

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ З ВИКОРИСТАННЯМ UNITY3D

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Анотація. *Моделювання трафіка є важливим аспектом при прийнятті нових стратегій керування дорожнім рухом, а також вдосконаленні вже існуючих стратегій. У статті наведено порівняльний аналіз програмних засобів для моделювання транспортного руху. Існують програмні засоби, які дозволяють проводити моделювання дорожнього руху, проте на мікрорівні вони недостатньо реалістично моделюють взаємодію транспортних засобів та рельєф дороги. Більшість таких програмних продуктів використовують математичні моделі, які описують рух транспортних засобів. Ці моделі часто базуються на динаміці рідини і є однаковими для кожного виду транспорту. Проте вони не задовольняють сучасним потребам моделювання дорожнього руху як складного комплексу засобів управління та учасників дорожнього руху. Програмні засоби, які з'явилися останнім часом, можуть відтворювати фізичну взаємодію об'єктів різного типу з урахуванням їх форми, ваги, якості поверхні, що надзвичайно важливо при дослідженні транспортного руху на основі моделей. У даній статті розглянуто використання Unity3D як нового засобу для моделювання дорожнього руху у тривимірному представленні. Unity3D має великий набір вбудованих інструментів для відтворення механіки руху транспортних засобів, навколишнього середовища, а також можливість розробки власних механік та скриптів на основі мови С#. Розроблено алгоритм імітації керування транспортними засобами, який приймає рішення на основі інформації про сигнали регулювання, відстань до найближчих транспортних засобів та перешкод для руху, погодні умови, якість дорожнього покриття. Це надає можливість представити рух транспортного засобу найбільш точно до реальних умов.*

Ключові слова: імітаційне моделювання, транспортний рух, Unity3D.

Аннотация. *Моделирование трафика является важным аспектом при принятии новых стратегий управления дорожным движением, а также при совершенствовании уже существующих стратегий. В статье приведен сравнительный анализ программных средств для моделирования транспортного движения. Существуют программные средства, которые позволяют проводить моделирование дорожного движения, однако на микроуровне они недостаточно реалистично моделируют взаимодействие транспортных средств и рельеф дороги. Большинство таких программных продуктов используют математические модели, описывающие движение транспортных средств. Эти модели часто базируются на динамике жидкости и являются одинаковыми для каждого вида транспорта. Однако они не удовлетворяют современным потребностям моделирования дорожного движения как сложного комплекса средств управления и участников дорожного движения. Программные средства, которые появились в последнее время, могут воспроизводить физическое взаимодействие объектов различного типа с учетом их формы, веса, качества поверхности, что чрезвычайно важно при исследовании транспортного движения на основе моделей. В данной статье рассмотрено использование Unity3D как нового средства для моделирования дорожного движения в трехмерном представлении. Unity3D имеет большой набор встроенных инструментов для воспроизведения механики движения транспортных средств, окружающей среды, а также возможность разработки собственных механик и скриптов на основе языка С#. Разработан алгоритм имитации управления транспортными средствами, который принимает решения на основе информации о сигналах регулирования, расстоянии до ближайших транспортных средств и препятствий для движения, погодные условия, качество дорожного покрытия. Это дает возможность представить движение транспортного средства наиболее точно к реальным условиям.*

Ключевые слова: имитационное моделирование, транспортное движение, Unity3D.

Abstract. *Traffic modeling is an important aspect when adopting new traffic management strategies, as well as improving existing strategies. The article presents a comparative analysis of software for modeling traffic. There are software tools that allow the simulation of traffic, however, at the micro level, they are not realistic enough to model the interaction of vehicles and road terrain. Most of these software products use mathematical models that describe the movement of vehicles. These models are often based on fluid dynamics and are the same for each type of transport. However, they do not satisfy the current needs of road modeling as a complex set of controls and road users. Software that has appeared recently can reproduce the physical interaction of objects of various types, taking into account their shape, weight, and surface quality, which is extremely important in the study of traffic based on models. This article discusses the use of Unity3D as a new tool for modeling traffic in a three-dimensional representation. Unity3D has a large set of built-in tools for reproducing vehicle mechanics, the environment, and the ability to develop your own mechanics and scripts based on the C# language. An algorithm for imitating the control of vehicles has been developed, which makes decisions based on information about control signals, the distance to the nearest vehicles and obstacles to traffic, weather conditions, and the quality of the road surface. This makes it possible to present the movement of the vehicle most accurately to actual conditions.*
Keywords: *simulation modeling, traffic, Unity3D.*

