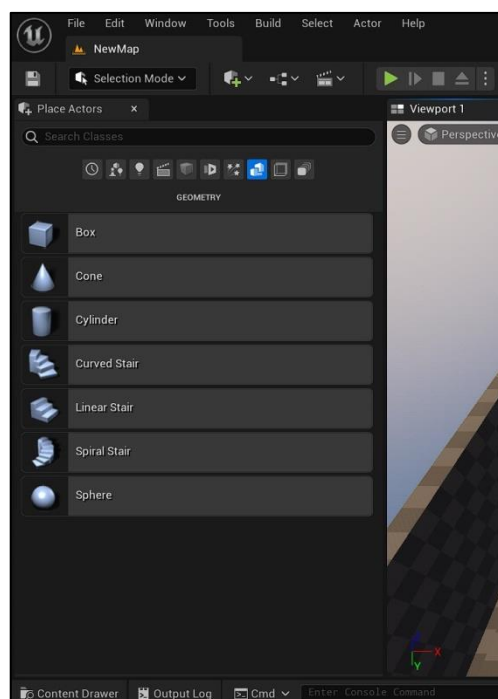


Рис. 2.2 – Вкладка Place Actors

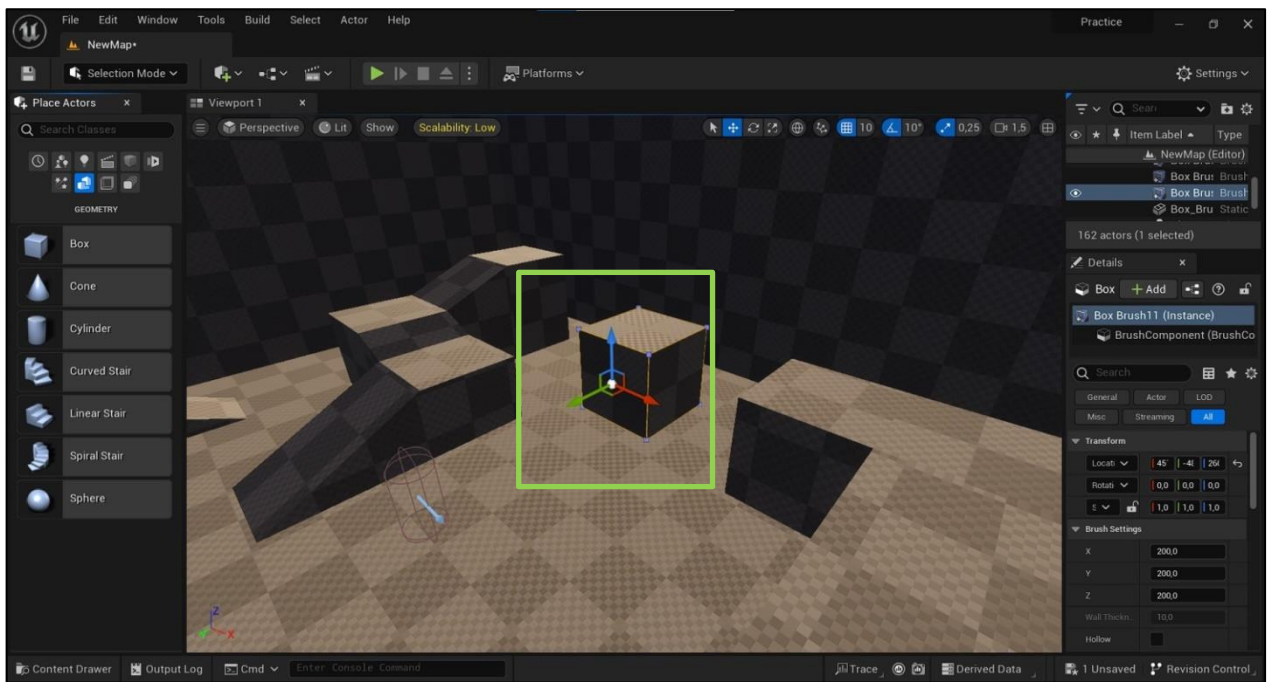


Рис. 2.3 – Обраний примітив (приклад)

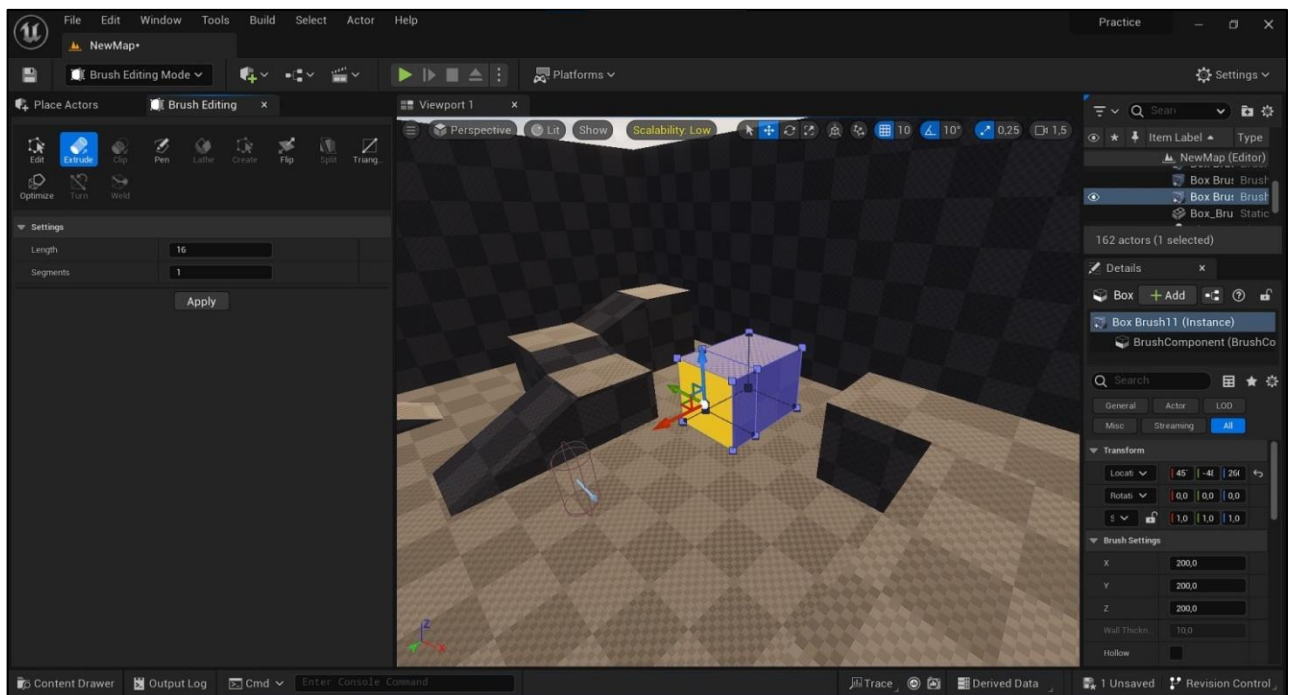


Рис. 2.4 - Меню Brush Editing (приклад)

Після створення необхідних форм розставляємо їх у довільних місцях. Для нашого моделювання було створено наступний макет рівня, зображений на рис 2.5-2.6.

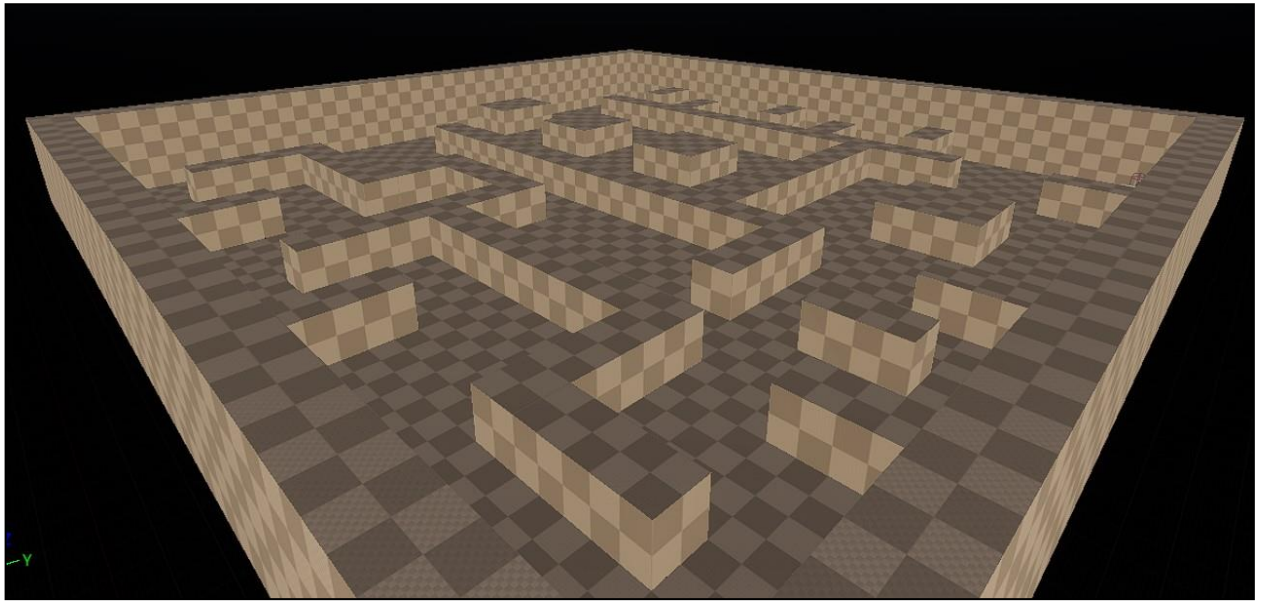


Рис. 2.5 – Макет рівня для моделювання

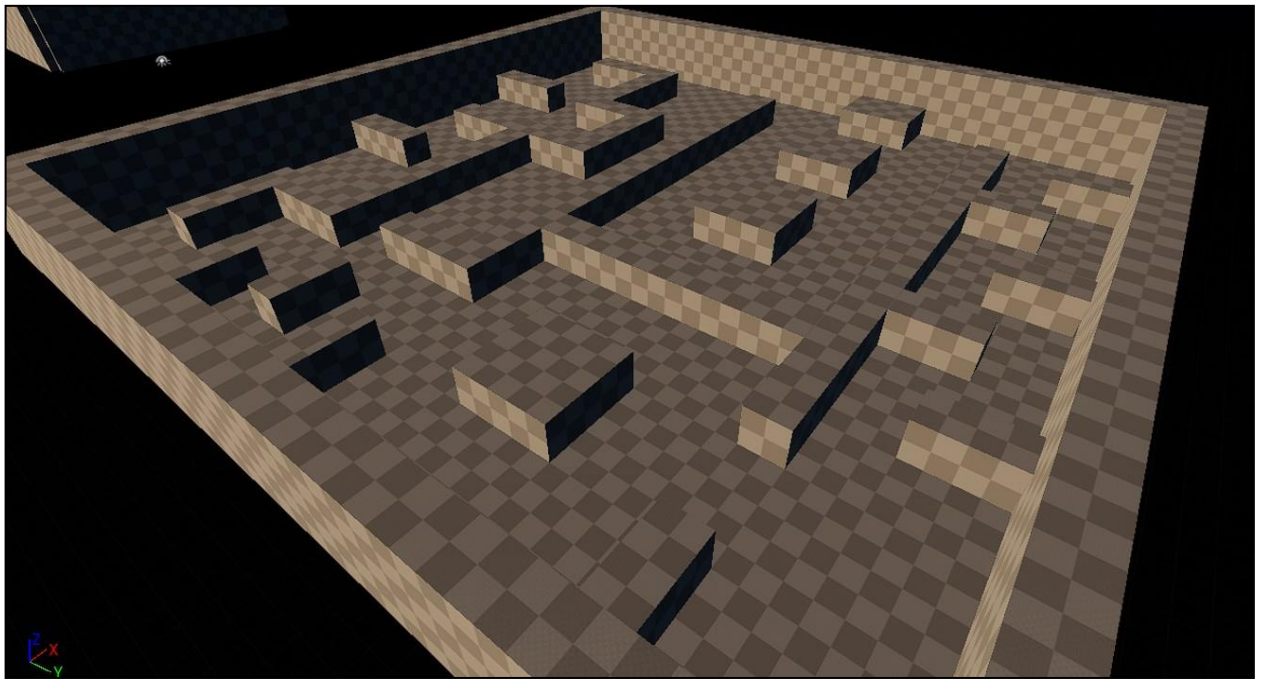


Рис. 2.6 – Макет рівня для моделювання (з іншого ракурсу)

Щоб зробити маршрут складнішим та зібрати більше даних, необхідно додати різноманітні перешкоди та обмеження, які ускладнять рух робота. Це можна реалізувати шляхом використання спеціальних mesh-об'єктів. Ці mesh-і можуть виконувати роль бар'єрів, які перекривають певні ділянки шляху (Рис. 2.9).

Повертаємось до вкладки Place Actors, бо саме там у іншій вкладці знаходяться ці об'єкти, обираємо кубічну форму. Після перетягування можна змінювати різні параметри примітива, такі як розмір, кут повороту та власні координати (Рис. 2.7-2.8).

На наступному етапі розробки створюємо станцію підзарядки для нашого робота. Знову використовуючи кубічний BSP-примітив, який виконує роль платформи для зони заряджання, реалізуємо візуальне представлення станції, зображене на рисунку 2.9. За бажанням, її можна додатково деталізувати за допомогою матеріалів, текстур або статичних меш-об'єктів для створення більш реалістичного вигляду.

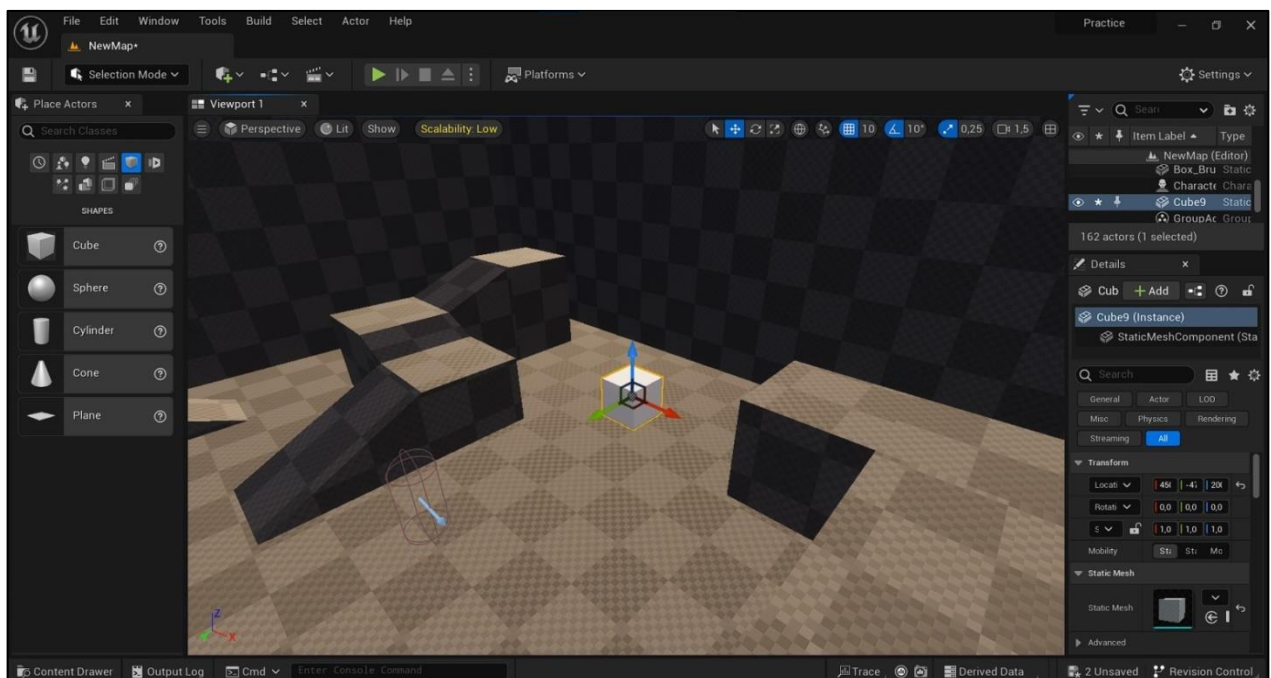


Рис. 2.7 – Вкладка Place Actors та отриманий кубічний примітив (приклад)

Функціональна частина станції реалізується за допомогою простого скрипту, який реагує на зіткнення робота з колізією у вигляді куба. Коли робот входить у межі цієї зони, то спрацьовує подія яка й викликає функцію підзарядки. Сам виклик використовує кастомний інтерфейс, створений у середовищі Blueprint – візуальній мові програмування у Unreal Engine. Тікий підхід дозволяє легко взаємодіяти між об'єктами без жорсткої прив'язки до конкретних класів. Інтерфейс надсилає роботу

відповідний сигнал, після чого виконується логіка поповнення енергії. Такий механізм є дуже зручним і легко інтегрується до інших підсистем (Рис. 2.10-2.12).

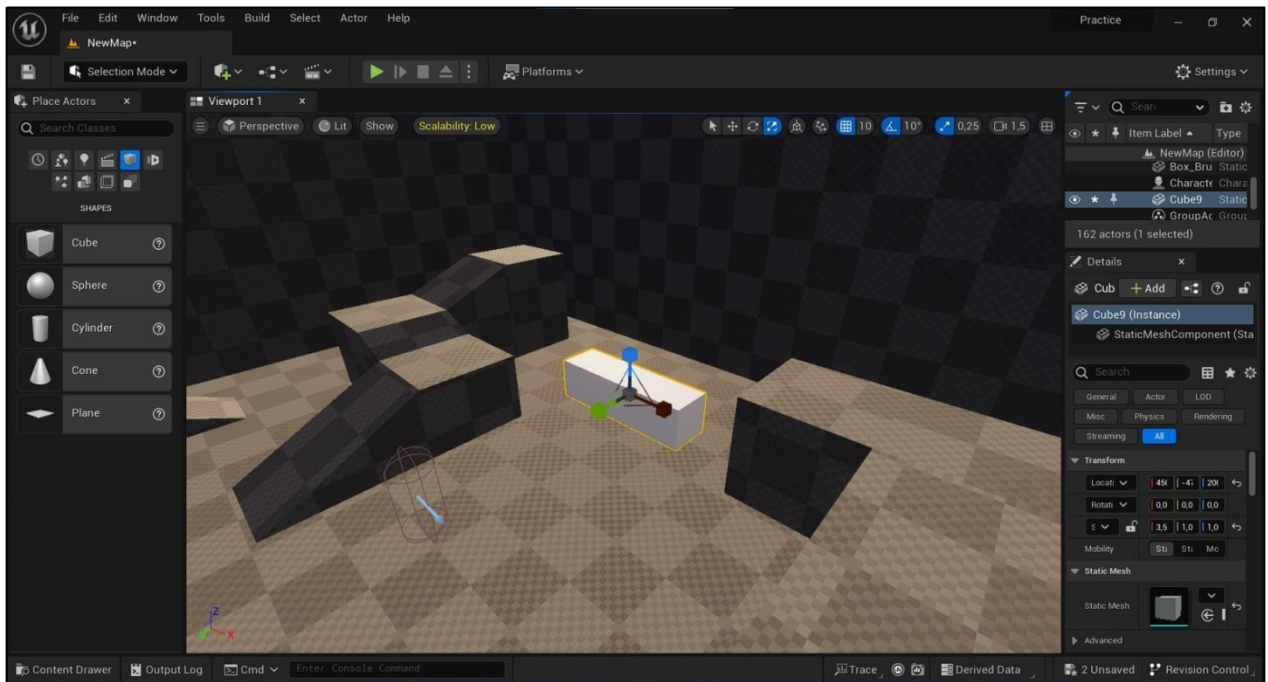


Рис. 2.8 – Можливість зміни розміру (приклад)

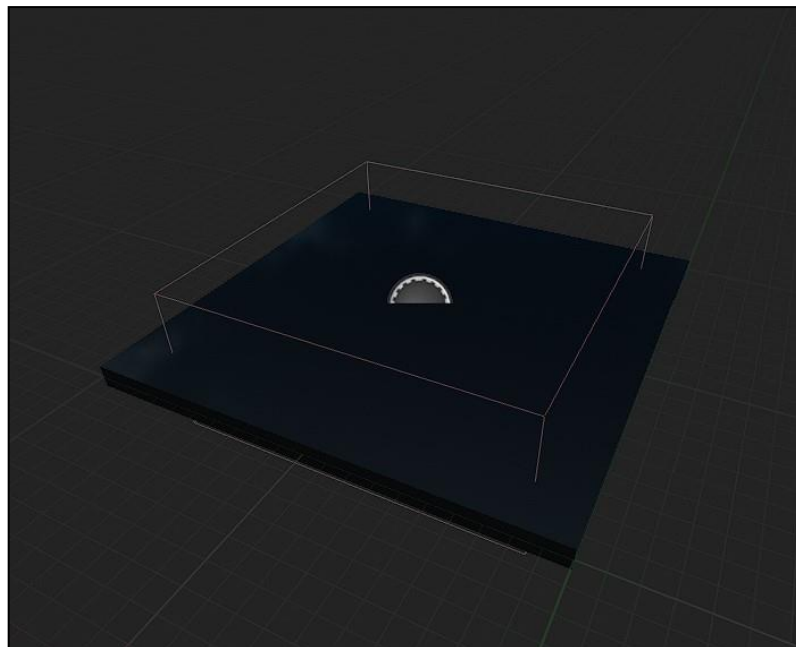


Рис. 2.9 – Місце для зарядки робота

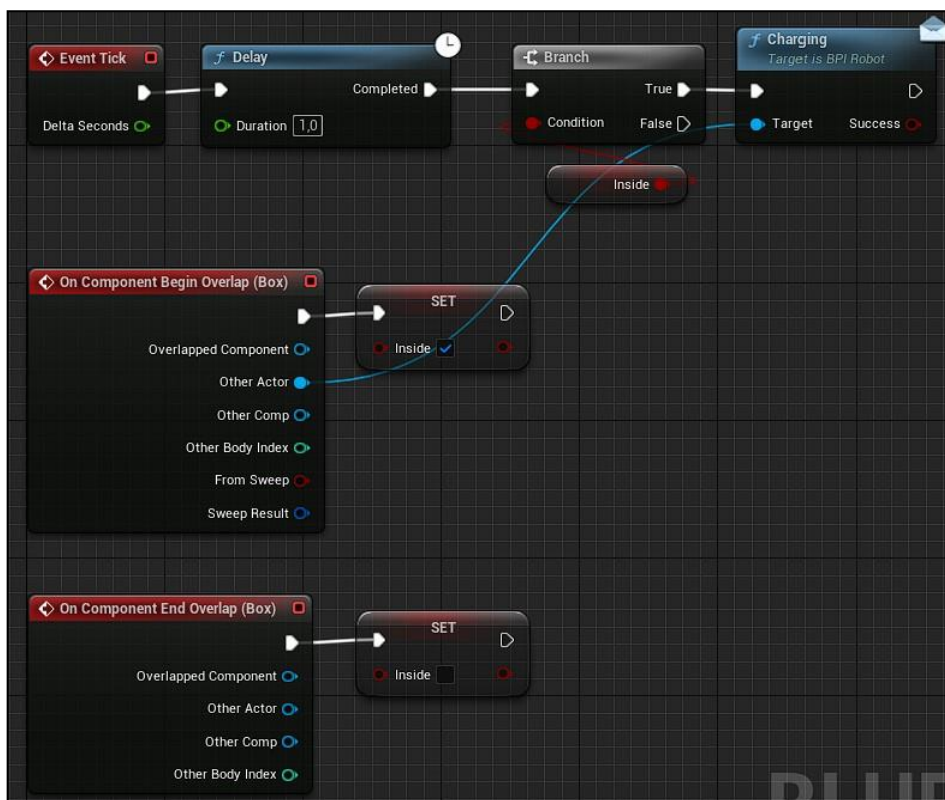


Рис. 2.10 – Код станції підзарядки

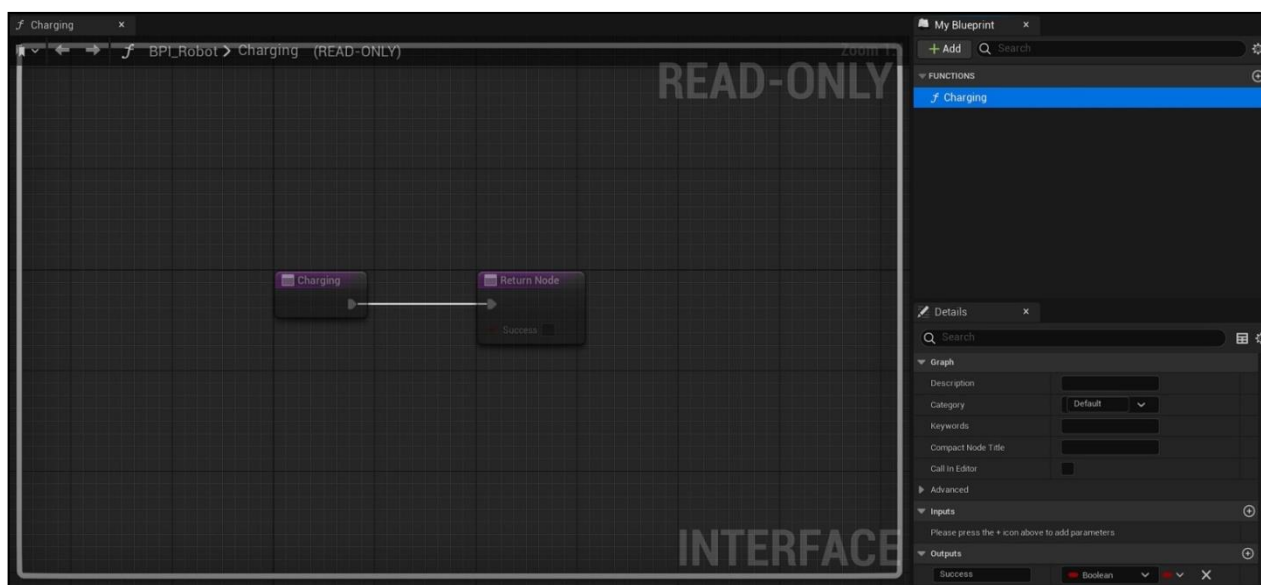


Рис. 2.11 – Створення кастомного інтерфейсу

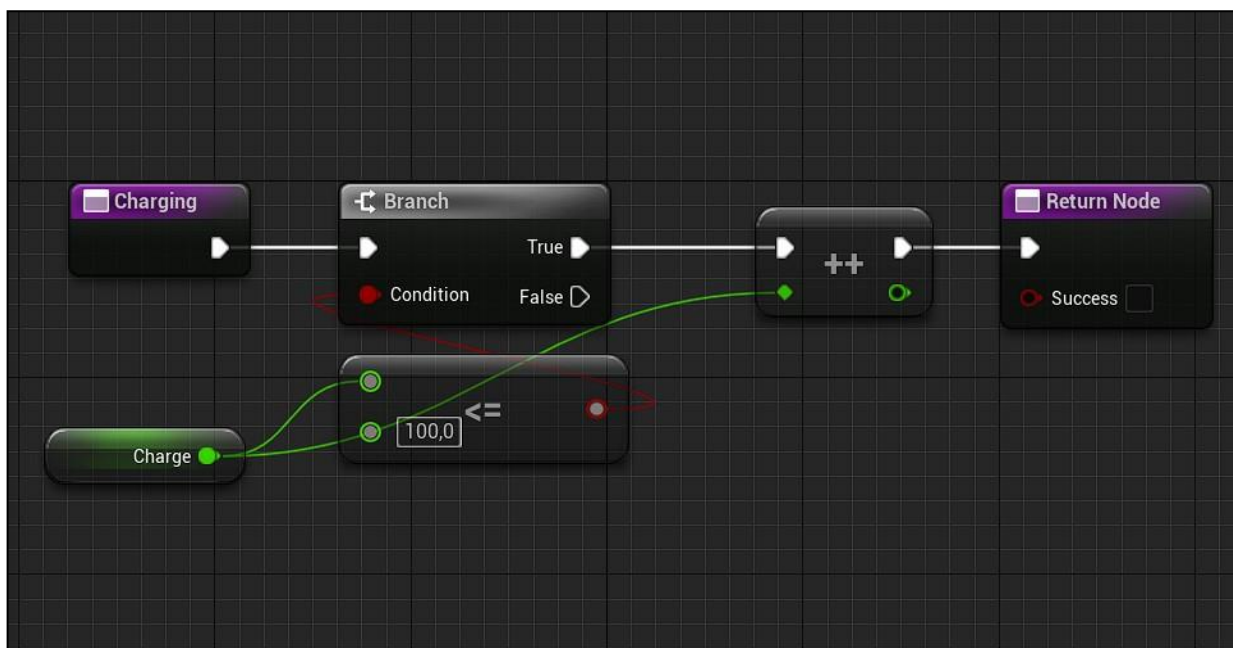


Рис. 2.12 – Функція зміни заряду робота

2.3. Розробка складових моделі мобільного робота

У наш час стрімкий розвиток технологій відкрив широкі можливості для створення та впровадження різноманітних типів роботів у будь-які сфери діяльності. Новітні технічні досягнення дозволяють не лише розробляти нові конструкції роботизованих систем, а й вдосконалювати їх функціональні можливості, підвищуючи ефективність, точність та рівень автономності.

