

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)  
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки  
(повна назва)

## АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Розробка агентної імітаційної моделі для моделювання переміщення  
мобільних роботів  
(тема)

Виконав:  
студент 2 курсу, гр. КІТПВм 19-1  
Костенко С.В.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальності 151 Автоматизація та  
комп'ютерно – інтегровані технології  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо–професійний  
Освітня програма Комп'ютерно– інтегровані  
технологічні процеси і виробництва  
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Бабак І.М.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ Невлюдов І.Ш.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійний
Освітня програма	Комп'ютерно– інтегровані технологічні процеси і виробництва

(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

ЗАВДАННЯ  
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові \_\_\_\_\_ Костенко Сергію Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка агентної імітаційної моделі для моделювання переміщення мобільних роботів

затверджена наказом по університету від 02.11.2020 р. № 1511 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 16.12.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Система AnyLogic, швидкість пересування, вихідний заряд, алгоритм переміщення.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз підходів імітаційного моделювання;

4.3 Аналіз структури імітаційної моделі;

4.4 Аналіз методів імітаційної моделі;

4.5 Види руху мобільного робота;

4.6 Алгоритм переміщення мобільних роботів;

4.5 Створення імітаційної моделі AnyLogic;

4.6 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений

у форматі презентації PowerPoint (\*.ppt) – формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина			

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	2.11.2020	Вик
2	Аналіз підходів імітаційного моделювання	6.11.2020	Вик
3	Аналіз структури імітаційної моделі	14.11.2020	Вик
4	Аналіз методів імітаційної моделі	20.11.2020	Вик
5	Аналіз систем моделювання	22.11.2020	Вик
6	Види руху мобільного робота	24.11.2020	Вик
7	Планування маршруту	26.11.2020	Вик
8	Опис апаратних засобів	28.11.2020	Вик
9	Створення імітаційної моделі у середовищі AnyLogic	02.12.2020	Вик
10	Охорона праці	06.12.2020	Вик
11	Оформлення атестаційної роботи	08.12.2020	Вик
12	Подання на підпис керівнику атестаційної роботи	10.12.2020	Вик
13	Подання роботи на підпис зав.кафедри	11.12.2020	Вик
14	Подання роботи на рецензію	14.12.2020	Вик
15	Подання роботи в ЕК	16.12.2020	Вик

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ доц. Бабак І.М. \_\_\_\_\_  
(підпис) (підпис) (посада, прізвище, ініціали)  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 71 с., 41 рис., 3 дод., 23 джерел.

### АГЕНТНО ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ANYLOGIC, МОБІЛЬНІ РОБОТИ, ПЕРЕМІЩЕННЯ.

Об'єкт дослідження – методи імітаційного моделювання.

Предмет дослідження – агентна імітаційна модель для моделювання переміщення мобільних роботів.

Мета атестаційної роботи – скорочення часу перевірки алгоритму переміщення мобільних роботів за рахунок імітаційного моделювання та візуалізації їх переміщення при заданому алгоритмі пересування, заданій швидкості, ємності батареї.

Методи дослідження – імітаційні методи:

- динамічне моделювання;
- системна динаміка;
- дискретний;
- агентне моделювання.

В ході виконання атестаційної роботи було виконано аналіз предметної області. Проаналізована структура імітаційної моделі. Розглянуто методи імітаційного моделювання, види переміщень та планування переміщення мобільних роботів. В середовищі AnyLogic була створена імітаційна модель, після чого візуально оглянуто поведінку мобільного робота при зіткненні з іншими роботами та виходу з границь робочої зони.

За результатами наукового дослідження опубліковано статтю у збірнику «Автоматизація та приладобудування» «Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2019 та «Автоматизація та приладобудування» «Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2020.

## ABSTRACT

Explanatory note to attestation work: 71 pages., 41 drawings., 3 adding, 23 sources.

AGENT-BASED SIMULATION, ANYLOGIC, MOBILE ROBOTS, MOVING.

The object of research is simulation modeling methods.

The subject of the research is an agent simulation model for modeling the transformation of mobile robots.

The purpose of the reduction of the time for checking the algorithm for the movement of mobile robots due to simulation and visualization of their movement at a given movement algorithm, a given speed, battery capacity:

- movement;
- speed of movement;
- consumes battery capacity.

Research methods-anylogic simulation environment.

During the certification work, an analysis of the subject area was performed. We analyzed the structure of the simulation model. We considered methods of simulation modeling, types of movements, and planning the movement of mobile robots. A simulation model was created in the AnyLogic environment, after which the behavior of a mobile robot when it collides with other robots and leaves the boundaries of the work area was visually examined.

Based on the results of the scientific research, an article was published in the collection "automation and development of Electronic Devices" ADED-2019 and "automation and development of Electronic Devices" ADED-2020.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень .....	8
Вступ.....	9
1 Аналіз методів імітаційного моделювання для створення моделей пересування мобільних роботів .....	10
1.1 Аналіз підходів імітаційного моделювання .....	10
1.2 Аналіз структури імітаційної моделі .....	13
1.3 Аналіз методів імітаційного моделювання .....	18
1.4 Аналіз систем моделювання .....	22
1.4.1 Extendsim.....	22
1.4.2 AutoMod .....	25
1.4.3 Rand Model Designer .....	27
1.4.4 AnyLogic .....	30
1.5 Висновки до першого розділу.....	33
2 Розробка алгоритма для моделювання переміщення мобільних роботів ....	35
2.1 Види руху мобільного робота.....	35
2.2 Планування маршруту .....	40
2.3 Розробка алгоритма переміщення мобільного робота в AnyLogic .....	42
2.4 Опис апаратних засобів .....	47
2.5 Висновки до другого розділу .....	54
3 Створення імітаційної моделі у середовищі AnyLogic .....	55
3.1 Висновки до третього розділу .....	64
4 Охорона праці.....	66
4.1 Організація оснащення робочого місця електромеханіка .....	65
4.2 Техніка безпеки на робочому місці електромеханіка .....	66
4.3 Протипожежні заходи, охорона праці й навколишнього середовища на робочому місці електромеханіка .....	66
Висновки .....	69
Перелік джерел посилань.....	71

Додаток А Оптимальне розміщення співвідношень при позі «сидячи» .....	74
Додаток Б Зразкове розташування інструменту і пристосувань в робочіх зон.. .....	76
Додаток В Демонстраційний матеріал.....	78

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ІМ – імітаційне моделювання;

АМ – агентне моделювання;

МБ – мобільний робот.

## ВСТУП

Агентне моделювання – відносно новий напрямок в імітаційному моделюванні, що використовується для дослідження децентралізованих систем, динаміка функціонування яких визначається не глобальними правилами і законами (як в інших парадигмах імітаційного моделювання), а навпаки, коли ці глобальні правила і закони є результатом індивідуальної активності членів групи. Агентна модель показує реальний світ у вигляді багатьох окремо активних підсистем, званих агентами (автономних об'єктів, цілеспрямовано функціонуючих в конкретному середовищі за певним набором правил, що взаємодіють один з одним і адаптуються в процесі функціонування). Зазвичай в таких системах не існує глобального централізованого управління, агенти функціонують за своїми законами асинхронно [1].

Об'єкт дослідження – методи імітаційного моделювання.

Предмет дослідження – агентна імітаційна модель для моделювання переміщення мобільних роботів.

Мета атестаційної роботи – скорочення часу перевірки алгоритму переміщення мобільних роботів за рахунок імітаційного моделювання та візуалізації їх переміщення при заданому алгоритмі пересування, заданій швидкості, ємності батареї.

Методи дослідження – імітаційні методи:

- динамічне моделювання;
- системна динаміка;
- дискретний;
- агентне моделювання.

Робота виконана згідно методичних вказівок [2] та з використанням ДСТУ 3008:2015 [3].

# 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕСУВАННЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

## 1.1 Аналіз підходів імітаційного моделювання

Імітаційне моделювання – один з найефективніших методів аналізу для дослідження і розробки складних процесів і систем, який дає можливість користувачу експериментувати з системами в тих випадках, коли робити це на реальному об'єкті неможливо або не перспективно. Основна думка, яка послідовала для створення агентного моделювання як "інструменту", що здатний обчислювати. Агентне моделювання представляє собою агента з певними властивостями, який здатний проводити симуляції. Головна мета відстежити вплив будь-якого випадкового відхилення агента який діє на мікрорівні та показники макрорівня [4].

В основі агентного моделювання покладено:

- об'єктна орієнтованість;
- навчання агентів (еволюція);
- складність обчислень.

Робототехніка розвивається дуже швидко, щоб спростити життя людини, або допомогти в різних життєвих ситуаціях. Задача створити роботів які здатні діяти і думати як людина, є найголовнішою метою в цій галузі науки. У другій половині двадцятого століття при успішному впровадженні промислових роботів в процесі автоматизованого виробництва. Промислові роботи дуже сильно допоможуть людині, а так само його захистять від зовнішніх факторів.

Таких як:

- космічні роботи що дозволять вивчення поверхні небесних тіл;
- роботи для підводних досліджень;
- при боротьбі з тероризмом, робот може розмінювати підозрілі предмети в різних місцях;

- роботи які зможуть гасити пожежі;
- самостійно пересуватися по невідомій пересіченій місцевості, чи рятувальні операції;
- стихійних лихах;
- аварія;
- бізнесі (на складі магазину).

Агентне моделювання допомагає оптимізувати деякі установи, наприклад роботу складів. Є така компанія «Walmart» – найбільша у світі торгова мережа. Ця компанія має інтернет – магазин. За допомогою агентного моделювання яке зображено на рисунку 1.1, вони вирішили прискорити роботу збору замовлень. Та заощадити гроші що є найголовніша мета у ошадливому виробництві.



Рисунок 1.1 – Імітаційне моделювання складської системи

Було прийняти рішення впровадити систему роботизовані візки. Мета таких візків є переміщення по складу, збирання кошиків з продуктами потім їх привозять до робітників, які збирають замовлення [4]. Перед впровадження компанія хотіла оцінити рентабельність цього проекту. У цьому їм допомогло агентне моделювання.

Було розроблено імітаційну модель тестового складу з працюючими візками, яке зображено на рисунку 1.2. Після чього візуалізували процес на складі за допомогою 3D анімації. Наступним етапом було підвищення рівня деталізації, щоб протестувати різні алгоритми управління, щоб зрозуміти як поводитиметься система залежно від різної конфігурації, що зображено на рисунку 1.3 [5].

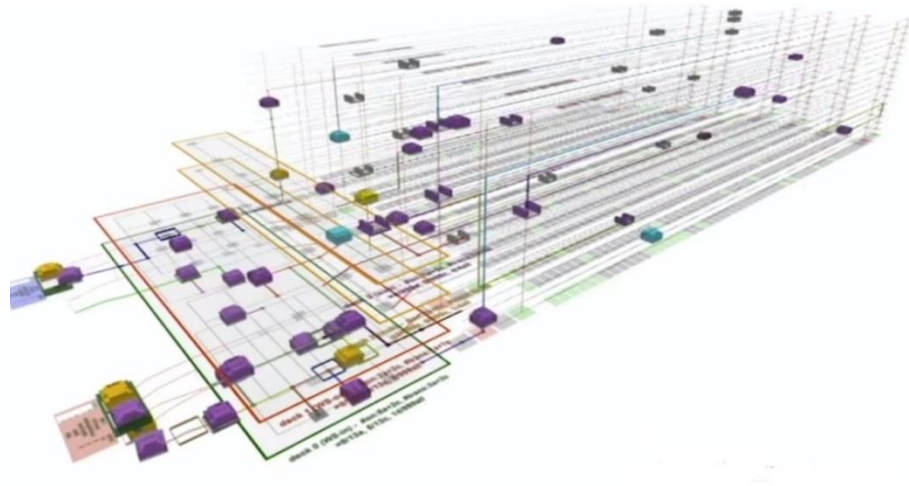


Рисунок 1.2 – Анімація моделі переміщення візків

Імітаційна модель змогла допомогти розробникам оцінити яку продуктивність має система і її обмеження. Велика кількість компаній впроваджує автоматизацію за рахунок імітаційної моделі, і мобільних роботів.

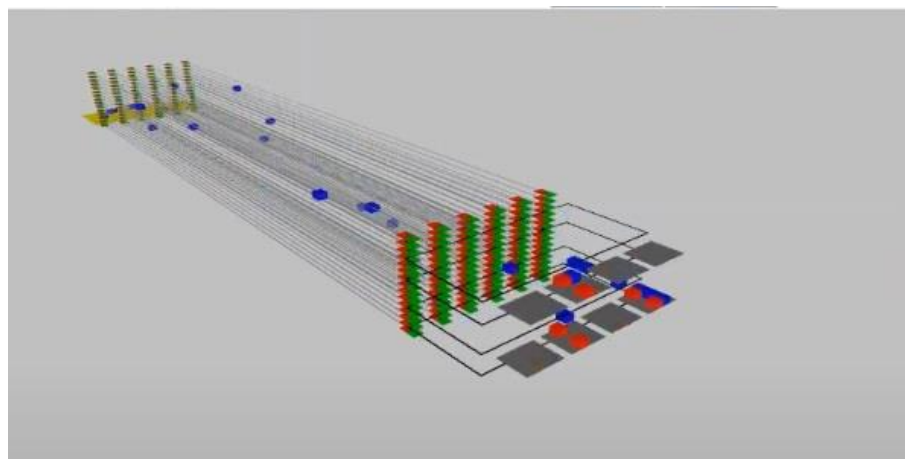


Рисунок 1.3 – Структура системи переміщення візків

Як раніше було сказано імітаційне моделювання допомагає вирішувати проблеми у реальному світі що дуже важливо, безпечно і розумно. Це один з інструментів для аналізу який:

- можна подивитися;
- легко перевіряється;
- простий для розуміння.

Імітаційне моделювання використовується в різних областях як в науці так і у бізнесі. Допоможе виявити оптимальні рішення поставлених завдань і має чіткі уявлення про складні системи. Імітаційне моделювання (біти замість атомів) – цифровий експеримент, який здатний надати видимість будь-якої системи. Імітаційне моделювання засноване на комп'ютерній технології, в процесі використовується алгоритми і рівняння. Що дозволяє модель аналізувати, і візуалізувати в 3D [5].

## 1.2 Аналіз структури імітаційної моделі

При розробці моделі, зазвичай треба зрозуміти, що є таке структурний елемент, з яких частин він складається. Математична та фізична структура має дуже складний вигляд, коли подивимось. То в основі побудови ми побачимо, що вона дуже проста. За формулою (1.1) структура має вигляд:

$$E = f(x_i \cdot y_j), \quad (1.1)$$

де  $E$  – результат дії системи;

$x_i$  – змінні і параметри (якими можемо керувати);

$y_j$  – змінні і параметри (якими не можемо керувати);

$f$  – функціональна залежність між  $x_i$  і  $y_j$ , яка визначає величину  $E$ .

Залежність функціонування системи як контрольованих так і не контрольованих перемінних [6]:

- структурні компоненти;
- змінні;
- параметри;
- функціональна залежність;
- обмеження.

Структурні компоненти включають в себе складові частини, що при відповідних впливах створюють систему. Також компонентами вважають деякі, елементи системи, або підсистеми.

Імітаційна моделювання вирішує проблеми світу швидко, без завдання шкоди і розумно. Це зручний інструмент для аналізу, імітаційне моделювання може знайти оптимальне рішення поставленої задачі, дає чітке уявлення. Це моделювання засновано на алгоритмах, методах та рівняннях що використовують комп'ютерні технології. Можливість аналізування в динаміці, а також дивитися анімацію. Можна аналізувати модель в дії, відрізняючи імітаційне моделювання від інших методів, наприклад, від використання Excel або лінійного програмування. Користувач вивчає процеси і вносить зміни в імітаційну модель в ході роботи, що дозволяє краще проаналізувати роботу системи і швидко вирішити поставлене завдання [6].

Безпечне середовище – імітаційне моделювання забезпечує безпечний спосіб тестування та вивчення різних сценаріїв "що–якщо". Ефект зміни можна побачити, не піддаючись будь–якому ризику. Прийміть правильне рішення, перш ніж робити реальні зміни.

Економія грошей та часу – віртуальні експерименти з імітаційними моделями обійдуться дешевше і займають менше часу, ніж експерименти з реальними активами. Поведінку маніпулятора можливо протестувати, не привертаючи уваги персонал і не витрачаючи багато грошей.

Візуалізація – імітаційні моделі можуть бути анімована в 2D 3D, що дозволяє більш легко перевіряти, передавати і розуміти концепції та ідеї. Аналітики та інженери отримують впевненість до моделі, і побачать її в дії, і можуть чітко продемонструвати результати керівництву.

Розуміння динаміки – на відміну від аналізу на основі електронних таблиць, імітаційне моделювання дозволяє спостерігати поведінку системи в часі на будь-якому рівні деталізації.

Підвищення точності – імітаційна модель може охоплювати набагато більше деталей, ніж аналітична модель, забезпечуючи підвищену точність і більш точне прогнозування. Компанії можуть значно скоротити витрати, оптимізуючи використання активів і знаючи свої майбутні потреби в обладнанні.

Впоратись з невизначеністю – невизначеність у часі роботи і результатах може бути легко представлена в імітаційних моделях, що дозволяє кількісно оцінити ризик і знайти більш надійні рішення. У логістиці реалістична картина може бути отримана за допомогою моделювання, включаючи непередбачувані дані, такі як час виконання відвантаження [6].

Принцип модулювання оснований на здібності аналізувати виявлену проблему, виділяти з неї шляхом абстрагування її початкові риси, вибирати і модифікувати припущення, після чого виправляти та вдосконалювати модель до тих пір, поки вона не стане давати потрібні результати для практики.

Конструювання моделі по Моррісу [7]:

- розкласти задачу системи на підсистеми (більш прості задачі);
- сформулювати мету та ціль проекту;
- зробити аналіз аналогів;
- розглянути числовий приклад, який відповідає задачі;
- вибрати візуалізацію умовних позначень;
- якщо модель подається математичному опису, розширити. Якщо ні,

то спростити її.

Для того щоб спростити потрібно:

- змінні змінити на константу;
- деякі змінні вилучити, або об'єднати;
- вести лінійну залежність між величинами.

Процес імітаційної моделі має ряд етапів, який зображений на блок-схемі рисунок 1.4.