1. Вступ

Транспортна інфраструктура є однією з найважливіших інфраструктур у житті міста, порушення в її роботі призводять до суттєвого погіршення умов його життєдіяльності. Зростання кількості автомобілів на дорогах змушує поліпшувати транспортні системи для того, щоб задовольнити потреби міст. Для ефективного вирішення проблем транспортних систем потрібно використовувати моделювання транспортного руху для аналізу впливу завантаженості окремих ділянок транспортної системи, структури доріг та ін. Особливе значення має моделювання, яке надає можливість відтворювати дорожній рух як складний комплекс засобів управління та учасників дорожнього руху.

Програмне забезпечення для симуляції дорожнього трафіка, яке використовує мікроскопічну модель деталізації дорожнього руху, широко використовується для проектування окремих ділянок транспортного руху і їх дослідження, головним чином, через можливість цих інструментів враховувати стохастичність транспортних потоків. Моделювання дорожнього трафіка використовують також для визначення ефективності інфраструктури та її управління. Більшість програмних засобів спрямовані на реалізацію конкретного підходу до моделювання трафіка, поєднання їх у одному програмному продукті є проблематичним. Імітаційні моделі потенційно спроможні враховувати як деталі руху на мікрорівні, так і транспортну ділянку в цілому для досягнення високої точності моделювання. Проте тривимірне моделювання транспортного руху на мікрорівні потребує великих обчислювальних потужностей.

Найбільш відомими програмними продуктами моделювання транспортних систем є AIMSUN2, DRACULA, Paramics, CORSIM, VISSIM [1].

2. Аналіз існуючих програмних засобів

Програмний продукт AIMSUN2 [2] призначений для імітації мережі міських та міжміських транспортних систем, що надає користувачеві зручний інтерфейс, який спрощує побудову моделі та її використання для імітації. Даний програмний засіб базується на мікроскопічному підході моделювання. Це означає, що поведінка кожного транспортного засобу постійно коригується згідно з декількома моделями поведінки водія (слідування за машинами, зміна смуги руху) протягом усього періоду моделювання. AIMSUN2 використовує дискретно-неперервний підхід. Це означає, що модель складається з елементів (транспортні засоби, детектори), стан яких змінюється неперервно. Стан інших елементів (сигнали світлофору, вхідні точки) змінюється дискретно в задані моменти часу. За рахунок такого підходу забезпечується високий рівень деталізації моделювання трафіка, надається можливість

розрізняти типи транспортних засобів та водіїв, а також моделювати дорожньо-транспортні події та маневри [3].

DRACULA представляє собою пакет для моделювання, який використовує мікроскопічну модель для симуляції дорожнього трафіка, імітує процес руху транспортних засобів та їх взаємодію по транспортній мережі. Важливою особливістю DRACULA є анімація транспортних потоків, яка є безцінною для наочного розуміння поведінки трафіка при різних плануваннях транспортних мереж та стратегіях управління ними. Важливою перевагою DRACULA є те, що транспортні засоби рухаються в режимі реального часу, а їх траєкторії визначаються з використанням моделей руху автомобіля та зміни смуги руху. Даний програмний засіб також враховує дані про минулий досвід водія та його знання мережі, що зберігаються в особистому файлі історії. DRACULA дає можливість моделювати реакцію водія на затори чи зміну смуги руху, що важливо під час дослідження аварійних частин транспортної мережі [4].

PARAMICS – програмний засіб для моделювання дорожнього трафіка на мікрорівні, що є повністю масштабованим і призначений для імітації транспортних перехресть, розв'язок у населених пунктах, перевантажених автострад, а також оптимізації руху та регулювання маршрутів громадського транспорту, роботи світлофорів тощо. Даний програмний засіб дає змогу враховувати у моделюванні міський транспорт, такий, як автобуси та трамваї, а також рух пішоходів. Кожний транспортний засіб моделюється з урахуванням часу, необхідного для проходження шляху, та перевантаженості ділянок дорожньої мережі, цим самим забезпечуючи дуже точний потік трафіка. Крім заздалегідь визначених клавіш транспортних засобів, користувач може створювати свій власний транспортний засіб. Маршрутизація транспортних засобів задається певною мовою правил поведінки, яка визначена користувачем, що робить модель більш гнучкою та адаптивною. PARAMICS вирізняється серед аналогічних систем високопродуктивною візуалізацією процесу моделювання та масштабованістю програмного забезпечення [5].