Зараз роботи активно використовуються в побуті, де вони виконують рутинні завдання, у комерційній сфері – для обслуговування клієнтів, автоматизації складів і логістики, у медичній галузі – для допомоги під час операцій, реабілітації пацієнтів або доставки медикаментів.

Також роботи все частіше використовуються як допоміжні інструменти в освіті, науці, техніці та навіть математиці, де вони допомагають проводити експерименти, моделювати складні процеси або виконувати обчислення з високою точністю [9, с. 112].

Що стосується зовнішнього вигляду, роботи можуть мати найрізноманітніші форми, від утилітарних механізмів до складних конструкцій, що імітують біологічні

організми. Особливу увагу заслуговують гуманоїдні роботи, які спеціально створені із зовнішністю схожою на людську. Такий підхід дозволяє полегшити сприйняття машини іншими робітниками, особливо в тих випадках, коли робот виконує роль співрозмовника, асистента або партнера по взаємодії.

Зі стрімким розширенням сфер застосування робототехніки виникає необхідність у впорядкуванні та організації, що допоможе ефективніше проектувати, розуміти функціональність і визначати області використання. Основним із найбільш очевидних критеріїв є конструктивна будова роботів, адже саме вона безпосередньо впливає на спосіб їх переміщення, взаємодію з середовищем та виконання завдань.

Серед прикладів такої будови можна виокремити наступні: стаціонарні, циліндричні та сферичні, паралельні, колісні, двоногі (багатоногі), гуманоїдні, плавальні, літаючі чи нетипової конструкції. Проте такий критерій є лише одним з рівнів класифікації, іншим є призначення роботів, який є більш точним та функціональним для розділу завдань для яких робот був розроблений.

Не викликає сумнівів, що з розвитком технологій і зростанням кількості варіацій роботів, цей напрям класифікації буде постійно розширюватися. З кожною новою модифікацією конструкція роботів стає все більш спеціалізованою, що лише підсилює потребу в більш детальному й гнучкому підході до їх систематизації.

У даній роботі буде обрано дві варіації роботів: з колесами та з гусеницями. Форма стандартна для більшості роботів – прямокутна.

2.3.1. Створення конструкції

Для середовища моделювання було реалізовано наступні моделі роботів (рис. 3.1-3.2). У процесі їх створення було використано програмне забезпечення для 3D-моделювання Blender. Корпус виконано зі звичайного паралелепіпеда, а колеса у формі сфери, гусениці створені з кільця, яке було модифіковане.

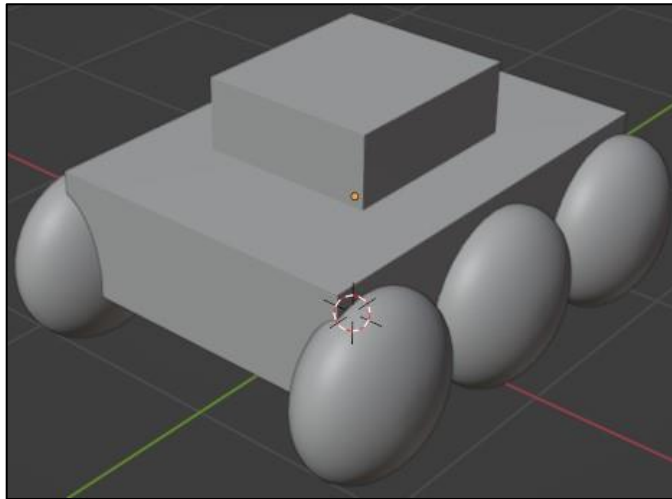


Рис. 2.13 – Модель колісного робота

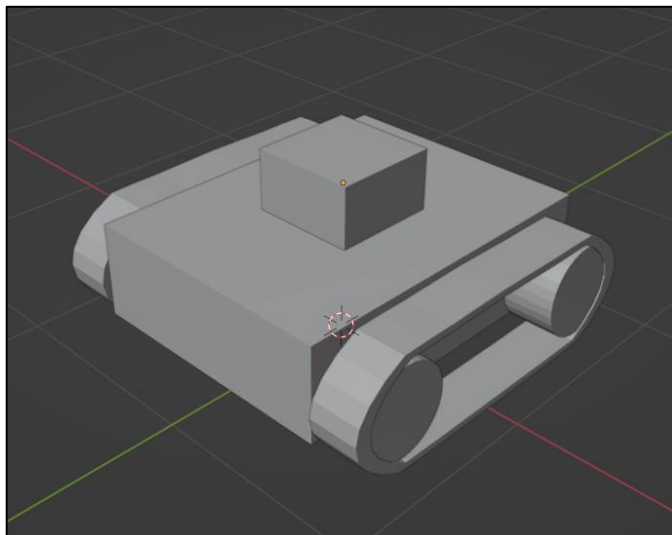


Рис. 2.14 – Модель гусеничного робота

Після процесу моделювання у середовищі Blender дані моделі було експортовано до середовища ігрового рушія Unreal Engine, де буде проводитись наступний етап розробки.

2.3.2. Розробка моделі системи ручного керування мобільним роботом

Зазвичай, алгоритм переміщення автономного мобільного робота зводиться до виконання кількох базових дій: поворот, рух вперед або назад, гілкування та прискорення. У реальних умовах необхідно не лише створити фізичну конструкцію

такого робота, а й окремо запрограмувати кожен з цих функцій, щоб забезпечити його повноцінну та узгоджену роботу [10, с.112].

Проте використання ігрового рушія для симуляції функціонування робота дозволяє уникнути багатьох складнощів пов'язаних з налаштуваннями та обробкою інформації що будуть отримувати датчики.

У середовищі Unreal Engine ця функціональність реалізується двома основними методами. Перший із них – використання плагіну ChaosVehicles, який надає можливість застосувати вже готові конфігурації для створення власного рухомого об'єкта. Зазвичай, цей інструмент застосовується для розробки та налаштування колісного транспорту, забезпечуючи реалістичну фізику руху та керування.

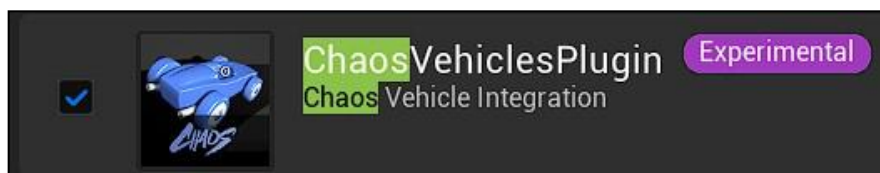


Рис. 2.15 – Плагін ChaosVehicles

Другий спосіб полягає у використанні вбудованих інструментів Unreal Engine та можливостей візуального програмування за допомогою мови Blueprint. Саме цим методом було реалізовано базову систему ручного керування мобільним роботом у рамках даної роботи.

Для організації руху були створені окремі події, які відповідають за переміщення вперед і назад, а також за повороти – як за годинниковою стрілкою, так і проти неї. Крім того, було додано обмеження логіки керування, що підвищує реалізм: коли робот рухається вперед, функція повороту стає недоступною, і навпаки – під час повороту блокуються команди руху вперед. Такий підхід дозволяє уникнути конфліктів у керуванні та спрощує загальну логіку переміщення.

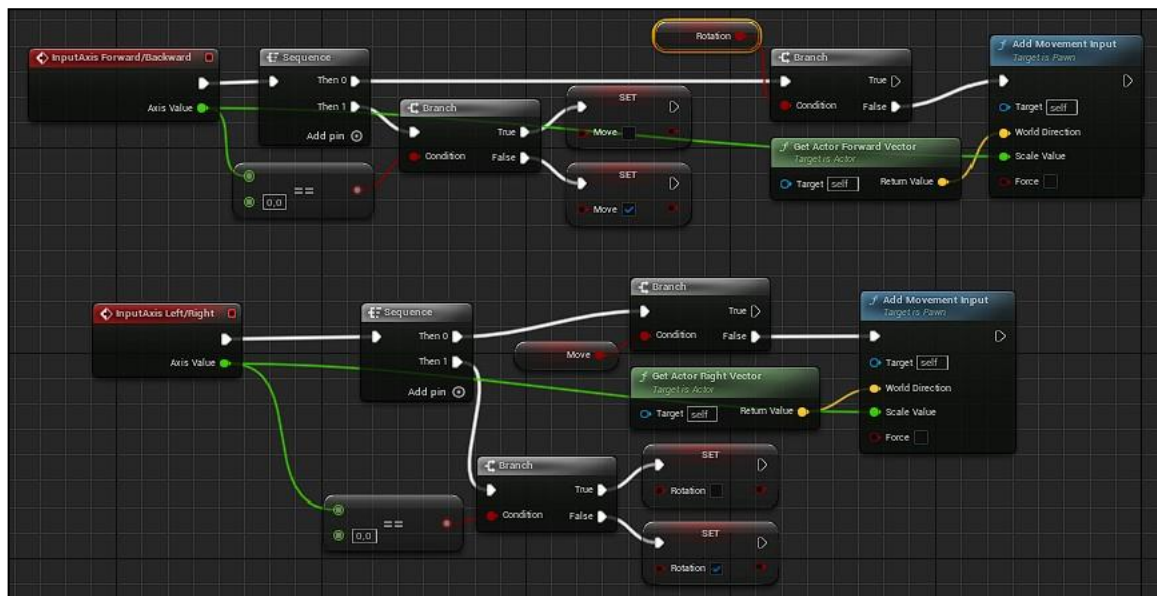


Рис. 2.16 – Реалізація коду управління

Завдяки вбудованому функціоналу мови Blueprint є можливість гнучко налаштовувати швидкість повороту робота. Зокрема, коли параметр `UseControllerDesiredRotation` встановлено в значення «Істина», з'являється можливість вказувати бажану швидкість обертання, що дозволяє в свою чергу більш точно контролювати динаміку руху та поведінку мобільного робота у віртуальному середовищі.

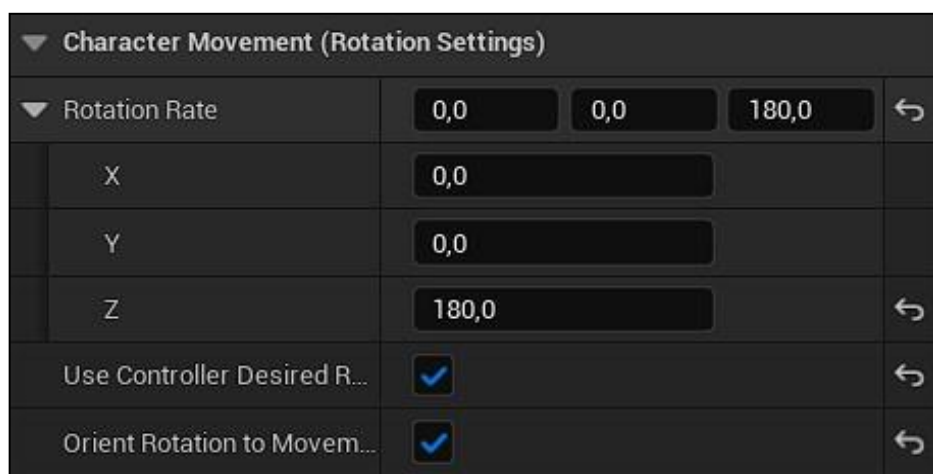


Рис. 2.17 – Параметри для зміни швидкості повороту

Однією з ключових характеристик роботів є енергоспоживання. Тому щоб наблизити симуляцію до реальних умов, було реалізовано механізм витрати енергії роботом під час руху та поворотів. Завдяки мові Blueprint налаштування такої функції дуже просте, достатньо додати до наявного коду ноду, яка віднімає певне значення від відповідної змінної, що відповідає рівню заряду або енергії робота. Це дозволяє моделювати обмежені ресурси та більш реалістично відтворювати поведінку пристрою.

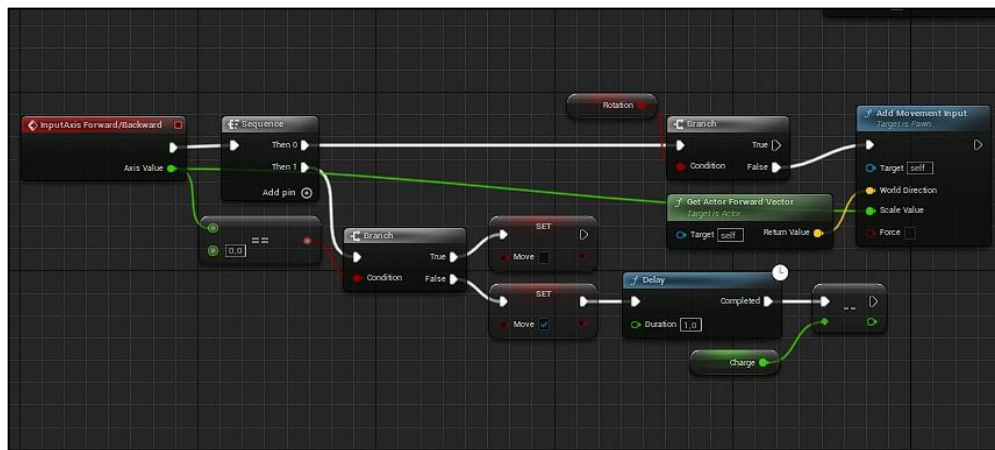


Рис. 2.18 – Код системи управління з додаванням функції енергоспоживання (для руху вперед)

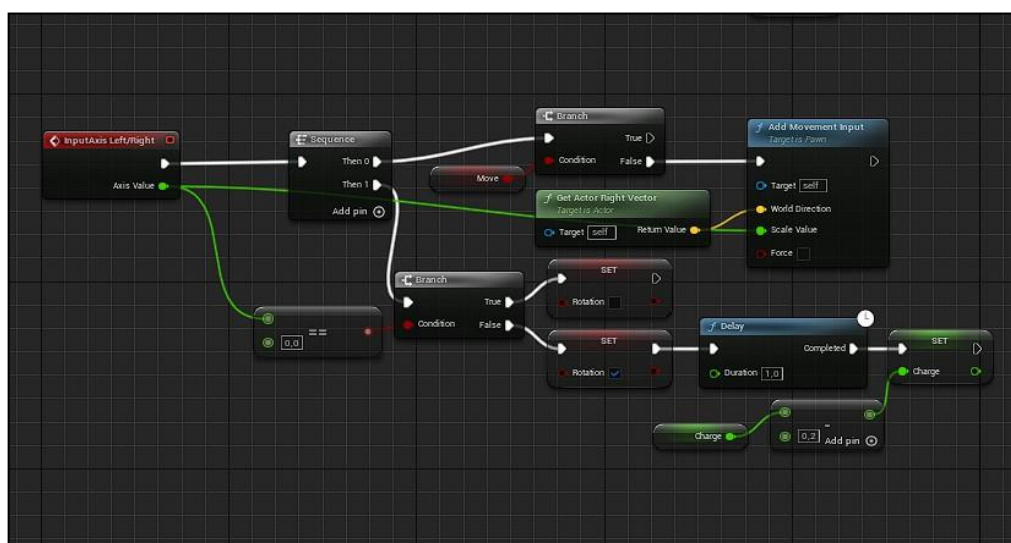


Рис. 2.19 – Код системи управління з додаванням функції енергоспоживання (для повороту)

Звісно, коли енергії стає недостатньо, мобільний робот повинен зупинитися. Для реалізації цього функціоналу додаємо перевірку на початку коду, одразу після події InputAxis. Якщо рівень енергії достатній, робот продовжує рух, інакше – рух припиняється, що відповідає реальним умовам.

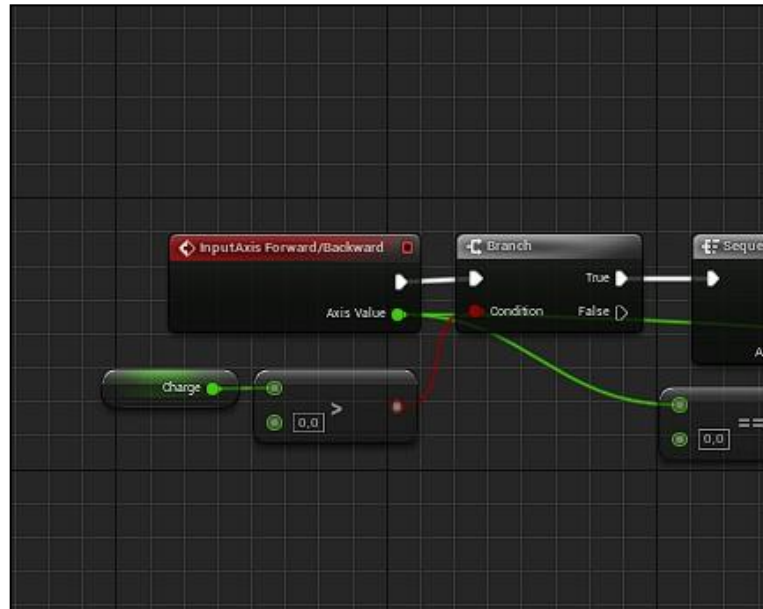


Рис. 2.20 – Додання обмежень (рух вперед)

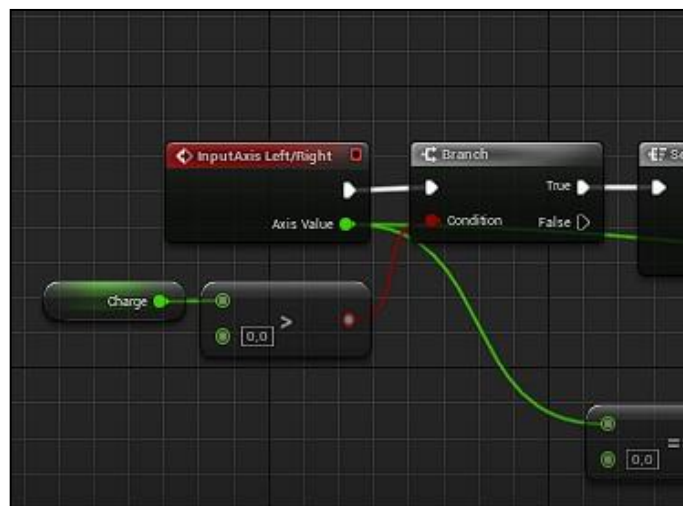


Рис. 2.21 – Додання обмежень (поворот)

Також був реалізований функціонал регулювання потужності двигуна, що безпосередньо впливає на максимальну швидкість робота. У користувацькому інтерфейсі оператора створюємо глайдер, за допомогою якого можна задавати бажане значення потужності. Це значення передається у головний Blueprint робота, де відбувається зміна параметра максимальної швидкості. Таке рішення дозволяє динамічно контролювати швидкість переміщення робота під час симуляції.

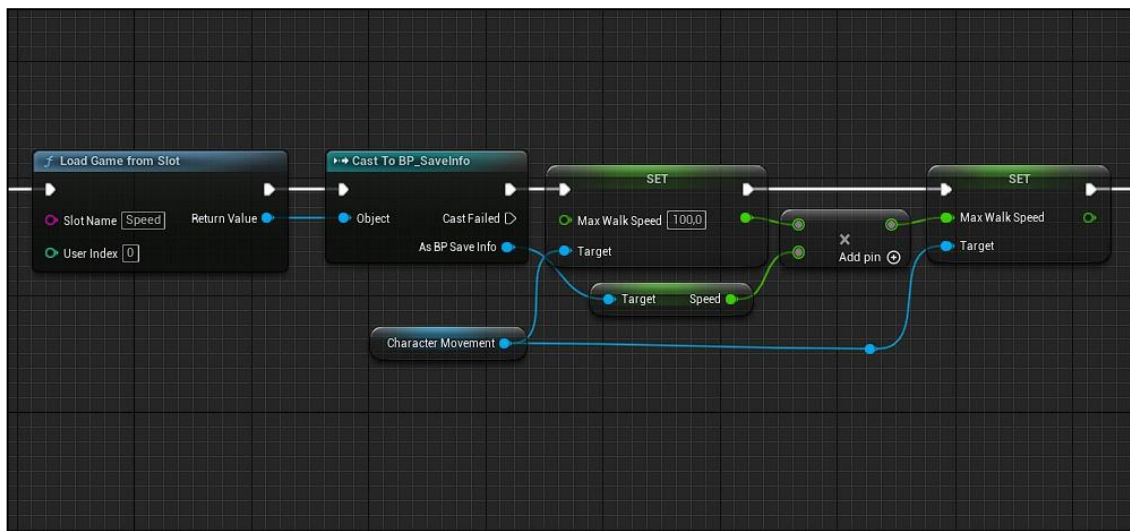


Рис. 2.22 – Код зміни швидкості

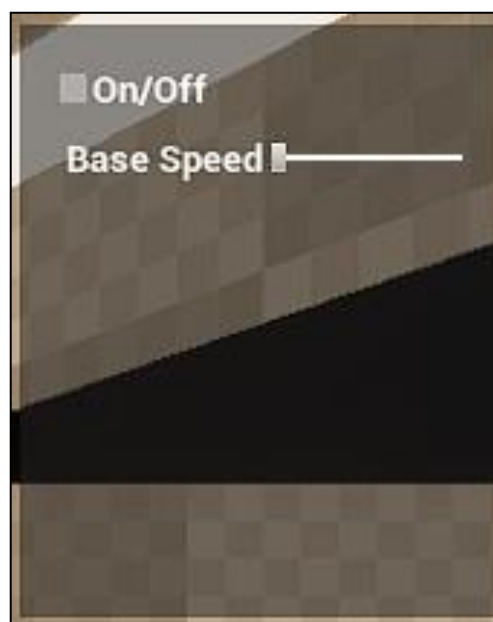


Рис. 2.23 – Приклад раннього користувацького інтерфейса

Висновок за розділом 2

У другому розділі розроблено основні елементи симуляційного середовища, призначеного для візуалізації функціонування мобільного робота. Перший підрозділ описує умови, у межах яких відбуватиметься моделювання. У другому підрозділі зосереджено увагу на створенні карти для тестування роботи робота за допомогою вбудованих інструментів редагування геометрії. Також реалізовано зарядну станцію для поповнення енергії мобільного пристрою. У третьому підрозділі розроблено базові моделі роботів та систему керування. Запропонована система забезпечує такі функції:

- управління рухом та поворотом мобільного робота;
- моделювання енергоспоживання;
- регулювання потужності двигуна для визначення максимальної швидкості.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОРИСТУВАЦЬКОГО ІНТЕРФЕЙСУ У ЗАПРОПОНОВАНІЙ СИСТЕМІ МОДЕЛЮВАННЯ

3.1. Створення інтерфейсу оператора

Кожне програмне забезпечення повинно містити зручний користувацький інтерфейс (UI), який спрощує взаємодію з системою. Зазвичай інтерфейс відображає основну інформацію про стан програми або інші дані, що допомагають користувачу зрозуміти що саме відбувається на екрані. У випадку програмного забезпечення, призначеного для візуалізації роботи мобільного робота, інтерфейс виконує роль засобу керування та моніторингу. Він забезпечує доступ до ключових параметрів управління роботом, а також відображає його поточний стан – рівень енергії, швидкість, напрям руху тощо.

У даній кваліфікаційній роботі було створено користувацький інтерфейс, який у середовищі Unreal Engine реалізується за допомогою компоненту Widget. Такий інтерфейс може бути основним (головним) або допоміжним. У першому випадку головний віджет виконує роль контейнера, який об'єднує кілька допоміжних елементів, кожен з яких створюється окремо для виконання конкретної функції – наприклад, глайдера керування, індикатора заряду або інформаційного поля.