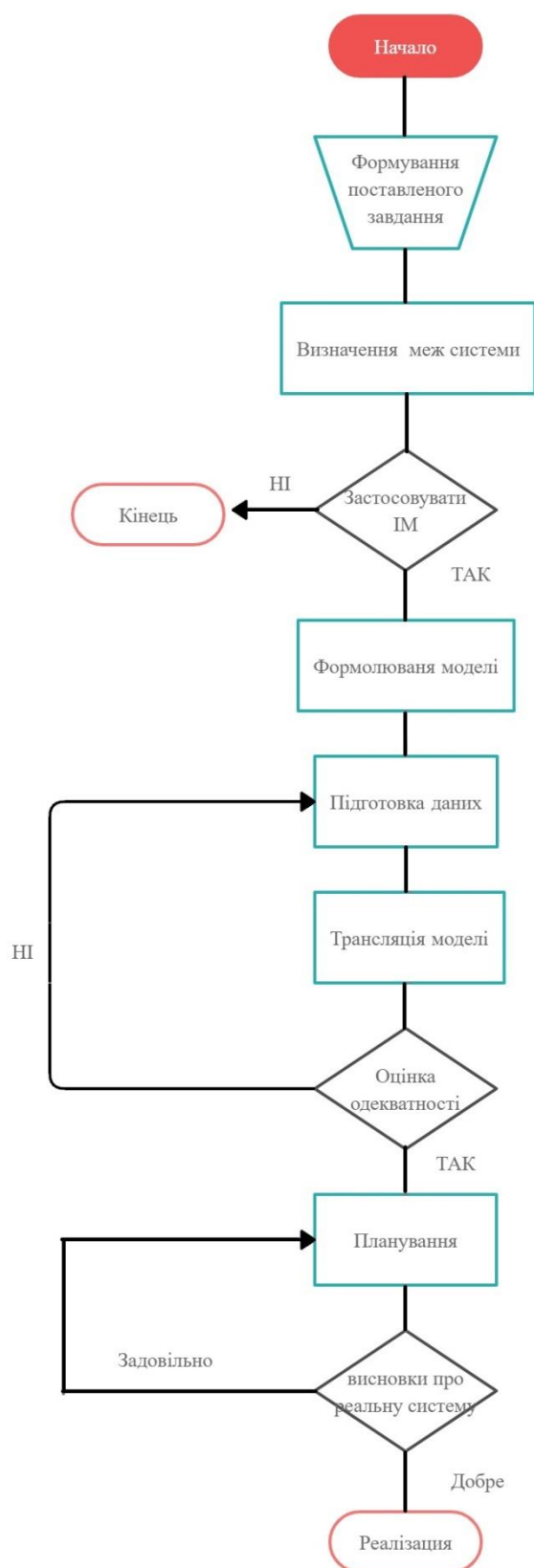


Рисунок 1.4 – Блок-схема процесів імітаційної системи

Визначення меж системи – встановлення певних меж, обмежень вимірювань для ефективності системи, яка використовується для вивчення. Мо-

дель орієнтована на вирішення питання, який потрібно знайти, а не імітувати реальну систему у її подробицях, що зображено на рисунку 1.5.

Формовання моделі – перехід від реальної моделі до логічної схеми.

Підготовка даних – провезти аналіз, відібрати потрібні данні, які будуть конструювати модель, і представити в потрібні формі.

Трансляція моделі – опис даної моделі на язику програмування.

Оцінка адекватності – довести до упевненого рівня, з якого можливо провезти аналіз висновків на основі звертання до моделі.

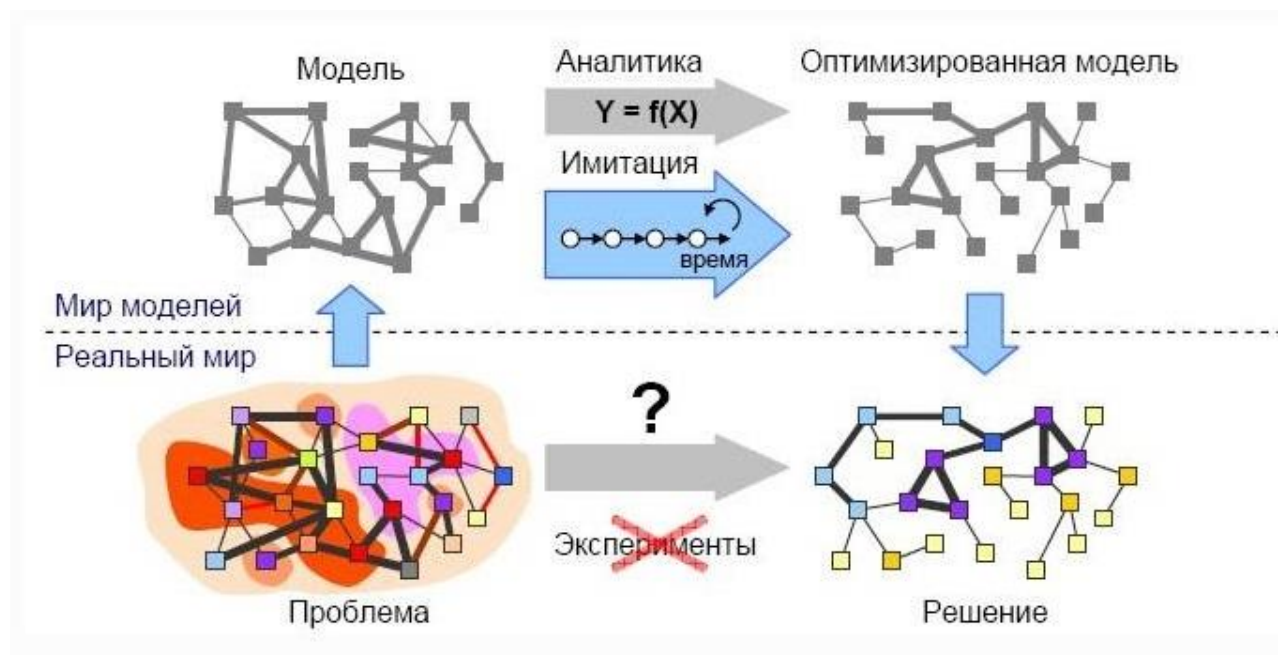


Рисунок 1.5 – Пошук оптимального рішення

Це дуже важливий етап. Якщо не провезти перевірку належним чином, може провезти до провалу даного проекту. Існують наступні способи оцінки:

- співставлення на відповідність поведінки моделі, та поведінку реальної систем;
- формування даних на основі висновків отриманим шляхом моделювання;
- планування – планувати поставлений експеримент , який покаже необхідну інформацію;

– експериментування – імітація моделі з метою отримання бажаних даних та аналіз.

Імітаційне моделювання ідеально підходить для аналізу завдяки тому, що експериментатор тут може успішно контролювати весь хід експерименту. На відміну від експериментування з реальними системами користувач моделі, володіючи можливостями абсолютного контролю над своєю моделлю, може варіювати за бажанням будь-який параметр і судити про поведінку моделі за спостережуваними результатами [7].

### 1.3 Аналіз методів імітаційного моделювання

На даний час існують чотири основних метода [8]:

- динамічне моделювання;
- системна динаміка;
- дискретний;
- агентне моделювання.

Динамічна система описується алгебраїчними рівняннями, диференціальними рівняннями та блок–схемами. Динамічна модель представляє залежність від часу аспекта системи. Вона пов'язана з тимчасовими змінами станів об'єктів у системі. Основні поняття:

- стан, який показує ситуацію при певних обставин протягом усього терміну життя об'єкта;
- перехід(зміна стану);
- подія(яка запускає перехід);
- дія, яка відбувається через якусь подію;
- паралелізм переходів.

Машина станів моделює поведінку об'єкта, коли він проходить через ряд станів протягом свого життєвого циклу, через деякі події а також дії. Які інколи відбуваються через події. Машина станів графічно представлена через діаграму переходу станів, зображено на рисунку 1.6.

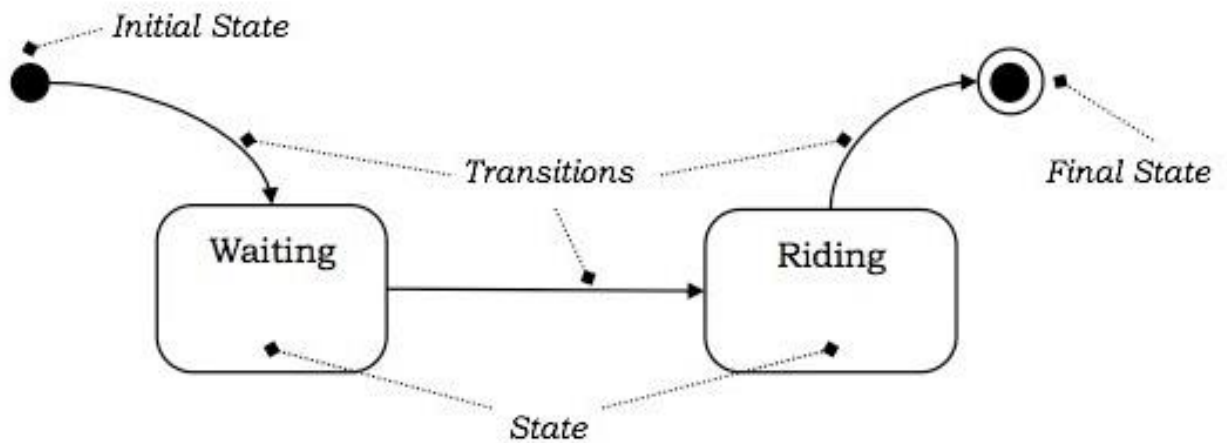


Рисунок 1.6 – Перехід станів

Системна динаміка – це досить абстрактний метод моделювання. Він ігнорує дрібні деталі системи, такі як індивідуальні властивості людей, продуктів або подій, і створює загальне уявлення про складну систему. Ці абстрактні імітаційні моделі можуть бути використані для довгострокового, стратегічного моделювання та моделювання. Наприклад, телефонна мережа, що планує маркетингову кампанію, може моделювати і аналізувати успішність нових ідей.

Системна динаміка є інструмент для дослідження динамічних процесів, спрямованих на вивчення складних систем зі зворотним зв'язком. Все це зображено на діаграмі. Вся увага на моделювання зворотного зв'язку [8].

Підтримка проектування і моделювання структури зворотного зв'язку, таких як діаграми запасу і потоку, змінні масиву (індекси), знайомі більшості розробникам моделей системної динаміки. Системна динаміка підтримується кількома інструментами, які дуже схожі один на одного.

Системна динаміка головним чином використовується в довгострокових, стратегічних моделях і приймає високий рівень абстракції. Люди, події, продукти та інші дискретні елементи представлені в моделях системної динаміки не як окремі елементи, а як система в цілому. Планує передачі даних без необхідності моделювання індивідуальних взаємодій з клієнтами що зображена на рисунку 1.7.

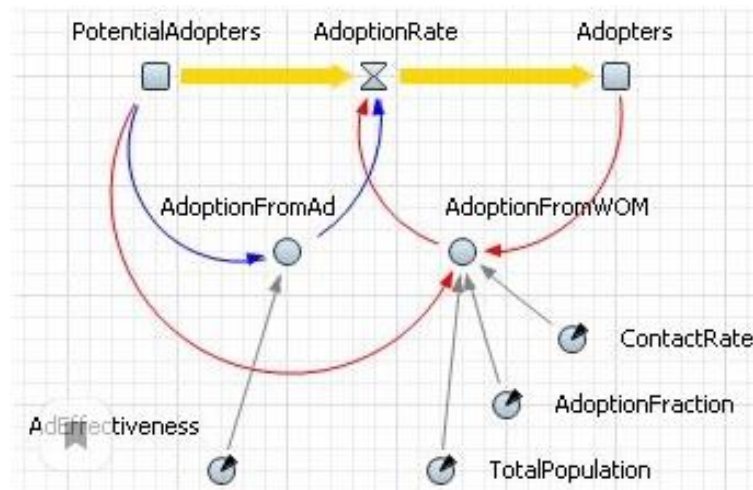


Рисунок 1.7 – Моделювання системної динаміки

По своїй суті пропонується всі переваги об'єктно–орієнтованого підходу до моделювання системної динаміки. Складні моделі можуть бути визначені в ієрархічному порядку з об'єктами, що надають тільки змінні інтерфейсу як вхідні та вихідні дані.

Також можливо зберегти шаблон динамічної системи, що найчастіше зустрічається, як об'єкт бібліотеки та повторно використовується в рамках однієї імітаційної моделі або між різними моделями. Отримуємо таку вигоду з переваг таких як експорт моделей, виконання хмарних моделей, складна анімація і сумісність з іншими програмними засобами [9].

Більшість процесів можливо описати як послідовність окремих дискретних подій. Наприклад, вантажівка прибуває на склад, їде до розвантажувальних воріт, розвантажуються, а потім їде. Для моделювання цього часто вибирається дискретне моделювання подій як зображено на рисунку 1.8.

За допомогою дискретно імітаційного моделювання руху з точки А в точку Б моделюється дві події а саме відправлення і прибуття. Фактичний рух моделюватиметься як тимчасова затримка між подіями відправлення та прибуття. Ці події і рух між ними можуть бути плавно анімовані.

Дискретне моделювання фокусується на процесах у системі на середньому рівні абстракції. Як правило, конкретні фізичні деталі, такі як геометрія робота або прискорення, не представлені. Дискретне моделювання подій широко використовується у виробництві, логістиці та охороні здоров'я.

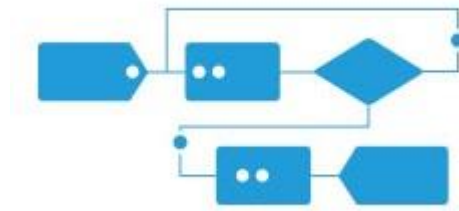


Рисунок 1.8 – Схема подій в дискретного моделювання

Коли аналізована система природним чином може бути описана як послідовність операцій, слід використовувати методи дискретного моделювання подій. Однак не завжди зрозуміло, яка з чотирьох парадигм моделювання найкраще підходить для даної системи. Наприклад простіше описати поведінку кожного окремого об'єкта, ніж намагатися створити глобальний робочий процес, то рішенням може бути агентне моделювання. Аналогічно, якщо вас цікавлять агрегатні значення, а не взаємодія окремих одиниць, можна застосувати системну динаміку. AnyLogic підтримує та інтегрує всі три методи моделювання, тому можливо експериментувати з рівнями абстракції та підходами імітаційного моделювання, не потребуючи декількох інструментів.

У класичних інструментах дискретні події пасивні і можуть мати тільки атрибути, що впливають на спосіб їх обробки. У програмному забезпеченні сутність та ресурси можуть моделюватися як агенти з індивідуальною поведінкою та змінами станів. Наприклад, у виробничій моделі маніпулятор може бути змодельований як ресурс у технологічній схемі, але в той же час мати зміни стану всередині, включаючи холостий хід, переміщення, поворот, завантаження. За допомогою багатоходового моделювання правильні моделі можуть бути побудовані без обхідних шляхів [10].

Агентне моделювання фокусується на окремих активних компонентах системи яке зображено на рисунку 1.9. Це суперечить більш абстрактному підходу до системної динаміки, так і методу дискретних подій, орієнтованому на процес.

При моделюванні на основі агентів необхідно ідентифікувати активні сутності, відомі як агенти, і визначити їх поведінку. Це можуть бути: роботи,

люди, домашні господарства, транспортні засоби, обладнання, продукти або компанії все, що має відношення до системи. Встановлюються зв'язок між агентами, встановлюються змінні середовища і виконується моделювання. Таким чином, глобальна динаміка системи виникає із взаємодії безлічі індивідуальних форм поведінки.

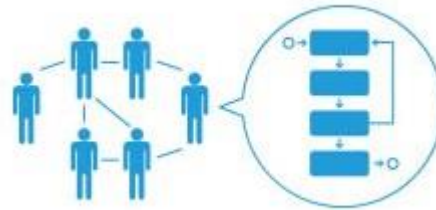


Рисунок 1.9 – Схема подій агентного моделювання

Підхід до моделювання на основі агентів вільний від цих обмежень, оскільки основна увага приділяється безпосередньо окремим об'єктам, їх поведінці та взаємодії. Таким чином, агентна імітаційна модель – це набір взаємодіючих об'єктів, що відображають відносини в реальному світі. Отримані результати роблять агентне моделювання значним кроком вперед у розумінні та управлінні складністю сучасних соціальних систем [11].

#### 1.4 Аналіз систем моделювання

##### 1.4.1 Extendsim

ExtendSim складається з повного спектра інструментів для будь-якого типу моделювання. Незалежно від того, як використовується ExtendSim – побудова моделей, запуск моделей, аналіз є пакет, який буде відповідати потребам [12].

Існують продукти ExtendSim для побудовання системи, експерименту та аналізу моделі. Випуск розробників моделей є більш спеціалізовані пакети, які призначені виключно для запуску моделей, аналізу моделей або вико-

ристання в якості інструменту навчання. Перед застосуванням потрібно з'ясувати, який пакунок може працювати найкраще, відштовхуючись від того, як збираєтеся використовувати ExtendSim, відвідавши типи користувачів, що зображено на рисунку 1.10.

Позитивні моменти: створення, використання та інтерактивне виконання моделей, створення інтерфейсів користувача та компонентів, обмін даними з іншими програмами та керування ними. Кожна модель Developer Edition ExtendSim має один і той самий базовий набір можливостей. У них можливо створювати і будувати.

Моделі та інтерфейси, змінювати значення та параметри, запускати моделювання та анімацію, проводити експерименти, проводити аналіз та оптимізацію, зберігати та експортувати результати.

Моделі, якими можна поділитися з іншими користувачами для використання в середовищі Analysis RunTime, Player RunTime, Studenti в інших версіях ExtendSim.

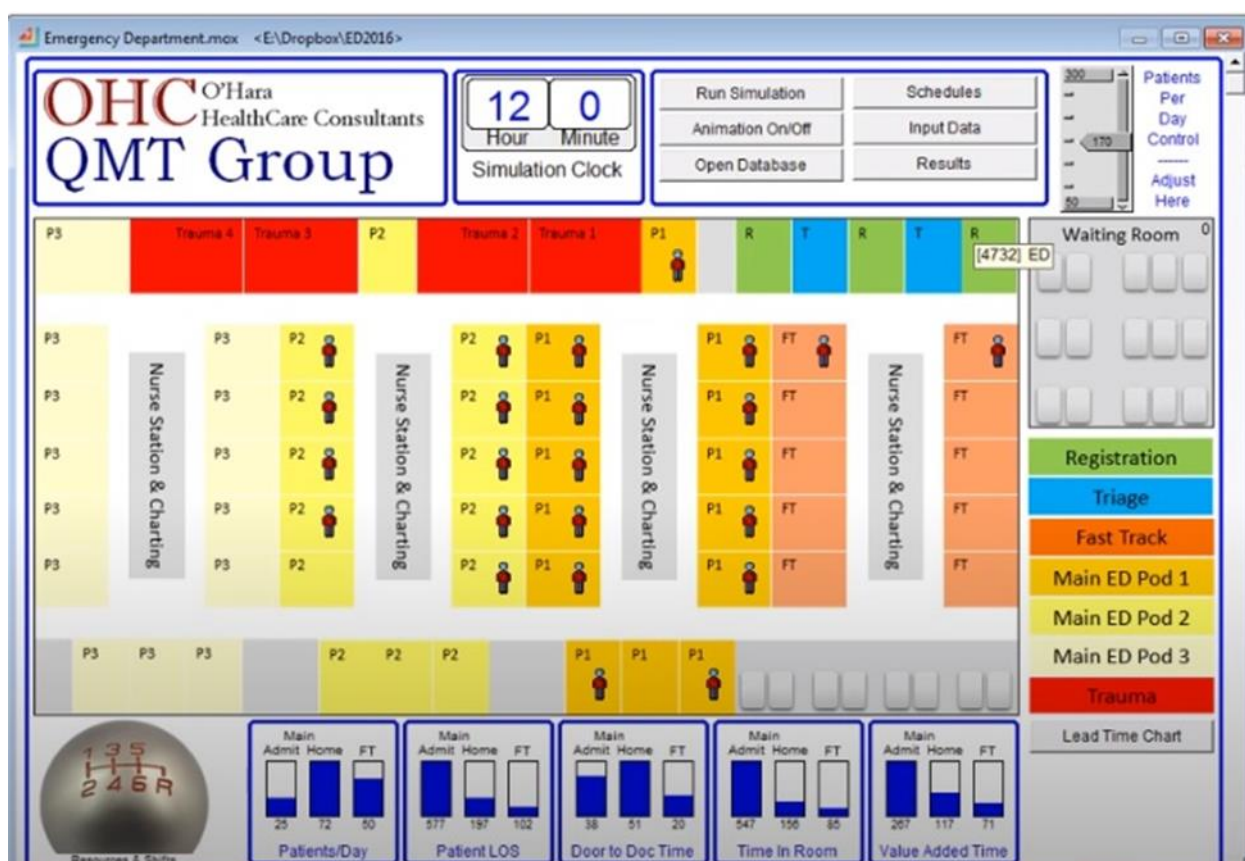


Рисунок 1.10 – Модель на базі Extendsim

Спеціалізовані продукти ExtendSim ці пакети ExtendSim дозволяють експериментувати, оптимізувати або запускати аналіз моделей, побудованих в Model Developer Edition спеціалізований Player RunTime що зображена на рисунку 1.11.