CORSIM – програма мікросимуляції транспортного руху, розроблена FHWA (Федеральна адміністрація автомобільних доріг). Даний програмний продукт складається із двох окремих програм. Перша програма – NETSIM – створена для моделювання міських транспортних мереж та пішохідних переходів. Друга програма – FRESIM – створена для моделювання та аналізу автострад. У складі CORSIM було об'єднано дане програмне забезпечення, що дало можливість для CORSIM моделювати комплексні транспортні системи та проводити їх аналіз. Програмне забезпечення CORSIM було вдосконалене на основі відгуків від користувачів. У результаті чого було виявлено та виправлено ряд помилок. Дане програмне забезпечення використовує мікроімітаційну модель, що дозволяє оцінити вплив дій учасників транспортного руху один на одного. Програма дає змогу оцінювати процес накопичення трафіка, що є причиною перевантаження транспортної мережі. Утворення заторів є досить поширеною проблемою транспортних систем, а їх аналіз можна провести лише за допомогою інструментів мікросимуляції, таких, як CORSIM [6].

Пакет VISSIM також призначений для моделювання дорожньої мережі та транспортного руху на мікрорівні. VISSIM застосовується для аналізу, переосмислення з подальшою оптимізацією та перепроєктування міських і міжміських транспортних мереж. Результати роботи VISSIM використовуються для визначення оптимальних стратегій управління транспортними засобами, перевірки ефективності макетів транспортних вузлів, розподілу смуг складних перехресть, місцезнаходження автобусних зупинок та стоянок транспорту тощо. VISSIM також може бути використаний як корисний інструмент для різних задач транспортування. Поведінка водія за кермом у VISSIM описується за допомогою моделі Відеманна (R. Wiedemann) [7], яка дає змогу враховувати такі психофізичні властивості, як час для прийняття рішення та час реакції водія. VISSIM дозволяє збирати статис-

тичні дані на будь-якій ділянці транспортної мережі та формувати відповідні звіти, створювати презентації та відеоролики [8].

Для порівняння розглянутих вище програмних продуктів виділимо такі значущі для аналізу транспортної мережі параметри: погодні умови (1), розташування паркувальних місць (2), неорганізовано припарковані автомобілі (3), громадський транспорт (4), статичне керування маршрутами (5), динамічне керування маршрутами (6), автономні транспортні засоби (7), адаптивна система регулювання швидкості (8), пішоходи (9). Функціональні можливості програмних продуктів відмічені в табл. 1 знаком “+”. Останні три фактори не реалізовані в існуючих програмних продуктах, проте мають значний вплив на показники транспортного руху і пропонуються для реалізації в новому засобі імітаційного моделювання, побудованому з використанням Unity3D.

Таблиця 1 – Порівняння функціональності пакетів моделювання

Програмне забезпечення	1	2	3	4	5	6	7	8	9
AIMSUN2	+	-	-	+	+	+	-	-	-
DRACULA	-	-	-	+	-	-	-	-	-
PARAMICS	+	+	-	+	+	+	-	-	-
CORSIM	-	+	+	+	-	-	-	-	-
VISSIM	-	-	+	+	-	-	-	-	-

3. Unity3D як альтернативний інструмент для візуалізації дорожнього руху

Тривимірна візуалізація є важливим аспектом при моделюванні транспортного руху, так як дозволяє моделювати транспортний рух та елементи транспортної системи максимально точно у відповідності з реальними умовами. Ще одним важливим аспектом тривимірної візуалізації є наглядна демонстрація результатів моделювання. Ігровий рушій Unity3D є потужним інструментом для тривимірної візуалізації, оскільки дає змогу створювати об’єкти моделювання максимально реалістично. Unity3D має широкий функціонал для роботи із тривимірною графікою, дозволяє імпортувати тривимірні моделі, створені у різних 3D редакторах, та працювати з ними. За допомогою підготовлених моделей можна легко створити транспортну мережу, додати об’єкти промисловості, будинки, місця для паркування, річки, дерева та інші необхідні об’єкти для моделювання. Для реалізації транспортних засобів можна використати вбудовані у Unity3D компоненти, такі як Rigidbody [9], що дає змогу контролювати позицію об’єкта, та Wheel Collider – спеціальний колайдер для транспортних засобів із колесами [10]. Великою перевагою Unity3D є те, що він підтримує мову C# та дає змогу керувати об’єктами за допомогою створених на даній мові скриптів, що є зручним при реалізації власного функціоналу системи, наприклад, регулювання світлофорів, керування транспортними засобами, погодні умови і т.д. Також до переваг Unity3D можна віднести підтримку високоякісних візуальних ефектів, високу швидкодію, підтримку багатопоточності, мультиплатформність, наявність власного редактора для роботи із об’єктами візуалізації. Сукупність даних можливостей Unity3D дає змогу створити максимально реалістичне тривимірне моделювання транспортного руху.