Такий підхід забезпечує структурованість, гнучкість та зручність масштабування користувацького інтерфейсу, що є важливим при роботі з інтерактивними симуляціями в Unreal Engine.

3.1.1. Встановлення базових параметрів

Одним з кількох допоміжних віджетів у проекті є вікно базових параметрів (рис. 3.1). Його початковий варіант було представлено раніше – у підрозділі 2.3.2. Цей елемент інтерфейсу містить прапорець для активації або деактивації робота, а також глайдер для регулювання його максимальної потужності. Таким чином, користувач отримує зручний інструмент для базового керування станом робота безпосередньо з інтерфейсу.

Для підвищення зручності користування інтерфейсом було вирішено внести низку модифікацій. Зокрема додати можливість змінювати швидкість повороту робота та реалізувати встановлення максимальної ємності батареї та рівня енергоспоживання.



Рис. 3.1 – Рання версія вікна базових параметрів

Перша зі змін – налаштування швидкості повороту – реалізується аналогічно до вже існуючої функції регулювання максимальної потужності. З використанням тих самих елементів користувацького інтерфейсу можна задавати максимальну швидкість обертання з певним кроком зміни значення. Це дозволяє користувачеві гнучко адаптувати поведінку робота під конкретні умови.

Передача даних між відметом та Blueprint-логікою робота здійснюється через виклик інтерфейсної функції, що забезпечує взаємодію без прямої прив'язки до конкретного об'єкта. Завдяки цьому підтримується чиста архітектура проекту та забезпечується зручне масштабування (рис. 3.2-3.4).

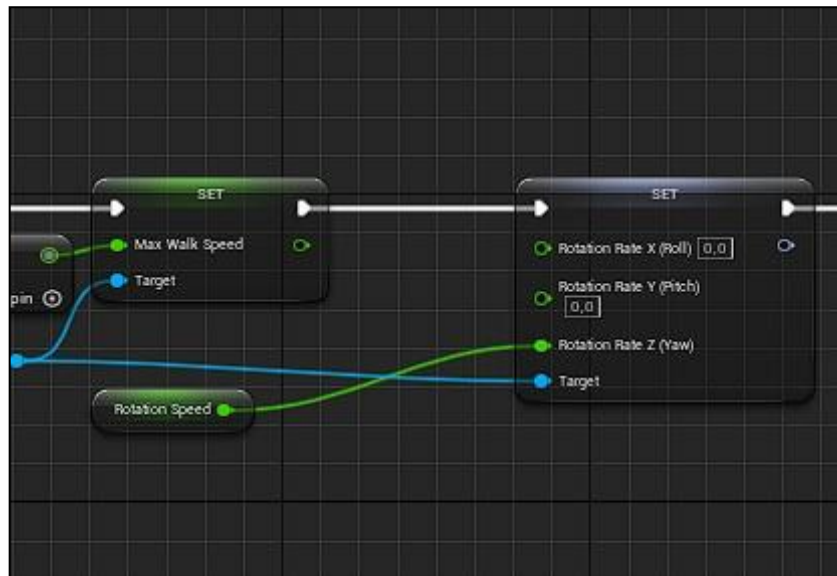


Рис. 3.2 – Код зміни максимальної швидкості повороту

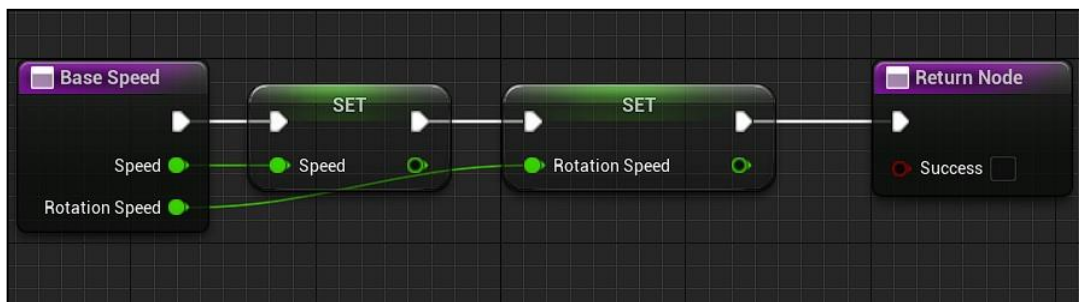


Рис. 3.3 – Функція інтерфейсу

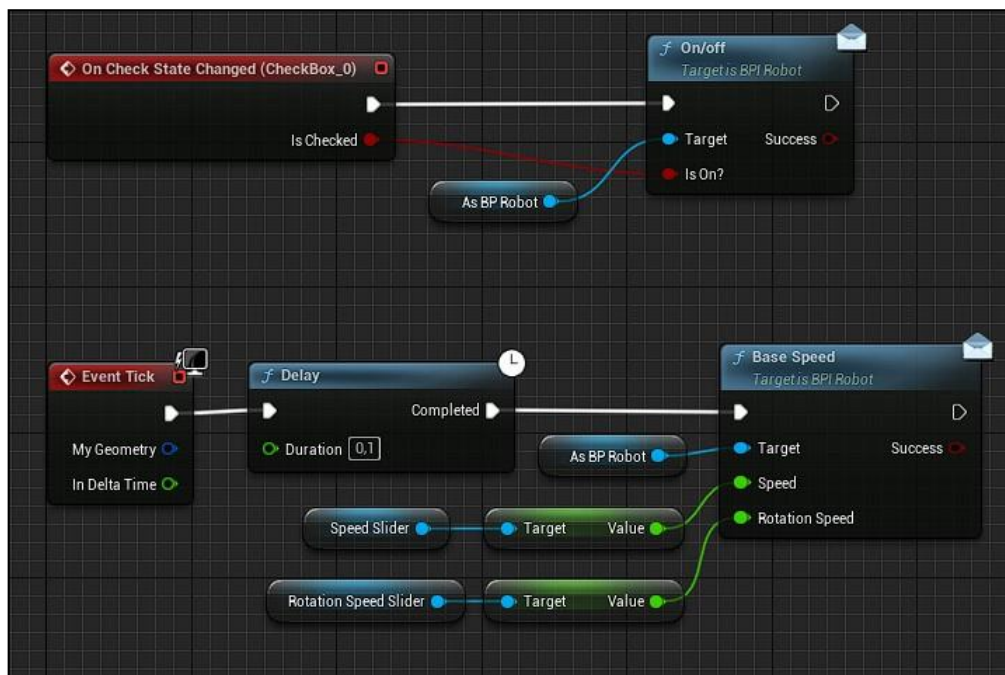


Рис. 3.4 – Код віджета

Встановлення параметрів ємності батареї та енергоспоживання мобільного робота було реалізовано за допомогою елементів інтерфейсу типу SpinBox, які дозволяють оператору вводити точні числові значення. Для передачі цих параметрів до відповідного Blueprint'а робота була додана спеціальна кнопка підтвердження, що ініціює оновлення змінних у логіці роботи системи (рис. 3.5-3.6).

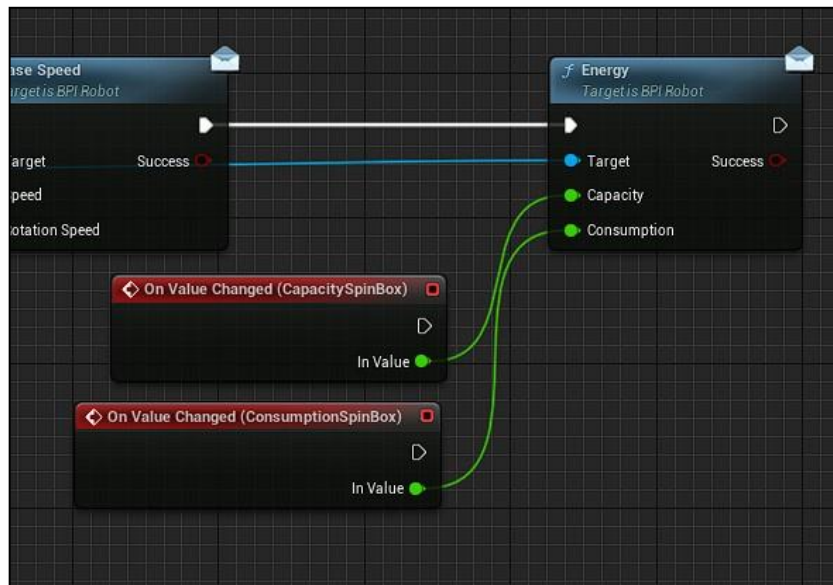


Рис. 3.5 – Код для передачі значень

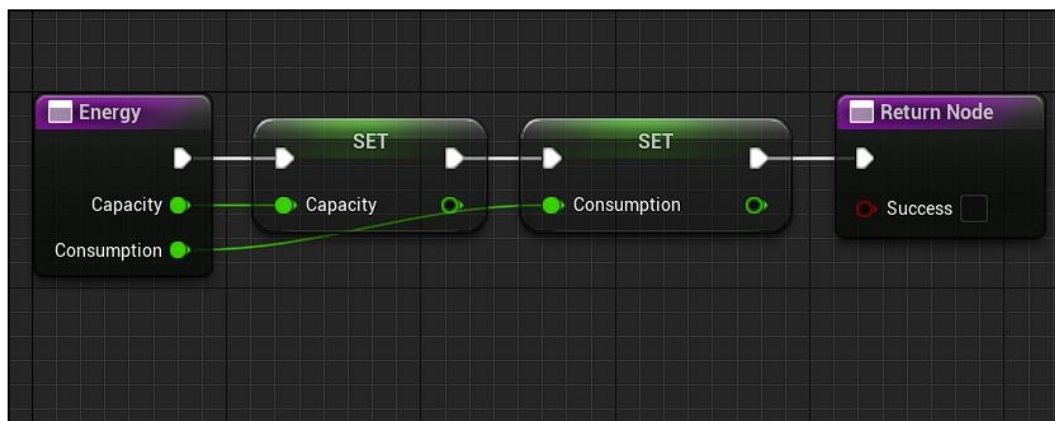


Рис. 3.6 – Функція інтерфейса (ємність та енергоспоживання)

Значення ємності батареї та споживання енергії задаються в одиницях mAh, що дозволяє точно моделювати реальні параметри джерела живлення. Щодо

швидкості повороту, її зміна здійснюється кроком у 10 градусів, що забезпечує зручне та точне налаштування маневреності робота.

Крім того, до інтерфейсу додано можливість змінювати потужність зарядної станції, що допомагає контролювати швидкість відновлення енергії під час зарядки (рис. 3.7). На рисунку 3.8 представлено фінальну версію вікна для налаштування параметрів робота, яке об'єднує всі вищезазначені функції в єдиному зручному вікні для оператора.

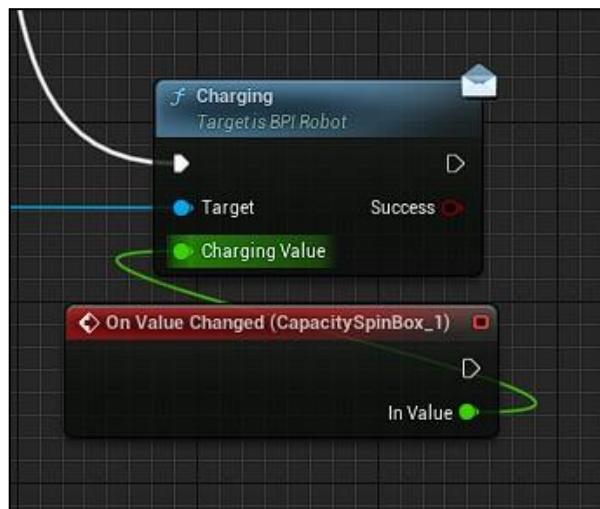


Рис. 3.7 – Зміна значення потужності

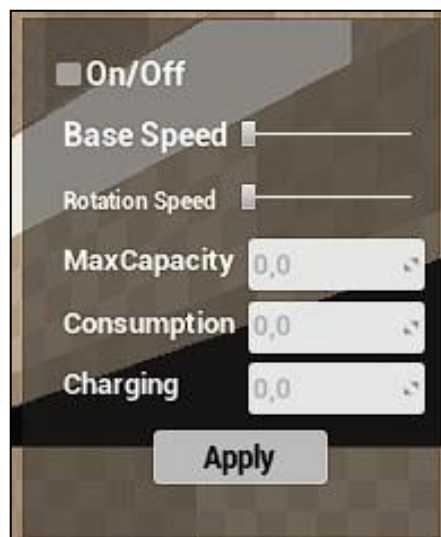


Рис. 3.8 – Фінальна версія вікна встановлення параметрів

3.1.2. Візуалізація поточного стану мобільного робота

Другий допоміжний віджет був створений для виведення поточної інформації про стан мобільного робота під час роботи симуляції. Основна мета цього елемента інтерфейсу – забезпечити користувача наочними та оперативними даними, що дозволяють відстежувати ключові характеристики роботи пристрою в режимі реального часу.

На цьому віджеті можна побачити:

- поточний рівень батареї, який представлений у вигляді індикатора заповнення (ProgressBar), що змінюється в залежності від фактичного енергоспоживання робота;
- кількість часу, що минула з моменту початку моделювання, автоматично оновлюється та допомагає аналізувати наскільки довго працює система без підзарядки чи втручання користувача;
- поточні базові параметри, які було задано для робота, такі як максимальна швидкість, швидкість повороту, ємність батареї та рівень споживання енергії.

Механізм роботи віджета ґрунтується на динамічному зв'язку з відповідними змінними. Тобто при зміні стану енергії, часу або інших параметрів у кодї, значення на екрані автоматично оновлюються, забезпечуючи актуальність інформації (Рис. 3.9-3.10).

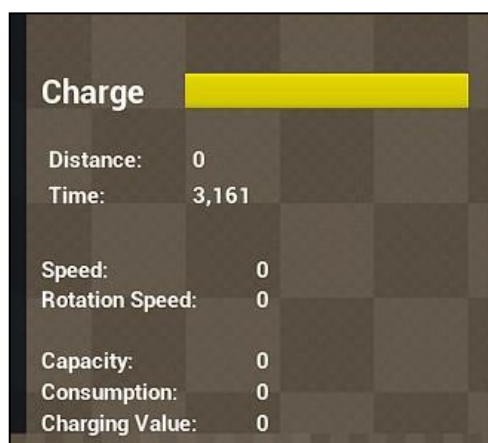


Рис. 3.9 – Другий додатковий віджет

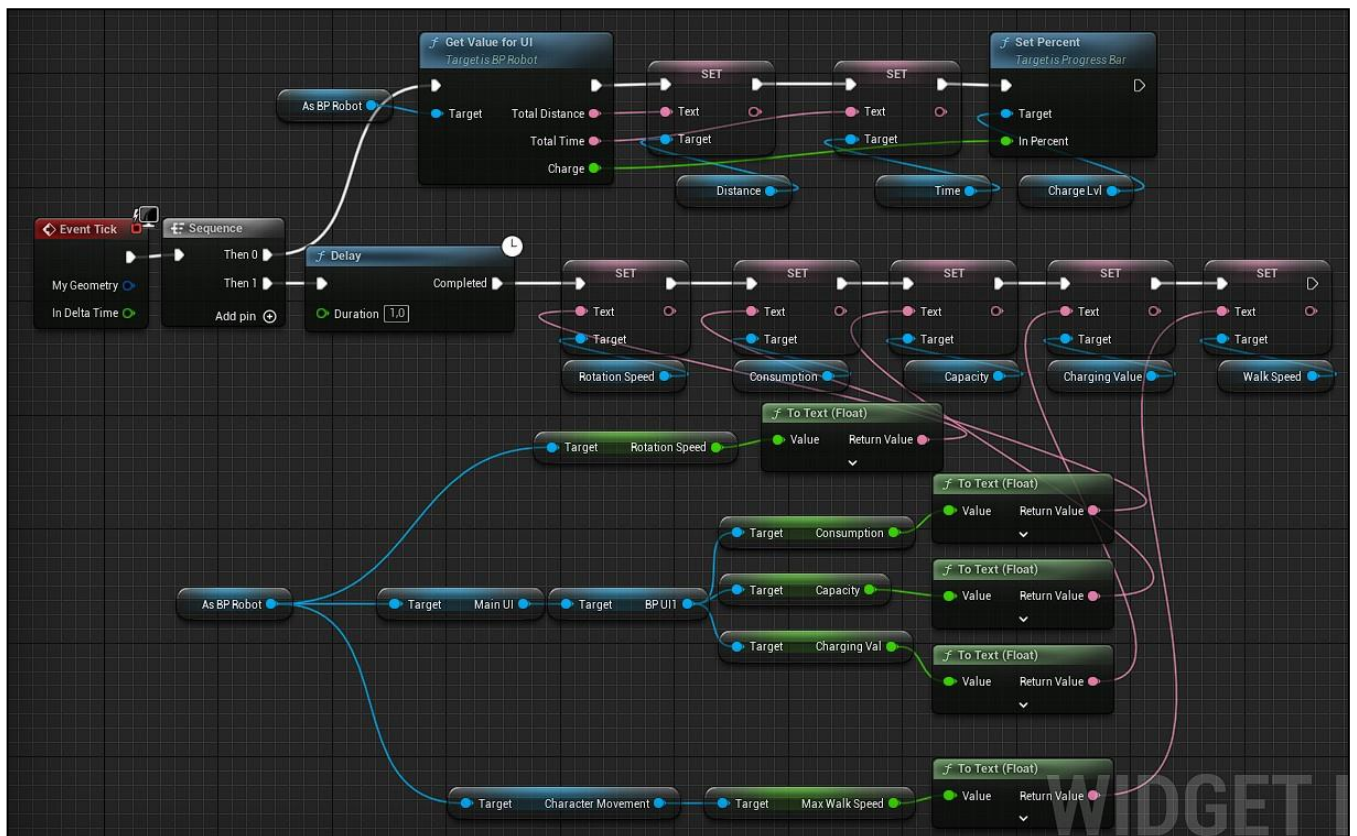


Рис. 3.10 – Код віджета для виведення інформації

3.1.3. Встановлення параметрів для інтерактивних перешкод

Інший допоміжний віджет був реалізований для налаштування параметрів інтерактивних перешкод (їх створення розглянуто у підрозділі 4.3). Керуючись тим самим принципом що й для першого реалізуємо встановлення базових параметрів для перешкод. До них входять наступні:

- частота, з якою з'являються нові перешкоди;
- імовірність створення перешкоди;
- шкода для робота, яку можуть нанести такі перешкоди;
- час існування.

Вигляд третього допоміжного віджета наведено на рисунку 3.11.

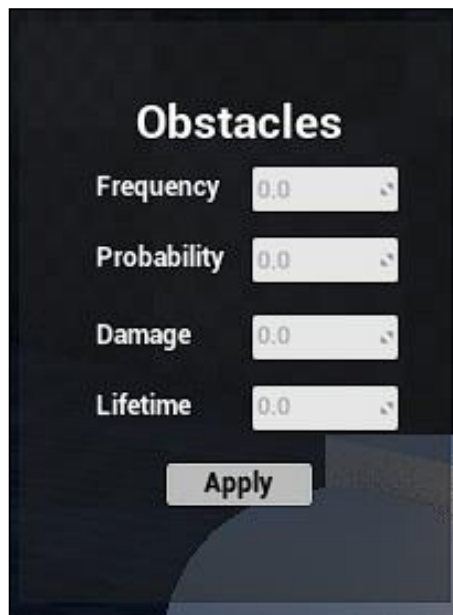


Рис. 3.11 – Третій допоміжний віджет

3.2. Налаштування початкового екрану та вікна з вибором виду мобільного робота

У більшості програмних продуктів зазвичай передбачено стартовий екран, який з'являється одразу після запуску програми. Враховуючи це, наступним етапом розробки симулятора стало створення подібного стартового інтерфейсу.

У обраному середовищі розробки реалізувати такий функціонал можливо за допомогою вже згаданої системи віджетів. У результаті програма міститиме два основні інтерфейси користувача, умовно поділені між собою за принципом «внутрішніх рівнів». Перший із них відповідає за екран запуску, який слугує точкою входу в симуляцію, тоді як другий – це основне робоче середовище, де безпосередньо відбувається керування та випробування мобільного робота.

Для реалізації цього інтерфейсу насамперед створено новий порожній рівень, на якому розміщується базовий віджет, що містить ключові елементи управління – кнопки «Старт» та «Вихід». Ці кнопки відповідають за запуск моделювання або завершення роботи програми відповідно (рис. 3.12-3.13).

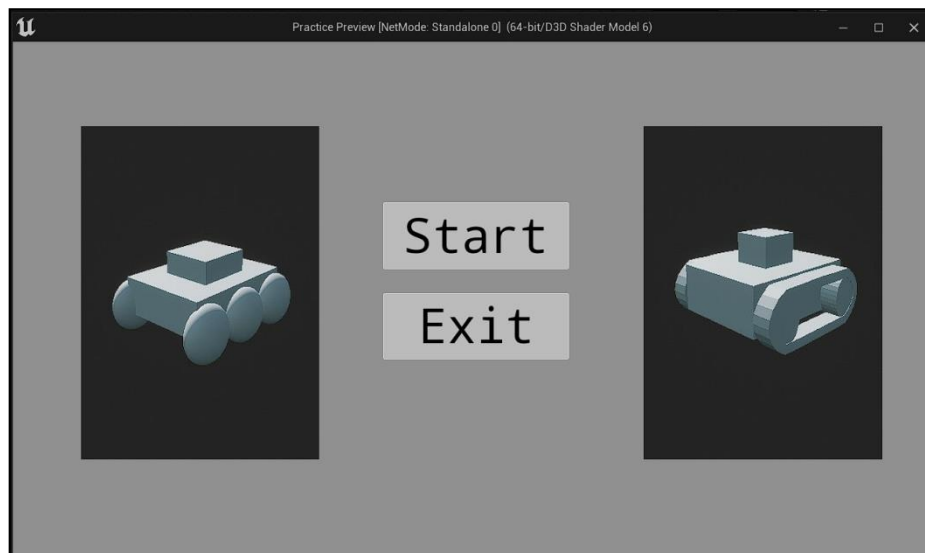


Рис. 3.12 – Вигляд стартового екрану

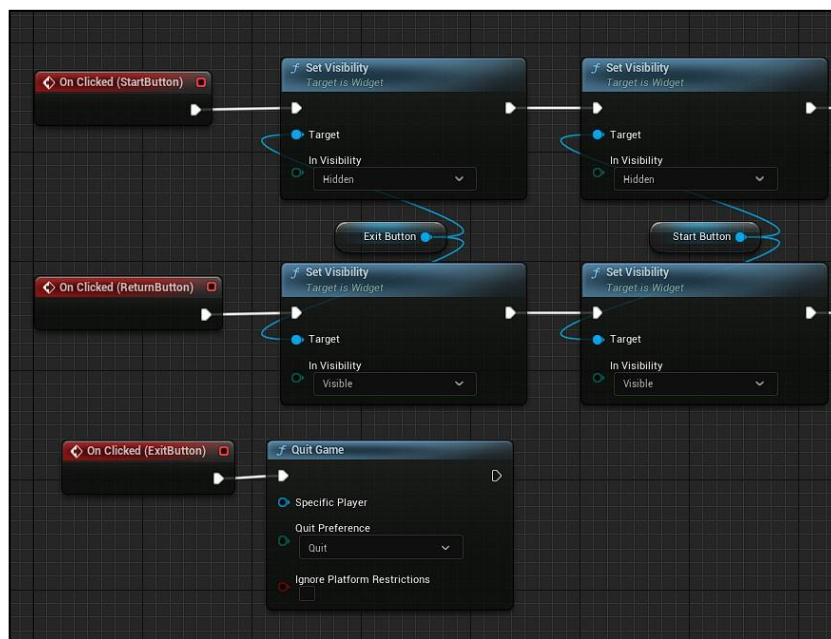


Рис. 3.13 – Код віджета

Оскільки в межах даної роботи розглядаються дві різні моделі мобільних роботів, виникла потреба реалізувати екран вибору активної моделі перед запуском симуляції. Рішенням стало додання функціоналу вибору моделі на стартовий екран. У межах головного віджета додано кнопки за допомогою яких користувач може обрати одну з доступних моделей. Після натискання відповідної кнопки спрацює інтерфейсна функція, яка передає вибране значення змінної до Blueprint'а робота.

На основі цієї змінної перед початком моделювання система автоматично завантажує відповідну модель робота, забезпечуючи коректну ініціалізацію в середовищі Unreal Engine (рис. 3.14-3.15).

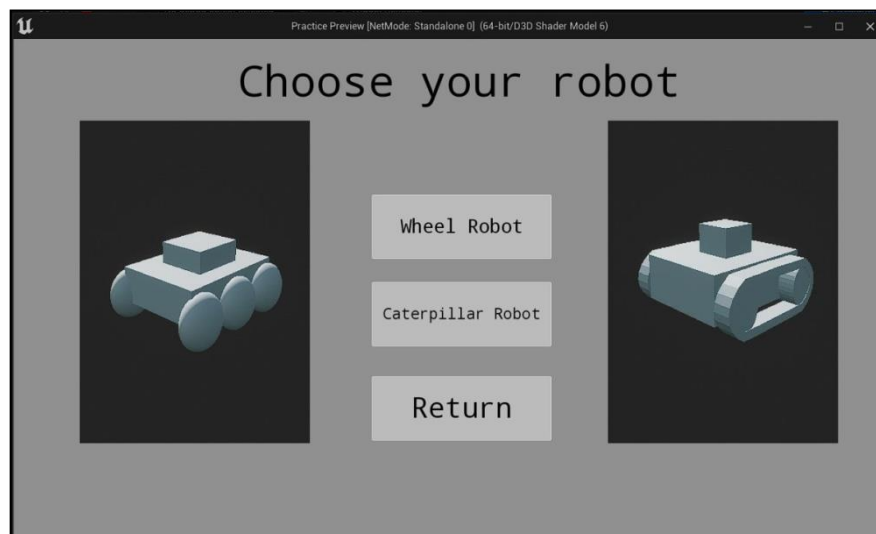


Рис. 3.14 – Вікно вибору моделі робота

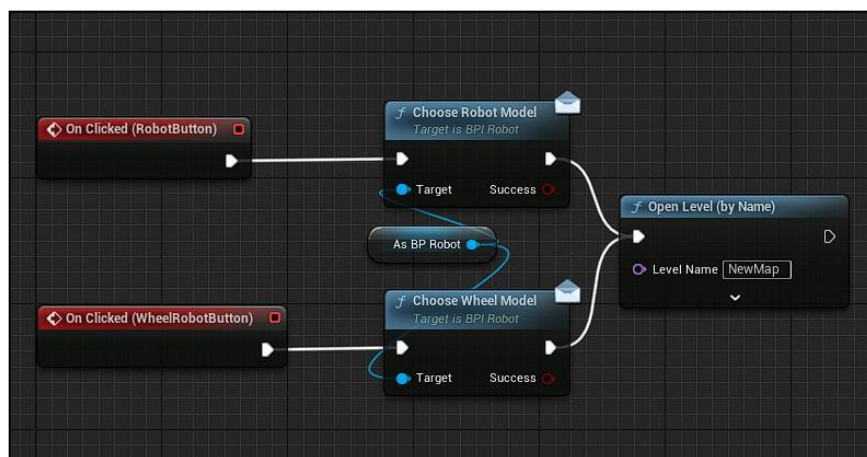


Рис. 3.15 – Модифікація blueprint'а віджета

3.3 Розробка підказок для навчання операторів

Хоча у світі вже існує чимало подібних схожих проектів, не кожен користувач або оператор мобільних роботів здатен одразу зрозуміти принципи керування та швидко адаптуватися до нового середовища. Саме тому було прийнято рішення розробити додатковий інтерфейс з текстовими підказками, орієнтований на нових користувачів програмного забезпечення. Цей елемент є максимально простим і

складається виключно з опису функцій та елементів інтерфейсу, що допомагає швидко зорієнтуватись в системі.