Player RunTime – це відмінний спосіб переглядати і досліджувати моделі ExtendSim. Запускати модель з анімацією або без неї, спостерігати за зміною параметрів і станів або переміщенням елементів, вивчати параметри моделі та її внутрішню роботу, а також переглядати результати моделювання. Це безкоштовне завантаження дозволяє відкривати, запускати, дивитися і досліджувати моделі, побудовані у версії ExtendSim для розробників моделей [13].

Analysis RunTime (ART) – це економічний спосіб отримати доступ до софту моделювання ExtendSim без необхідності купувати повну версію ExtendSim для розробників моделей. Як і середовище виконання плеєра, можливе запуск моделі і переглядання результатів. Середовище виконання Analysis RunTime додає можливість змінювати параметри та параметри, виконувати оптимізацію та аналіз сценаріїв, моделювати довірчі інтервали, зберігати зміни та експортувати результати в інші програми для подальшого аналізу.

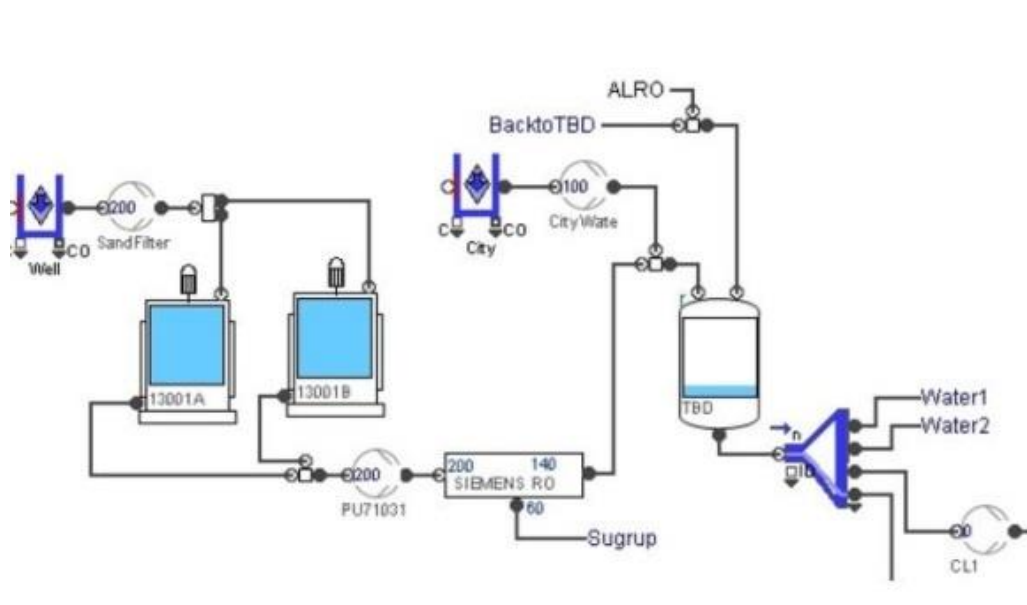


Рисунок 1.11 – Архітектура дистанційного керування водопостачанням

Active Server Pages (постачальник послуг програм) – ця автономна версія ExtendSim дозволяє надавати кільком користувачам віддалений доступ до функцій ExtendSim без установки програми ExtendSim на їхні пристрої. Використовуючи інтерфейсний додаток (веб–сторінку в браузері, надбудову ExtendSim ASP Excel або автономний додаток) як інтерфейсу користувача [14]. Потім користувачі відправляють сценарії моделювання в ExtendSim і отримують результати на своєму комп'ютері, планшеті або смартфоні. Додаток для самостійного хостингу координує всю комунікацію і передачу даних між front–end і ExtendSim. Доступ користувача може здійснюватися через локальну мережу інтернет або іншу глобальну мережу [15].

#### 1.4.2 AutoMod

AutoMod – це єдиний інструмент тривимірного моделювання, який може моделювати найбільші і складні виробничі, розподільні і вантажно–розвантажувальні системи, поєднуючи в собі прості у використанні функції мови моделювання. Досвід AutoMod у моделюванні вантажно–розвантажувальних і логістичних операцій зробив його продуктом вибору в високотехнологічній, портовій, поштової, складській, вантажно–розвантажувальній і багатьох інших галузях промисловості.

AutoMod дає можливість інженерам і менеджерам приймати оптимальні рішення. Потужність AutoMod полягає в його продуктивності і деталізації при моделюваннях всіх рівнинних операціях –від моделей рівня обладнання до великих і складних виробничих, розподільних, автоматизованих і логістичних моделей, залишаючи конкуренцію позаду. Унікальні можливості інструменту Automod сприяють підвищенню успіху і продуктивності [15]:

- мінімізує час розробки концепції та розробки;
- знижує ризик виникнення дорогих концепціях;
- дозволяє створювати прості і складні моделі;
- дозволяє проводити моделювання з високим рівнем точності;
- підвищує довіру до концепції процесів;
- знижує ризик помилок у дорогих концепціях;

- допомагає з аналізом і вибором інвестицій;
- підвищує продуктивність праці.

Automod може використовуватися для моделювання як ручних потоків, так і автоматизованих виробничих систем з унікальним рівнем точності. Automod дозволяє відображати поліпшені статистичні аналізи, графічні сервіси та відео-анімації.

Програмне забезпечення для моделювання Automod задовольняє потреби як випадкового користувача, так і експерта. Можливо легко і точно моделювати системи всіх розмірів або рівнів деталізації, починаючи з ручних операцій і закінчуючи повністю автоматизованими установками. Успіх і продуктивність підвищуються, коли використовують унікальні можливості прикладного автомоделювання, такі як:

- 3D анімація у віртуальній реальності;
- інтерактивне створення моделі;
- моделі автоматизованих систем.

Automod автоматично генерує статистичні звіти і графічні звіти. Цей звіт інформує про всі аспекти системи, такі як використання обладнання, рівень запасів і загальна тривалість встановлення елементів. Статистичні звіти можуть бути представлені у вигляді таблиць або графічних видів діяльності. Графіки поліпшують розуміння вашої системи і порівнюють результати з іншими.

Automod надає своїм користувачам моделі професійного управління, розроблені завдяки світовому досвіду в автоматизованій промисловості. Важлива частина базової логіки моделі автоматично генерується для винахідника. Додатки обробки Automod мають: конвеєри, транспортні системи, гойдалки, автоматизовані системи зберігання і пошуку (AS/RS), підйомні платформи. Automod також збирає елементи та показує навантаження на конвеєри та системи переміщення, знімаючи важливий обсяг роботи зі створення моделі. Automod враховує максимальні характеристики систем управління для винахідника моделювання, тим самим забезпечує йому економію часу,

підвищуючи точність моделі і допомагає у створенні більш детального моделювання [16].

### 1.4.3 Rand Model Designer

Rand Model Designer є єдиним універсальним інструментом, що дозволяє створювати всі види імітаційних моделей динамічних систем з використанням інтуїтивно зрозумілих загальноприйнятих форм для опису математичних залежностей і візуальних діаграм для опису структури та якісних змін поведінки модельованої системи [16].

Rand Model Designer – це високопродуктивне середовище для розробки компонентних моделей складних динамічних систем, який зображен на рисунку 1.12. Rand Model Designer використовує інтуїтивно зрозумілу об'єктно-орієнтовану мову моделювання високого рівня, засновану на об'єктній парадигмі, що дозволяє швидко і якісно створювати складні моделі. Rand Model Designer дозволяє розробляти безперервні, дискретні та гібридні (безперервно-дискретні) моделі і проводити з ними інтерактивні обчислювальні експерименти.

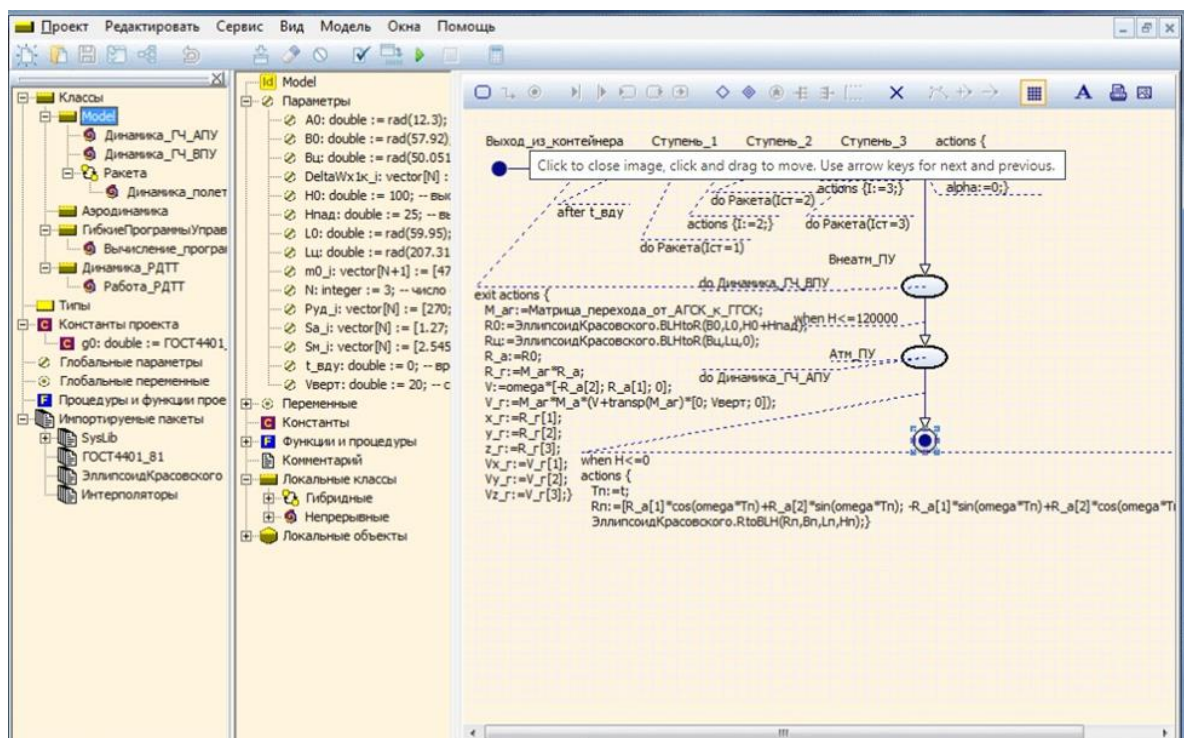


Рисунок 1.12 – Интерфейс Rand Model Designer

Основними областями застосування продукту є:

- проведення наукових обчислювальних експериментів;
- проектування технічних систем;
- проведення стратегічного аудиту та аналіз ризиків;
- моделювання економічних систем;
- навчання;
- розробка математичних моделей фізичних систем і процесів з подальшим включенням їх до зовнішніх програмних додатків;
- створення комп'ютерних тренажерів.

Rand Model Designer дозволяє швидко створювати моделі багатоконпонентних безперервних, дискретних і гібридних (безперервно–дискретних) систем. Вхідна мова не висуває жодних вимог до знань з програмування використовуює інтуїтивно зрозумілі загальноприйняті форми для опису математичних залежностей і візуальні діаграми для опису структури і якісних змін поведінки модельованої системи [16].

Безперервна поведінка систем описується за допомогою диференційно–алгебраїчних рівнянь першого і другого порядку (скалярних або матричних) довільної форми (у тому числі недозволених щодо похідних). Рівняння задаються у математичному уявленні (аналогічно MathCad). Для опису дискретної та гібридної поведінки використовуються візуальні карти поведінки, що є розширенням діаграм станів. Дискретні дії записуються за допомогою нескладної алгоритмічної мови, що включає добре відомі базові конструкції традиційних алгоритмічних мов, зображено на рисунку 1.13.

Програмний код виконуваної моделі автоматично генерується на основі математичної моделі і компілюється, що обумовлює високу продуктивність при проведенні обчислювальних експериментів. При автоматичній побудові сукупної системи рівнянь враховується її структура, зменшується розмірність і символічна дозволяється частина рівнянь, що в сукупності з використанням спеціальних численних методів дає можливість працювати з великими системами рівнянь в тому числі в режимі реального часу.

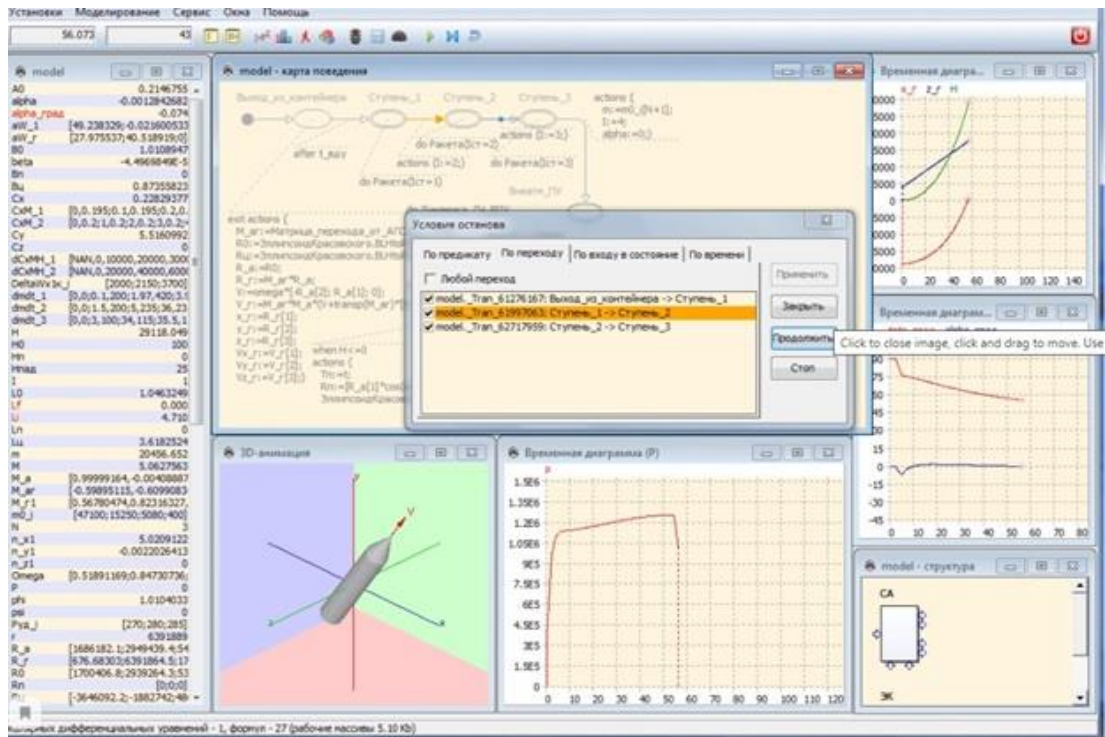


Рисунок 1.13 – Интерфейс на базі Rand Model Designer

Програмний код виконуваної моделі автоматично генерується на основі математичної моделі і компілюється, що обумовлює високу продуктивність при проведенні обчислювальних експериментів. При автоматичній побудові сукупної системи рівнянь враховується її структура, зменшується розмірність і символічна дозволяється частина рівнянь, що в сукупності з використанням спеціальних численних методів дає можливість працювати з великими системами рівнянь в тому числі в режимі реального часу.

Є потужні засоби налагодження моделей і демонстрації результатів модельних експериментів, двомірна і тривимірна анімація. Підтримуються типові обчислювальні експерименти (отримання параметричної залежності, визначення ймовірності події, визначення математичного очікування та дисперсії значення змінної, аналіз глобальної чутливості). Вхідна мова підтримує можливість проведення "внутрішнього" обчислювального експерименту в ході функціонування моделі.

Є можливість використання візуальної моделі незалежно від середовища розробки, а також вбудовування виконуваної моделі у зовнішній додаток з використанням спеціального Application Programming Interface [16].

#### 1.4.4 AnyLogic

AnyLogic – це провідне програмне забезпечення для моделювання бізнес-додатків, що використовується у всьому світі більш ніж 40 % компаній. Моделі AnyLogic дозволяють аналітикам, інженерам і менеджерам отримати більш глибокі знання і оптимізувати складні системи і процеси в широкому діапазоні галузей промисловості [17].

Можливо моделювати роботу мостових кранів на виробництві. Тепер для таких кранів можна задавати потрібну кількість прогонових балок. Цей вид крана автоматично задає черговість руху балок, але тепер ним можна керувати і вручну, за допомогою Application Programming Interface.

Доступні пішохідні зони з обмеженнями щодо пропускної здатності та інших умов. Пішоходам можна задати соціальну дистанцію вони будуть намагатися дотримуватися її, як у реальному житті.

В AnyLogic можлива робота з імітаційними моделями і інтегрування платформи Bonsai від Microsoft. Хто має доступ до Bonsai, може простіше і швидше підключати модель до платформи і навчати алгоритми на основі даних з моделей.

AnyLogic – єдине платфома для агентного моделювання професійного класу, яка зображена на рисунку 1.14.

Завдяки агентному підходу стало можливо застосовувати імітаційне моделювання в областях, де раніше це було недоступно: в маркетингу, соціальних процесах, епідеміології. Агентне моделювання дозволяє використовувати big data, щоб наповнювати моделі вхідними даними з реального світу. Використовуйте бази даних організації, щоб відобразити в моделі поведінку споживачів, особисті навички персоналу, розклади, час виконання бізнес-процесів і медичну статистику. З агентним методом традиційні логістичні та виробничі моделі виходять на новий рівень гнучкості та простоти створення

заявки і ресурси можна представляти у вигляді агентів з індивідуальними параметрами і поведінкою [17].