Оскільки тривимірна візуалізація транспортного руху потребує використання великих обчислювальних потужностей, то у продемонстрованому нижче прикладі було задіяно багатопоточність, яка дає змогу збільшити швидкодію програми та більш ефективно використовувати ресурси системи, що є дуже важливим особливо при моделюванні великих транспортних мереж. У продемонстрованому далі прикладі загальна кількість машин роз-

поділяється між кількістю доступних потоків, де кожен потік керує певною кількістю машин.

З використанням Unity3D було реалізовано приклад транспортної мережі, який включає в себе такі елементи: дорожня частина із перехрестями, які регулюються за допомогою засобів регулювання (світлофорами), транспортні засоби, які керуються у процесі моделювання за допомогою створеного скрипта на мові С#. Для зручності спостереження за процесом імітації дорожнього руху було додано керування камерою за допомогою скрипта, створеного мовою С#. Важливим функціоналом будь-якого програмного забезпечення для імітації транспортного руху є збирання інформації про стан на дорозі під час моделювання. Реалізований приклад дозволяє збирати інформацію про найбільшу довжину черги на будь-якій ділянці транспортної мережі.

Для проведення експерименту було обрано транспортну мережу, яка представлена на рис. 1. Було проведено моделювання на транспортних мережах з однією та двома смугами руху у кожному напрямку і різною кількістю машин, що дало змогу зібрати дані про максимальну довжину черги у транспортній мережі. Результати цього зображені на рис. 2. Зібрані дані дають можливість дослідити пропускну спроможність даної транспортної мережі.

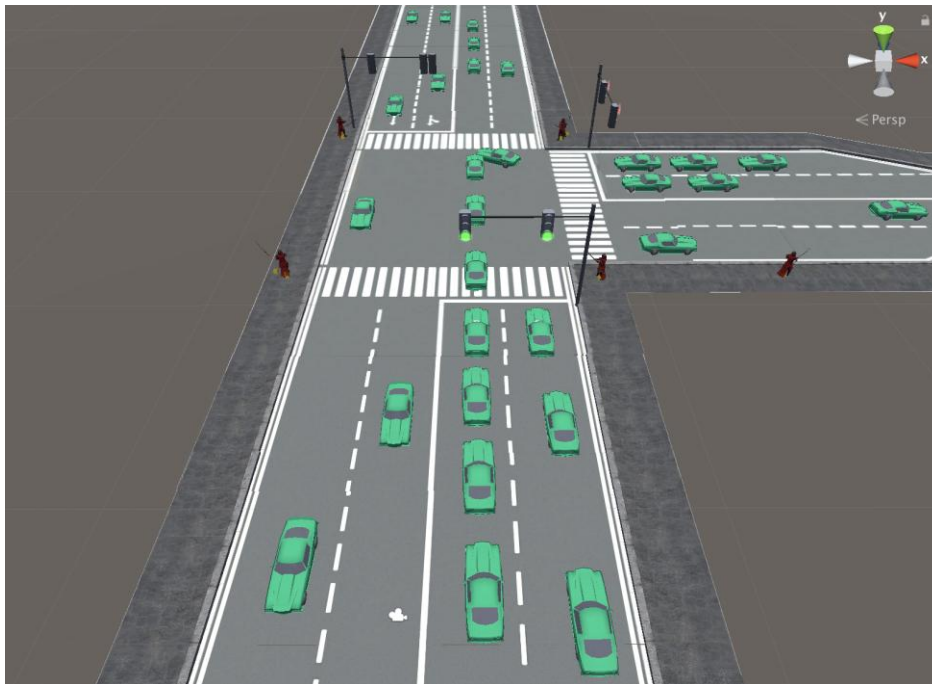


Рисунок 1 – Частина транспортної мережі обрана для моделювання

Для демонстрації зручності використання Unity3D та мови програмування С# розглянемо, як відбувається взаємодія машини з об'єктами на дорозі такими, як світлофори та інші учасники дорожнього руху. Використовуючи вбудований у Unity3D компонент Raycast, ми отримуємо інформацію про всі об'єкти, які знаходяться у нас на шляху, їх тип та відстань між ними. За допомогою наступного виклику функції Raycast ми можемо отримати інформацію про об'єкт, який знаходиться у нас на шляху:

```
Raycast(Vector3 origin, Vector3 direction,  
out RaycastHit hitInfo, float maxDistance);
```