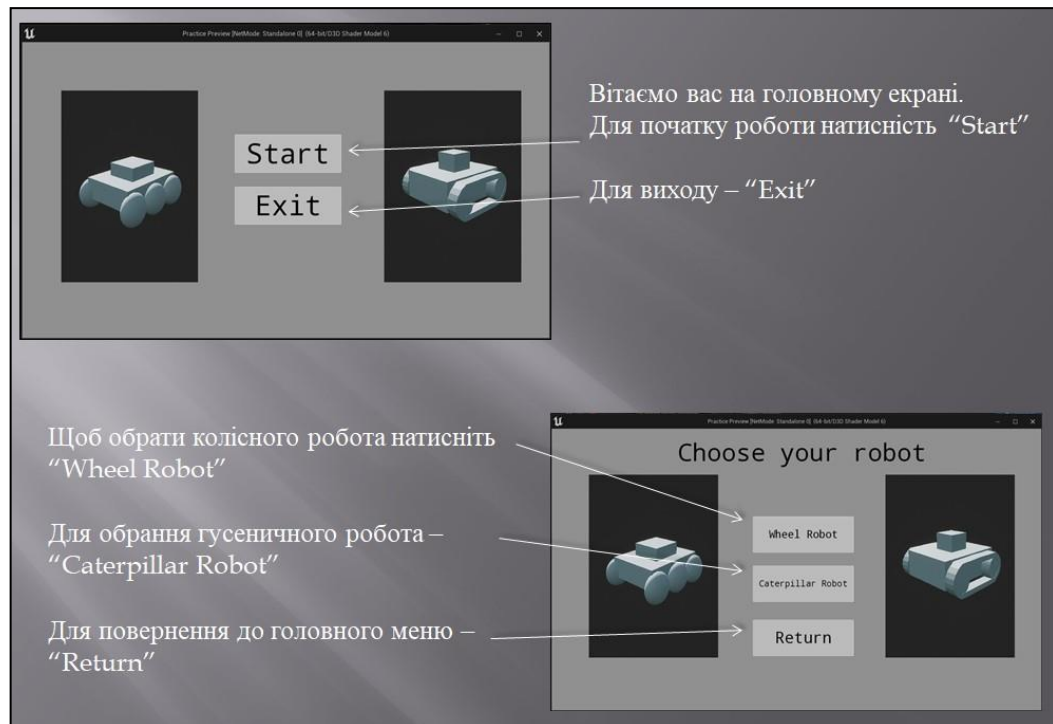


Рис. 3.16 – Перший слайд з підказками до стартового екрану

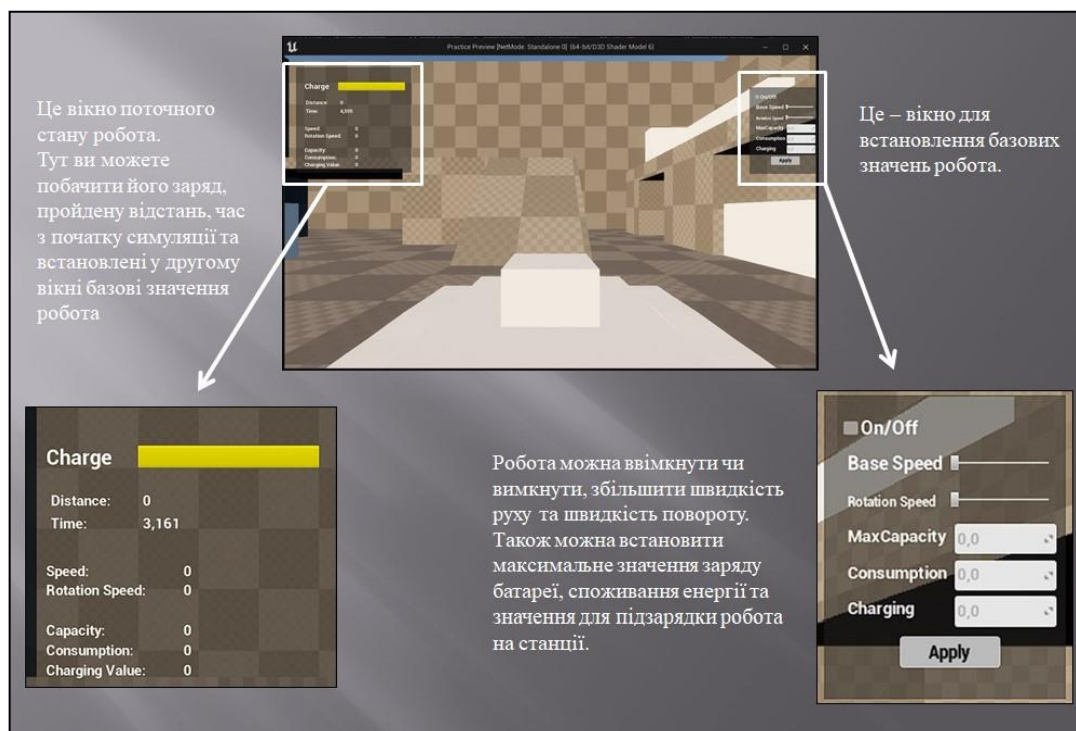


Рис. 3.17 – Другий слайд з підказками до користувацького інтерфейсу

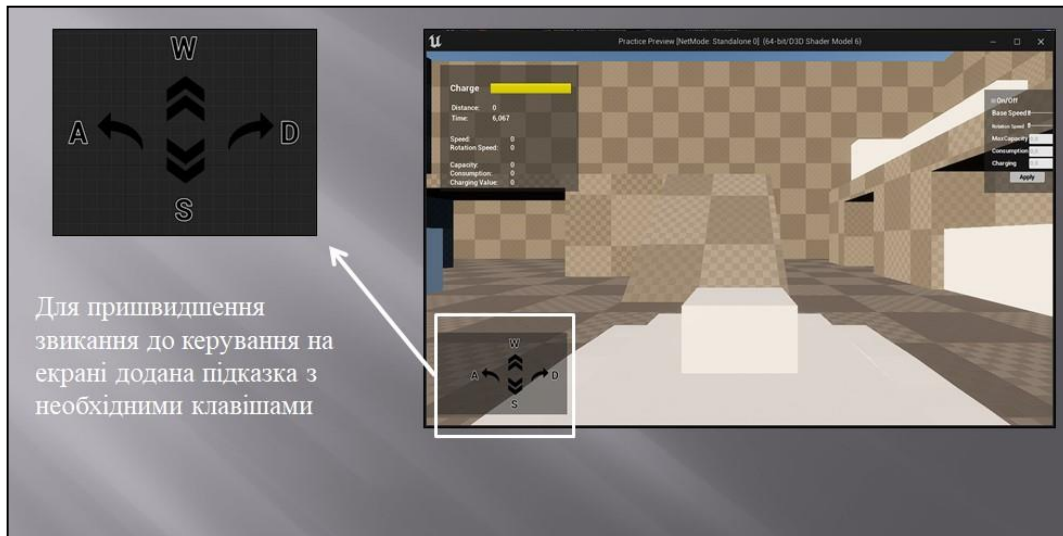


Рис. 3.18 – Невеличка підказка до клавіш керування роботом

Висновок за розділом 3

У результаті роботи над третім розділом проекту створено повноцінний користувацький інтерфейс, який охоплює всі необхідні компоненти для комфортної роботи з програмою. До його складу входять:

- Вікно встановлення базових параметрів робота;
- Інформаційне вікно, яке відображає актуальний стан системи;
- Вікно встановлення базових параметрів інтерактивних перешкод;
- Головне меню;
- Стартовий екран з можливістю вибору моделі робота;
- Підказки для користувача;

Створений інтерфейс забезпечує інтуїтивну навігацію та зручну взаємодію з програмним середовищем, що робить роботу з симулятором зрозумілою навіть для початківців.

РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ В ЗАПРОПОНОВАНІЙ СИСТЕМІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

4.1 Способи реалізації інтелектуальних засобів керування роботів

Так як основне призначення рушіїв – розробка відеоігор, це передбачає необхідність інтеграції штучного інтелекту (ШІ) для керування поведінкою персонажів та інших ігрових об'єктів. Для цього вони містять вбудовані інструменти та механізми, які дозволяють моделювати поведінку з різним рівнем складності. Однак, попри свою функціональність, можливості рушія у сфері ШІ поступаються спеціалізованим програмним засобам, призначеним виключно для створення та навчання інтелектуальних систем.

У межах Unreal Engine існують два основні підходи до реалізації штучного інтелекту:

- програмування за допомогою мови C++ або візуального скриптингу Blueprint. Обидва варіанти дозволяють створювати кастомізовану логіку поведінки персонажів та об'єктів. Використання C++ забезпечує максимальну продуктивність і гнучкість, однак потребує глибоких знань мови програмування. Водночас Blueprint є простішим і доступнішим для розробників без досвіду в кодуванні, але поступається в ефективності та масштабованості.

- Використання Behavior Tree (дерева поведінки). Це спеціалізований інструмент Unreal Engine, який дає змогу створювати складні сценарії прийняття рішень на основі ієрархічної структури вузлів. Дерева поведінки є ефективним способом реалізації ШІ для керування NPC (неігровими персонажами), забезпечуючи чітке розмежування між різними станами та діями, які вони можуть виконувати [11, с. 113].

Вибір між цими методами залежить від конкретних вимог проєкту. Використання Blueprint є доцільним у випадках, коли необхідно швидко створити базові алгоритми поведінки, такі як переслідування об'єктів, уникнення перешкод або реагування на події в грі. Водночас, для складніших сценаріїв із великою

кількістю логічних умов і взаємодій доцільно застосовувати C++ або комбінувати його з Blueprint.

Хоча машинне навчання є перспективним підходом до створення адаптивного та самонавчального ІІ, у контексті цього проєкту його використання не є раціональним. Це пояснюється кількома факторами:

- Складність реалізації. Навчання моделей ІІ вимагає додаткових ресурсів, часу та інтеграції з відповідними бібліотеками.
- Відсутність обґрунтованої потреби. Оскільки проєкт не передбачає складного або динамічно адаптивного моделювання, використання традиційних підходів забезпечить аналогічний результат із меншими витратами.
- Оптимізація продуктивності. Використання нейромереж або алгоритмів навчання може суттєво вплинути на продуктивність симулятора, що є критичним для зняття даних у реальному часі.

Таким чином, для розв'язання поставлених завдань у проєкті найкраще підходить комбінація Behavior Tree та Blueprint. Цей підхід дозволяє швидко й ефективно моделювати поведінку ігрових об'єктів, забезпечуючи необхідний рівень інтелектуальності без зайвого ускладнення. Наприклад, за допомогою Behavior Tree можна налаштувати систему уникнення перешкод, переслідування гравця або патрулювання території, що є типовими сценаріями для NPC (Рис. 4.1). Завдяки цьому вдається досягти оптимального балансу між функціональністю, продуктивністю та зручністю розробки.

Як згадувалося, метод використання візуальної мови Blueprint простіший за інші. Проте до його недоліків відноситься втрата гнучкості прийняття рішень, так як можливості реагування обмежені певними рамками і інколи дії можуть ставати перешкодою виконанням інших дій.

Другий спосіб позбавлений цього недоліку, оскільки надає значно більшу гнучкість у прийнятті рішень. Зазвичай цей метод використовується для створення штучного інтелекту неігрових персонажів (NPC) у відеоігрових проєктах. Behavior Tree застосовує деревоподібну структуру поведінки, що містить логіку для

виконання певних дій. Крім того, він працює у зв'язці зі спеціальним асетом, який називається Blackboard. Цей компонент слугує своєрідним «мозком» дерева поведінки, забезпечуючи збереження та оновлення необхідних даних.

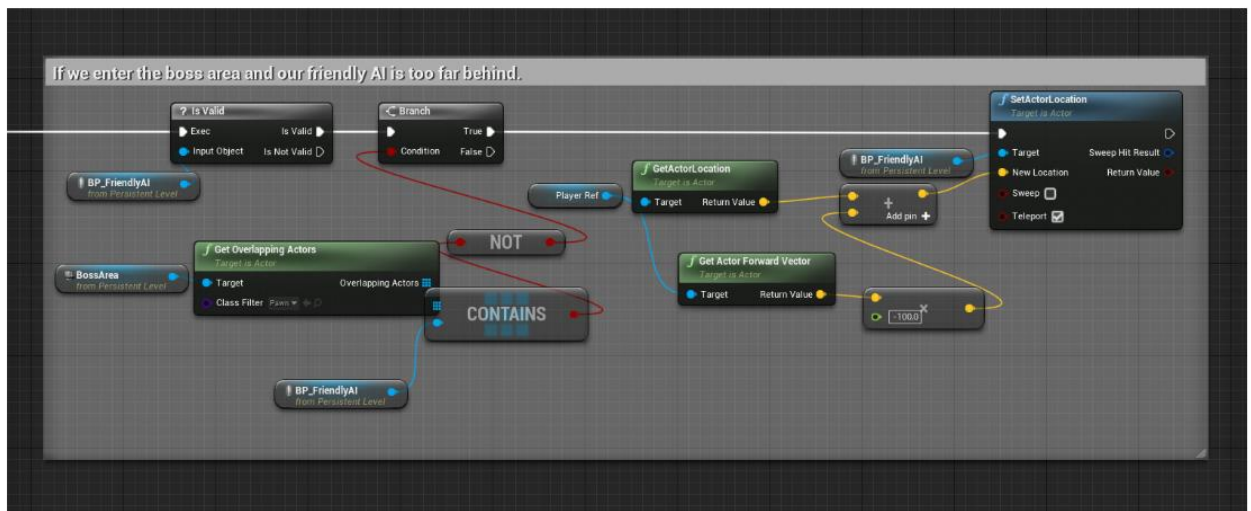


Рис. 4.1– Приклад використання мови Blueprint для реалізації поведінки штучного інтелекту

Blackboard містить набір визначених користувачем ключів, які зберігають інформацію, необхідну для прийняття рішень у Behavior Tree. Наприклад, можна створити булевий ключ "IsThereSweets?", який вказує на наявність цукерок у зоні досяжності персонажа. Дерево поведінки може звертатися до цього ключа для перевірки його значення:

Якщо значення true, запускається відповідна гілка дерева, що ініціює подію "Взяти цукерку".

Якщо значення false, виконується інша гілка з альтернативними діями (наприклад, пошук цукерки або перехід до іншого завдання).

Behavior Tree може бути як відносно простим, так і надзвичайно складним, здатним імітувати складні процеси прийняття рішень, наближені до поведінки людини. Завдяки цьому методу можна створювати розгалужені сценарії поведінки NPC, що робить їхні дії більш природними та адаптивними у межах ігрового середовища [11, с.113].

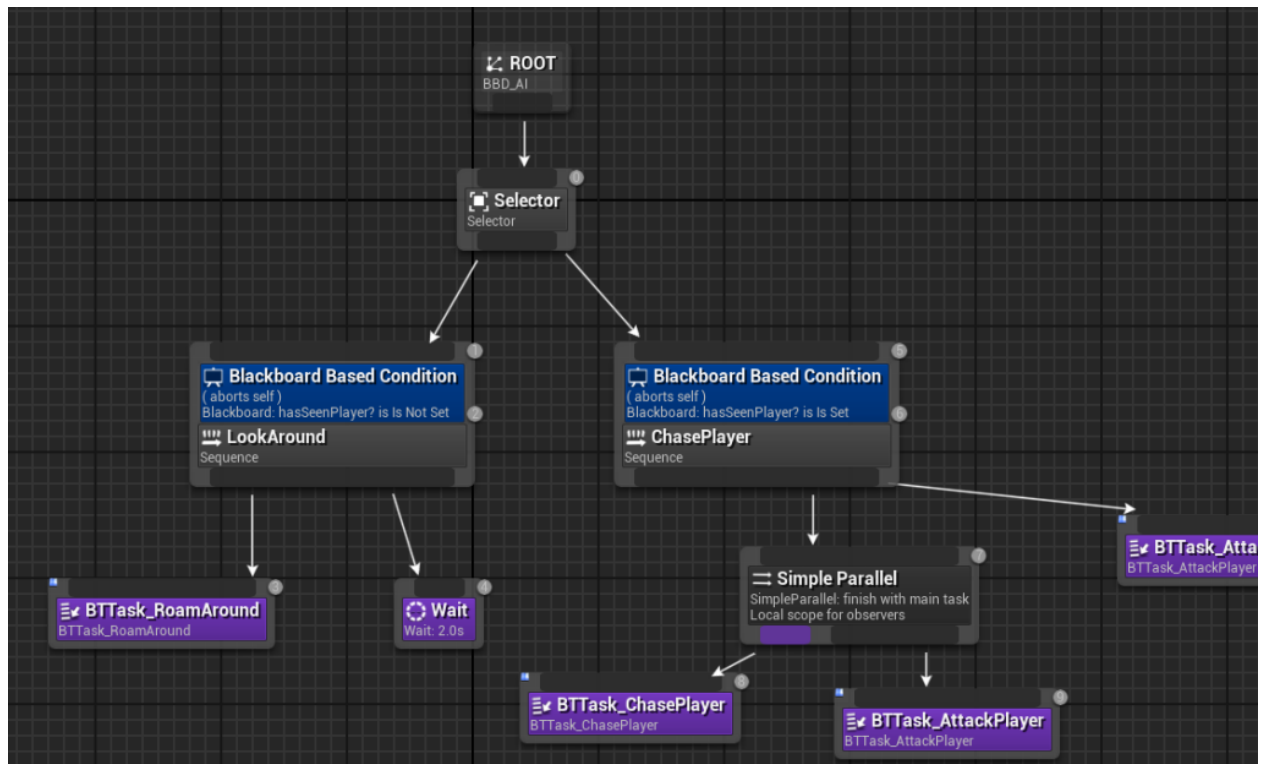


Рис. 4.2 – Приклад Behavior Tree для моделювання поведінки штучного інтелекту у грі

Для повної реалізації алгоритму штучного інтелекту з використанням Behavior Tree у середовищі Unreal Engine необхідно створити та налаштувати кілька основних компонентів, які тісно взаємодіють між собою. До них належать:

Blackboard – інструмент, що слугує сховищем даних для Behavior Tree. Він містить набір змінних (ключів), які використовуються для прийняття рішень. Ключі можуть мати різні типи даних, такі як Boolean, Vector, Object або Float, що дозволяє зберігати як прості логічні значення, так і складні координати або посилання на об'єкти.

Tasks – користувацькі функції, які відповідають за виконання конкретних дій. Кожен вузол завдання (Task Node) виконує певну операцію, наприклад переміщення до цілі, очікування або перевірку стану об'єкта. Tasks створюються як окремі класи або Blueprint-скрипти та можуть бути повторно використані в різних поведінкових сценаріях.

AI Controller – спеціальний клас на мові C++ або Blueprint, який відповідає за керування ігровими сутностями. Він зв'язує персонажа з деревом поведінки та

викликає його виконання. AI Controller також керує передачею даних до Blackboard та ініціює запуск дерева поведінки при спавні персонажа.

Behavior Tree працює у вигляді нескінченного циклу, постійно перевіряючи умови та виконуючи відповідні завдання. Це дозволяє реалізувати пасивну поведінку, яка безперервно виконується до моменту зміни стану або зовнішніх умов. Наприклад, типовою поведінкою для NPC є патрулювання території з постійним пошуком гравця. Якщо персонаж помічає гравця, дерево поведінки може змінити поточну гілку, ініціюючи переслідування або атаку.

Для рушія Unity вибір майже такий самий: написання логіки на мові C# чи використовувати вбудовану систему NavMesh. Звісно, писати логіку за допомогою коду занадто складно та потребує поглиблених знань в області штучного інтелекту. Тому розглянемо детальніше навігаційну систему NavMesh [11, с.113].

Дана система дозволяє створювати об'єкти, що мають змогу «орієнтуватися» в ігровому просторі. Це дає штучному інтелекту зрозуміти що потрібно зробити наступним кроком для досягнення цільової точки. До складу цієї системи входять:

- Navigation Mesh – структура даних яка описує всі поверхні по яким може переміщуватися об'єкт та дозволяє прокладати шлях від однієї точки до іншої. Ця структура створює завдяки запіканню геометрії створеної карти.

- NavMesh Agent – компонент що допомагає створювати об'єкти, які рухаються до своєї цілі не перетинаючись з іншими таким ж самими об'єктами чи перешкодами.

- Off-Mesh Link – компонент, що створює точки навігації які неможливо розташувати за допомогою поверхні Navigation Mesh. Як приклад: точка зтику двох поверхонь розділених дверима чи стінкою, проте яку можна подолати.

- NavMesh Obstacle – компонент що дозволяє створити рухомі перешкоди, які слід уникати NavMesh Agent'ам. Якщо така перешкода рухається, то агенти мають уникати її як тільки можуть. Якщо перешкода нерухома, то Navigation Mesh прокладає інший шлях в обхід.

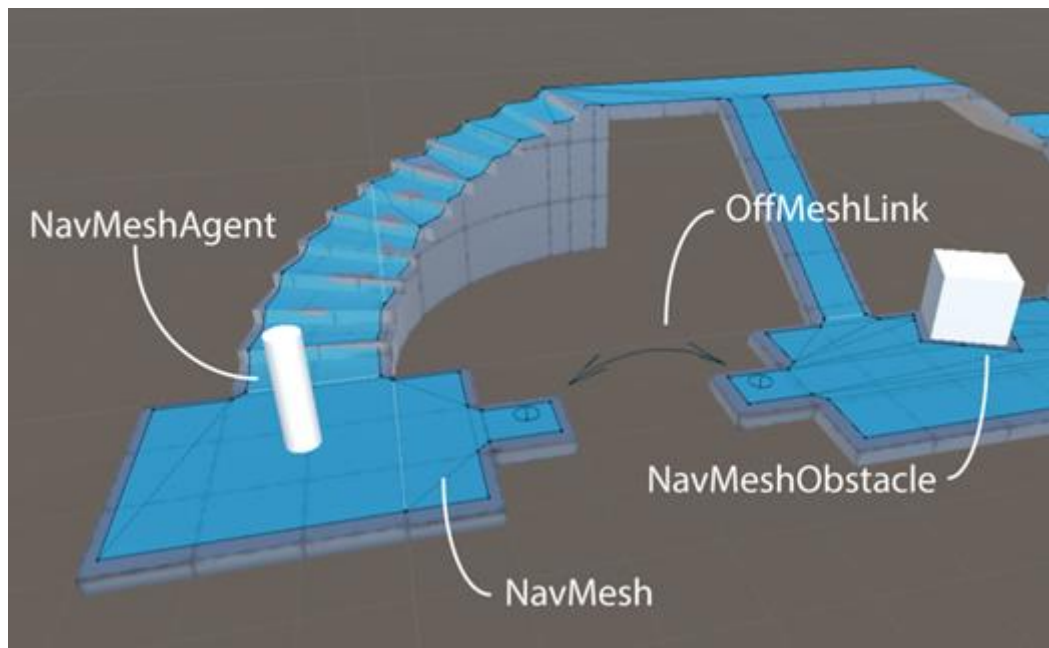


Рис. 4.3 – Частини ситеми Unity NavMesh

Процес створення NavMesh з геометрії рівня називається NavMesh Baking. Процес збирає візуалізаційні сітки та місцевості всіх ігрових об'єктів, які позначені як статичні навігації, а потім обробляє їх, щоб створити навігаційну сітку, яка апроксимує прохідні поверхні рівня.

У Unity генерація NavMesh обробляється у вікні навігації. Створення NavMesh для сцени можна зробити за 4 швидкі кроки:

1. Вибрати геометрію карти, яка повинна впливати на навігацію – поверхні по яким може рухатися агент та перешкоди, які він має уникати.
2. Обрати для карти властивість Navigation Static, щоб включити вибрані об'єкти в систему NavMesh.
3. Налаштувати параметри випікання відповідно до розміру агента. Agent Radius визначає, наскільки близько центр агента може підійти до стіни або виступу. Agent Height визначає, наскільки низькі простори, до яких може дійти агент. Max Slope визначає, наскільки круті пандуси можуть зупинити агента. Step Height визначає, наскільки високі перешкоди, на які може наступити агент.
4. Натиснути Bake, щоб створити Navigation Mesh.

Отриманий Navigation Mesh буде відображатися на сцені у вигляді синього накладання на базовій геометрії рівня, коли вікно навігації буде відкритим і видимим [11, с.113].

Область, яку можна пройти в створеному Navigation Mesh, здається зменшеною. Це відбувається через те, що він представляє область, куди може рухатися центр агента. Концептуально неважливо, чи вважаєте ви агента точкою чи колом, оскільки ці два варіанти еквівалентні. Однак точкова інтерпретація дозволяє підвищити ефективність виконання, а також дозволяє дизайнеру відразу побачити, чи може агент просочитися через прогалини, не турбуючись про його радіус.