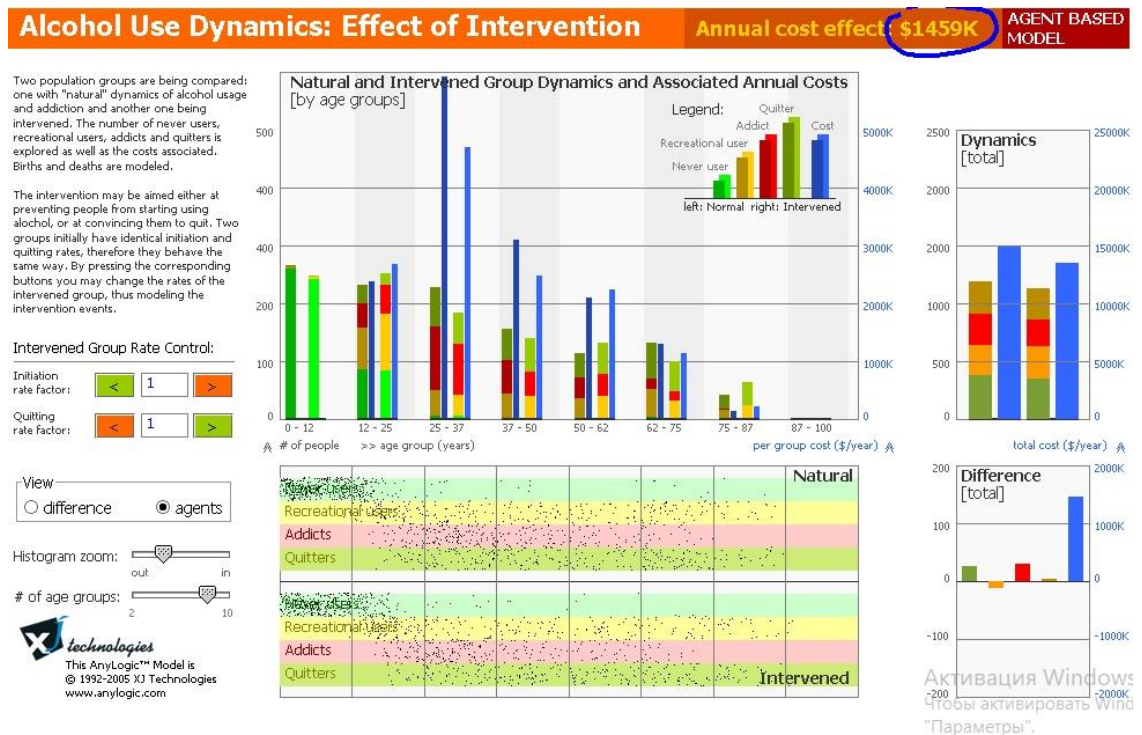


Рисунок 1.14 – Інтерфейс на базі AnyLogic

AnyLogic – єдиний інструмент моделювання, що пропонує повний спектр хмарних технологій, що повністю змінює підхід до використання імітаційних моделей:

- використовувати для запуску моделі будь-який пристрій, включаючи телефони і планшети;
- надавати своїм клієнтам можливість онлайн-аналітики за допомогою веб-інтерфейсу;
- використовувати високопродуктивні хмарні обчислення для складних експериментів;
- надавати клієнтам приватний доступ до моделі, використовуючи безпечне веб-сховище;
- ділитися моделями з усіма користувачами AnyLogic Cloud і працювати над ними разом;
- anyLogic Cloud доступний безкоштовно з обмеженнями;

- великий вибір експериментів;
- потужний набір готових експериментів який допоможе дослідити модель під різними кутами;
- експерименти «Монте Карло», «Аналіз чутливості» і «Варіювання параметрів» допоможе дізнатися, які випадкові фактори і зміни параметри впливають на поведінку моделі;
- оптимізація може знайти кращі рішення для бізнес-завдань на основі заданих обмежень і вимог;
- всі експерименти виконуються з допомогою використанням високопродуктивного обчислення в AnyLogic Cloud [18].

Агентні моделі, що застосовуються на практиці, дуже різноманітні, тому майже неможливо створити універсальну бібліотеку під будь-які потреби, а тим більше спростити розробку моделі до пари кліків миші. Існують, однак, деякі "шаблони" моделювання агентних систем, які спрощують створення моделі і включені в AnyLogic:

- стандартна архітектура;
- агентна синхронізація («кроки»);
- стан (безперервне або дискретне або ГПС), рухливість і анімація;
- агентні зв'язку (мережі, наприклад соціальні) і їх взаємодію один з одним;
- динамічне створення і знищення агентів.

Створення стандартної агентної моделі в AnyLogic полягає в завданні двох типів агентів. Наприклад, тип агента Main для опису високорівневого об'єкта, де містяться всі агенти, і тип Person для опису агента. Кожен тип буде підтипом базового типу Agent. Число агентів було б включено в тип Main як дублікати об'єкта «людина» типу Person. Середовище може бути визначена на рівні типу агента Main для встановлення властивостей середовища агентів. Втім, можливо легко визначити інші ієрархії у агентній моделі, наприклад може бути компанії-агенти, які містять службовців-агентів і спілкуються з споживачами-агентами.

Тип агента може мати параметри. Параметри зазвичай використовуються для завдання статичних характеристик агента. Можливо задати різні значення параметрів для різних агентів одного і того ж типу, що потрібно в тих випадках, коли агенти мають однакову поведінку, але у них відрізняються деякі характеристики.

Між змінними і параметрами є чітка різниця. Мінлива зазвичай використовується для завдання мінливого стану моделі, і її значення може змінюватися під час моделювання. Зазвичай підходить для завдання статичних характеристик моделі і зазвичай зберігає одне і те ж значення протягом усього "прогону" моделі; це значення змінюється користувачем тільки в якісь певні моменти часу (зазвичай між «прогонами» моделі) при бажанні змінити характеристики моделі.

Якщо у агента можна виділити кілька станів, що виконують різні дії при виникненні якихось подій, або якщо у агента є кілька якісно різних поведень, які послідовно змінюють один одного при виникненні певних подій, то поведінка такого об'єкта може бути описано в термінах діаграми станів. Діаграма станів дозволяє графічно задати простір станів алгоритму поведінки об'єкта, а також події, які є причинами спрацьовування переходів з одних станів в інші, і дії, що відбуваються при зміні станів [18].

## 1.5 Висновки до першого розділу

В першому розділі атестаційної роботи було розглянуто:

- структури імітаційної моделі;
- методів імітаційного моделювання;
- системи моделювання;
- Extendsim;
- AutoMod;
- Rand Model Designer;
- AnyLogic.

На основі цього аналізу було вибрано середу моделювання AnyLogic.

Для досягнення цілі були поставлені задачі:

- як буде вести себе мобільний робот, при зіткненні один з одним;
- як буде вести себе мобільний робот, при досягненні границі робочої зони;
- як буде вести себе мобільний робот, якщо закінчиться ємність батареї.

## 2 РОЗРОБКА АЛОРИТМІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

### 2.1 Види руху мобільного робота

На сьогоднішній момент існує безліч методів переміщення мобільних роботів, також їх механічні системи [18].

Тип транспортної механічної системи бувають:

- двуплатформенная;
- гусенична;
- зі змінним ущільненням;
- багатозвенна;
- павук.

Мобільні роботи переміщуються для вирішення задач які були поставлені перед ними, отримуючи дані зовнішніх датчиків. Після чого данні повинні обробити, щоб керувати своїм переміщенням. Всі ці переміщення описуються математично.

При розробці системи керування мобільним роботом, необхідно брати в участь деякі перемінні:

- швидкість;
- точність позиціонування;
- надійність при різних умовах;
- ефективність (енергоспоживання).

Для того щоб розрахувати математичну систему мобільного робота потрібна система координат. Існують дві системи координат, одна вважається що нерухома в просторі система  $W$  що зображена на рисунку 2.1, друга система координат робота  $R$  [18].

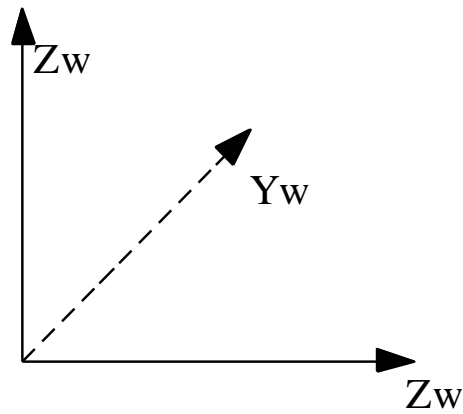


Рисунок 2.1 – Не рухома система координат W

Система координат робота R, яка зображена на рисунку 2.2 що переміщується у просторі і залишається нерухомою відносно самого робота.



Рисунок 2.2 – Система координат робота R

Після чого потрібно виявити місцезнаходження робота, іншими словами з'єднати координати W та R допомогою характеристики, що зображена на рисунку 2.3.

Щоб описати рух механічної системи потрібно знати число ступенів свободи. Тверде тіло, яке переміщується і обертається на площині має 3 ступеня свободи: 2 поступальних і 1 обертальну. Приклад: наземний робот.

Існує багато конфігурацій колісних роботів, наприклад двоколісний платформа сівгей (segway) з динамічним балансом має гарну висотою при малій площі і досить великим прискоренням, що зображена на рисунку 2.4.

Тип транспортной механической системы	Двуплатформенная		Гусеничная	Со скользящим уплотнением	Многозвенная		Многоногая "Паук"	
	вакуумный	магнитный	вакуумный	вакуумный	вакуумный	магнитный	вакуумный	Магнитный
Основные параметры								
Вид захватного устройства								
Мощность приводов	кВт	кВт	1,8 кВт	0,3 кВт	кВт	кВт	кВт	кВт
Нагрузочный коэффициент $n = P_{нагр}/P_{соб}$ где $P_{нагр}$ усредненная полезная нагрузка, $P_{соб}$ собственный вес		0,8						
Максимальная полезная нагрузка (кгс)								
Возможность автономного управления	средняя	отсутствует	средняя	хорошая	возможная	отсутствует	средняя	Средняя
Вибрационные возможности	Диапазон частот (при амплитуде вибраций 0,2 мм)	0,1 Гц Гц		0,5 Гц Гц				
	Выдерживаемые ускорения	м/с м/с		0,2 м/с 5 м/с				

Рисунок 2.3 – Кінематичні характеристики роботів



Рисунок 2.4 – Segway

Робот з диференціальним приводом має два мотори, по одному на кожне колесо. Зміна напрямку руху досягається за рахунок різних швидкостей (звідси і назва - диференційний), зображений на рисунку 2.5:

- для прямолінійного руху колеса повинні обертатися з однаковими швидкостями;
- для того, щоб робот розвернувся на місці, необхідно встановити швидкості однаковими по модулю, але спрямованими протилежно;
- інші комбінації швидкостей призводять до руху по дузі.

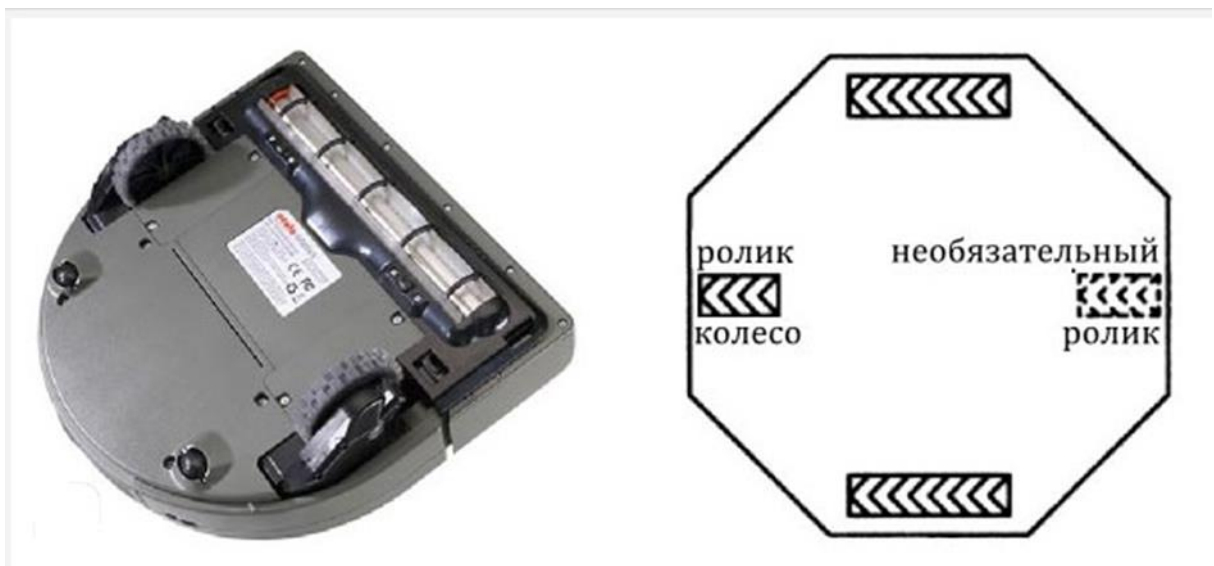


Рисунок 2.5 – Робот з диференціальним приводом

Прямолінійних рух, якщо [18]:

$$V_L = V_R, \quad (2.1)$$

де  $V_L$  – швидкість лівого колеса;

$V_R$  – швидкість правого колеса.

Розворот на місці:

$$V_L = -V_R, \quad (2.2)$$

де  $V_L$  – швидкість лівого колеса;

$V_R$  – швидкість правого колеса.

Щоб знайти радіус  $R$  криволінійного шляху, розглядається період руху  $\Delta t$  протягом якого робот рухається уздовж дуги кола, що має кут  $\Delta\theta$ .

Розрахунок руху лівого колеса:

$$V_L \cdot \Delta t, \quad (2.3)$$

де  $V_L$  – швидкість лівого колеса;

$\Delta t$  – різниця у часі.

Радіус дуги:

$$R - \frac{W}{2}, \quad (2.4)$$

де  $W$  – відстань між колесами.

Праве колесо пройдена відстань:

$$V_R \cdot \Delta t, \quad (2.5)$$

де  $V_R$  – швидкість правого колеса;

$\Delta t$  – різниця у часі.

Обидві колісні дуги мають в основі один і той же кут  $\Delta\theta$ :

$$\Delta\theta = \frac{V_L \cdot \Delta t}{R - \frac{W}{2}} = \frac{V_R \cdot \Delta t}{R + \frac{W}{2}}, \quad (2.6)$$

де  $V_L$  – швидкість лівого колеса;

$V_R$  – швидкість правого колеса;

$\Delta t$  – різниця у часі;

$W$  – відстань між колесами.

За частіше робот контролює своє переміщення за допомогою моніторингу власних датчиків. Це датчики коліс, або напруга двигуна:

$$D=K \cdot V \cdot \Delta t, \quad (2.7)$$

де  $K$  – розрахункова константа;

$V$  – швидкість;

$\Delta t$  – різниця у часі.

Також дані можуть бути с розрахунку. Калібровка це порівняння експериментального переміщення робота, з фактичним (яку відстань робот пройшов). Ставлення фактичного до теоретичного значенням і є коефіцієнтом калібрування.

Якщо при повторних випробуваннях буде спостерігатися розбіжності в отриманих значеннях, потрібно підвищити точність шляхом зміни значення констант виразів, а потім повторити процес.

Енкодери дають більшу точність вимірювання числа обертів коліс. Інформація з енкодера може бути перетворена в лінійне відстань множенням на постійний радіус колеса. Але все ж, як правило, для більшої точності, все одно проводиться калібрування.

## 2.2 Планування маршруту

При умовах, що мобільний робот має уявлення де він знаходиться в даний період часу. То планування маршруту на основі його розташування дозволить йому рухатися по точному шляху вздовж певних точок, зображено на рисунку 2.6.

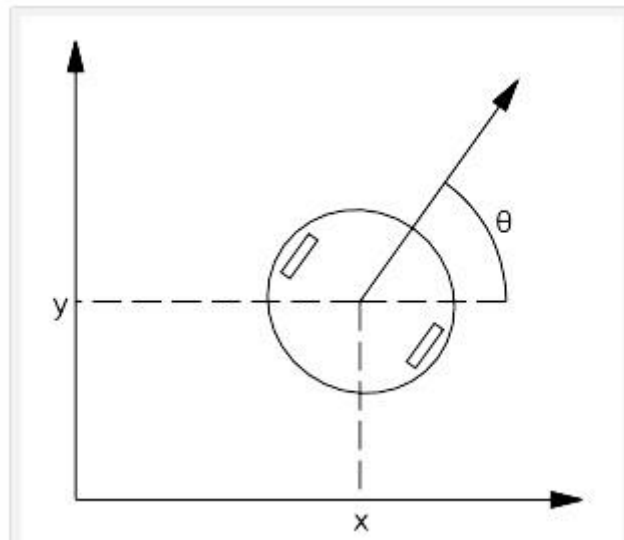


Рисунок 2.6 – Планування маршруту

Різні криволінійні траєкторії можуть бути сплановані, з оптимізацією таких критеріїв, як час руху по маршруту або споживання енергії [19]:

- рух робота складається з прямолінійних відрізків окремо від розворотів на місці;
- робот прагне звести до мінімуму загальне пройдене відстань, так що він завжди відразу повертається обличчям до наступної точки і їде прямо до неї.

На першому кроку планування маршруту мобільного робота, він повинен повернутися до точці вектору спрямування [19]:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{W_x - x}{W_y - y}, \quad (2.8)$$

де  $x$  та  $y$  – координати;

$W_x$  – момент опору;

$W_y$  – момент опору.

Значення абсолютного значення кута в градусах  $\alpha$  в який робот повинен повернутися:

$$\alpha = \tan^{-1} \cdot \frac{dy}{dx}, \quad (2.9)$$

де  $\frac{dy}{dx}$  – вектор спрямування.

Після чого потрібно певно знати, що  $\alpha$  знаходиться в правильному квадранті, в межах:

$$-\pi < \alpha \leq \frac{\pi}{2}. \quad (2.10)$$

Робот вже повернутий на певний кут, після чого повинен переміщуватися по прямій до відстані:

$$d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2}. \quad (2.11)$$

### 2.3 Розробка алгоритма переміщення мобільного робота в AnyLogic

У даній атестаційній роботі мета була створити умови переміщення. В середовище AnyLogic відслідкувати їх поведінку при цих певних умовах. Задача мобільних роботів переміщуватися в робочій зоні, виходити з тупиків, та обходити один одного.

Після компіляції моделі мобільні роботи починаю рухатися:

$$Rbx = vx \cdot step, \quad (2.12)$$

де  $vx$  – вертикальна швидкість мобільного робота;

$step$  – часовий крок моделювання.

$$Rby = vy \cdot step, \quad (2.13)$$

де  $v_y$  – вертикальна швидкість мобільного робота;

*step* – часовий крок моделювання.

Кожен мобільний робот має свою швидкість, кожен с певною кількістю батареї, координатам.

Мобільні роботи починають переміщуватися в робочій зоні. В діаграмі станів задані параметри переміщення. Мобільні роботи мають два стану «Movement» та «Stopped», умова яка дає сигнал к переходу с одного стану до іншого. Мобільні роботи можуть рухатись доки, ємність батареї не закінчиться. Після чого мобільний робот зупиняться.

Також маємо ще умови переходу, наприклад: зіткнення з границями робочої зони. При перемашенні мобільних роботів вони можуть дістатися границі, для цього задається умова відскоку. Щоб мобільний робот зміг вийти с западні та продовжити своє переміщення.

Доки основною проблемою всіх існуючих мобільних роботів, які працюють самостійно, без управління з боку людини, залишається навігація. Для успішної навігації в просторі бортова система робота повинна вміти будувати маршрут, управляти параметрами руху (задавати кут повороту коліс і швидкість їх обертання), правильно інтерпретувати параметри у навколишньому світі, отримані від датчиків, і постійно відстежувати власні координати. У зовнішньому середовищі є діаграма стану де задані умови переміщення мобільних роботів що описані на блок-схемі, що зображено на рисунку 2.7.