Проаналізувавши об'єкт hitInfo типу RaycastHit, ми можемо дізнатися тип об'єкта на дорозі, викликавши наступну функцію hitInfo.collider.CompareTag

("Car") чи отримати відстань до нього, викликавши властивість `distance` об'єкта `hitInfo`. У випадку із світлофорами потрібна додаткова інформація про поточний стан світлофора, яку машина отримує від скрипта `TrafficSystemIntersection`. Коли автомобіль потрапляє у зону дії світлофора, то спрацьовує тригер `OnTriggerEnter(Collider other)`, який вхідним параметром отримує об'єкт `other` типу `Collider`. Для того, щоб отримати сутність машини, потрібно викликати функцію `other.gameObject.GetComponent<Car>()` та модифікувати поле `currentTrafficLight`. Скрипт `TrafficSystemIntersection` оновлює інформацію про поточний сигнал світлофора протягом усього руху машини в межах дії даного світлофора. Для більш наглядної демонстрації на рис. 3 наведено спрощену схему алгоритму керування автомобілем, яка виконується на кожному циклі оновлення, тобто 60 разів у секунду.

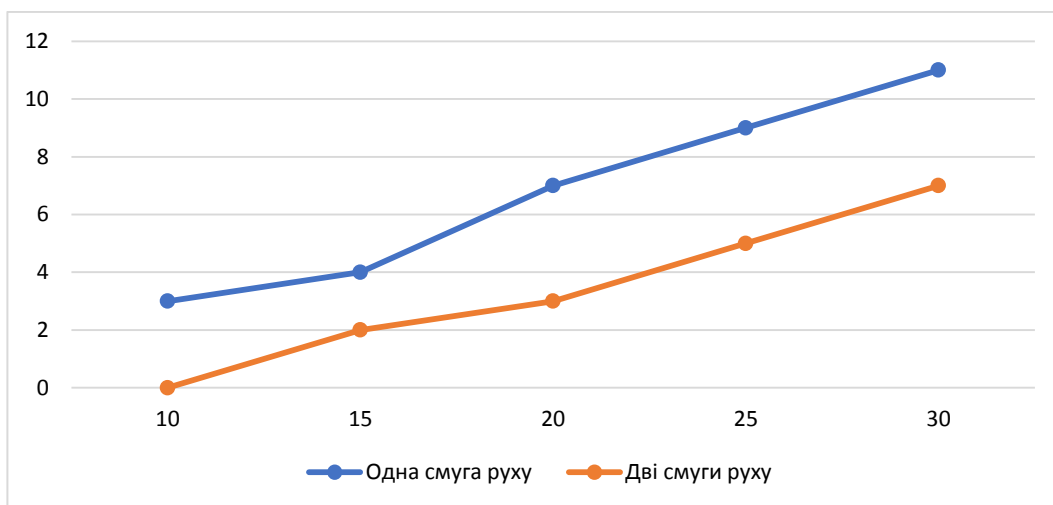


Рисунок 2 – Дані про максимальну довжину черги

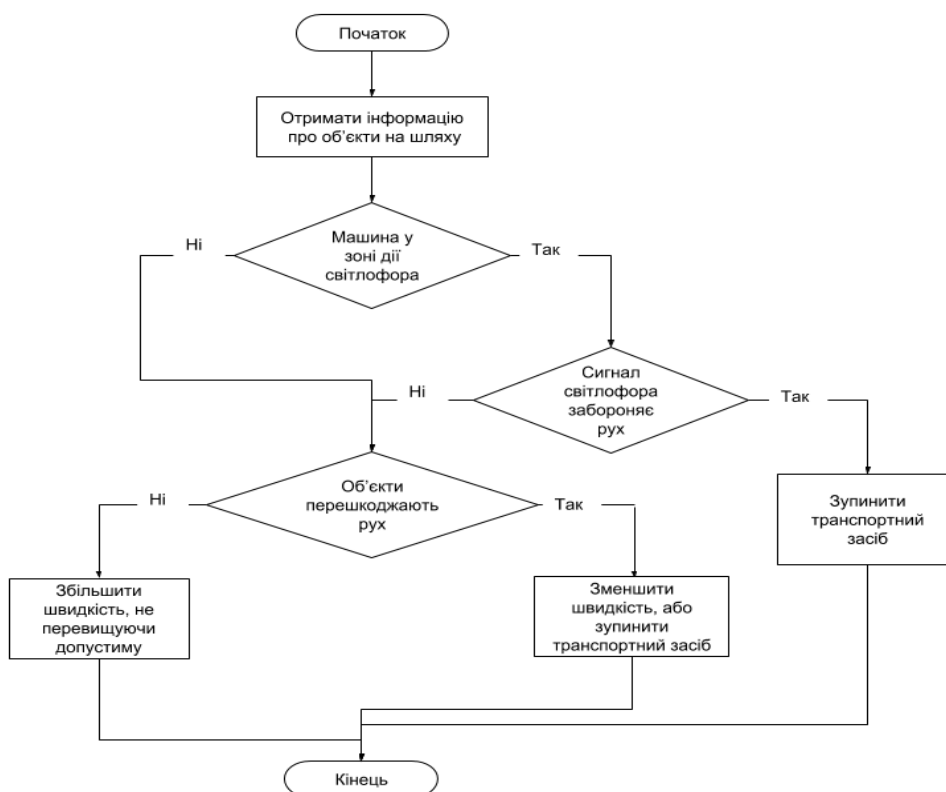


Рисунок 3 – Схема алгоритму керування автомобілем

4. Висновок

Аналіз існуючих програмних продуктів для моделювання транспортного руху та їх порівняльний аналіз показують, що існують програмні продукти, які дозволяють моделювати різні схеми транспортних систем та оцінювати поточну ситуацію дорожнього руху. Проте жоден із розглянутих програмних продуктів не включає у себе весь необхідний функціонал для аналізу транспортної мережі.

На даний момент відсутнє програмне забезпечення, що може задовольнити усі сучасні потреби у сфері моделювання транспортного руху та яке б поєднувало у собі функціонал для оцінки основних значущих параметрів моделювання дорожнього руху, що були розглянуті вище. Також жоден із розглянутих інструментів не реалізує такі важливі функції, як автономні транспортні засоби та адаптивна система регулювання швидкості.