Також необхідно звернути увагу, що Navigation Mesh - це наближення прохідної поверхні. Це можна побачити, наприклад, на сходах, які представлені у вигляді плоскої поверхні. Це робиться для того, щоб розмір даних Navigation Mesh був невеликим. Побічним ефектом наближення є те, що іноді потрібно буде мати трохи додаткового місця в геометрії рівня, щоб агент міг пройти крізь щільне місце.

Коли все буде завершено, знайти файл ресурсів NavMesh'a можна всередині папки з тим самим іменем, що і сцена, до якої належить NavMesh. Наприклад, якщо у вас є сцена, яка називається Перший рівень у папці Active, NavMesh буде знаходитись у розділі Active> Перший рівень> NavMesh.asset.

4.2 Створення інтелектуальних засобів керування роботами

У розділі два було обрано ігровий рушій Unreal Engine 5, тому для реалізації даної системи використаємо метод Behavior Tree. Цей метод надає значно більшу гнучкість у прийнятті рішень та трохи простіший ніж використання мови Blueprint на пряму для написання алгоритму дій.

Для початку створюємо порожнє дерево поведінки та додаємо композицію Sequence для впорядкованого виконання задач (Рис. 4.4). Наступним кроком створюємо власну задачу (Task) для однієї з гілок. Ця задача буде шукати локацію однієї з певних цілей, після чого записувати її у змінну для наступних дій.

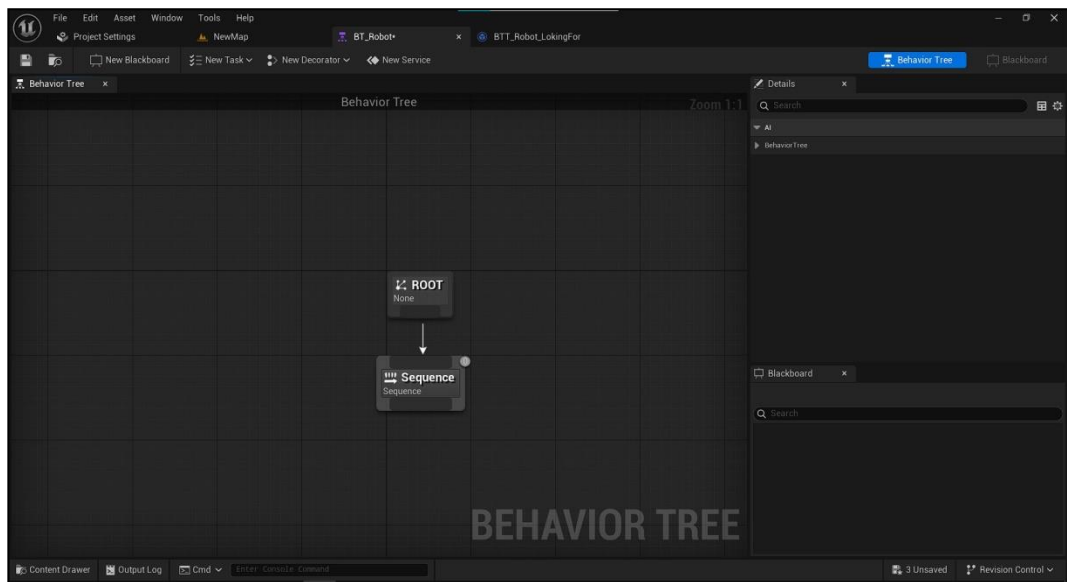


Рис. 4.4 – Вікно Behavior Tree

В процесі може виникнути питання «Як передати змінні від задачі?». Ось саме для таких випадків існує вбудований модуль Blackboard. Він дозволяє оперувати змінними між задачами та налаштовувати потоки виконання завдяки своєму функціоналу. Змінюємо код для використання модуля Blackboard (Рис. 4.5).

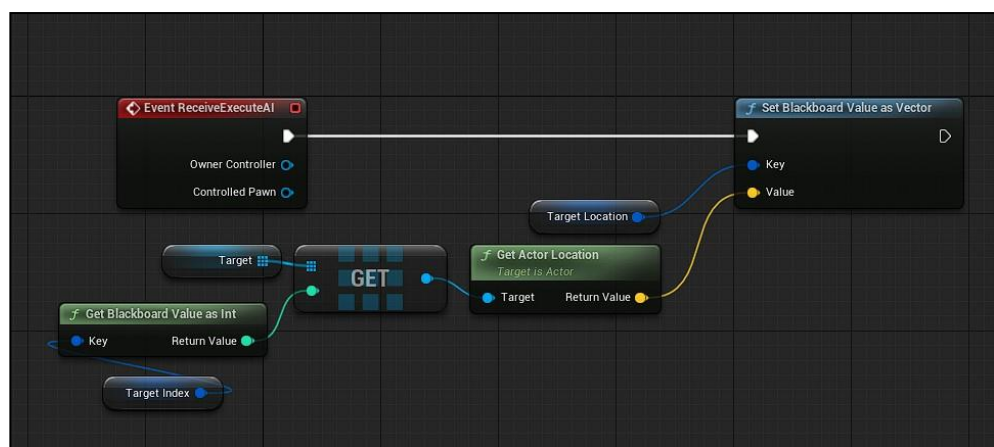


Рис. 4.5 – Власна задача для пошуку координат цілі

Прив'язуємо створений Blackboard до нашого дерева поведінки. Після цього створюємо змінні які будуть використовуватися для збереження даних (Рис. 4.6). Далі створюємо нову власну задачу для відтворення команди переміщення до знайденої цілі. Отримуючи координати від змінної з модуля Blackboard, додаємо ноду `AIMoveTo`, яка дозволяє переміщуватися до отриманих координат (Рис. 4.7).

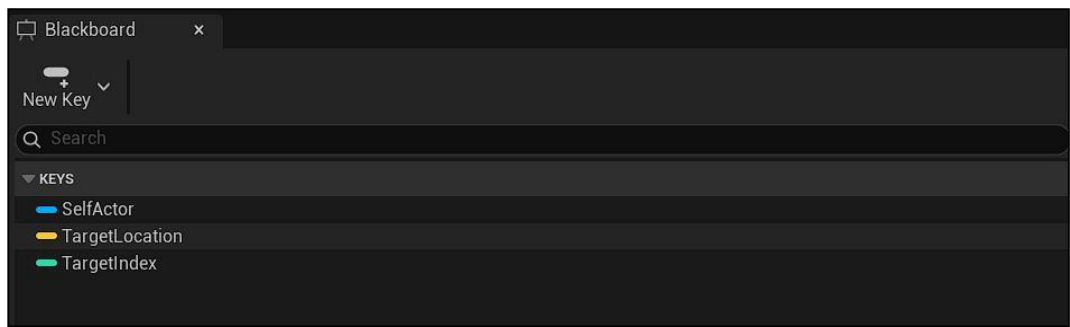


Рис. 4.6 – Модуль Blackboard та створені змінні

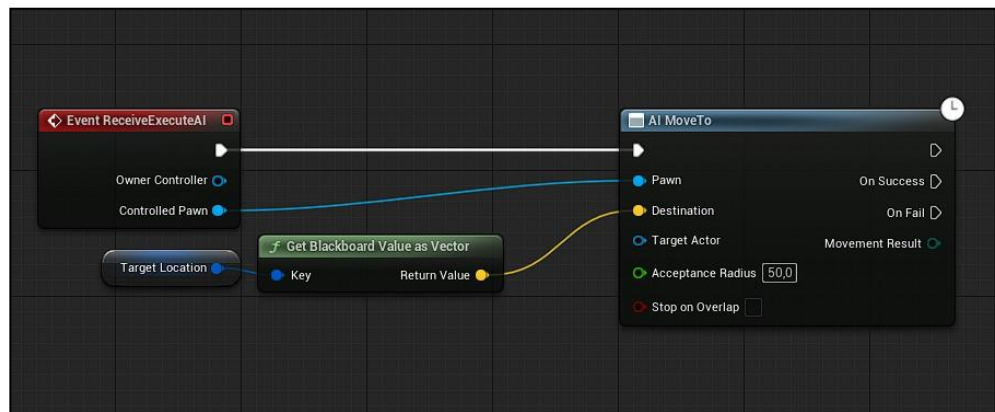


Рис. 4.7 – Логіка другої власної задачі

Третім власним завданням буде перевірка на те чи досяг робот цілі. Якщо ні, то знову запусниться пошук першої цілі, якщо так, то він перейде до пошуку другої (Рис. 4.8). Після того як реалізовано основну частину функціоналу робота для пошуку цілі необхідно додати інші перевірки та реакції.

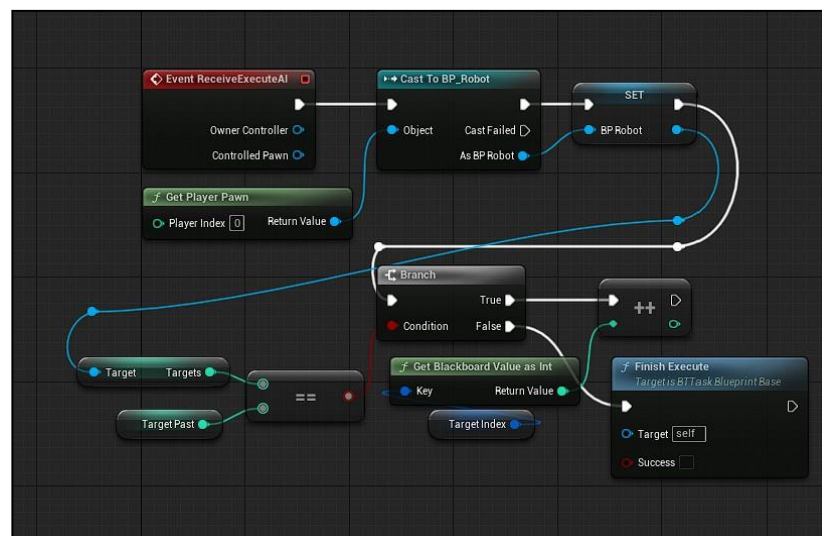


Рис. 4.8 – Перевірка чи досяг робот цілі

Однією з таких перевірок є стан робота. Якщо він пошкоджений то блокується пошук нових цілей і система виводить попередження. Принцип схожий з перевіркою на досягнення цілі, необхідно змінити лише пару нод (Рис. 4.9).

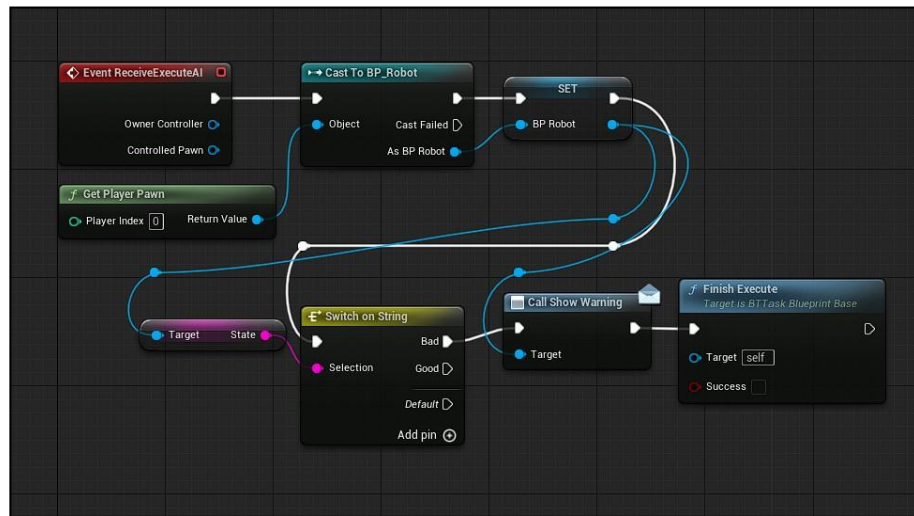


Рис. 4.9 – Перевірка на стан робота

Ще одним функціоналом буде перевірка на перешкоду. Якщо перед роботом буде перешкода, то він зачекає декілька секунд, після чого розрахує новий маршрут. Це необхідно для випадку коли на шляху перешкоди не було, проте вона з'явилася (зачинилися двері чи щось впало). Логіка перевірки зображена на рисунку 4.10. Основною частиною цієї перевірки є здатність робота до визначення перешкод, тому йому було додано такий функціонал (Рис. 4.11).

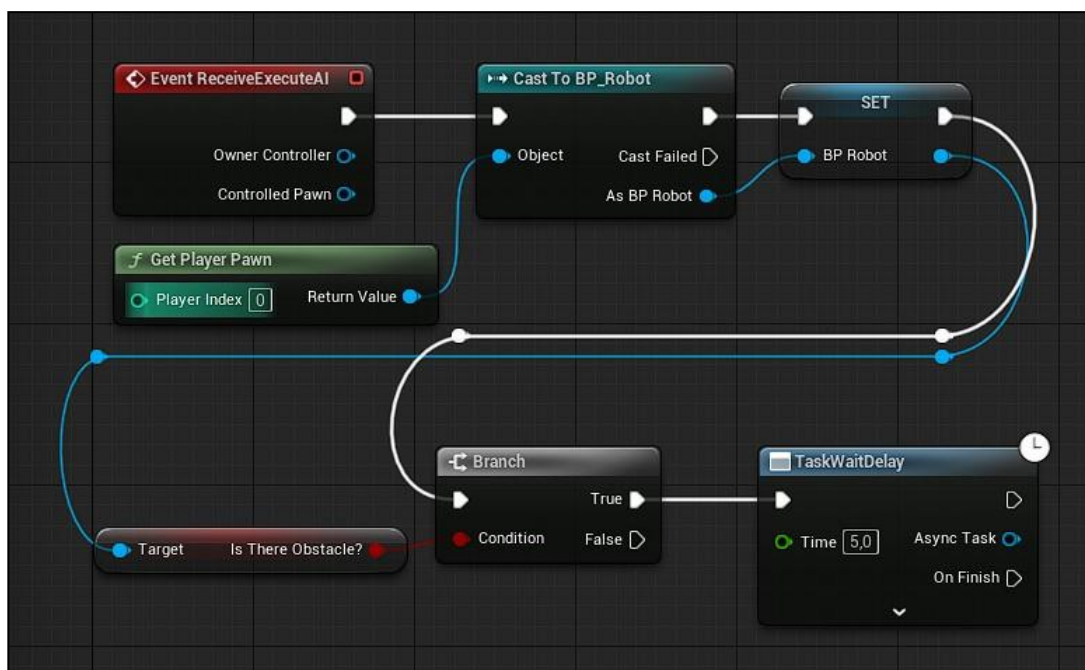


Рис. 4.10 – Перевірка на перешкоди

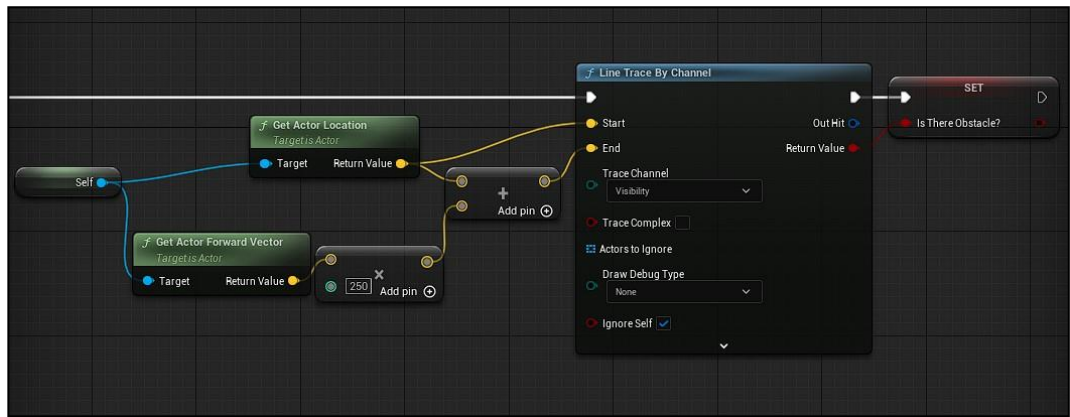


Рис. 4.11 – Логіка для пошуку перешкод

Як результат отримано дерево поведінки що зображено на рисунку 4.12. Спочатку воно перевіряє стан робота, якщо результат задовільний, то запускається перевірка на перешкоди, якщо немає то шукає цілі. Після цього робот прямує до цілей і відбувається перевірка на їх досягнення.

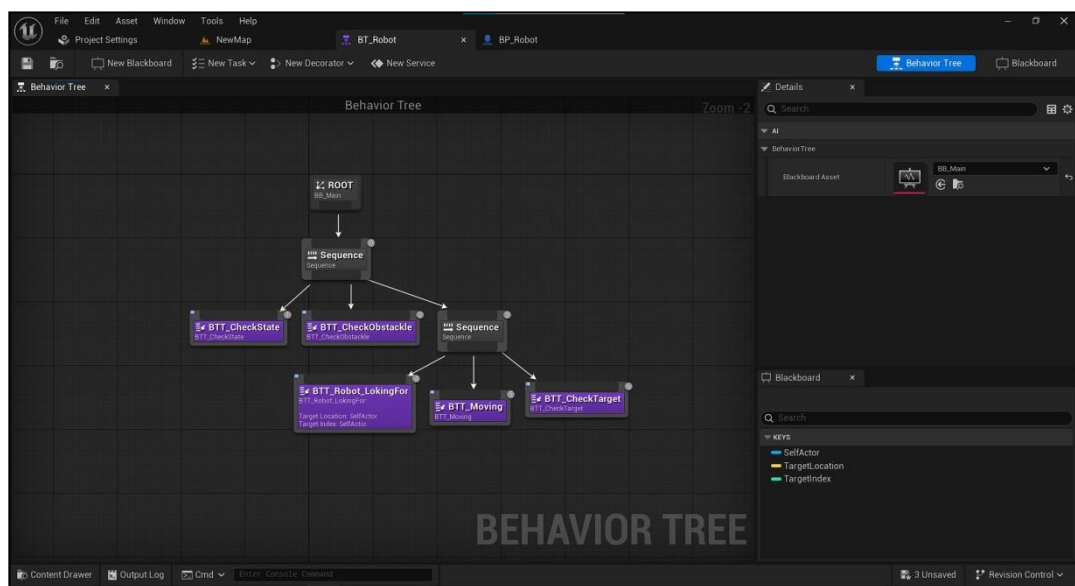


Рис. 4.12 –Отримане дерево поведінки

4.3 Розміщення інтерактивних перешкод

У даному підрозділі переходимо до створення та розміщення спеціальних інтерактивних перешкод. Вони необхідні для того, щоб внести до моделювання фактор випадковості та збільшити точність і достовірність проведених моделювань.

Першою перешкодою буде перекритий шлях. Він дозволить імітувати обставини коли є впавше дерево чи зачинені двері. Так як такі перешкоди можна прибрати, то введено функціонал відкриття перекритого шляху. На рисунку 4.13 зображено вигляд даної перешкоди у середовищі моделювання, а на рисунку 4.14 код на мові Blueprint.

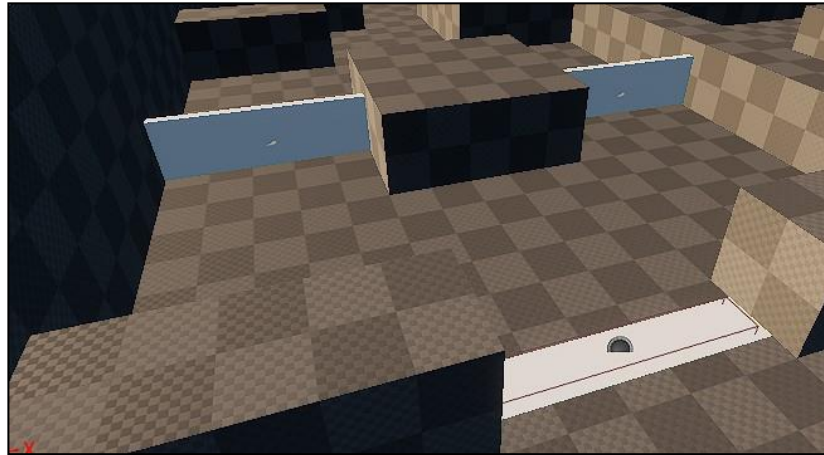


Рис. 4.13 – Основний вигляд перешкоди

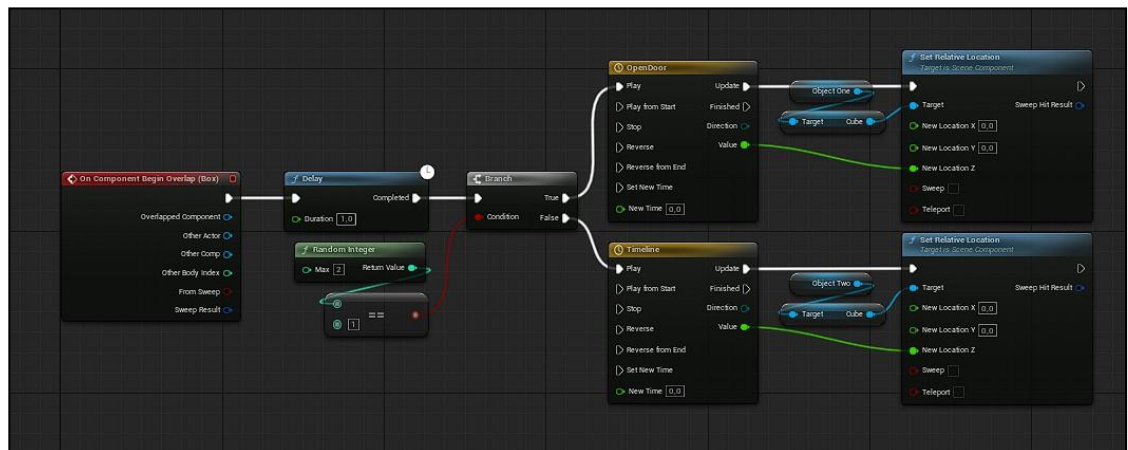


Рис. 4.14 – Код працездатності перешкоди

Основним принципом роботи є: коли робот перетинає зону розміщену на підлозі, то один з входів відчиняється. Проте процес вибору входу псевдовипадковий, він обирає число з переліку та порівнює зі значенням одного входу, якщо вони співпадають то вхід відчиняється. Інакше відчиняється інший вхід.

На рисунку 4.15 зображено розміщення всіх перекритих шляхів.

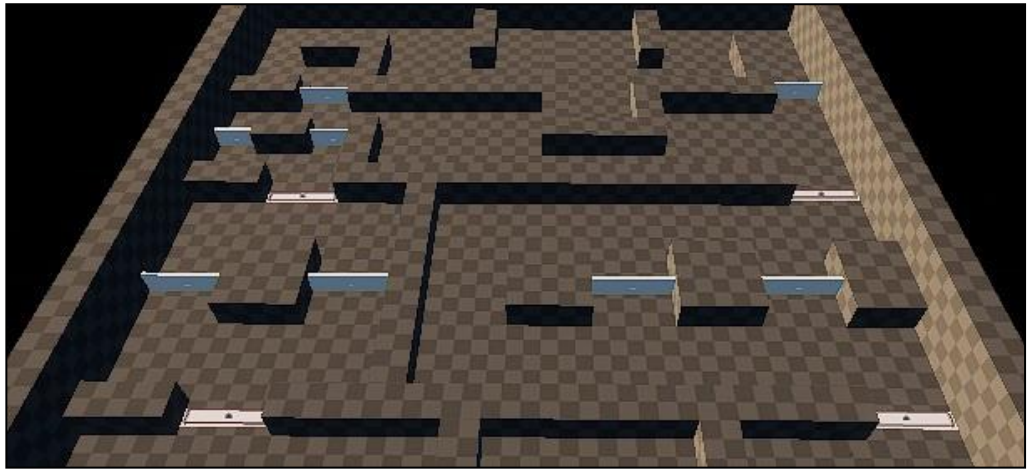


Рис. 4.15 – Розміщення перекритих шляхів

Наступною перешкодою є «атака тварин». У випадковому місці карти моделювання створюється «дика тварина», яка шукає свою ціль в певному радіусі. Вона може як затримати робота, так і знизити його працездатність, чи навіть знищити. На рисунку 4.16 зображено зовнішній вигляд «тварини», а на рисунку 4.17-4.19 код та алгоритм дій. Після підтвердження локації робота, викликається подія атаки, і «тварина» атакує робота.