Комп'ютерні системи побудови маршруту розроблені досить добре. Спочатку вони створювалися для найпростіших віртуальних середовищ, і програма, що моделює дії робота, швидко знаходили оптимальний шлях до мети в двовимірних лабіринтах і кімнатах, наповнених простими перешкодами. Коли з'явилися швидкі процесори, стало можливим формувати траєкторію руху вже на складних тривимірних картах, причому в реальному часі.

Алгоритм зображено на рисунку 2.8.

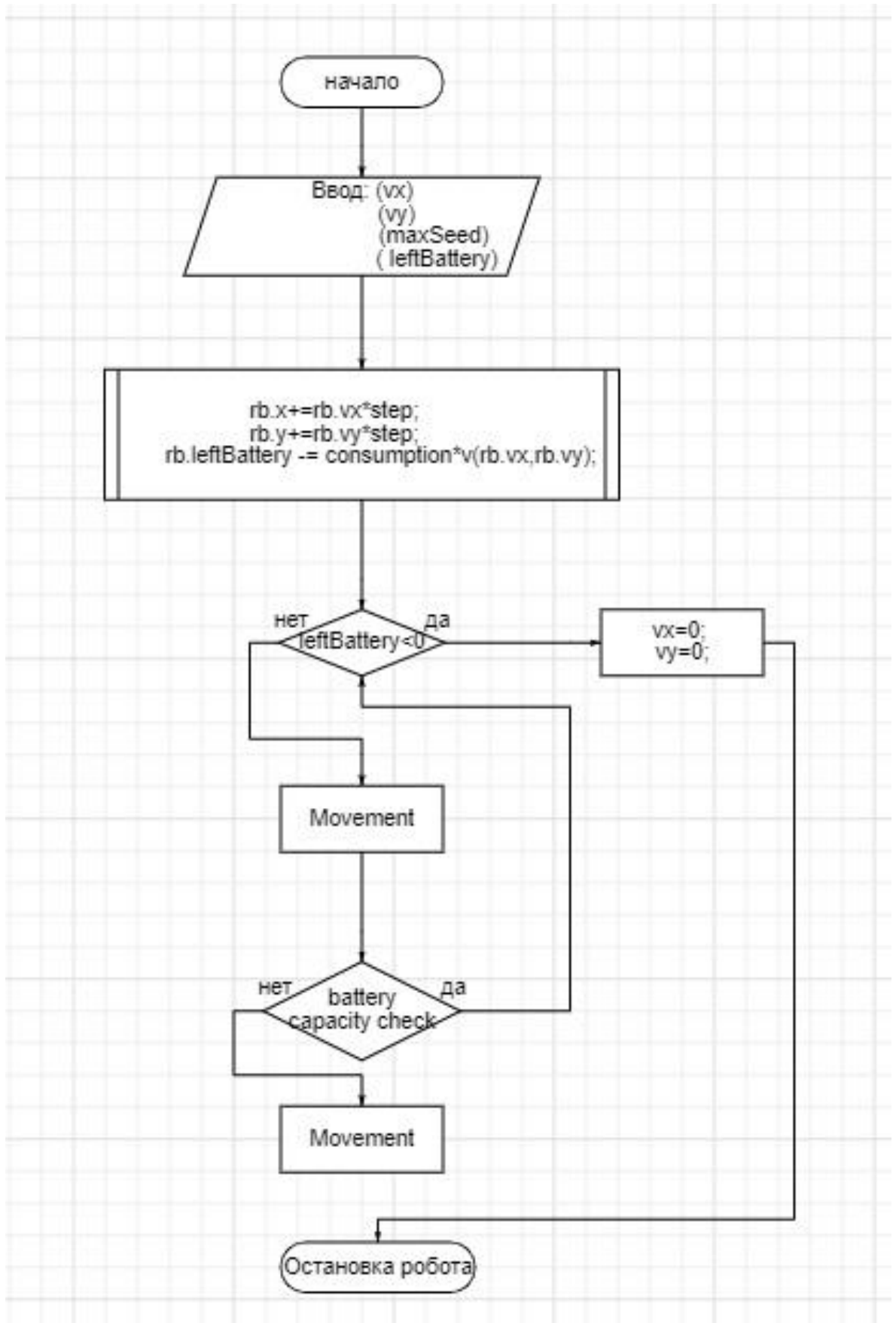


Рисунок 2.7 – Блок-схема умов переміщення

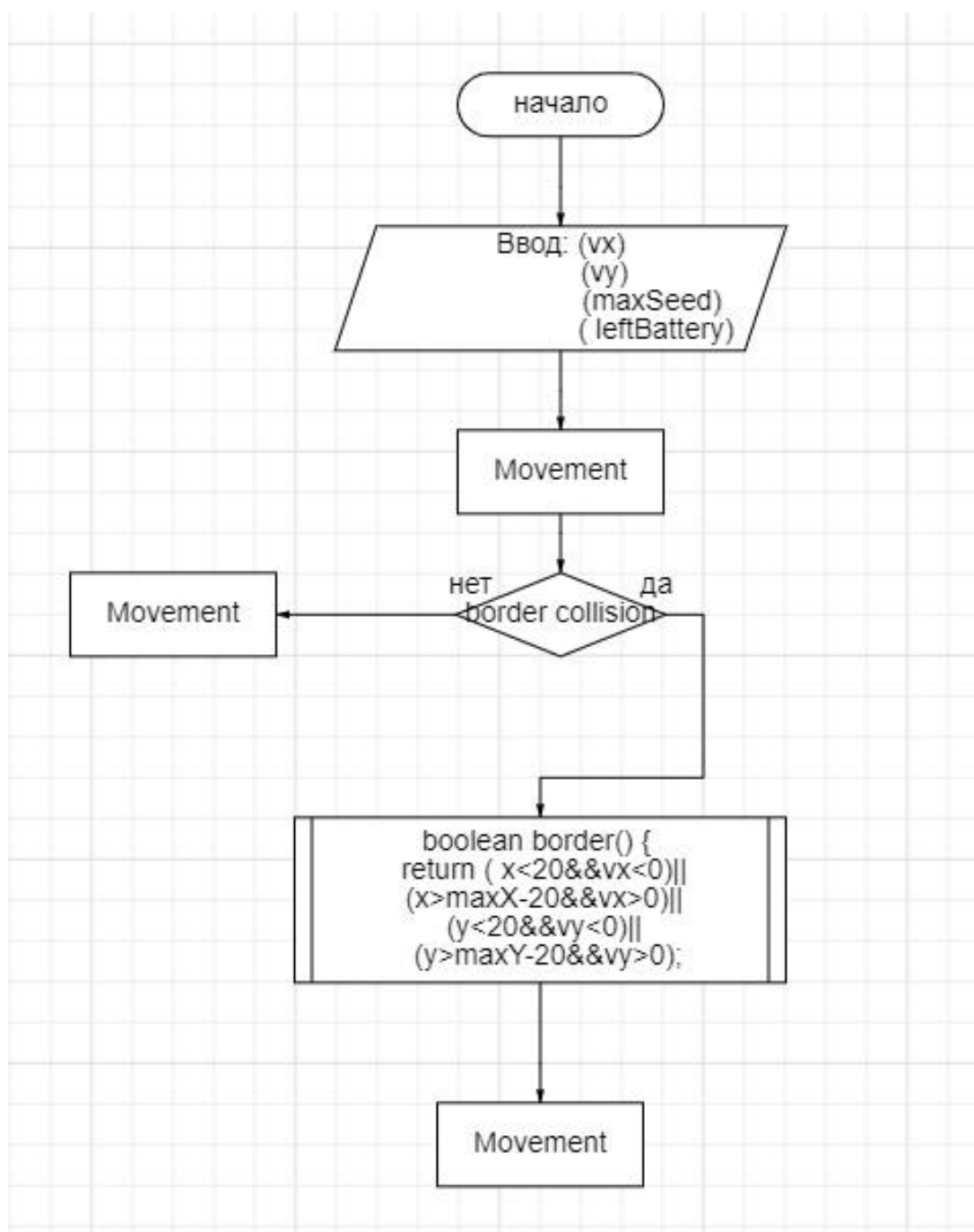


Рисунок 2.8 – Блок-схема зміни напрямку при досягненні краю

Дана імітаційна модель має лічильник тактового часу, де функції `update` прописано зіткнення мобільних роботів. Якщо відстань між мобільними роботами менше ніж 40, значить вони зіткнулись [20]. Можливо визначити момент зіткнення з деякою точністю, так як моделювання виконується по кроку часу `step`, алгоритм зображено на рисунку 2.9.

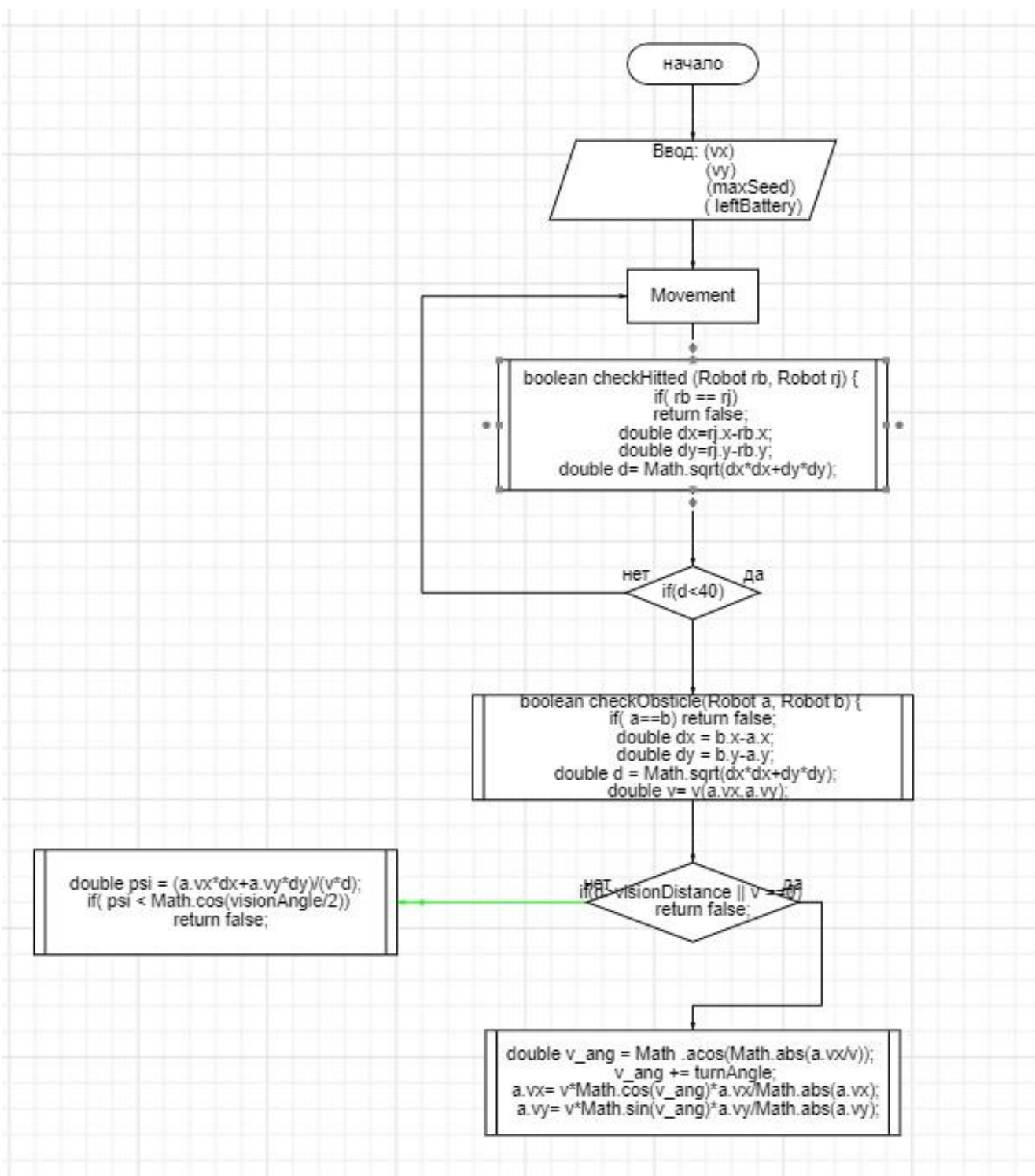


Рисунок 2.9 – Блок-схема умов об'їзду мобільного роботу

Так як зіткнення мобільних роботів може привести к пошкодженням, то нам потрібно щоб вони вміли об'їжджати один одного.

Для початку реалізується функція зіткнення двох мобільних роботів. Після чого перевіряється умова, якщо дистанція менше 40 мм., то реалізується функція ухилення від зіткнення. Далі перевіряється умова, якщо мобіль-

ний робот знаходиться поза областю іншого робота, то мобільний робот переміщується далі. Якщо в зоні області, то реалізується функція кута для повороту мобільного роботу для відхилення.

Потрібно розрахувати, де знаходиться мобільний робот в даний час:

$$dt = \frac{vx1 \cdot dx}{d} + \frac{vy2 \cdot dy}{d}, \quad (2.14)$$

де  $vx1$  – вертикальна швидкість мобільного робота;

$vy1$  – горизонтальна швидкість мобільного робота.

## 2.4 Опис апаратних засобів

Після запуску AnyLogic на екрані відображаються стартова сторінка, що зображена на рисунку 2.10. Там можливо створити новий проект, відкрити проект з яким недавно працювали, або відкрити приклад, який вже є AnyLogic.

Створюється новий проект, йому дається назва імітаційної моделі. На екрані з'явиться вікна моделі, що зображенні на рисунку 2.11. Коли відкривається імітаційна модель AnyLogic, то завжди відкривається середовище розробки графічного редактора моделі. Там знаходяться всі основні складові, які потрібні для користування інтерфейсу цього редактора. Вікно проекту потрібно для забезпечення навігації по елементам проекту, що зображено на рисунку 2.12. Проект завжди буде розташовуватися у ієрархічному порядку, тому він відображається у вигляді дерева. Проект утворює корінь дерева робочого проекту, класи активних об'єктів і повідомлень – наступний рівень у класах може бути анімації та функції [21].

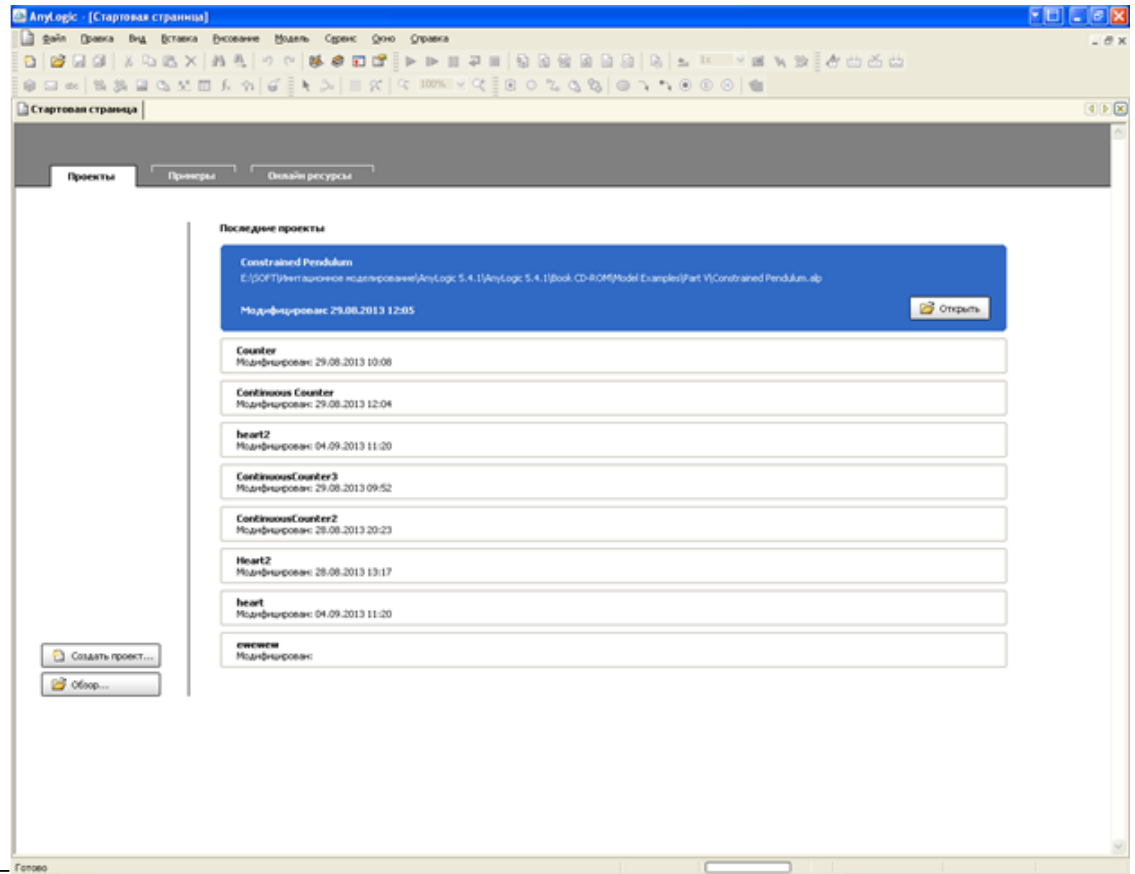


Рисунок 2.10 – Початкова сторінка

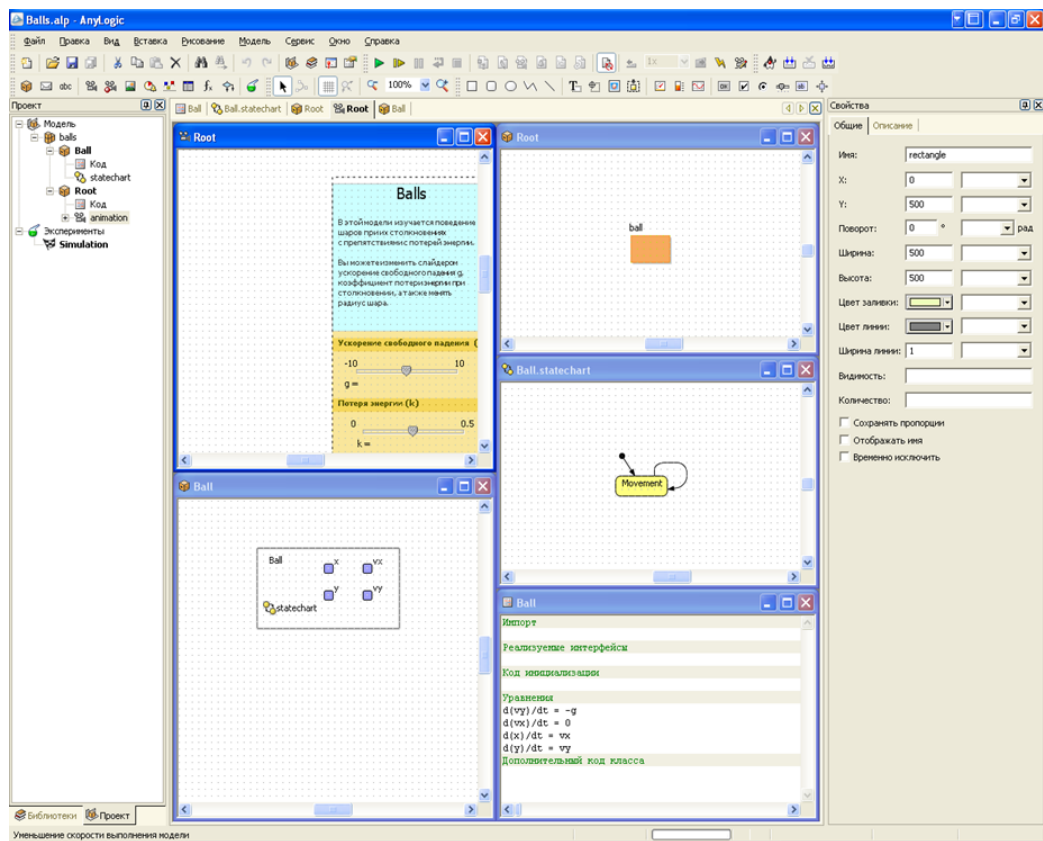


Рисунок 2.11 – Вікно активних об'єктів моделі

Активний об'єкт є основним структурним елементом моделі в AnyLogic. Активним об'єктом можливо назвати сутністю, що включає в себе дані, атрибути об'єкта, функції і поведінку як єдине ціле. Активний об'єкт створюється як клас, який може в себе включати в якості складових елементів приклади інших класів активних об'єктів [21].