Важливою перевагою вдосконаленого програмного продукту, яка здатна підвищити ефективність систем моделювання дорожнього руху, є об'єднання у одному інструменті всіх розглянутих у порівняльному аналізі функцій, а також реалізація ще однієї важливої функції, як динамічне керування дорогами (перекриття, обслуговування, ремонт) у реальному часі, що дасть змогу оцінювати поведження трафіка під час різного роду робіт на транспортній мережі. Використання багатопоточності у моделюванні транспортного руху дає можливість збільшити швидкодію програмного продукту та моделювати транспортні системи великого розміру.

Для реалізації нового інструменту моделювання тривимірного транспортного руху можна використати сучасний кросплатформний ігровий рушій Unity3D, який надає весь необхідний функціонал для реалізації високоякісного тривимірного моделювання транспортного руху. Вище на невеликому прикладі було продемонстровано деякі доступні можливості та отримані результати моделювання з використанням цього програмного засобу, проте це лише незначна частина того, що може бути зроблено у сфері тривимірного моделювання руху з використанням Unity3D.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Review of Micro-Simulation Models. URL: <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/smarterst/append3d.html#a3>.
2. Top Features in Aimsun. 2015. URL: <https://www.aimsun.com/aimsun/>.
3. AIMSUN User Manual. TSS-Transport Simulation Systems, 2014. 372 p.
4. Barcelo J. Fundamentals of Traffic Simulation. Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 2010. 459 p.
5. Saidallah M., Fergougui El A., Elbelrhiti Elalaoui A. A Comparative Study of Urban Road Traffic Simulators. *MATEC Web of Conferences*. 2016. Vol. 81. 6 p.
6. Advanced CORSIM Training Manual. Minnesota Department of Transportation, 2008. 103 p.
7. Fellendorf M., Vortisch P. Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM / ed. J. Barcelo. *Fundamentals of Traffic Simulation. International Series in Operations Research & Management Science*. 2010. Vol. 145. P. 63–94.
8. VISSIM 5.30-05 User Manual. Planung Transport Verkehr AG, 2011. 680 p.
9. Документація по компоненту Rigidbody. URL: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Rigidbody.html>.
10. Unity3D документація. URL: <https://docs.unity3d.com/Manual/>.

Стаття надійшла до редакції 14.11.2018