Рис. 4.16 – Зовнішній вигляд «тварини»

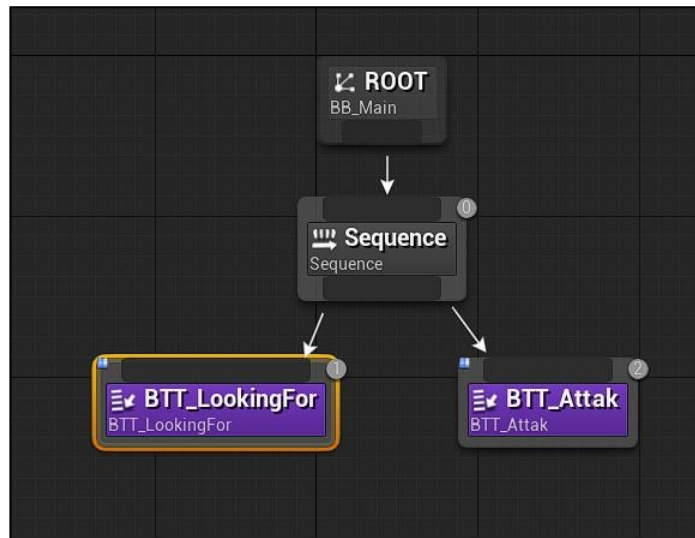


Рис. 4.17 – Дерево поведінки

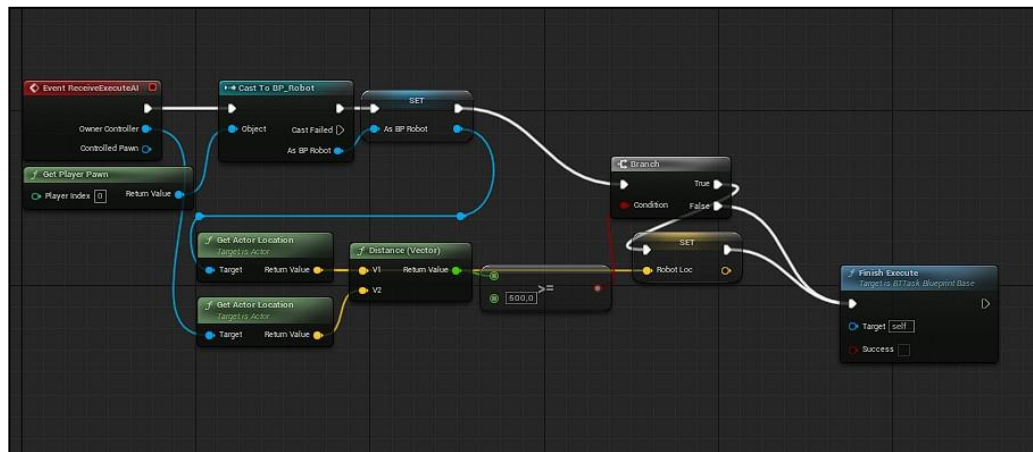


Рис. 4.18 – Додатковий код для пошуку цілі

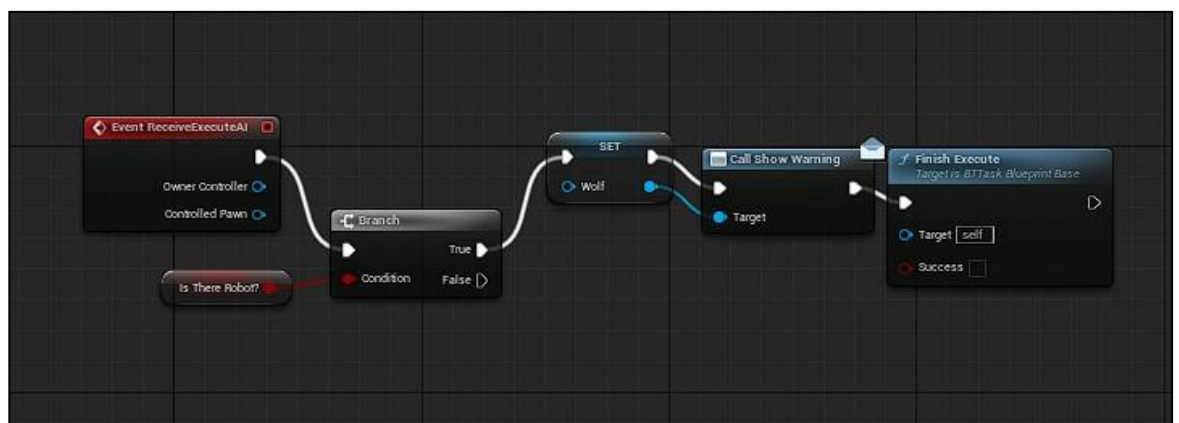


Рис. 4.19 – Додатковий код для атаки цілі

Третьою інтерактивною перешкодою є «випадкове пошкодження деталей робота». Як і будь-який механізм деталі робота можуть зноситися та вийти з ладу

або навіть отримати програмний збій. Тому такі події також можна віднести до категорії інтерактивних перешкод. Так як це просто моделювання реальності, то такі пошкодження будуть лише затримувати роботу на деякий час, хоча і можливо розглянути варіант коли робот виходить з ладу та моделювання закінчується невдачею.

На рисунку 4.20 зображено основний код алгоритму. Кожну одиницю часу моделювання проводиться перевірка, після якої обирається один з варіантів цих подій. Якщо обирається пошкодження то робот зупиняє свою роботу на декілька секунд.

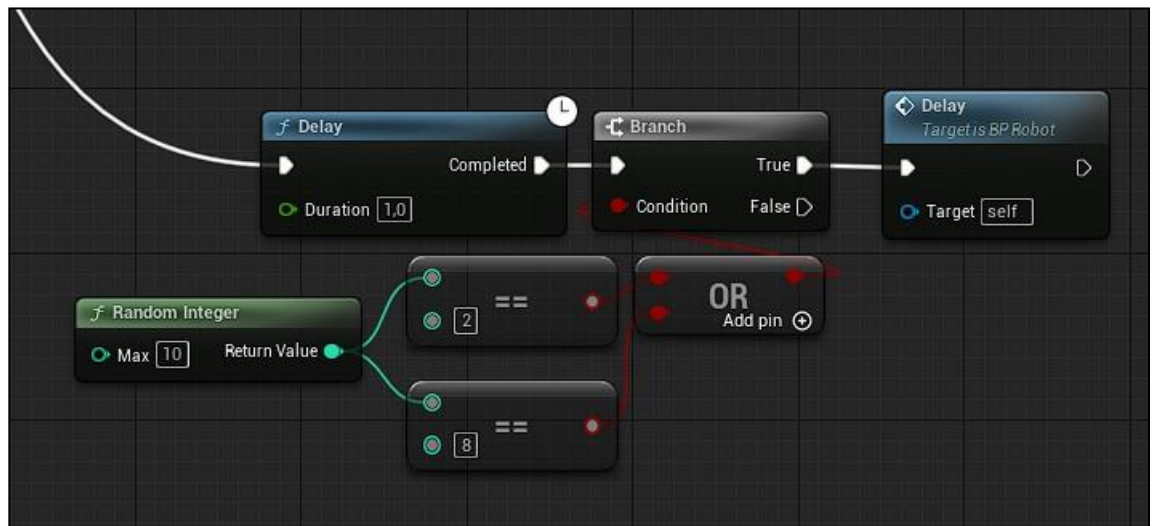


Рис. 4.20 – Основний код алгоритму

Висновок за розділом 4

Перший підрозділ містить ознайомлювальну інформацію про реалізацію поведінки штучного інтелекту за допомогою візуальної мови програмування Blueprint у середовищі Unreal Engine та про деталі системи NavMesh середовища Unity. Також надано огляд інструмента Behavior Tree який надає широкі можливості для цього. На відміну від простішого методу на мові Blueprint він більш гнучкий у прийнятті рішень, а в порівнянні з машинним навчанням більш простіший в реалізації.

В результаті виконання другого підрозділу отримано простий засіб інтелектуального керування який дозволяє гнучко налаштовувати систему та досягати роботу поставленої цілі. Створено ряд перевірок які націлені на роботу спроможність робота та його можливість виконати завдання.

Третій підрозділ присвячено створенню та розміщенню інтерактивних перешкод на шляху робота. Створені перешкоди дозволяють внести фактор випадковості до моделювання, що допоможе отримати більш точні результати моделювання мобільних роботів.

РОЗДІЛ 5. МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА ПІД КЕРУВАННЯМ ОПЕРАТОРА

5.1. Тестування роботи системи та виправлення недоліків

Симулятор, як і будь-яка інша програмна система, повинен пройти серію тестувань, спрямованих на виявлення усіх або принаймні більшості недоліків. У процесі випробувань було зафіксовано такі проблеми:

1. Під час моделювання при спробі оператора рухатися назад робот замість заднього ходу здійснював обертання на місці до того моменту, поки його кут повороту не досягав нуля відносно світових координат, після чого він рухався лише в одному напрямку.

2. Якщо оператор вводив від'ємні значення ємності батареї або енергоспоживання, робот продовжував працювати, хоча такі параметри є некоректними.

3. У деяких випадках під час маневрування поворот гусеничного робота відбувався не відносно його власної осі, а навколо камери оператора, яка розташована на певній відстані від нього.

Після аналізу виявлених недоліків були визначені ефективні способи їх усунення. Причиною першої проблеми виявилось некоректно задане обмеження руху робота, описане в розділі 2. Після внесення відповідних коригувань (рис. 5.1) цей недолік було успішно усунуто.

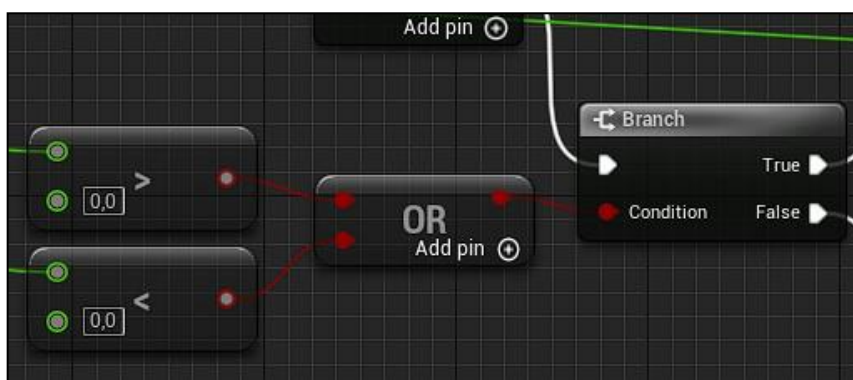


Рис. 5.1 – Скоригований код для системи управління

к причини третього недоліку виявився більш складнішим завданням

Age Group	Percentage
18-24	25%
25-34	20%
35-44	15%
45-54	10%
55-64	8%
65-74	6%
75-84	4%
85+	5%



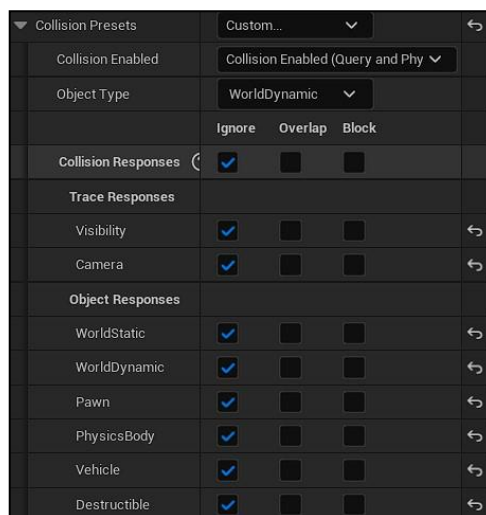


Рис. 5.4 – Вимкнення колізій камери

5.2. Визначення основних технічних параметрів функціонування мобільного робота

Після завершення всіх етапів розробки можна переходити безпосередньо до процесу моделювання мобільних роботів у створеному програмному середовищі. На цьому етапі визначаються та встановлюються основні параметри, які забезпечують коректну роботу симуляції та дозволяють адекватно відтворити поведінку роботів у віртуальному просторі. До таких параметрів можемо віднести наступні:

- вага роботів – по 35 кг;
- розміри роботів:
 - ширина: 0.5 м;
 - довжина: 0.6 м;
 - висота: 0.4 м;
 - діаметр коліс: 0.2 м;
 - діаметр провідних зірочок: 0.1 м;
- швидкість колісного робота: 5.5 м/с;
- швидкість гусеничного робота: 2 м/с [2, 12, с. **Ошибка! Закладка не определена.**].

Оскільки умови пересування в реальному світі суттєво відрізняються від ідеалізованих поверхонь у моделюванні, виникає потреба у впровадженні додаткових налаштувань, які дозволяють коригувати швидкість руху робота

залежно від типу поверхні. Для цього у симуляторі створено спеціальні зони, що модифікують параметри матеріалів.

Потрапляючи в таку область, робот отримує певні коефіцієнти впливу, які передає ігровий рушій, після чого здійснюється перерахунок його швидкісних характеристик. Таким чином вдається більш точно імітувати поведінку мобільного робота в умовах реального середовища. У моделюванні ж використано такі модифікатори впливу на швидкість для різних типів роботів:

- колісний робот:
 - бездоріжжя – (-30%), болотиста місцевість – (-70%);
- гусеничний робот:
 - бездоріжжя – (-20%), болотиста місцевість – (-40%).

Для подальшого проведення моделювання було обрано три цільові точки (рис. 5.5). Для кожної з них було визначено відстань та час, за який роботи змогли дістатися до заданих координат. Фіксація результатів здійснювалася за трьома різними сценаріями моделювання:

- у першому моделюванні визначався час руху роботів до цільових точок без урахування впливу типу поверхні. У цьому випадку весь маршрут являв собою рівну поверхню;

- у другому моделюванні увесь шлях було модифіковано під умови бездоріжжя, що дозволило оцінити вплив погіршених характеристик поверхні на швидкість пересування;

- у третьому моделюванні введено максимальний негативний вплив на швидкість, а саме моделювання руху по болотистій місцевості, яка суттєво зменшує мобільність роботів.

На рисунку 5.5 також наведено траєкторії, за якими роботи обрали найкоротший шлях до кожної з цільових точок. Усі отримані дані занесено до таблиць 5.1 та 5.2, що наведені у підрозділі 5.3.

Наступним етапом є аналіз отриманих під час моделювання результатів.

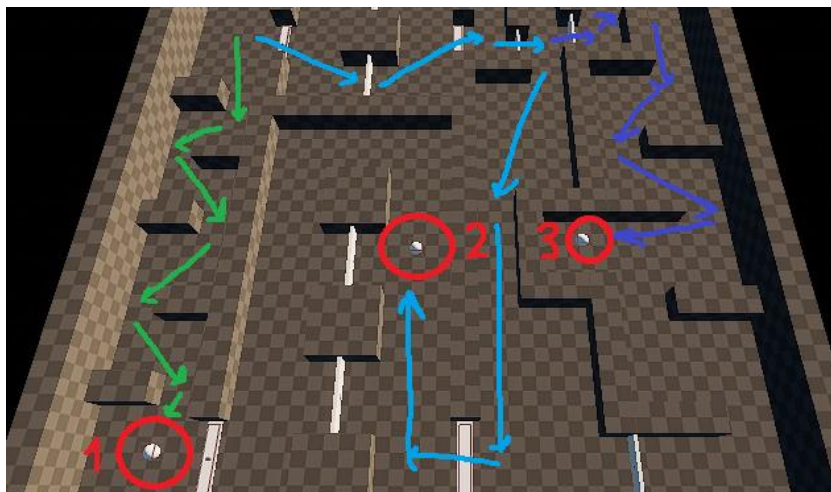


Рис. 5.5 – Цільові точки та найкоротший шлях, вибраний роботами

5.3. Аналіз результатів для різних видів мобільних роботів

Відповідно до вихідних даних, наведених у підрозділі 5.2, були отримані результати моделювання, які зведено у таблиці 5.1 та 5.2. На основі цих даних також сформовано узагальнювальну діаграму для порівняння показників (рис. 5.6).

Таблиця 5.1

Результати тестувань колісного робота на місцевості різних типів

Відстань, м			Час, с			Швидкість, м/с
1	2	3				
34,3	67,1	56,8	1	2	3	
Рівна поверхня			7.23	13.2	11.3	5.5
Бездоріжжя			11.32	20.23	17.43	3.68
Болотиста місцевість			25.8	43.7	38.4	1.65

Таблиця 5.2

Результати тестувань гусеничного робота на місцевості різних типів

Відстань, м			Час, с			Швидкість, м/с
1	2	3				
34,3	67,1	56,8	1	2	3	
Рівна поверхня			15.1	35.5	26.4	2
Бездоріжжя			22.4	43.3	37.5	1.6
Болотиста місцевість			30.6	57.1	45.3	1.2

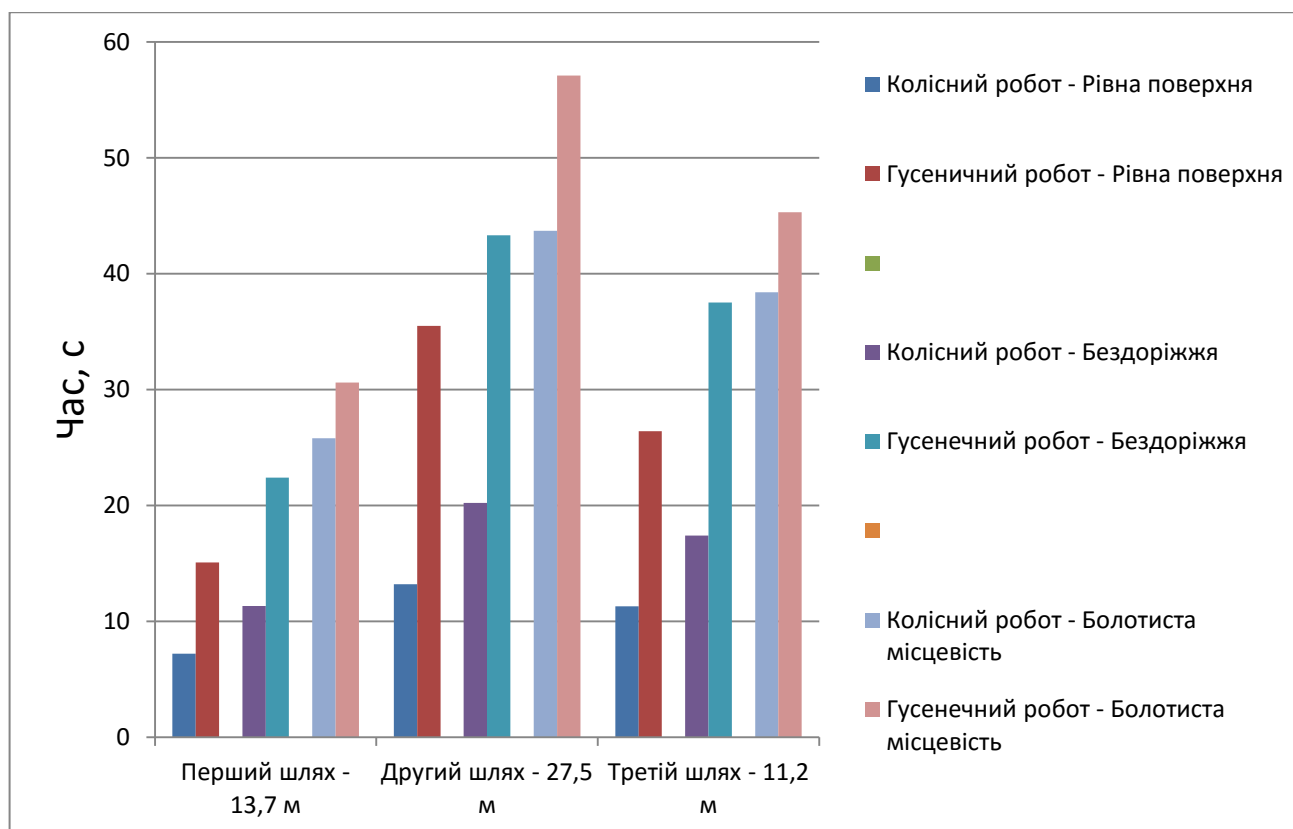


Рис. 5.6 – Діаграма часових витрат на подолання шляху для колісного та гусеничного роботів

Як показують результати, колісний робот витрачає менше часу на проходження маршруту. Це дає підстави стверджувати, що колісний робот є швидшим за гусеничного на всіх досліджувальних ділянках, навіть за умови використання модифікаторів, які знижують швидкість руху. Водночас слід враховувати, що отримані дані можуть змінюватися, оскільки моделювання враховує зовнішні збурення (інтелектуальні перешкоди). При різних ймовірних перешкодах чи інших непередбачуваних подіях результат буде відрізнятися з кожним моделюванням.

Висновок за розділом 5

У п'ятому розділі проведено тестування розробленого симулятора для візуалізації роботи мобільного робота. У першому підрозділі наведено три основні недоліки програми та описано способи їх усунення. У другому підрозділі визначено та задано основні технічні параметри, необхідні для проведення моделювання. Третій підрозділ присвячено аналізу отриманих результатів, які узагальнено в таблицях. Порівняння цих даних дає підстави зробити висновок, що колісний робот демонструє вищу швидкість проходження порівняно з гусеничним на всіх досліджувальних ділянках, а отже долає заданий шлях за менший проміжок часу.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Людина завжди здійснювала трудову діяльність у певний час і в конкретному трудовому середовищі, використовуючи різноманітні засоби праці. У процесі такої діяльності природно виникали трудові відносини, що формуються між людьми під час спільного виконання роботи.

Під трудовим середовищем зазвичай розуміють сукупність умов і чинників, які впливають на людину під час її професійної діяльності. Отже, його можна визначити як комплекс елементів, що визначають характер, умови та безпеку праці.

Більшість трудових середовищ включають широкий спектр факторів, з якими стикається працівник. Це можуть бути як фізичні елементи, що безпосередньо впливають на організм людини, так і соціальні взаємини між учасниками трудового процесу.

Забезпечення охорони праці в таких середовищах є невід'ємною складовою будь-якої професійної діяльності, яка спрямована на створення безпечних, здорових і комфортних умов праці. Система охорони праці охоплює комплекс правових, соціально-економічних, організаційних та технічних заходів, метою яких є збереження життя, здоров'я та працездатності працівників під час виконання ними трудових обов'язків.

Основним завданням охорони праці є усунення або максимальне зниження дії шкідливих і небезпечних факторів, що можуть негативно впливати на фізичний і психологічний стан людини. Реалізація таких заходів сприяє зменшенню рівня виробничого травматизму та професійних захворювань, підвищує ефективність праці та загальну результативність діяльності підприємства.

Відповідно до Конституції України, кожен громадянин має право на безпечні умови праці, які не шкодять його здоров'ю. Роботодавець зобов'язаний організувати на робочому місці умови, що відповідають нормам безпеки, а також забезпечити захист працівників від потенційних небезпечних факторів і ризиків.

Окрім гарантування фізичної безпеки, система охорони праці спрямована на поліпшення якості виробничого середовища та впровадження сучасних методів управління ризиками. Це дозволяє не лише зменшити кількість виробничих травм і

нешасних випадків, але й підвищити загальний рівень добробуту та жеттєвий комфорт працівників.

6.1. Шкідливий вплив різних факторів на організм людини

Умови праці істотно впливають на фізичний стан, ефективність роботи і загальний рівень здоров'я працівників. Всі фактори, що виникають у виробничому середовищі, зазвичай поділяють на шкідливі та небезпечні:

- небезпечні фактори – умови або елементи виробничого середовища, що за певних обставин можуть спричинити травму або раптове погіршення стану здоров'я працівників.

- Шкідливі фактори – це ті, що поступово впливають на здоров'я, з часом провокуючи розвиток професійних захворювань. До них відносять ривалу роботу за комп'ютером в умовах поганого освітлення, що може призводити до перенапруження зору, постійний стрес також один з таких факторів який погіршує психоемоційний стан. За значного посилення або тривалого впливу шкідливі фактори можуть перейти у категорію небезпечних.

Одним з найпоширеніших небезпечних факторів, які можуть виникати у виробничому середовищі є електротравми. Вони становлять серйозну загрозу для життя та здоров'я працівників, тому розуміння їх причин та механізмів дії є критично важливим для забезпечення безпеки на виробництві. Тяжкість ураження електричним струмом залежить від кількох ключових факторів: сили струму, напруги, частоти, тривалості впливу на організм, а також від фізичного стану та індивідуальних особливостей потерпілого. Електротравми поділяють на:

- локальні – ураження, що зазвичай обмежені певною ділянкою тіла і проявляються місцевими ушкодженнями.

- Загальні – ураження всього організму фбо його систем, що можуть призвести до серйозних наслідків, включаючи судоми, втрату свідомості або навіть смерть. Є чотири ступені тяжкості таких уражень:

1. Болючі спазми м'язів без втрати свідомості;

2. Судоми з короткочасною втратою свідомості, функції дихання та серцеві функції збережені.

3. Сильні судоми з порушенням дихання та роботи серця, потребує негайної медичної допомоги.

4. Клінічна смерть, при якій повністю припиняються серцеві скорочення та дихання.

Також електричний струм може впливати й інакше. Тепловий вплив викликає опіки та пошкодження тканин. Хімічний може змінювати склад крові та порушувати обмінні процеси. Механічний призводить до розриву тканин або кісток через неконтрольовані рухи під час ураження. Біологічний же порушує роботу серця та нервової системи, що може призвести до серйозних неврологічних або кардіологічних ускладнень.

Розуміння цих факторів дозволяє оцінити потенційні ризики та розробити ефективні заходи безпеки, зокрема правильне оснащення захисними засобами, дотримання техніки безпеки при роботі з електроприладами та навчання персоналу поведінці в аварійних ситуаціях. Такий підхід є ключовим для попередження електротравм та збереження здоров'я працівників.

6.2. Шкідливий вплив електронних обчислювальних машин

У сучасному світі дедалі більше людей не уявляють свого життя без інформаційних технологій. Однак, поряд із численними перевагами, використання комп'ютерної техніки має і негативні наслідки для здоров'я користувачів. Одним із найбільш шкідливих пристроїв вважаються персональні комп'ютери, особливо ті, що оснащені електронно-променевими трубками у відео дисплейних терміналах (моніторах). Такі екрани можуть негативно впливати на зір, нервову систему, а також сприяти розвитку серцево-судинних захворювань у разі тривалого або неправильного використання. До деяких негативних чинників, що впливають на користувача під час роботи з комп'ютерною технікою, належать не лише фізичне навантаження чи втома зору, але й різноманітні види випромінювання та

електричних полів, які виникають у процесі роботи пристроїв. Серед них можна виділити такі:

- електростатичне поле, що формується між екраном комп'ютера і користувачем;
- електромагнітне випромінювання яке походить як від самого персонального комп'ютера так і від його мережі електроживлення;
- рентгенівське, інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання що створюється відео-дисплейними терміналами під час роботи.

Ці фактори можуть мати кумулятивний негативний вплив на організм людини особливо при тривалій роботі без належного технічного захисту чи дотримання санітарних норм.

Електростатичне поле і електромагнітні випромінювання можуть утворювати:

- високу напругу на електронно-променевій трубці дисплея, яка притягує пил і може спричиняти подразнення шкіри та слизових оболонок (електростатичне поле);
- мережі живлення комп'ютера частотою 60 Гц, що здатні впливати на нервову систему та викликати втому чи головний біль;
- система рядкової розгортки відео-дисплейних терміналів частотою 2 – 400 кГц (середньо частотне ЕМВ);
- система модуляції зображення на екрані відео-дисплейних терміналів частотою 5 – 10 ГГц (високочастотне ЕМВ), яке може впливати на біоелектричні процеси в клітинах організму.

Отже, навіть звичайна робота за комп'ютером супроводжується дією комплексного електромагнітного фону, який, при тривалому впливі, може призвести до порушень зору, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Електростатичне поле і електромагнітні випромінювання можуть мати суттєвий вплив на організм людини, особливо при тривалому перебуванні в зоні їх дії. Наслідками такого впливу часто стають головні болі, запаморочення,

нудота, депресія, безсоння, втрата апетиту, порушення гормонального стану та зміни в роботі біострумів мозку.

Поєднання цих факторів з впливом на нервову систему призводить до її перенапруження, що у свою чергу, негативно позначається на розумовій діяльності людини. Зокрема може спостерігатися зниження концентрації уваги, погіршення пам'яті, швидка втомлюваність, а також зменшення ефективності інтелектуальної роботи.

Таким чином, тривале перебування під впливом електростатичних і електромагнітних полів без відповідного захисту може поступово призвести до психофізичного виснаження та зниження загальної працездатності організму.