Кожен проект може включати багато класів активних об'єктів. На дереві проекту як складові елементу класу знаходиться код і стейтчарт, також в класі Root у складові елементу знаходиться код і анімація.

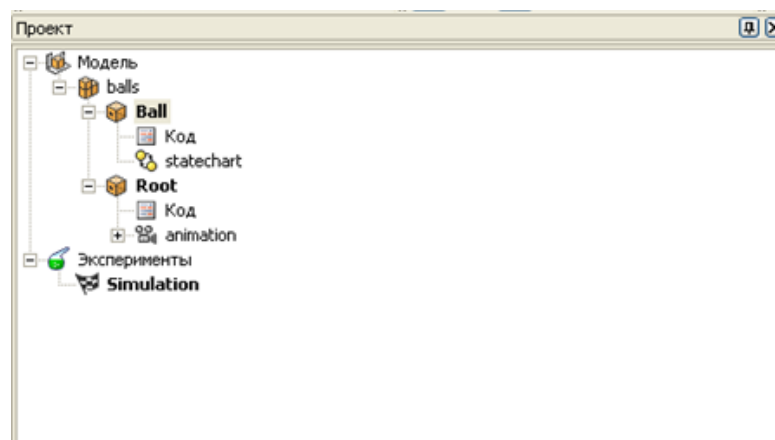


Рисунок 2.12 – Вікно проекту (дерево)

Структура активного об'єкту задається у графічному виді. Для цього є спеціальне вікно редактору – структурна діаграма. Вікно стейтчару це мапа станів яка встановлює реакції активного об'єкту на зовнішні події, логіку його дії. У вікні анімації можна побудувати анімаційну поведінку активного об'єкта.

Коли створюється модель потрібно задати її структуру, а саме її компоненти і зв'язки цих компонентів, також поведінку інших компонентів. В AnyLogic активний об'єкт має структуру і поведінку. Структуру активного об'єкта встановлюють його параметри, змінні, стейтчарти, а також екземпляри інших активних об'єктів, включені як компоненти в даний активний об'єкт. Структурна діаграма задається в прямокутнику де також задують його

змінні, координати  $X$  та  $Y$  його швидкість  $VX$  і  $VY$ . Також іконка поведінки з іменем стейтчар, що зображено на рисунку 2.13.

В редакторі AnyLogic для кожного елементу моделі створюється вікно властивостей, в якому встановлюють властивості цього елементу, зображено на рисунку 2.14.

Якщо виділити якийсь елемент, то праворуч з'явиться вікно властивостей цього самого елементу.

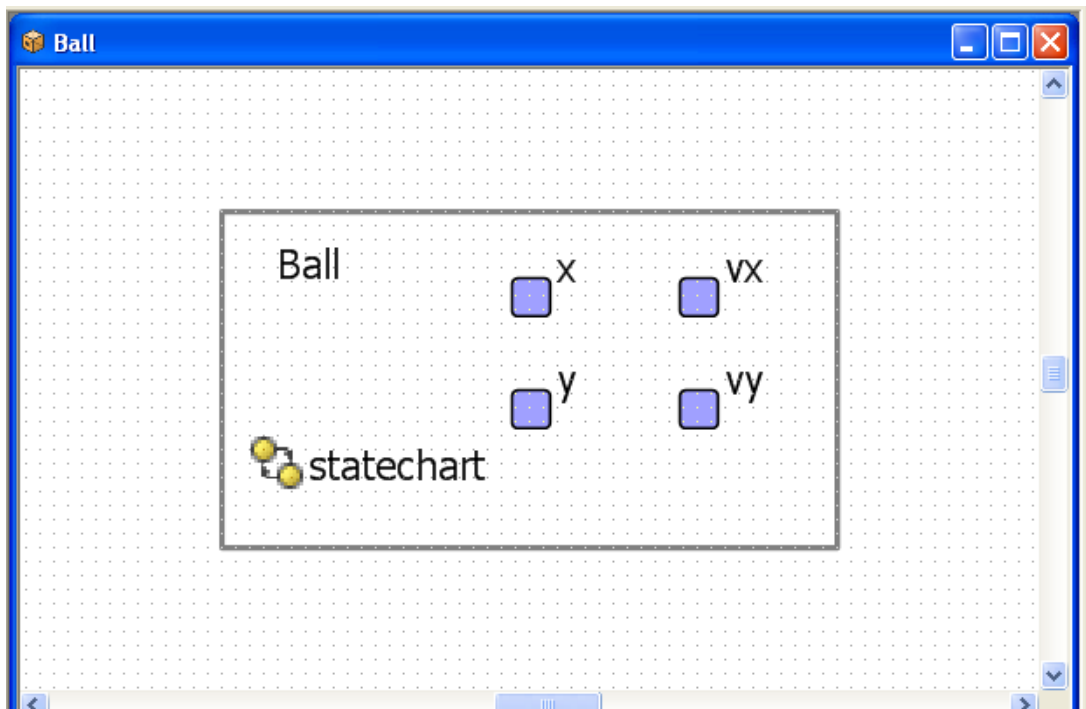


Рисунок 2.13 – Структурна діаграма

Поведінку імітаційної моделі задають у вікні активного об'єкту, створену елементарною карткою станів – стейтчаром. Який прийнято вважати розширеним графом переходу до кінцевого результату, що зображено на рисунку 2.15.

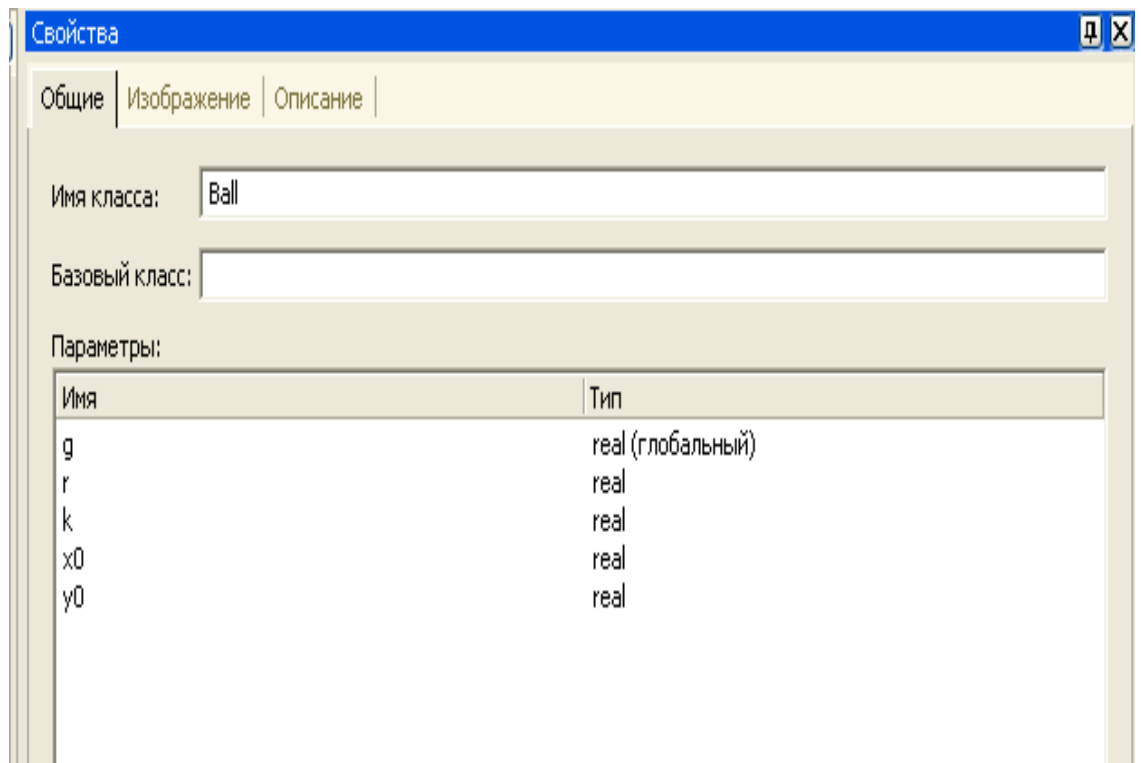


Рисунок 2.14 – Вікно властивостей

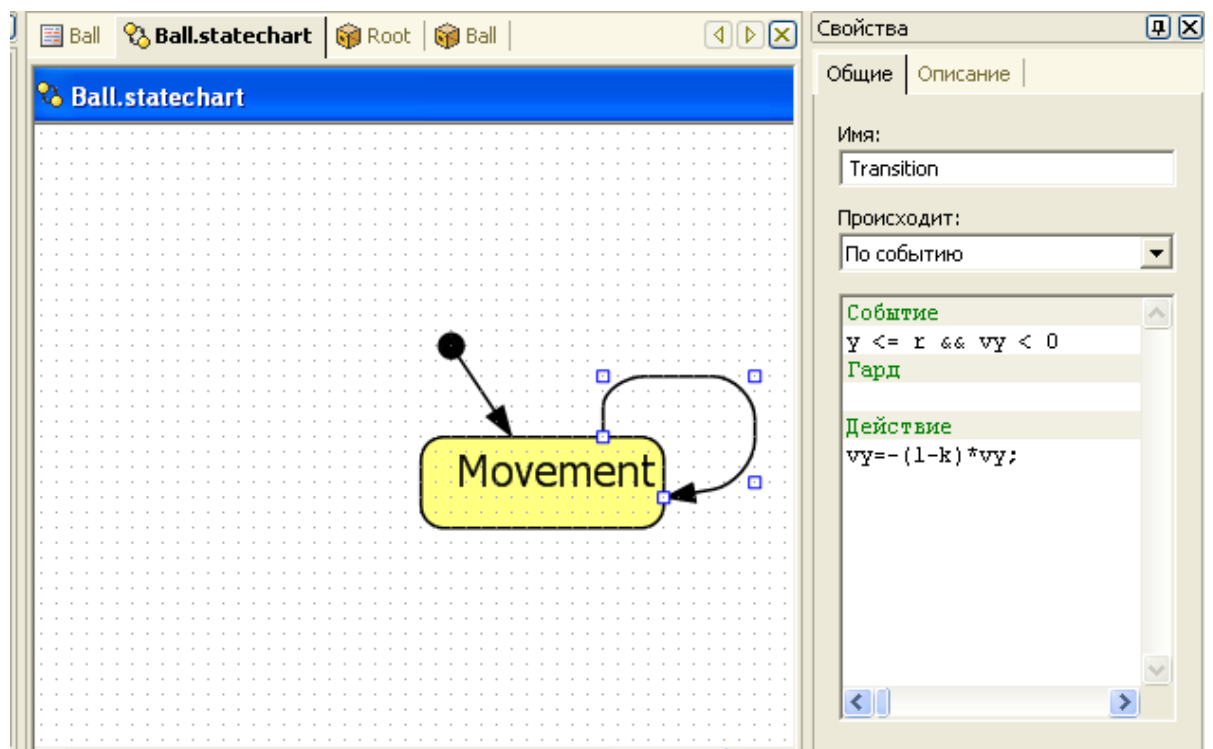


Рисунок 2.15 – Вікно властивостей

Стейтчарі потрібно задати його стан та перехід. Перехід буде спрацьовувати при настанні якоїсь певної умови. Умови цієї події потрібно записати у вигляді виразу до поля події. Головна задача стейтчару слідкувати

за подіями. Коли настане певна подія то він повинен виконати необхідні дії. Умови становлення подій, та сама дія, міняє змінні моделі, записуються тут звичайними алгебраїчними співвідношеннями.

Щоб подивитися що відбувається з імітаційною моделлю з часом, для цього будується двовимірне анімаційне уявлення яке все показує. Саме тут буде візуально буде зображено імітація поведінки модельованої системи.

Анімація у AnyLogic створюється вигляді динамічних графічних об'єктів, які мають можливість візуально піднести динаміку моделюємої системи поведінки. Принцип полягає в тому, що параметри елементів анімаційного рисунку створюють зв'язок с змінними і параметрами моделі. Зміні моделі в часі змушують змінюватися в часі графічний образ, що дозволяє наглядно зрозуміти динаміку моделюємої системи, що зображено на рисунку 2.16.

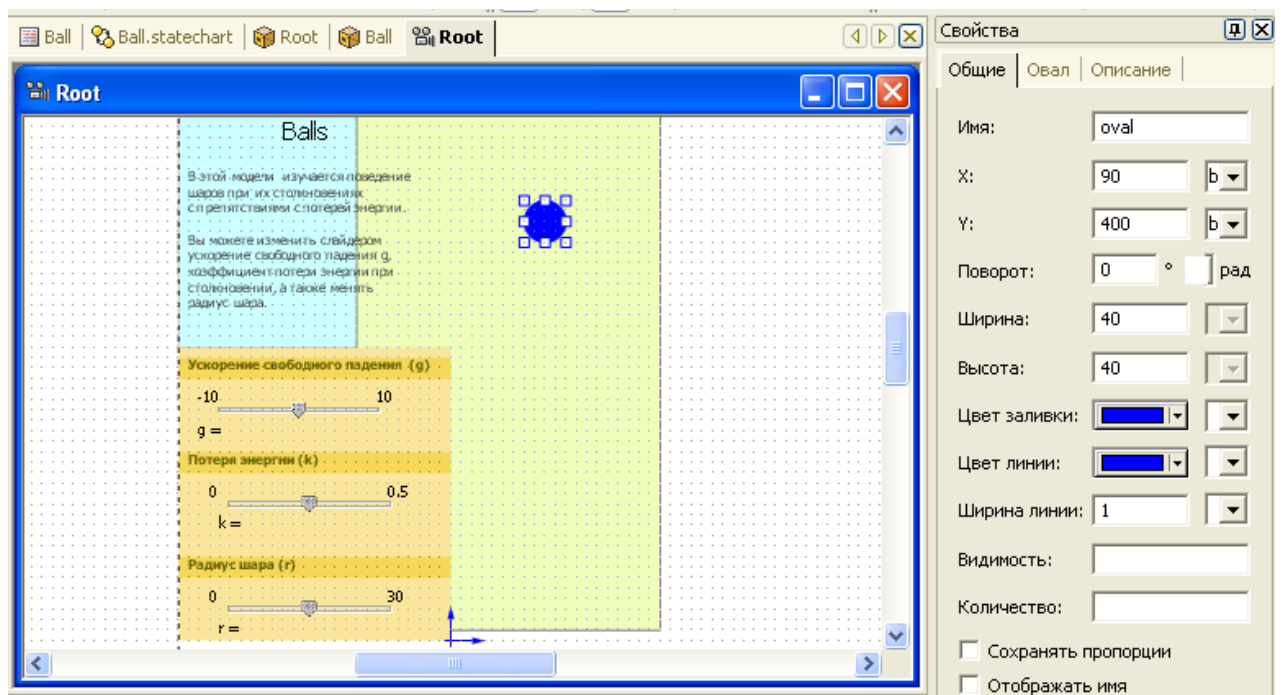


Рисунок 2.16 – Вікно анімації

Щоб подивитися імітаційну модель що створили у AnyLogic тиснемо кнопку запуску компіляції на панелі інструментів. Це дія запускає компілятор, який збудує виконуваний код проекту на мові Java, від транслює його і потім запустить модель на виконання. Де відкриються вікно спостереження:

- вікно структури моделі (значення всіх змінних і параметрів);
- вікно анімації (візуалізація даного імітаційного проекту);
- вікно поведінки стейтчару.

Для проведення комп'ютерних експериментів необхідно використовувати (крім уже відомої кнопки компіляції і запуску моделі на виконання) також наступні кнопки що зображенні на рисунку 2.17:

- запуску виконання моделі по кроках;
- пауза;
- повторного запуску з вихідними початковими умовами;
- зупинка – руйнування компільованою моделі.

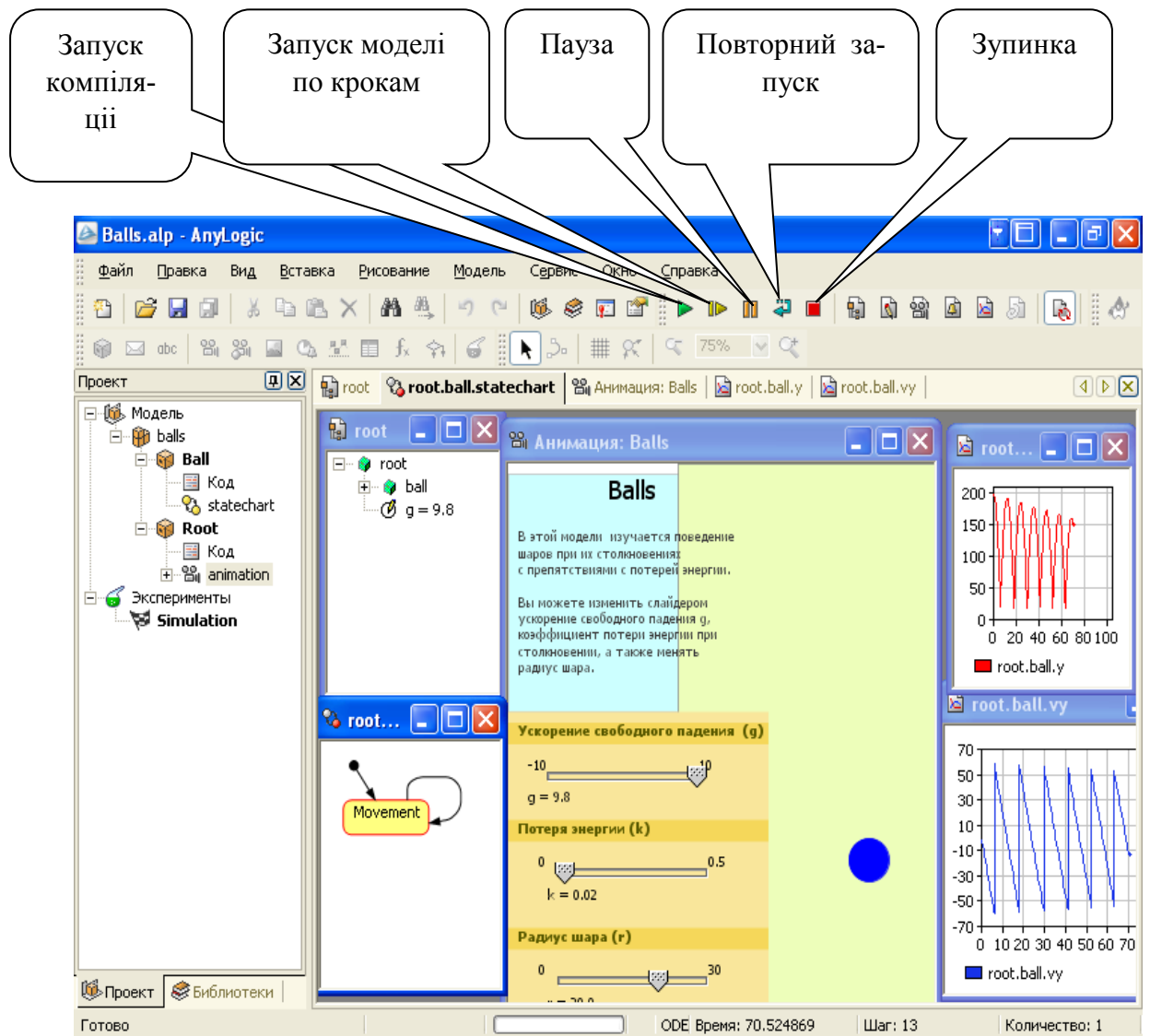


Рисунок 2.17 – Вікно спостереження об'єкту

## 2.5 Висновки до другого розділу

Для розробки методів моделювання для переміщення мобільних роботів в другому розділі було розглянуто:

- види рухів мобільного робота;
- планування маршруту;
- розроблено алгоритм переміщення мобільного робота
- описана апаратний засіб.

