

## **ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ГЕНЕРАЦІЇ МОДЕЛІ ТА ТРИВИМІРНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ АСТЕРОЇДНОГО УДАРУ**

*Б.С. Дашковський<sup>1</sup>, О.С. Сидоренко<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> магістрант кафедри ГМКГ, НТУ «ХПІ», Харків, Україна*

*<sup>2</sup> доцент кафедри ГМКГ, канд. техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна*

*[Bohdan.Dashkovskiy@infiz.khpi.edu.ua](mailto:Bohdan.Dashkovskiy@infiz.khpi.edu.ua)*

У сучасних наукових дослідженнях моделювання складних фізичних процесів все частіше здійснюється за допомогою комп'ютерних симуляцій. Це зумовлено стрімким розвитком обчислювальної техніки, що дозволяє відтворювати явища, які не просто провести без безпосереднього експериментального вивчення. Особливо важливою складовою таких досліджень є візуалізація, адже вона дає змогу не лише обчислити параметри процесу, а й зрозуміти його структуру, поведінку об'єктів і взаємодію між ними. Завдяки цьому результати набувають не лише аналітично цінності, що робить такі моделі корисними як для науковців, так і для викладачів та студентів.

Однією з актуальних тем у цій галузі є моделювання процесів, пов'язаних із падінням небесних тіл на планети. Подібні явища супроводжували еволюцію Землі та інших планет упродовж мільярдів років і відіграли ключову роль у формуванні їхньої поверхні. Деякі катастрофічні події, як-от падіння астероїда Чиксулуб близько 66 млн років тому, призвели до глобальних змін клімату та масового вимирання видів. Саме тому астероїдні зіткнення привертають увагу не лише геофізиків, астрономів та планетологів, а й фахівців із планетарної безпеки, які досліджують потенційні ризики для цивілізації.

Сучасні комп'ютерні симуляції природних катастроф дозволяють відтворювати такі сценарії у наочній формі. Зокрема, існують веб-інструменти на кшталт Asteroid Launcher, які надають можливість інтерактивно задавати параметри астероїда – його розмір, швидкість, кут падіння тощо – і миттєво отримувати оцінку наслідків удару, такі як розмір кратера, радіус вибухової хвилі, теплове випромінювання, силу землетрусу, тощо [1]. Такі сервіси слугують чудовими прикладами використання обчислювальних моделей у популяризації науки. Проте їм притаманні певні обмеження. Насамперед спрощена фізика процесу та відсутність реалістичної тривимірної візуалізації форми кратера і самого небесного тіла [2].

З огляду на це виникла потреба створення застосунку, який поєднував би аналітичну точність з інтерактивною тривимірною графікою. У межах даної роботи розроблено інтерактивний застосунок, що моделює процес падіння астероїда на поверхню планети та формування ударного кратера. Застосунок дозволяє користувачу задавати початкові параметри об'єкта – масу, густину, радіус, початкову швидкість, кут входження в атмосферу, висоту падіння тощо – і в реальному часі спостерігати зміну фізичних характеристик під час польоту.

У процесі симуляції користувач отримує візуалізацію ключових величин у вигляді графіків: зміна висоти з часом, зменшення швидкості через опір атмосфери, нагрівання поверхні астероїда під час входження в атмосферу, динаміки випаровування речовини. Після зіткнення відображається розрахований кратер із вказаними геометричними параметрами – діаметром, глибиною та об'ємом викинутого матеріалу. Для оцінки цих показників застосовуються масштабні співвідношення Холсаппла–Шмідта, що базуються на експериментальних та емпіричних закономірностях і широко використовуються для оцінки наслідків метеоритних ударів.

Тривимірна сцена в застосунку створена засобами бібліотеки HelixToolkit, що надає можливості для швидкого рендерингу тривимірних об'єктів. Це дало змогу реалізувати інтерактивне середовище, де користувач може обертати модель, змінювати масштаб, налаштовувати освітлення та кут огляду, що забезпечує зручне вивчення структури об'єкта [3]. У центральному вікні відображається об'ємна модель астероїда з поверхнею, утвореною на основі алгоритмів процедурного шуму (зокрема шуму Перліна). Базова сферична модель деформується псевдовипадковими коливаннями висоти, завдяки чому створюється правдоподібна, кратерована поверхня при використанні мінімальних обчислювальних ресурсів.

Особливу увагу приділено модульності та розширюваності системи. Всі компоненти розділено на логічні блоки: модуль фізичного моделювання (розрахунок швидкості, температури, втрат маси, сили удару), модуль геометричної генерації (створення 3D-моделі астероїда та кратера), модуль візуалізації (рендеринг сцени та графіків у реальному часі), інтерфейс користувача (взаємодія з параметрами, експорт, збереження результатів).

Розроблений застосунок реалізовано мовою C# (.NET) із використанням класичної архітектури Windows Forms. Це забезпечує зручність роботи навіть на звичайних ПК без потреби у спеціальному графічному обладнанні. Крім того, застосунок підтримує експорт результатів у формат .obj – поширений стандарт для 3D-моделей, що дозволяє передавати результати симуляції до зовнішніх графічних рушіїв, таких як Blender або Unreal Engine 5. У цих середовищах користувач може створювати фотореалістичні сцени та анімації зіткнення, додаючи текстури, тіні, ефекти освітлення та частинок. Таким чином, відбувається розподіл задач: застосунок забезпечує швидке генеративне моделювання та обчислення, а рушії – візуалізацію з високою деталізацією.

Застосунок може використовуватись у кількох напрямках. Наприклад в освітньо-демонстраційному для ілюстрації наслідків астероїдних ударів у навчальних курсах з фізики, астрономії та геології. Також застосунок можна застосувати в науково-аналітичному напрямі – для первинного аналізу взаємозв'язку між параметрами небесного тіла та масштабом утвореного кратера. Таким чином, створений застосунок поєднує аналітичну основу, фізичне моделювання та сучасну візуалізацію, утворюючи універсальний засіб для дослідження процесів утворення кратерів.

У майбутньому планується розширення фізичної моделі: додавання детальнішого опису теплового впливу, моделювання розпаду (фрагментації) астероїда під час входження в атмосферу, а також розрахунок вторинних ефектів – викиду пилу, ударної хвилі та зон ураження на поверхні. Запропонований застосунок демонструє, що навіть у межах десктопного середовища можливо створити ефективний, наочний і науково достовірний інструмент для вивчення складних космічних процесів. Він може стати основою для подальших досліджень, розробки навчальних симуляторів і програм з інтерактивної візуалізації природних катастроф планетарного масштабу.

#### **Список літератури:**

1. Earth Impact Effects Web-based Computer Program [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://impact.ese.ic.ac.uk/ImpactEarth/ImpactEffects/effects.pdf> – Earth Impact Effects Program: A Web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth.
2. Clemens M. Rumpf Asteroid impact risk. Doctoral Thesis – 2016. – С. 1–15.
3. Visualization of Asteroid Impacts. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cgl.ethz.ch/Downloads/Publications/Papers/2018/Ibr18b/Ibr18b.pdf> – Visualization and Analysis of Deep Water Asteroid Impacts.