Окрім зазначеного, низькочастотні електромагнітні випромінювання також чинять негативний вплив на кров'яні клітини, зокрема на лейкоцити. Такий вплив може спричиняти порушення клітинних процесів, що у свою чергу підвищує ризик утворення пухлин – як доброякісних, так і злоякісних.

Унаслідок тривалого контакту з електромагнітним полем під час роботи за персональним комп'ютером у користувачів можуть розвиватися різноманітні захворювання, серед яких:

- шкірні хвороби, такі як вугровий висип, себорейна екзема, рожевий лишай;
- порушення серцево-судинної системи – артеріальна гіпертензія, підвищений ризик інфарктів та інсультів;
- онкологічні захворювання шлунково-кишкового тракту, спричинені змінами в клітинних структурах та порушенням обмінних процесів.

Рентгенівські, інфрачервоні та ультрафіолетові випромінювання є серйозними джерелами потенційної небезпеки для здоров'я користувача. Хоча рівень їх інтенсивності зазвичай незначний, тривала робота перед монітором може призвести до накопичувального ефекту, що негативно позначається на фізичному стані людини. Розглянемо вплив кожного з видів випромінювання більш детально:

а) рентгенівське випромінювання. Незважаючи на те що сучасні монітори мають кращий захист, навіть мінімальні дози рентгенівських променів можуть:

- порушувати обмін речовин в організмі людини;
- сприяти розвитку лейкемії;
- викликати погіршення сприйняття зорових сигналів;
- знижувати репродуктивну функцію та впливати на розвиток ембріона у вагітних жінок.

б) Інфрачервоне випромінювання. Воно діє переважно тепловим шляхом, що може спричиняти:

- порушення в роботі серцево-судинної системи (прискорене серцебиття, підвищення артеріального тиску, зміни частоти дихання);
- збій у терморегуляції організму, що веде до перегрівання чи відчуття постійної втоми;
- запальні процеси очей – кон'юнктивіти, сухість, опіки сітківки та поступове зниження гостроти зору.

в) Ультрафіолетове випромінювання. Воно має високу біологічну активність, і їх вплив може бути особливо небезпечним при тривалому перебуванні перед екраном без належного освітлення. До наслідків відносяться:

- негативний вплив на центральну нервову систему, що проявляється головними болями, нервовим збудженням, підвищенням температури тіла;
- ураження очей у формі фото- або електрофтальмії (запалення слизової оболонки ока);
- пошкодження клітин організму, що може з часом призвести до утворення злоякісних пухлин.

Як зазначалося вище персональні комп'ютери несуть найбільшу небезпеку вагітним жінкам. За статистикою робота за персональним комп'ютером може порушити нормальний хід вагітності та може стати причиною появи вад у новонароджених, особливо це стосується головного мозку.

Також, робота за комп'ютером супроводжується не лише фізичним, а й значним психофізіологічним навантаженням. Тривале перебування перед екраном

потребує постійної концентрації уваги, аналітичного мислення та збереження робочої пози, що поступово призводить до емоційного виснаження, зниження працездатності та підвищення ризику розвитку професійних захворювань. До основних психофізіологічних факторів, що впливає на стан працівника під час роботи з комп'ютером, належать:

1. Навантаження на пам'ять та увагу: постійна взаємодія з великим обсягом інформації, необхідність її обробки та аналізу створюють високе інтелектуальне навантаження; робота в умовах багатозадачності спричиняє підвищений рівень стресу, переважно, а також зниження ефективності прийняття рішень; з часом це може призвести до порушення концентрації, забудькуватості та зниження когнітивної продуктивності.

2. Тривале статичне напруження: робота в сидячому положенні протягом тривалого часу викликає перенапруження м'язів спини, шиї та плечового пояса, що сприяє розвитку остеохондрозу, сколіозу, та порушень кровообігу; неправильна організація робочого місця – невідповідна висота столу, монітора, стільця – посилює ризик деформації опорно-рухового апарату; відсутність коротких розминок чи зміни пози протягом робочого дня погіршує постачання кисню до мозку, що знижує загальну працездатність.

3. Напруження зору: тривала робота за монітором викликає синдром комп'ютерного зору, який проявляється втомою очей, сухістю, слезотечею, розмитим баченням та головними болями; постійна робота при неправильному освітленні або з невідрегульованою яскравістю екрана призводить до зниження гостроти зору та розвитку короткозорості; часте фокусування погляду на близьких відстанях сприяє порушенню акомодативної функції очей.

4. Монотонність роботи: виконання однотипних дій, особливо під час програмування, введення даних чи рутинного аналізу, спричиняє емоційне вигорання, зниження мотивації та відчуття апатії; монотонність негативно впливає на психоемоційний стан, знижуючи здатність до творчого мислення та швидкого реагування.

5. Нераціональна організація робочого процесу: відсутність регулярних перерв для відпочинку, чіткої структури робочого часу або надмірне навантаження призводять до перевтоми, дратівливості та порушень сну; недостатня комунікація в колективі або нечітке формулювання завдань сприяють зростанню рівня тривожності та емоційного напруження.

У таблиці 6.1 представлено узагальнений комплекс несприятливих факторів, що можуть негативно впливати на стан здоров'я користувачів під час роботи з ПК. Враховуючи це, питання охорони праці набуває особливої важливості. Забезпечення безпечних і комфортних умов праці має ґрунтуватися не лише на технічних нормах, а й охоплювати соціальний, медичний та психологічний аспекти.

Це означає, що при організації робочого місця необхідно враховувати ергономічні вимоги, режим праці та відпочинку, психоемоційне навантаження працівника, а також медичні рекомендації щодо профілактики професійних захворювань. Комплексний підхід до охорони праці користувачів комп'ютерів сприяє не лише збереженню здоров'я, а й підвищенню ефективності та якості роботи, зниженню рівню стресу і професійного вигорання

Соціальний аспект полягає у створенні оптимальних умов праці та відпочинку, що відповідають рівню енерговитрат і психологічного навантаження користувачів ПК. Його метою є забезпечення комфорту, безпеки та високої працездатності працівників протягом усього робочого часу.

Водночас, при організації робочого процесу слід враховувати низку важливих чинників, серед яких:

- Режим праці за персональним комп'ютером що передбачає раціональне чергування періодів роботи та відпочинку для зниження стомлюваності;
- Побутові умови виробничого середовища, які включають належне освітлення, вентиляцію, температуру, рівень шуму та чистоту робочого місця;
- Інтелектуальний і культурний розвиток користувачів ПК, що сприяє підвищенню їх обізнаності у питаннях безпеки праці, гігієни та здорового способу життя.

Психологічний аспект передбачає створення сприятливого соціально-психологічного клімату в колективі, який забезпечує зниження рівня нервового напруження, емоційного виснаження та стресу серед працівників. Формування психологічно сумісної команди сприяє підвищенню ефективності спільної діяльності, покращує взаєморозуміння між колегами та створює умови для стабільного психоемоційного стану.

Це особливо важливо, оскільки психологія праці відіграє ключову роль у забезпеченні безпечних і комфортних умов діяльності. Вона допомагає організувати робочий процес таким чином, щоб мінімізувати вплив стресових факторів, запобігати перевтомі, підтримувати мотивацію та сприяти професійному розвитку працівників.

Медичний аспект полягає у забезпеченні контролю та підтримки фізичного здоров'я працівників. Він включає такі ключові елементи:

- психофізіологічний відбір працівників, який визначає їх придатність до роботи з ПК з урахуванням особливостей нервової системи, зору, серцево-судинної системи та опорно-рухового апарату;
- Періодичне медичне спостереження, що дозволяє виявити початкові ознаки професійних захворювань та своєчасно проводити реабілітаційні заходи;
- Надання оперативної медичної допомоги у разі погіршення стану здоров'я або загострення хронічних захворювань, що забезпечує безпечне та тривале виконання робочих завдань.

Таблиця 6.1

Результати впливу персонального комп'ютера на їх користувачів

Симптоми впливу ПК	Процент користувачів, що повідомили про симптоми			
	Робота за дисплеями (місяців)			
	до 12 місяців (неповна зміна)	до 12 місяців (повна зміна)	більше 12 місяців	більше 24 місяців
Головний біль та біль в очах	8	29	57	81
Втома, запаморочення	4	37	49	56

Порушення нічного сну	3	6	13	36
Сонливість протягом дня	15	26	52	69
Зміна настрою	6	21	26	44
Підвищена роздратованість	5	14	26	61
Депресія	1	12	24	36
Випадання волосся	0	0	6	8
Біль у м'язах	16	21	32	48
Біль в ділянці серця	0	5	7	27
Зниження статевої активності	10	16	30	57

6.3. Вимоги до охорони праці під час роботи за персональним комп'ютером

Оснoву системи охорони праці користувачів персональних комп'ютерів становлять нормативно-правові акти, які регламентують безпечні умови праці та визначають вимоги до експлуатації комп'ютерної техніки. До основних документів належать:

- «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислюваних машин» (ДНАОП 0.00-1.31-99) – документ, що встановлює вимоги до організації робочих місць, технічного стану обладнання, режимів праці та відпочинку працівників;

- «Державні санітарні правила і норми роботи з відео дисплейними терміналами ЕОМ» (ДСанПіН 3.3.2.007-98) – норматив, який визначає санітарно-гігієнічні вимоги до приміщень, мікроклімату, освітлення, рівня шуму, вібрації та електромагнітного випромінювання.

Дія цих документів поширюється:

- на всі підприємства, установи та організації, незалежно від форми власності та виду діяльності;

- на фізичних осіб-підприємців, які здійснюють господарську діяльність, мають найманих працівників та використовують персональні комп'ютери у своїй роботі.

Виняток із дії наведених нормативно-правових актів становлять певні категорії техніки та приміщень, діяльність яких має специфічні умови експлуатації. До них належать:

- класи інформаційних технологій у навчальних закладах, де комп'ютери використовуються з навчальною метою під контролем педагогічного персоналу;
- електронно-обчислювальні машини (ЕОМ), призначені для управління та контролю роботи атомних електростанцій (АЕС), які мають окремі вимоги безпеки;
- бортові ЕОМ транспортних засобів і літальних апаратів, що функціонують у процесі руху;
- портативні ЕОМ (ноутбуки, планшети, тощо), експлуатація яких не потребує спеціально об'єднаних робочих місць;
- комп'ютерні азартні автомати;
- системи обробки даних громадського призначення, які не використовуються безпосередньо працівниками для виконання службових обов'язків.

У зазначених «Правилах охорони праці під час експлуатації електронно-обчислюваних машин» детально описано вимоги до організації робочих місць, параметрів мікроклімату та умов виробничого середовища, що спрямовані на збереження здоров'я працівників під час роботи з комп'ютерною технікою. Ці вимоги охоплюють як гігієнічні норми (освітлення, температура, рівень шуму, вентиляція), так і ергономічні показники, що забезпечують комфорт, правильну позу користувача та зменшення фізичного і психічного навантаження.

Посадові та фізичні особи, які використовують найману працю та експлуатують персональні комп'ютери у своїй професійній діяльності, зобов'язані неухильно дотримуватися вимог чинних нормативно-правових актів з охорони праці. У разі порушення цих вимог вони несуть відповідальність згідно із законодавством України, адже саме від їх дій залежить безпека, здоров'я та працездатність підлеглих працівників.

Державний нагляд за виконанням правил і норм охорони праці при роботі з ЕОМ здійснюють державні санітарно-епідеміологічні органи Міністерства охорони здоров'я (МОЗ) України, а також відомчі санітарно-епідеміологічні служби відповідних державних структур – Міністерства оборони України, Міністерства внутрішніх справ України, Служби безпеки України та Державної прикордонної служби України.

Відповідно до статті 31 Закону України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополучення населення», ці органи контролюють дотримання встановлених санітарно-гігієнічних норм, умов праці та експлуатації обладнання, забезпечуючи захист працівників від шкідливих факторів комп'ютерного середовища і сприяючи створенню безпечних та здорових умов праці.

Особи, визнані винними у порушенні вимог охорони праці, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну або навіть кримінальну відповідальність – залежно від тяжкості наслідків і характеру порушення. Така система відповідальності встановлена для забезпечення реальної дієвості норм безпеки і запобігання недбалому ставленню до умов праці користувачів ПК.

Загальні вимоги до виробничих приміщень, у яких експлуатуються ЕОМ наступні:

- забороняється організовувати робочі місця з ЕОМ у цокольних або підвальних приміщеннях, оскільки такі приміщення часто мають недостатню вентиляцію, природне освітлення та підвищену вологість, що може негативно вплинути як на здоров'я працівників, так і на працездатність техніки;

- на одне робоче місце має припадати не менше 6 м² площі і 20 м³ об'єму повітря, що забезпечує належний мікроклімат, вентиляцію та просторовий комфорт користувача;

- підлога по всій зоні обслуговування ЕОМ повинна бути вкрита діелектричними килимками або покриттям, яке знижує рівень електростатичного поля між користувачем і монітором, тим самим зменшуючи вплив електромагнітного випромінювання;

- для запобігання випадкового дотику до струмопровідних частин робочого місця всі металеві елементи, що підлягають заземленню (радіатори, труби, корпуси кабелів, екрани електропроводки, тощо), повинні бути обладнані спеціальними діелектричними щитками або ізоляторами;

- на підприємствах, де передбачена тривала робота з відео дисплейними терміналами, мають бути створені спеціальні кімнати для відпочинку, релаксації та зняття психоемоційного напруження. У таких кімнатах рекомендується забезпечити можливість короткочасного фізичного розвантаження, передбачити роздачу тонізуючих напоїв та створити спокійну, комфортну атмосферу, що сприятиме збереженню психічного здоров'я працівників.

Всі ці вимоги викладені у санітарних нормах і правилах (СНіП 2.09.04-87) і спрямовані на забезпечення безпечних, ергономічних та комфортних умов праці.

Санітарно-гігієнічні вимоги до виробничого середовища у якому здійснюється експлуатація електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), мають на меті забезпечення безпечних, комфортних і здорових умов праці користувачів персональних комп'ютерів. Ці вимоги регламентують основні параметри навколишнього середовища, від яких безпосередньо залежить самопочуття, працездатність і стан здоров'я людини.

До основних характеристик виробничого середовища належать:

- мікроклімат. Це сукупність таких факторів, як температура, вологість швидкість руху повітря. Оптимальні параметри мікроклімату повинні підтримуватись на рівні, що забезпечує тепловий комфорт працівників, запобігає перегріванню чи переохолодженню організму.

Температура повітря у приміщеннях із ПК має бути в межах 19-23 °С, відносна вологість – 40-60 %, а швидкість руху повітря – до 0,1-0,2 м/с. Важливо забезпечити постійну вентиляцію або кондиціонування для підтримання чистоти повітря та зниження вмісту пилу й шкідливих домішок.

- Ступінь освітленості. Правильне освітлення робочих місць з ЕОМ є вирішальним фактором для збереження зору і зниження втоми очей. Воно повинне бути комбінованим, на робочому місці мають бути присутні природне і

штучне освітлення, а вікна приміщень повинні бути з північної сторони або північно-східної, з коефіцієнтом природного освітлення (КПО) 1,5%.

Експлуатація ЕОМ в місцях без природного освітлення повинна бути узгоджена з державними органами охорони праці та санітарно-епідеміологічними установами. В зонах, що містять документи необхідно дотримуватися рівня освітленості у 300-500 люксів. Для штучного освітлення рекомендується використовувати люмінесцентні лампи денного світла з коефіцієнтом пульсації не вище 5%. Через створення відблисків місцеве освітлення не повинне перевищувати 300 люксів.

- Рівень шуму і вібрації. Постійна дія шуму або вібрації може призводити до погіршення концентрації уваги, швидкої втоми, дратівливості та головного болю. Джерелами шуму можуть бути системні блоки, вентилятори, принтери, кондиціонери, а допустимий рівень не повинен перевищувати 50дБ, вібраційні коливання – не більше 0,1 м/с². Для зменшення шумового фону рекомендується використовувати звукоізоляційні матеріали та встановлювати техніку на віброізолюючі підставки.

- Іонізуюче та неіонізуюче випромінювання. До першого належать рентгенівські промені, які можуть виникати при роботі старих моделей моніторів із електронно-променевими трубками. Сучасні монітори практично не випромінюють рентгенівські промені, проте контроль їх рівня все одно є обов'язковим. До другої категорії відносяться електростатичні, електромагнітні, інфрачервоні та ультрафіолетові хвилі, які утворюються під час роботи ПК. Їх рівень повинен відповідати встановленим санітарним нормам, щоб уникнути шкідливого впливу на нервову, серцево-судинну та зорову системи працівників.

За допомогою спеціалізованих інженерно-акустичних розрахунків підбирають ефективні звукопоглинальні матеріали та конструкції для нормування рівнів шуму на робочих місцях.

Допустимі норми вібрацій визначені відповідними санітарними документами – ДсанПіН 3.3.2-007-98 та СН 3044-84 («Санітарні норми вібрації робочих місць»), затвердженими МОЗ.

Таблиця 6.2

Рівні шуму на робочих місцях

Вид праці	Рівні звукового тиску, Гц.									
	30,5	61	120	225	500	1100	2200	4400	8800	Рівні звуку / еквівалентні рівні звуку, дБА/дБАекв
Програмісти ЕОМ	81	73	62	56	46	42	38	33	29	50
Оператори ЕОМ та оператори комп'ютерного набору	79	76	71	66	62	58	54	47	43	65
В приміщеннях, де розташовуються шумні агрегати ЕОМ	96	94	85	78	73	66	61	57	48	75

Рівні іонізуючого випромінювання повинні відповідати вимогам НРБУ-97. Зокрема, потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання на відстані 5 см від екрану монітора не має перевищувати 0,09 мбер/рік (100мкР/рік).

Вимоги до неіонізуючого випромінювання регламентуються такими стандартами та нормами:

- ГОСТ 12.1.006 – «ССБТ. Електромагнітні поля радіочастот. Допустимі рівні на робочих місцях і вимоги до проведення їх контролю»;
- СН №3206-85 – «Гранично допустимі рівні магнітного поля частотою 50 Гц»;
- ГОСТ 12.1.045 – «ССБТ. Електростатичні поля. Допустимі рівні на робочих місцях і вимоги до їх контролю»;
- ГОСТ 12.1.005 – «ССБТ. Інфрачервоні випромінювання. Допустимі рівні на робочих місцях і вимоги до їх контролю»;

- СН №4557-88 – «Санітарні норми ультрафіолетового випромінювання у виробничих приміщеннях».

Робочі місця працівників, діяльність яких пов'язана з постійною роботою за персональним комп'ютером, повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги».

Організація та конфігурація робочого місця мають забезпечувати зручну й фізіологічно правильну позу користувача відеодисплейного термінала, що мінімізує статичне навантаження на опорно-руховий апарат і знижує ризик професійних захворювань. Зокрема:

- ступні ніг повинні розміщуватися на підлозі або спеціальній підставці для ніг;
- стегна мають бути розташовані горизонтально, без надмірного тиску на поверхню сидіння;
- передпліччя бажано утримувати у вертикальній площині;
- лікті повинні бути зігнуті під кутом, близьким до 70-90° відносно вертикальної площини;
- зап'ястя слід тримати у нейтральному положенні, з відхиленням не більше 20° від горизонталі;
- голова має бути нахилена вперед не більш ніж на 15-20° від вертикальної осі, що забезпечує оптимальний кут огляду екрана.

Для підтримання правильної робочої пози користувача важливе не лише ергономічне розташування тіла, а й відповідність габаритів меблів встановленим нормативам. Комп'ютерний стіл повинен мати такі розміри, що забезпечують комфортну позу під час роботи, вільне розміщення обладнання та достатній простір для рухів:

- висота – 720 мм;
- ширина – у межах 600-1400 мм (залежно від типу робочого місця та кількості обладнання);
- глибина – 800-1000 мм, що дозволяє розташувати монітор на безпечній відстані від очей (не менше 600-700 мм).

Для додаткової зручності передбачається підставка для ніг, яка допомагає підтримувати правильний кут у колінних суглобах та зменшує статичне навантаження на нижні кінцівки. Її рекомендований розмір:

- ширина – не менше 300 мм;
- глибина – не менше 400 мм;
- висота – регульована, до 150 мм, що дозволяє адаптувати підставку під індивідуальні антропометричні особливості користувача;
- кут нахилу – в межах 20°, що сприяє правильному положенню стоп і покращенню кровообігу.

Робоче місце користувача ПК повинно бути організоване з урахуванням природного освітлення та просторового розміщення обладнання, що забезпечує комфорт, безпеку та мінімізацію зорового навантаження.

Згідно з нормативними вимогами, оптимальним є розташування робочого місця так, щоб природне світло падало з лівого боку – це дозволяє уникнути відблисків на екрані та зменшує контраст між освітленими й затіненими ділянками робочої зони.

Відносно розміщення робочих місць і відеодисплейних терміналів має відповідати таким мінімальним відстаням:

- від стін з вікнами – не менше 1,5 м, що запобігає надмірному освітленню та створенню відблисків;
- по ширині між сусідніми моніторами – не менше 1,3 м, що гарантує достатній особистий простір і знижує рівень взаємних перешкод у полі зору користувачів;
- по глибині від переднього до заднього монітору – не менше 2,4 м, щоб уникнути перехресного впливу випромінювання та покращити циркуляцію повітря;
- ширина проходу між рядами моніторів – не менше 1,1 м, що забезпечує зручність пересування та безпечну евакуацію у разі надзвичайних ситуацій.

Такі вимоги стосуються не лише одного приміщення, а й розташування комп'ютерних робочих місць у суміжних кімнатах, які відокремлені

перегородками аб стінами. Дотримання цих норм створює сприятливі ергономічні та санітарно-гігієнічні умови праці, що сприяє збереженню здоров'я користувачів та підвищенню ефективності роботи.

Відстань між екраном монітора та очима користувача персонального комп'ютера повинна бути не меншою ніж 600 мм, а її точне значення залежить від діагоналі екрана. Рекомендовані параметри наведені нижче:

- для екранів 14-15 дюймів (35-38 см) – 600-700 мм;
- для екранів 17 дюймів (43 см) – 700-800 мм;
- для екранів 19 дюймів (48 см) – 800-900 мм;
- для екранів 21 дюйм (53 см) – 900-1000 мм;

Таке розташування дозволяє уникнути надмірного навантаження на органи зору, зменшити втому очей і забезпечити комфортне сприйняття зображення.

Кут нахилу дисплея має становити приблизно 30° до вертикальної площини, що відповідає природному напрямку лінії зору людини. Це положення зменшує напруження очних м'язів та сприяє правильній поставі під час роботи.

Клавіатура повинна розташовуватися на відстані 100-300 мм від переднього краю робочого столу, бажано на спеціальній висувній панелі або опорній поверхні з підвищеним коефіцієнтом тертя, яка дозволяє регулювати кут нахилу від 5° до 15°. Таке розміщення запобігає надмірному навантаженню н кисті рук та сприяє підтриманню правильної пози під час набору тексту.

З метою захисту користувачів від шкідливого випромінювання відеодисплеїних терміналів рекомендується застосовувати спеціальні захисні фільтри для екранів або індивідуальні засоби захисту, що відповідають встановленим стандартам безпеки та пройшли сертифікаційні випробування. Використання таких засобів допомагає знизити вплив електромагнітного випромінювання, запобігає статичному заряду на поверхні екрана та сприяє підтриманню нормальних уов праці користувачів ПК.

6.4. Засоби зменшення шкідливого впливу різних факторів

Зменшення впливу небезпечних і шкідливих факторів на робочому місці є одним із головних завдань охорони праці. Основною метою цих заходів є створення безпечних і комфортних умов праці, попередження травматизму та професійних захворювань. Для цього застосовуються колективні та індивідуальні засоби захисту, які забезпечують ефективне зниження рівня небезпеки під час виконання трудових обов'язків.

Колективні засоби захисту спрямовані на забезпечення безпеки всіх працівників у межах одного виробничого середовища та зменшення впливу небезпечних факторів на колектив у цілому. До них належать:

- системи вентиляції, кондиціонування та очищення повітря, що підтримують оптимальний мікроклімат і запобігають накопиченню шкідливих речовин;
- звукоізоляційні та вібропоглинальні конструкції, які знижують рівень шуму і вібрацій у приміщенні;
- захисні бар'єри, екрани та заземлення, що забезпечують захист від електромагнітного, статичного та іонізуючого випромінювання;
- раціональне освітлення робочого простору з використанням антивідблискових екранів і ламп, які зменшують напруження зору;
- системи сигналізації та автоматичного контролю, що попереджають про виникнення небезпечних ситуацій.

Індивідуальні засоби захисту призначені для захисту конкретного працівника від дії шкідливих або небезпечних виробничих факторів, відповідно до умов його роботи. Основні види такого захисту включають:

- засоби захисту органів дихання – респіратори, маски, фільтрувальні напівмаски, що запобігають вдиханню шкідливих речовин;
- захисний одяг та взуття – комбінезони, халати, куртки, рукавиці, взуття зі спеціальними підошвами, які захищають від механічних, хімічних та термічних впливів;

- засоби захисту очей та обличчя – окуляри, щитки, фільтрувальні екрани для захисту від пилу, яскравого світла чи випромінювань;

- засоби захисту слуху – вкладиші, навушники або беруші для зниження впливів шуму;

- засоби індивідуального захисту від електричного струму – діелектричні рукавиці, калоші, інструменти з ізоляційними ручками.