Розроблено алгоритм переміщення за допомогою блок-схеми на основі формул.

Оскільки в розділі 1 було проаналізовані системи моделювання, було прийнято рішення використовувати AnyLogic.

### 3 СТВОРЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ У СЕРЕДОВИЩІ AnyLogic

При створенні імітаційної моделі для переміщення мобільним робото першим ділом створюємо новий імітаційний проект з іменем «Modeling movement», після чого створюю об'єкт, який буде відповідати за зовнішнє середовища, де мобільні роботи будуть переміщуватися та виконувати певні умови. Зовнішнє середовище дамо ім'я MODEL, також потрібно створити новий клас активного об'єкту мобільного роботу, та присвоїти йому ім'я ROBOT, як зображено на рисунку 3.1.

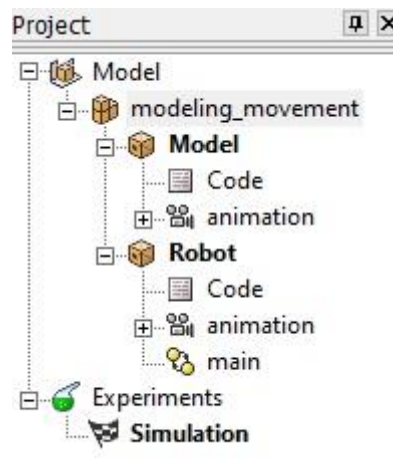


Рисунок 3.1 – Дерево об'єкту

У вікні властивостей об'єкту MODEL задаємо наступні параметри, що зображено на рисунку 3.2:

- розмір прямокутника зони переміщення (maxX та maxY);
- максимальну швидкість мобільного роботу (maxSpeed);
- часовий крок моделювання (step);
- споживна ємність батареї (battery);
- споживання за один крок (consumption);
- кут обзору мобільного робота (visionAngle);
- відстань обзору мобільного роботу (visionDistance);
- кут повороту для відхилення мобільного роботу (turnAngle);

- кількість мобільних роботів (numRobot).

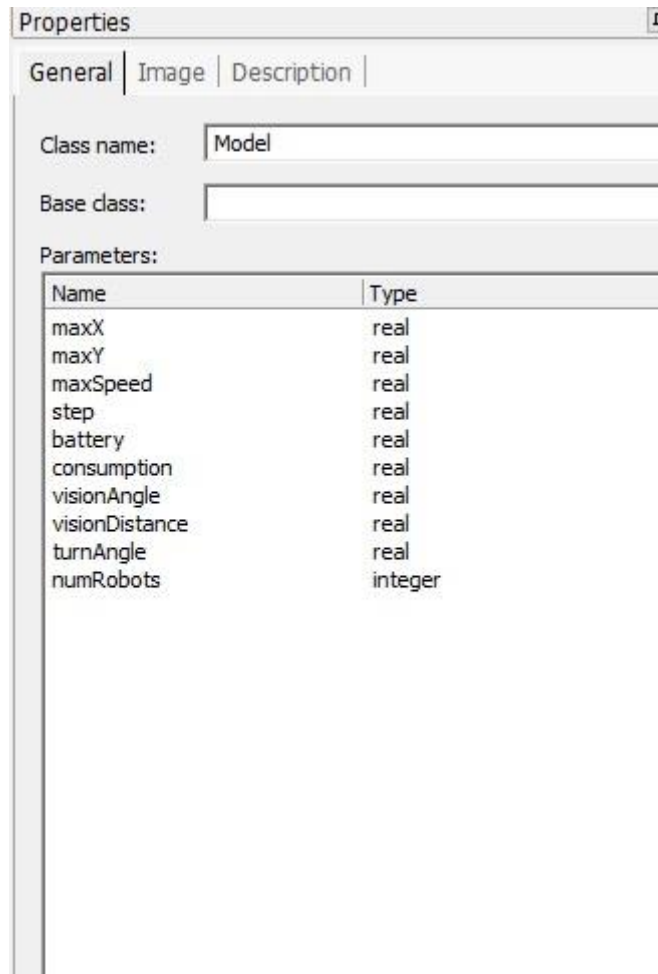


Рисунок 3.2 – Властивості активно об'єкту MODEL

У вікні об'єкту ROBOT потрібно задати такі же само параметри:

- розмір прямокутника зони переміщення (maxX та maxY);
- максимальну швидкість мобільного роботу (maxSpeed);
- часовий крок моделювання (step).

Потрібно в структуру об'єкта зовнішнього середовища помістити масив об'єкта мобільного робота [22]. Для цього об'єкт активної моделі ROBOT перетягуємо до середовища активної моделі MODEL, після чого створюється новий об'єкт з іменем ROBOTS, що зображено на рисунку 3.3.

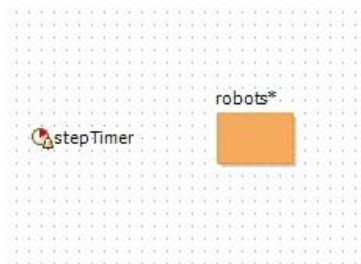


Рисунок 3.3 – Об’єкт зовнішнього середовища

Кожен мобільний робот повинен знати розміри своєї області переміщення, швидкість та ємність батареї. Потрібно задати в вікні властивостей нового об’єкту параметри, як зображено на рисунку 3.4:

- maxX – maxX;
- maxY – maxY;
- maxSpeed – maxSpeed;
- battery – battery.

Після цього змінні параметри моделі приймуть мобільні роботи. Потім потрібно задати кількість мобільних роботів. Для цього переходимо до вкладки «Replication» задаємо кількість мобільних роботів numRobot, зображено на рисунку 3.4.

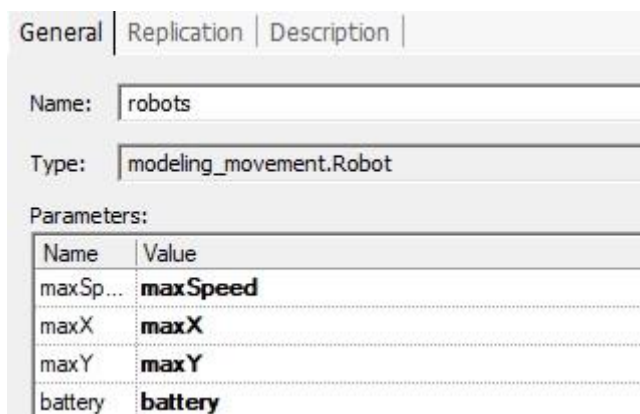


Рисунок 3.4 – Властивості об’єкта ROBOTS

Потім створюємо лічильник тактового часу рисунок 3.3, який буде надавати одночасне переміщення усіх мобільних роботів. Задаємо йому наступні властивості, зображено на рисунку 3.5:

- періодичність спрацьовування таймеру (Timeout);

- дія яка запускає спрацьовування таймеру (Expire at startup);
- додаємо функцію (update).

Потрібно створити змінні у структурі об'єкту мобільного роботу. Для цього вікні редукування створюємо наступні елементи типу «Variable», зображено на рисунку 3.6:

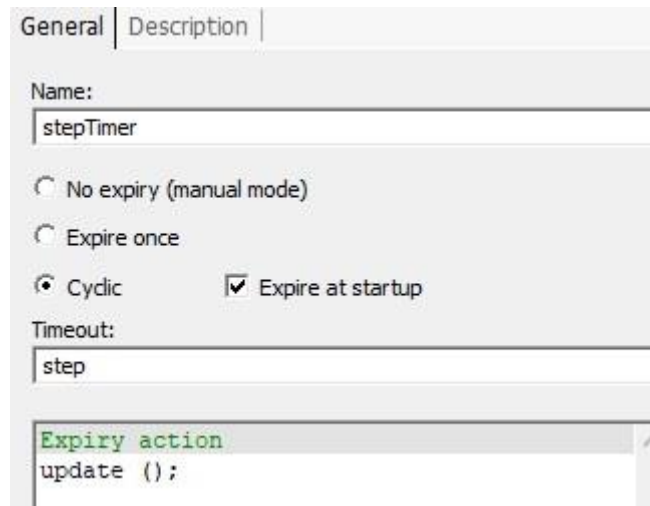


Рисунок 3.5 – Властивості лічильника

- горизонтальна швидкість мобільного робота ( $v_x$ );
- вертикальна швидкість мобільного робота ( $v_y$ );
- координати ( $x$  та  $y$ );
- ємність батареї (leftBattery).

Треба задати змінним початкові значення:

- $v_x$  та  $v_y$  – uniform ( $-maxSpeed, maxSpeed$ );
- $x$  – uniform ( $20, maxX-20$ );
- $y$  – uniform ( $20, maxY-20$ );
- leftBattery – fuel.

Після чого у структурі об'єкту активної моделі ROBOT створюємо стан агента с іменем MAIN, будемо діаграму. Створив два стану мобільного робота, в переміщенні (Movement) та покої (Stopeed). Потрібно додати умови переходу з першого стану у другий.



Рисунок 3.6 – Змінні об'єкту

Властивостях переходу встановимо тип спрацьовування умови, по закінченню. Trigger – умова події ( $\text{leftBattery} < 0$ ) закінчився заряд, Action –  $\text{vx}=0$ ;  $\text{vy}=0$ ; (обнулити швидкість мобільного робота, якщо закінчився заряд), зображено на рисунку 3.7.

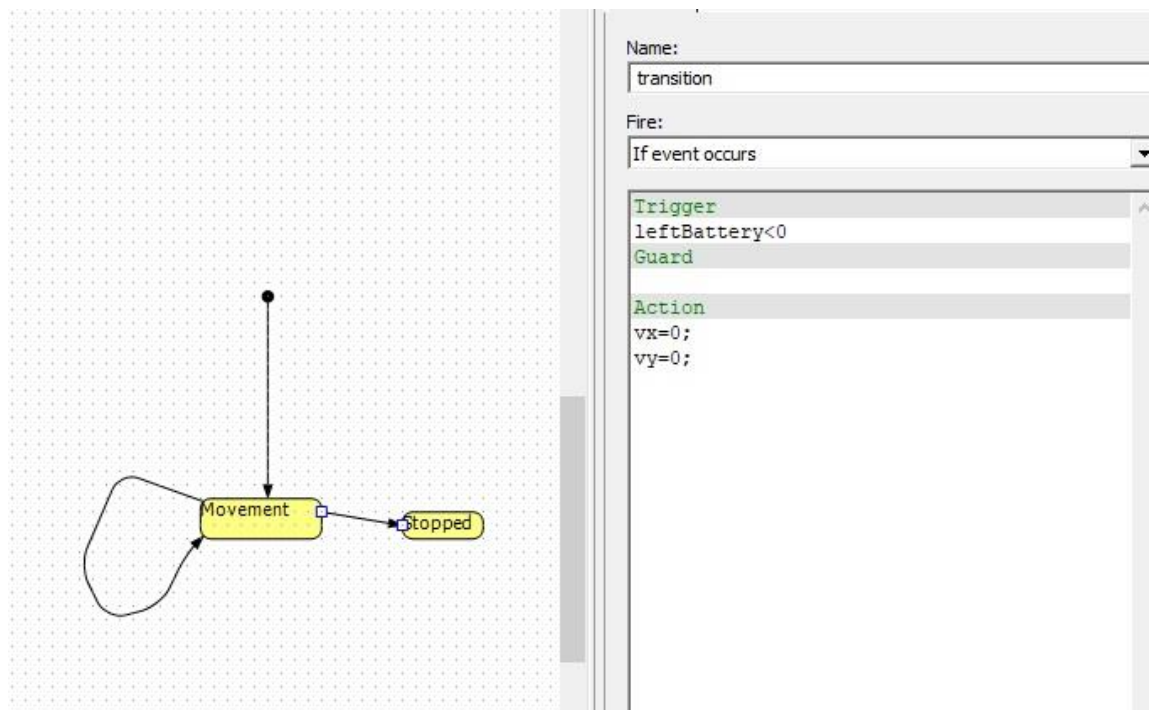


Рисунок 3.7 – Умова переходу

Нам потрібно створити умову виходу мобільного робота при контакті з границями робочої зони. Ми добавляємо елемент від стану (Movement) до

самого себе. В властивостях задаємо умову переходу – тип тип спрацьовування умови по закінченню події. Trigger – умова події ( border) функція яка дає визначення зіткнення з мобільного робота с границями зони, зображено на рисунку 3.8. Action – зміна напрямлення швидкості мобільного робота.

Далі треба реалізувати функцію (border), яка відзначить що мобільний робот зіткнувся с границями зони. В вікні коду об'єкту мобільного робота, описати функцію.

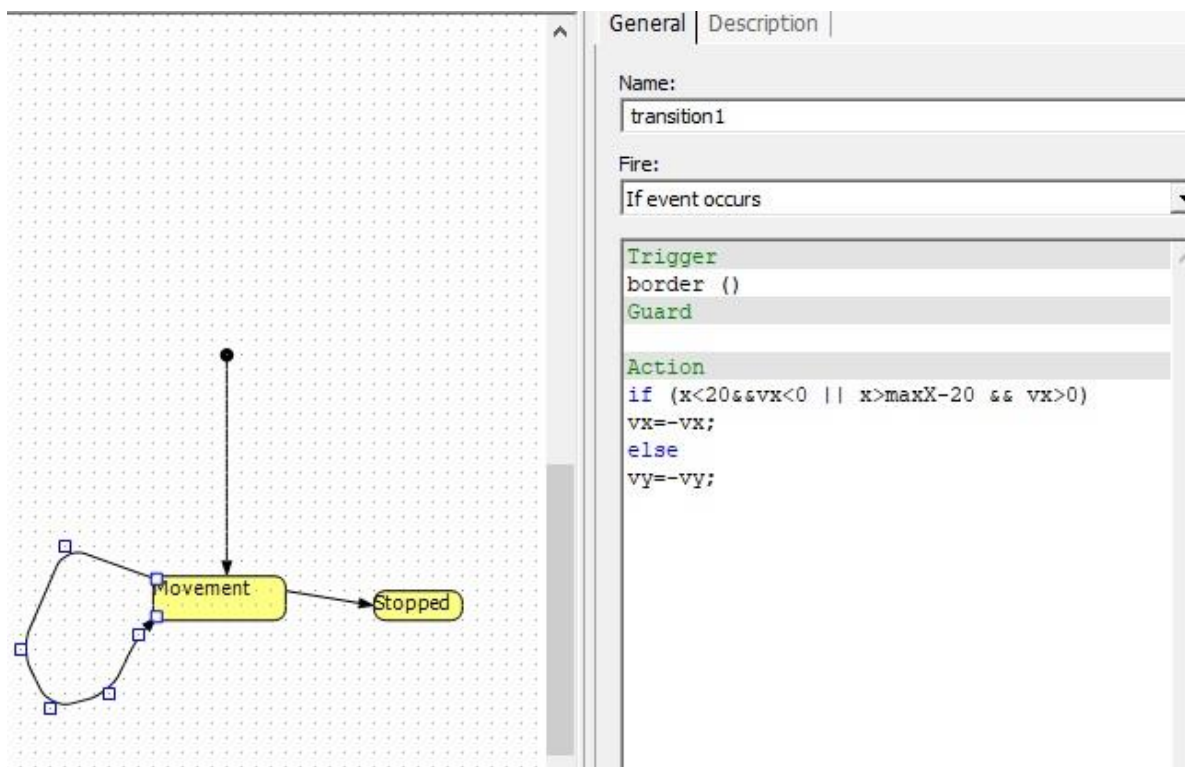


Рисунок 3.8 – Умова зіткнення

Реалізуємо функцію (update) , яка повинна спрацювати по таймеру лічильника тактового часу. Для цього потрібно зайти до вікна об'єкту зовнішнього середовища, описати функцію.

Нам потрібно налаштувати параметри симуляції. У дереві вибираємо об'єкт Simulation і задаємо наступні параметри, на рисунку 3.10:

- maxX – 600;

- maxY – 400;
- maxSpeed – 70;
- step – 0,1;
- battery – 100;
- consumption – 0,02;
- visionAngle – 1,5;
- visionDistance – 50;
- turnAngle – 0,5.

Можна компілювати, з'явиться об'єкт root, зображено на рисунку 3.9. Де створені агенти мобільних роботів, кожна має свою швидкість, з кількість батареї, координатами.

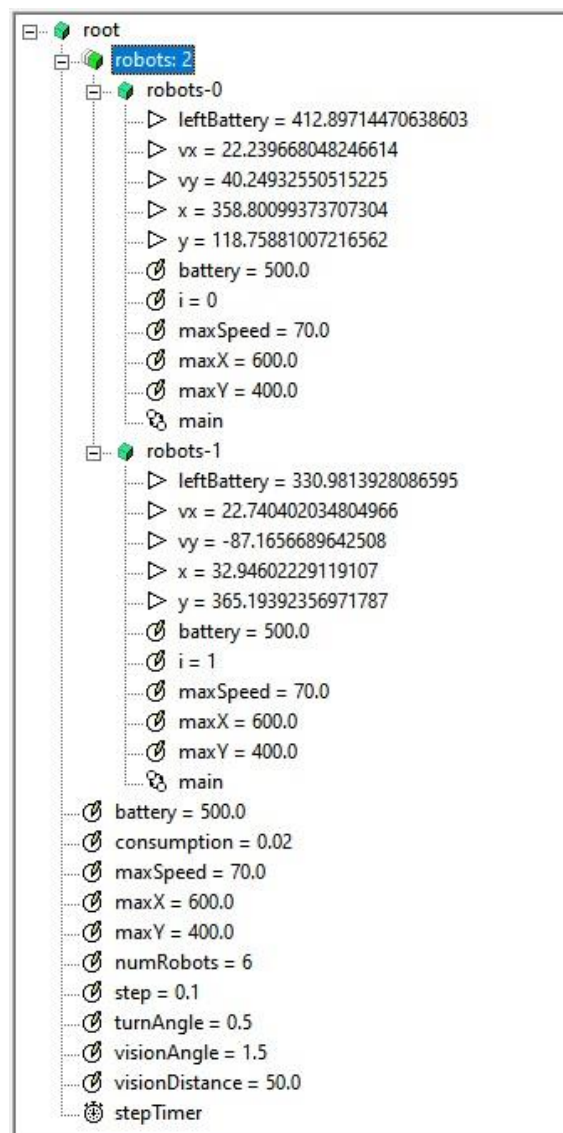


Рисунок 3.9 – Параметри мобільних роботів

Щоб імітаційна модель мала приємний вид для перегляду, треба створити анімацію зовнішнього середовища. Задати її розміри рівним розмірам зони переміщення мобільних роботів.

Створюємо анімацію мобільного робота, властивості об'єкта анімацій задаємо параметри:

- $X = x$ ;
- $Y = y$ .

Щоб центр координат анімації приймав положення координат мобільних роботів, та задаємо розмір області.

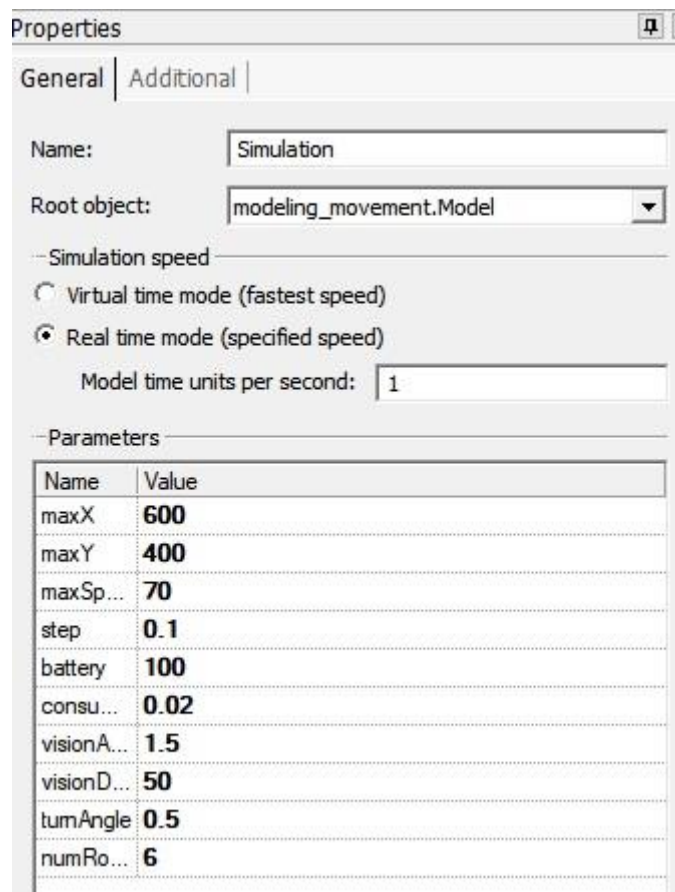


Рисунок 3.10 – Параметри Simulation

На анімації мобільного робота розміщуємо 2 кола, червоного та синього кольору. Синій трикутник будемо бачити, коли мобільні роботи переміщуються по робочій зоні, а червоний будемо бачити коли ємність батареї закінчиться і мобільний робот зупиниться. Нам потрібно у властивостях кола

задати наступні параметри. У синьому колі у властивостях встановимо `Visible – leftBattery > 0`, а для червоного `Visible – main.isStateActive(main.Stopped)`. Кола потрібно розташувати так щоб вони знаходились у центрі началу координат.

Водимо в об'єкт анімації зовнішнього середовища анімацію мобільного робота, вказуємо властивостях значення `Object`.

Потрібно дати мобільним роботам порядкові номери, щоб могли розрізняти. Додати змінну `I` в об'єкт `ROBOT`. В коді об'єкта зовнішнього середовища поставимо ініціалізацію порядкового номеру мобільного роботу.

Реалізуємо зіткнення двох мобільних роботів, для цього ми допрацюємо функцію – `update`. Но зіткнення мобільних роботів може привести к ураженням, потрібно створити умову щоб вони могли обходити друг друга. Реалізуємо функцію об'їзду мобільного робота. Для цього допрацьовуємо функцію – `update`. Після чого компілюємо імітаційну модель дивимось як агенти – мобільні роботи ведуть себе в умовах зовнішнього середовища, зображено на рисунку 3.11

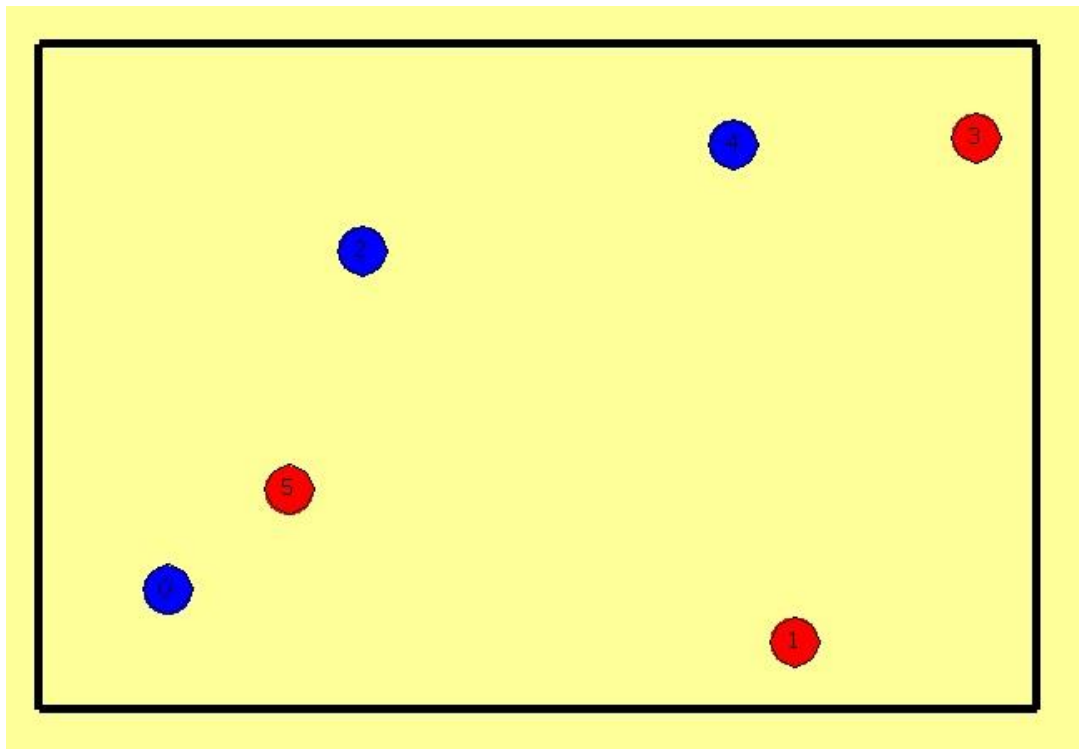


Рисунок 3.11 – Поведінка агентів в умовах зовнішнього середовища

### 3.1 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було створено імітаційну модель в системі AnyLogic. Також було розглянуто як агент (мобільний робот) веде себе при деяких умовах. Мобільні роботи переміщуються по робочій зоні вигляді кола синього кольору, коли ємність батареї закінчується то агент зупиняється стає червоним. Коли мобільні роботи зустрічаються на відстані 40 мм вони розуміють що зіткнулися, починають маневрувати. При зіткненні с робочими границями зони, мобільні роботи відскакують.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Організація оснащення робочого місця електромеханіка

Робоче місце електромеханіка – це зона праці електромеханіка, оснащення і устаткування всім необхідним для виконання виробничого завдання. Робоче місце електромеханіка призначене для проведення на спеціалізованій ділянці всіх видів ремонту і демонтажу електронних схем відповідно до вимог технологічних документів на ремонт. На робочому місці виконуються наступні операції: зовнішній огляд, розбирання, збирання, регулювання, контроль, перевірка і ремонт вузлів і блоків, демонтаж електронних схем. Трудовий процес здійснюється електромеханіком в позі «сидячи». Оптимальні розмірні співвідношення при позі «сидячи» приведені (ДОДАТОК А). Характеристика робочого місця:

- площа не менше 54 м<sup>2</sup>;
- об'єм не менше 15 м<sup>3</sup>.

Предмет праці – блоки і вузли програмного управління електронних систем устаткування. Характеристика предмету праці:

- маса від 0,05 кг до 100 кг;
- габаритні розміри від 100 мм × 100 мм × 100 мм до 800 мм × 500 мм × 280 мм.

Загальний рівень штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності, яка розраховується за формулою:

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (5.1)$$

де  $W$  – питома потужність, Вт/м<sup>2</sup>;

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$W_{\Sigma}$  – вхідна потужність установки освітлення Вт.

$$W_{\Sigma} = W_{cb} \cdot n_{cb}, \quad (5.2)$$

де  $W_{cb}$  – потужність лампи;

$n_{cb}$  – кількість ламп.

Робоче місце має площу  $55 \text{ м}^2$ , також на робочому місці розташовано 5 ламп з потужністю 100 Вт.

$$W_{\Sigma} = 5 \cdot 100 = 500 \text{ Вт}, \quad (5.3)$$

$$W_{cb} = \frac{500}{55} = 9 \text{ Вт / м}^2. \quad (5.4)$$

#### 4.2 Техніка безпеки на робочому місці електромеханіка

Організація праці на робочому місці зводиться до створення комплексу організаційно – технічних умов, визначеного картою організації праці на робочому місці. Робоче місце оснащується технологічним оснащенням. Оснащення відповідає характеру праці і виду виконуваних робіт, забезпечує задану продуктивність праці, високу якість ремонту, можливість швидко і легко виконувати трудові прийоми. Стілець на робочому місці повинен розташовуватися на відстані не менше 300 мм від передньої кромки столу. Монтажний інструмент і пристосування розкладаються на столі залежно від особливостей технологічного процесу і навиків працівника (ДОДАТОК Б).

#### 4.3 Протипожежні заходи, охорона праці й навколишнього середовища на робочому місці електромеханіка

На робочому місці електромеханіка по ремонту електронних схем здійснюються операції, пов'язані з електричною небезпекою. Робоче місце повинне бути оснащене електричним інструментом з робочою напругою не

більше 36 В. Контрольно – вимірювальні прилади, джерела живлення, електричні інструменти повинні бути надійно заземлені. Інструмент повинен мати електроізоляційні рукоятки. Робоче місце повинне бути обладнане так, щоб виключалася можливість одночасного дотику до токоведучих пристроїв і шин заземлення.

Проводити операції ремонту електронних схем, що знаходяться у включеному стані окрім випадків, обумовлених в ремонтній документації, Штепсельні з'єднання, вживані для напруги 220 В. по своєму конструктивному виконанні повинні відрізнятися від з'єднань розрахованих на напругу 12 В. і 36 В. Легкозаймисті рідини на робочому місці повинні триматися в небитких, щільно закритих судинах.

Роботи по випайці мікросхем повинні проводитися на спеціальному робочому місці монтажника, обладнаному витяжною вентиляцією.

Основні вимоги при проектуванні машинобудівних підприємств – запобігти забрудненню повітряного басейну, водоймищ, ґрунту, забезпечити виконання нормативів по допустимих рівнях шуму і іншим шкідливим чинникам. У зв'язку з цим виробниче устаткування і процеси повинні забезпечувати.

Відсутність або мінімальне виділення в повітря приміщень, в атмосферу і в стічні води шкідливих або таких, що неприємно пахнуть речовин, а так само відсутність або мінімальне виділення надмірного тепла і вологи в робоче приміщення;

Відсутність або мінімальне утворення шуму, вібрації ультразвуку, електромагнітних радіочастот, статичної електрики або іонізуючих випромінювань.

У нормативних документах приведені заходи, здійснення яких може забезпечити виконання поставлених вимог. У числі цих заходів передбачаються: заміна технологічних операцій, пов'язаних з виникненням шуму, вібрації і ін. шкідливих чинників, процесами або операціями при яких вони будуть виключені або менш інтенсивні; заміна полум'яного нагріву електрич-

ним; твердого або рідкого палива – газоподібним. Комплексна механізація, автоматизація і дистанційне керування і так далі.

Стічні води віддаляються з виробничих, допоміжних і побутових приміщень через каналізаційну мережу. З каналізаційної мережі вода поступає в очисні споруди каналізаційних станцій а після очищення – у водоймища.

Для очищення виробничих вод заводів і цехів передбачають:

- механічне очищення (відстоювання) – для стічних вод, що містять зважені і плаваючі речовини;

- хімічне очищення – для стічних вод, забруднених хімічними продуктами (нейтралізацію, видалення іонів важких металів, знешкодження шкідливих речовин) [23].

## ВИСНОВКИ

В ході виконання атестаційної роботи проведено аналіз структури імітаційної моделі, визначені що є такі структурні елементи, з яких частин він складається. У результаті аналізу було визначено що на сьогоднішній день імітаційне моделювання є найефективнішим методом аналізу для дослідження і розробки складних процесів і систем, який дає можливість користувачу експериментувати з системами в тих випадках, коли робити це на реальному об'єкті непотрібно, щоб зберегти гроші та час.

Проаналізовані методи імітаційного моделювання:

- динамічне моделювання;
- системна динаміка;
- дискретний;
- агентне моделювання.

У другому розділі було розглянуто види руху мобільного робота та планування його маршруту. Також приведені формули розрахунків для переміщення. При колибровці потрібно порівняти експериментальне переміщення робота, з фактичним (яку відстань робот пройшов). Співвідношення фактичного до теоретичного значення і є коефіцієнтом калібрування.

Кожен мобільний робот має свою швидкість, кожен с певною кількістю батареї, координатам, кут огляду мобільного робота, відстань видимості мобільного робота, кут повороту мобільного робота для відхилення. У активному об'єкті є діаграма стану де задані умови переміщення мобільних роботів, що описані на блок-схемі.

У третьому розділі було проведена експериментальна частина, а саме розглянута поведінка агента(в нашому випадку мобільний робот) при певних обставинах по заданому алгоритмі пересування.

AnyLogic – програмне забезпечення для імітаційного моделювання. Інструмент має сучасний графічний інтерфейсом і дозволяє використовувати мову Java для розробки моделей.

AnyLogic включає в себе графічну мову моделювання, а також дозволяє розширювати створені моделі за допомогою мови Java. Інтеграція компілятора Java в AnyLogic надає більш широкі можливості при створенні моделей, а також створення Java аплетів, які можуть бути відкриті будь-яким браузером. Ці аплети дозволяють легко розміщувати моделі AnyLogic на веб-сайтах.

Розглянуто питання охорони праці в галузі оснащення робочого місця електромеханіка.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Невлюдов, І.Ш. дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст] / І.Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016 – 320с.
2. ДСТУ 3008-15. документація. звіти у сфері науки і техніки. структура і правила оформлення [Текст] – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.
3. Методичні вказівки до підготовки атестаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова – Харків: ХНУРЕ, – 2018. –34с.
4. Костенко С.В. Дистанційне керування мобільними мехатронічними системами [Текст] / С. В. Костенко // Automation and Development of Electronic Devices. – Х. ХНУРЕ – 2019. – № 2. – С. 173 – 178.
5. Костенко С.В. Агентне моделювання переміщення мобільних роботів [Текст] / С. В. Костенко // Automation and Development of Electronic Devices. – Х. ХНУРЕ – 2020. – № 2. – С. 154 – 158.
6. Структура імітаційної моделі [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:http://studref.com/520041/matematika\\_himiya\\_fizik/struktura\\_imitatsionnyh\\_modeley](http://studref.com/520041/matematika_himiya_fizik/struktura_imitatsionnyh_modeley) – Загл з екрану.
7. Динамічне моделювання [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:http://www.tutorialspoint.com/object\\_oriented\\_analysis\\_design/ooad\\_dynamic\\_modeling](http://www.tutorialspoint.com/object_oriented_analysis_design/ooad_dynamic_modeling) – Загл з екрану.
8. Моделювання системної динаміки [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:http://www.anylogic.com/use-of-simulation/system\\_dynamics](http://www.anylogic.com/use-of-simulation/system_dynamics) – Загл з екрану.

9. Агентне імітаційне моделювання [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:https://www.anylogic.com/use-of-simulation/agent-based-modeling](https://www.anylogic.com/use-of-simulation/agent-based-modeling) – Загл з екрану.

10 Дискретне моделювання [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:https://www.anylogic.com/use-of-simulation/discrete-event-simulation](https://www.anylogic.com/use-of-simulation/discrete-event-simulation) – Загл з екрану.

11 Імітаційне моделювання [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:http:// https://www.anylogic.com/use-of-simulation/](http://https://www.anylogic.com/use-of-simulation/) – Загл з екрану.

12 AnyLogic [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:http://https://www.anylogic.com](http://https://www.anylogic.com) – Загл з екрану.

13 Automod [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:http://www.appliedmaterials.com/automation-software/automod](http://www.appliedmaterials.com/automation-software/automod) – Загл з екрану.

14 Extendsim [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:http://extendsim.com/solutions/simulation/defined](http://extendsim.com/solutions/simulation/defined) – Загл з екрану.

15 Extendsim [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:http://extendsim.com/solutions/simulation/defined](http://extendsim.com/solutions/simulation/defined) – Загл з екрану.

16 AnyDinamic [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:http://https://www.mvstudium.com/](http://https://www.mvstudium.com/) – Загл з екрану.

17 AnyLogic [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:http://www.anylogic.ru/features/](http://www.anylogic.ru/features/) – Загл з екрану.

18 Допомога у середовищі AnyLogic [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:studref.com/520041/matematika\\_himiya\\_fizik/struktura\\_imitatsionnyh\\_modeley](http://studref.com/520041/matematika_himiya_fizik/struktura_imitatsionnyh_modeley) – Загл з екрану.

19 Опис руху мобільного робота [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:http://robotosha.ru/robotics/robot-motion.html](http://robotosha.ru/robotics/robot-motion.html) – Загл з екрану.

20 Планування переміщення роботу [Електронний ресурс]; режим доступу: [www/URL:http://cyberleninka.ru/article/n/planirovanie-traektorii-dvizheniya-mobilnogo-robota/viewer](http://cyberleninka.ru/article/n/planirovanie-traektorii-dvizheniya-mobilnogo-robota/viewer) – Загл з екрану.

21 Керування переміщенням мобільного робота [Електронний ресурс]; режим доступу:

пу:www/URL:<http://mech.math.msu.su/~fpm/ps/k05/k058/k05802.pdf> – Загл з екрану.

22 Керування та навігація робота [Електронний ресурс]; режим доступу:www/URL:<http://www.dissercat.com/content/navigatsiya-i-upravledvizheniem-mobilnogo-robota-v-gorodskikh-usloviyakh> – Загл з екрану.

23 Охорона праці [Електронний ресурс]; режим доступу:www/URL:[https://studbooks.net/2273618/informatika/ohrana\\_truda](https://studbooks.net/2273618/informatika/ohrana_truda) – Загл з екрану.