Колективні засоби захисту є основним елементом системи забезпечення безпечних умов праці, адже вони діють не вибірково, а одночасно захищають усіх працівників, що перебувають у межах одного виробничого середовища. Їх ефективність ґрунтується на комплексному поєднанні технічних, організаційних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на усунення або мінімізацію дії шкідливих речовин і небезпечних факторів. До основних напрямків колективного захисту належать:

- нумування повітряного середовища, тобто забезпечення його чистоти й оптимальних параметрів повітря має важливе значення для підтримання працездатності та запобігання професійним захворюванням. Основні заходи: використання систем загальної та місцевої вентиляції, що забезпечують постійне оновлення повітря, встановлення кондиціонерів для підтримання комфортної температури та вологості повітря, фільтрація та очищення повітря, спрямована на усунення пилу, газів і шкідливих домішок, контроль за рівнем вуглекислого газу, токсичних речовин і мікроорганізмів у робочій зоні;

- захист від шуму та вібрацій, що негативно впливають на нервову систему, слух і загальний стан здоров'я працівників. Для їх зниження використовуються: звукоізоляційні екрани та перегородки, що зменшують рівень шуму від обладнання, віброізолювальні основи, на яких встановлюють технічні пристрої, акустичні матеріали для облицювання стін, стель і підлоги з метою поглинання звукових хвиль, контроль рівня шуму відповідно до норм ДСН 3.3.6.037-99;

- нормування освітлення робочого місця зменшує навантаження на зір, підвищує продуктивність праці й запобігає перевтомі. Основні вимоги: раціональне використання природного освітлення, при якому світло повинно

падати зліва, застосування ламп із регульованою яскравістю для створення комфортних умов у різних зонах приміщення, використання антивідблискових екранів і поверхонь, які зменшують відбиття світла, підтримання рівня освітленості відповідно до санітарних норм;

- захист від електромагнітного та іонізуючого випромінювання що утворюється під час роботи за комп'ютером. До них застосовуються: захисні фільтри та екрани моніторів і приладів, екранування кабелів і корпусів пристроїв для зниження рівня електромагнітних полів, контроль рівнів випромінювання відповідно до нормативів ГОСТ і ДсанПіН;

- запобігання ураженню електричним струмом досягається за рахунок: заземлення металевих частин обладнання, встановлення автоматичних вимикачів і пристроїв захисного відключення, які реагують на коротке замикання або перевантаження, використання дистанційного керування для запобігання контакту з небезпечними елементами, проведення регулярних перевірок електромережі та профілактичного обслуговування техніки;

- температурний контроль сприяє комфортним умовам праці й запобігає перегріванню або переохолодженню працівників. Для цього використовують автоматичні системи регулювання температури повітря, теплові екрани для ізоляції джерел тепла, утеплення робочих місць у холодних зонах, контроль за рівнем вологості, який підтримується в межах 40-60%.

Колективні засоби захисту мають ключову роль у системі охорони праці, оскільки забезпечують масовий і стабільний захист працівників від негативного впливу виробничих факторів. Їх правильне впровадження не лише гарантує безпеку персоналу, а й підвищує ефективність роботи, зменшуючи кількість випадків професійних захворювань і нещасних випадків на виробництві.

Індивідуальні засоби захисту (ІЗЗ) є невід'ємною складовою охорони праці, що забезпечує особисту безпеку працівника у процесі виконання професійних обов'язків. На відміну від колективних заходів, які захищають усіх працівників одночасно, ІЗЗ спрямовані на захист конкретної особи від дії небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища. Їх правильне використання

суттєво зменшує ризик отримання травм, опіків, ураження електричним струмом, а також розвитку професійних захворювань. Індивідуальні засоби захисту класифікують за функціональним призначенням:

- засоби захисту очей і обличчя призначені для запобігання травмам органів зору й обличчя, спричинених дією механічних часток, теплового чи електромагнітного випромінювання, а також хімічних речовин. До них належать: захисні окуляри, які захищають очі від пилу, бризок хімічних речовин, інтенсивного світла або механічних частинок, щитки та захисні маски, що забезпечують повне закриття обличчя при роботі з відкритими джерелами тепла, ультрафіолетового чи інфрачервоного випромінювання, світлофільтри для зварювальних робіт, що запобігають опікам сітківки й погіршенню зору;

- засоби захисту шкіри та рук має першочергове значення, так як шкіра людини є одним із найуразливіших органів. До засобів її захисту відносяться: рукавички та рукавиці, виготовлені з матеріалів, стійких до хімічних, механічних або термічних пошкоджень, дерматологічні засоби, що утворюють на поверхні шкіри захисний бар'єр і зменшують подразнення, антистатичні браслети або рукавички, які використовуються для запобігання накопиченню електростатичного заряду;

- засоби захисту від падінь з висоти використовуються при роботах на висоті або у важкодоступних місцях: запобіжні пояси й страхувальні системи, що утримують працівника у разі втрати рівноваги, страхувальні канати та троси, які дозволяють безпечно пересуватися у вертикальній площині, діелектричні килимки та підставки, які одночасно ізолюють від електричного струму й зменшують ризик ковзання;

- засоби захисту тіла забезпечують повний або частковий захист поверхні тіла від шкідливих фізичних, хімічних або біологічних впливів: спецодяг, який виготовляється з матеріалів, що не накопичують статичну електрику й захищають від пилу чи бруду, теплозахисний одяг, який застосовується при роботі у гарячих цехах або на відкритому повітрі взимку, ізолюючі костюми та пневмокостюми, що забезпечують повну герметичність тіла при роботі в

токсичному чи зараженому середовищі, антистатичний та вогнестійкий одяг, який використовується у середовищі з підвищеним ризиком займання або вибуху;

- засоби захисту органів слуху. В умовах підвищеного рівня шуму необхідно використовувати спеціальні пристрої для зниження навантаження на слуховий апарат: протишумові навушки, які зменшують інтенсивність звукових хвиль, беруші, що забезпечують індивідуальний комфорт і надійний захист слуху при довготривалому перебуванні в шумних приміщеннях, акустичні шоломи, які застосовуються на промислових об'єктах із високим рівнем звукового тиску.

- засоби захисту органів дихання для працівників, що мають контакт із пилом, газами чи парами хімічних речовин, використовуються: респіратори та маски, які фільтрують шкідливі домішки з повітря, ізолюючі дихальні апарати, що забезпечують автономне постачання чистого повітря у зонах з дефіцитом кисню або високою концентрацією токсичних речовин.

Застосування індивідуальних засобів захисту є обов'язковою вимогою трудового законодавства та норм охорони праці. Кожен працівник повинен бути забезпечений відповідними ІЗЗ залежно від характеру виконуваної роботи, а роботодавець зобов'язаний проводити інструктаж, навчання з їхнього використання та періодичну перевірку технічного стану.

Комп'ютерне обладнання є основним інструментом праці користувача персонального комп'ютера, тому правильна організація робочого місця має вирішальне значення для підтримання високої продуктивності, концентрації уваги та збереження здоров'я. Рациональне розташування техніки, дотримання ергономічних принципів і виконання вимог охорони праці дозволяють зменшити вплив шкідливих факторів, таких як втома очей, напруження м'язів чи психологічне перевантаження. Основні рекомендації щодо організації робочого місця включають такі аспекти:

- правильне розташування обладнання від розміщення якого залежить не лише комфорт, а й безпека працівника. Монітор слід розташовувати на відстані 60-80 см від очей, так, щоб його верхня межа була трохи нижче погляду користувача. Це дозволяє зменшити навантаження на очі та шийний відділ хребта.

Системний блок, принтер та інші периферійні пристрої необхідно розміщувати з урахуванням легкого доступу до них, уникаючи різких рухів, нахилів або перекручувань тіла. Клавіатуру бажано встановлювати на відстані 10-30 см від краю столу, а миша – на одному рівні з нею, щоб уникати напруження зап'ястків.

- регулювання освітлення безпосередньо впливає на працездатність і стан зору. Необхідно забезпечити рівномірне природне та штучне освітлення, уникаючи різких тіней і яскравих відблисків на екрані монітора. Оптимальне розташування робочого місця з коли природне світло падає зліва від користувача. Для зменшення навантаження на зір доцільно використовувати анти відблискові фільтри або екрани зі спеціальним покриттям, а також настільні лампи з регульованою яскравістю.

- вентиляція та мікроклімат має значний вплив на самопочуття і працездатність розробника. Приміщення необхідно регулярно провітрювати, підтримуючи комфортний рівень температури і відносної вологості. Для підтримання стабільного мікроклімату доцільно використовувати кондиціонери, системи очищення або зволоження повітря. Робоче місце слід розташовувати на відстані не менше 1 м від джерел тепла або кондиціонерів, щоб уникнути різких перепадів температури.

- принципи ергономіки допомагають зменшити фізичне навантаження та підтримувати правильну поставу. Стілець повинен мати регулювання висоти, нахилу спинки та підтримку попереку, що дозволяє адаптувати положення до індивідуальних особливостей користувача. Руки мають бути розташовані під прямим кутом при роботі з клавіатурою, зап'ястя – на рівні поверхні стола або спеціальній підставці. Ноги повинні стояти пласко на підлозі або на підставці, коліна – під прямим або тупим кутом. Рекомендується робити короткі перерви кожні 45-60 хвилин, виконуючи вправи для очей, рук і спини, щоб уникнути перевтоми.

- додаткові рекомендації: робоче місце має бути чистим і впорядкованим, без зайвих предметів, що можуть відволікати увагу або створювати незручності. Бажано використовувати ергономічні аксесуари, такі як підставки для монітора,

килимки для миші з селевими подушками, підлокітники тощо. У разі тривалої роботи з монітором слід застосовувати спеціальні окуляри з фільтрацією синього світла.

Основними правилами безпеки під час роботи з комп'ютерним обладнанням є дотримання технічних, організаційних і гігієнічних вимог, спрямованих на запобігання травмам, збереження здоров'я працівників та забезпечення стабільної роботи техніки. Дотримання цих правил дає змогу не лише уникнути нещасних випадків, а й підвищити ефективність виконання завдань:

- перевірка обладнання перед початком роботи. Необхідно провести зовнішній огляд техніки та переконатися у справності кабелів живлення, розеток, штекерів і заземлення, адже пошкодження ізоляція може стати причиною короткого замикання або ураження електричним струмом. Уникати перевантаження електромережі допомагають мережеві фільтри або стабілізатори напруги, які запобігають стрибкам електричного струму. Також не слід допускати дротів у місцях, де вони можуть бути випадково пошкоджені або спричинити спотикання.

- порядок увімкнення та вимкнення пристроїв. Дотримання послідовності вмикання обладнання дозволяє уникнути технічних збоїв та перевантаження системи: увімкнення здійснюється в такій послідовності – спочатку монітор, потім системний блок а насамкінець периферійні пристрої. Вимикання проводиться ж у зворотному напрямку. Також забороняється вимикати комп'ютер без проходження стандартної процедури завершення роботи операційної системи, оскільки це може призвести до втрати даних або пошкодженню файлів.

- налаштування монітора та робочих параметрів. Монітор є головним джерелом навантаження на зір, тому його правильне налаштування має важливе значення: яскравість, контрастність і частота оновлення зображення повинні бути підібрані відповідно до освітлення приміщення. Надмірна яскравість або тьмяність може викликати зорову втому, головний біль і подразнення очей. Колірна температура має бути комфортною – переважно в межах 5000-6500 К, що

відповідає природному денному світлу. Рекомендується використовувати режим нічного освітлення або фільтрацію синього світла під час тривалої роботи в темних приміщеннях.

- перерви в роботі. Тривала робота за комп'ютером без відпочинку спричиняє фізичну та психічну втому, тому необхідно дотримуватися режиму праці та відпочинку: кожні 45-60 хвилин робити перерву на 5-10 хвилин, щоб розвантажити очі та м'язи. Виконувати вправи для очей та періодично виконувати розминку для шиї, плечей і спини. При можливості слід змінювати положення тіла, вставати або проходити кілька кроків.

- загальні заходи безпеки. Не допускати наявності рідин або їжі поблизу комп'ютерної техніки, це допоможе уникнути короткого замикання. У разі виявлення несправності обладнання або запаху горіння негайно вимкнути живлення і повідомити відповідальну особу. Не проводити самостійний ремонт пристроїв без відповідної кваліфікації.

Дотримання цих правил не лише підвищує рівень безпеки працівників, але й сприяє збереженню здоров'я та підвищенню продуктивності роботи.

6.5. Охорона навколишнього середовища

Забезпечення екологічної безпеки та охорони навколишнього природного середовища є одним із пріоритетних напрямів діяльності будь-якого сучасного підприємства, зокрема тих, що займаються впровадженням та експлуатацією інноваційних інформаційних технологій. Використання комп'ютерної техніки, серверного обладнання, мережевих пристроїв і допоміжних засобів спричиняє певний вплив на довкілля, тому важливо забезпечити екологічно-відповідальний підхід до всіх етапів життєвого циклу технічних систем.

Сучасна інтеграція штучного інтелекту (ШІ) у виробничі процеси є важливим етапом розвитку технологій сьогодення, що забезпечує підвищення ефективності управління ресурсами, автоматизацію контролю та покращення екологічних показників діяльності підприємств. Завдяки можливостям аналізу великих обсягів даних, системи на основі нейромереж можуть не лише

оптимізувати внутрішні процеси, але й істотно зменшити антропогенний вплив на навколишнє середовище.

Для запобігання потенційним екологічним ризикам, які можуть виникати під час впровадження та експлуатації інформаційних систем, розробляються комплексні заходи, спрямовані на раціональне використання природних ресурсів, зниження рівня забруднення та забезпечення екологічної безпеки. Основні напрями таких заходів охоплюють:

- розробку нормативно-правової бази, створюючи внутрішні стандарти екологічної безпеки для підприємств, включаючи екологічні вимоги до технічних регламентів на етапах проектування, тестування та експлуатації інформаційних систем. Також розроблюється політика сталого розвитку підприємства, яка поєднує цифрову трансформацію з екологічною відповідальністю;

- контроль і оптимізацію енергоспоживання використовуючи енергоефективні складові та впроваджуючи автоматизовані системи керування живленням, які дозволяють зменшувати споживання енергії під час простоїв або у неробочі години. А застосування алгоритмів ШІ для прогнозування та балансування динамічного навантаження між серверами сприяє економії електроенергії;

- моніторинг забруднень і екологічних параметрів використовуючи системи штучного інтелекту для автоматизації вимірювання електромагнітного випромінювання, шуму та температури у робочих зонах. Встановлення сенсорів якості повітря дозволяє своєчасно виявити перевищення допустимих концентрацій озону, пилу чи інших шкідливих речовин. А створення єдиної бази даних допоможе здійснювати аналітику та прогнозувати можливі екологічні ризики;

- безпечну утилізацію електронних відходів організовуючи збір, сортування та передачу відпрацьованої електроніки на сертифіковані підприємства з переробки. Створення внутрішніх процедур екологічно безпечного демонтажу обладнання запобігає потраплянню токсичних речовин у довкілля, а

впровадження політики повторного використання або модернізації старих пристроїв подовжує життєвий цикл і зменшує кількість відходів;

- оптимізацію вентиляційних і кондиціонувальних систем впроваджуючи енергоощадних компонентів із функцією рекуперації тепла, що зменшує витрати енергії. Використання сучасних фільтраційних установок дозволяє очистити повітря від пилу, бактерій та летких сполук. Моніторинг стану вентиляційних систем за допомогою штучного інтелекту допомагає виявляти несправності або зниження ефективності в режимі реального часу;

- організацію безпечних робочих місць розміщуючи обладнання з урахуванням мінімізації впливу електромагнітних полів на користувачів, оснащуючи робочі місця системами автоматичного контролю мікроклімату, освітлення та якості повітря. Впровадження інтелектуальних систем моніторингу стану працівників дозволяє визначити рівень навантаження або втоми за допомогою біометричних сенсорів.

Екологічний паспорт підприємства – це систематизований офіційний документ, який містить відомості про вплив діяльності підприємства на навколишнє середовище, а також заходи, що здійснюються для його охорони та відновлення. Він є важливим інструментом екологічного управління, що забезпечує контроль, планування та моніторинг екологічних показників.

Тож екологічний паспорт набуває особливого значення, оскільки дозволяє оцінити не лише технічну ефективність, а й екологічну відповідальність підприємства. Такий документ забезпечує дотримання національних міжнародних стандартів у сфері екологічної безпеки, енергоефективності та поводження з відходами електронного обладнання.

Основними розділами екологічного паспорту підприємства є:

- схеми очищення повітря і води, до яких входять описи технологічних процесів очищення викидів і стічних вод, інформація про фільтраційні системи, очисні споруди та рекупераційні установки, дані про ефективність утилізації та повторного використання очищених ресурсів;

- характеристики технологій, до яких входять описи технологічних процесів, які застосовуються у виробництві, оцінка рівня енергоефективності, використання вторинних ресурсів та «зелених» технологій, наявність сертифікатів екологічної відповідності;

- дані про відходи, класифікація відходів за рівнем небезпеки, обсяги утворення, зберігання, утилізації або передачі на переробку, інформація про наявність договорів із ліцензованими підприємствами з утилізації електронних та хімічних відходів;

- інформація про шкідливі викиди, перелік основних джерел викидів у повітря, воду та ґрунт, кількісні показники забруднюючих речовин та заходи щодо зниження рівня шкідливих викидів, включно з моніторингом електромагнітного та теплового випромінювання від обладнання;

- загальна інформація про підприємство, основні відомості про діяльність, структуру та обсяги виробництва, дані про розташування, кількість працівників, об'єкти, що впливають на довкілля та опис організаційної структури управління охороною навколишнього середовища, наявність відповідальних осіб або підрозділів.

Екологічний паспорт підприємства виконує низку ключових функцій: забезпечує контроль за дотриманням екологічного законодавства, є інструментом внутрішнього аудиту та стратегічного планування, підвищує прозорість діяльності підприємства у відносинах із контролюючими органами, партнерами та громадськістю, стимулює впровадження інноваційних екологічно безпечних технологій і раціональне використання природних ресурсів.

З метою мінімізації негативного впливу діяльності підприємства на навколишнє природне середовище впроваджується комплекс екологічних заходів. Вони охоплюють організаційні, технічні та технологічні рішення, спрямовані на зниження рівня ризиків забруднення, раціональне використання природних ресурсів та забезпечення сталого розвитку підприємства. Основними напрямками діяльності є:

- оформлення необхідних дозвільних документів. Проведення інвентаризації джерел викидів шкідливих речовин у повітря та отримання дозволів на викиди відповідно до вимог чинного екологічного законодавства. Оформлення паспортів і реєстраційних карток на кожен вид промислових відходів. Введення обліку утворення, зберігання та утилізації відходів, що виникають під час експлуатації обладнання;

- взаємодія з державними та екологічними організаціями. Співпраця з міністерством екології та природних ресурсів України для впровадження сучасних екологічних стандартів, подання регулярної звітності про екологічний стан підприємства та участь у спільних програмах із місцевими органами влади та громадськими екологічними ініціативами;

- контроль забруднень. Систематичний моніторинг рівня викидів у повітря та проведення аналізу стану ґрунту та води в зоні діяльності підприємства, встановлення фільтраційних і газоочисних систем для зменшення кількості шкідливих викидів;

- зниження рівня енергоспоживання. Застосування енергоощадного обладнання та впровадження систем автоматичного регулювання живлення, використання відновлювальних джерел енергії – сонячних панелей, вітрогенераторів, теплових насосів;

- організація безпечного зберігання відходів. Облаштування спеціальних зон для збору, сортування та тимчасового зберігання відходів, використання герметичних контейнерів для небезпечних матеріалів, укладання договорів із сертифікованими підприємствами для утилізації та переробки електронних відходів;

- покращення умов на робочих місцях. Оснащення приміщень датчиками контролю повітря та газосигналізаторами, підтримання оптимального мікроклімату шляхом вентиляції, кондиціонування та фільтрації повітря. Дотримання санітарно-гігієнічних норм при роботі з комп'ютерною технікою;

- підвищення екологічної обізнаності персоналу. Проведення регулярних тренінгів і семінарів з питань екологічної безпеки, заохочення працівників до

участі у програмах енергозбереження та сталого розвитку, створення корпоративної системи екологічних ініціатив, спрямованих на зменшення споживання ресурсів і популяризацію екологічної культури.

Такий комплексний підхід до екологічної безпеки дозволяє підприємствам, які використовують інноваційні інформаційні технології, ефективно поєднувати високі стандарти виробництва з відповідальним ставленням до довкілля. Впровадження цих заходів сприяє зменшенню екологічних ризиків, підвищує репутацію підприємства та створює основу для його сталого розвитку.

Висновок за розділом 6

Сучасна діяльність людини все більше пов'язана з використанням комп'ютерних технологій, що зумовлює зростання вимог до рівня інформаційної компетентності працівників, і ця компетентність стає необхідним фактором визнання успішної діяльності в різних областях.

Разом із тим інтенсивне використання персональних комп'ютерів може мати негативний вплив на здоров'я користувачів. Тривале перебування за комп'ютером без дотримання правил ергономіки та гігієни праці призводить до підвищеного навантаження на зір, опорно-руховий апарат та нервову систему.

Тому в цьому розділі розглянуто негативний вплив різних факторів, вплив ПК на користувача, вимоги до охорони праці, зменшення вплив цих факторів та охорона наколишнього середовища.

Дотримання встановлених норм і рекомендацій дозволяє мінімізувати шкідливий вплив, забезпечити ефективну та безпечну роботу користувача підвищуючи продуктивність праці з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи досліджено сучасні класифікації роботів та основні принципи їх роботи, проаналізовано наявні методи пошуку шляху й програмні середовища для візуалізації, також здійснено моделювання системи, що демонструє функціонування мобільного робота.

У першому розділі розглянуто ключові аспекти візуалізації робототехнічних систем, зокрема класифікацію та принципи їх роботи, основні алгоритми пошуку шляху та сучасні програмні середовища для моделювання. Серед проаналізованих інструментів для моделювання було обрано Unreal Engine 5 завдяки його широким можливостям у сфері 3D-візуалізації та відповідності особистим уподобанням розробника. Після проведення аналізу теоретичних положень, визначено конфігурацію робота та сформовано підхід до створення програмної частини. У результаті встановлено основні стадії процесу візуалізації: розробка базових елементів системи – тестової карти, моделей роботів та систем керування; створення інтерфейсу оператора; виконання тестування та усунення виявлених недоліків.

Другий розділ зосереджено на створенні основних компонентів системи візуалізації керованого функціонування мобільного робота. За допомогою вбудованих геометричних інструментів побудовано карту для проведення тестувань, на якій можна перевірити працездатність роботів. Для формування перешкод використано базові об'єкти типу «куб». До карти також додано станцію підзарядки, що функціонує відповідно до параметрів, заданих оператором. Створені моделі ключових елементів мобільного робота – коліс, корпусу та гусениць, з яких зібрано дві повноцінні моделі: колісного та гусеничного роботів. Розроблено систему керування мобільним роботом на основі Blueprint, яка забезпечує рух уперед і назад, зупинку та здійснення поворотів.

У третьому розділі впроваджено користувацький інтерфейс, для підвищення зручності взаємодії оператора з симулятором. Додано три робочі вікна: перше призначене для задання основних параметрів, таких як: швидкість руху та повороту робота, енергоспоживання, ємність батареї та налаштування зарядної

станції. Друге вікно відображає актуальні дані – встановлені параметри, тривалість моделювання та пройдений роботом шлях. Третє вікно використовується для налаштування характеристик інтерактивних перешкод. Також створено головне меню, що дозволяє обрати тип моделі робота та завершити роботу з програмою. Крім того реалізовано підказки для навчання нових операторів і підготовлено інструкцію до програми, яка подана у вигляді трьох додаткових інформаційних вікон.

У четвертому розділі реалізовано інтелектуальні засоби керування роботами. Використовуючи систему дерев поведінки досягнуто можливості робота самостійно знаходити шлях до цілі та виконувати завдання. Створено інтерактивні перешкоди які можуть впливати на шлях робота для більш деталізованого моделювання та підготовки до випадкових подій.

У п'ятому розділі вдосконалено карту з можливістю змінювати параметр швидкості в залежності від різних умов, а також виконано аналіз результатів моделювання роботів для трьох типів маршрутів: рівна поверхня, бездоріжжя та болотиста місцевість. Проведено порівняння отриманих даних і усунено три виявлені недоліки, що впливали на коректність роботи програми. За підсумками тестування встановлено, що в заданих умовах моделювання колісний робот долає маршрути швидше за гусеничний. Водночас залежно від характеру місцевості та наявних перешкод ці результати можуть змінюватися.

У роботі також розглянуто питання охорони праці та навколишнього середовища. Після аналізу різноманітних небезпечних факторів розроблено рекомендації для забезпечення безпеки під час експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Steel Land. URL: <https://steel.land/category/nauka-i-tehnika>. (Дата звернення: 08.06.2024)
2. 6 типів роботів та їх характеристика. URL: <https://uk.warbletoncouncil.org/los-6-tipos-robots-principales-15683>. (Дата звернення: 15.06.2024)
3. Naurok.com.ua. Параметри та класифікація роботів. URL: <https://naurok.com.ua/sklad-parametri-ta-klasifikaciya-robotiv-291986>. (Дата звернення: 21.04.2025)
4. Робототехнічні системи та комплекси: мобільні роботи довільної орієнтації; підруч. для студ. спец. «Інформаційні системи та технології» / М. М. Поліщук, М. М. Ткач; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 301 с.
5. Султанова А. Б. Сравнительный анализ алгоритмов поиска оптимального пути // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №12. С. 248-255. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/61/25>. (Дата звернення: 08.06.2024)
6. Комп'ютерні моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp'yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t1/171..htm. (Дата звернення: 08.06.2024)
7. Вікіпедія – Unity (ігровий рушій). URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Unity>. (Дата звернення: 08.06.2024)
8. Вікіпедія – Unreal Engine. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Unreal_Engine. (Дата звернення: 08.06.2024)
9. Нестеров М.С. Розробка симулятора робота-прибиральника у 3D-середовищі. 2020. С. 43 URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/6c326b9a-91b9-4417-a51b-cd2c00c9775f>. (Дата звернення: 08.06.2024)
10. Ахак, N., Korablyov, M., Ushakov, M.: The Development of a Multi-Agent System for Controlling an Autonomous Robot. In: 17th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer, pp. 96-105. CEUR Workshop Proceedings, Kherson (2021).

11. Офіційний сайт Unreal Engine. URL: <https://www.unrealengine.com/en-US>.

12. Роботехнічні комплекси: основні моделі, опис та ТТХ.

URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/robototekhnicheskie-kompleksyi-mchs-osnovnyie-modeli-opisanie-i-tth>. (Дата звернення: 21.06.2024)

13. Виробництво & Мехатронні Системи 2023: матеріали -ої Міжнародної VII конференції, Харків, 19-20 жовтня 2023 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)].-Харків: [електронний друк], 2023 - 163с.

14. Gerasin O.S., Topalov A.M., Zaytsev V.V., Zaytsev D.V., Susak O. M., Savchenko O.V. Information System for Calculating the Shortest Route for a Mobile Robot in a Multilevel Environment based on Unity. ICTERI 2023: Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications. September 18-22, 2023, Ivano-Frankivs'k. – pp 53-64.

15. Kondratenko, Y., Gerasin, O., Kozlov, O., Topalov, A., Kilimanov, B.: Inspection mobile robot's control system with remote IoT-based data transmission. Journal of Mobile Multimedia 17(4). 499-522 (2021).