

УДК 004.942

*Жеребцов Д.В., здобувач,
Сергієко В.М., здобувач,
Бродський Ю.Б., к.т.н., доцент
Державний університет «Житомирська політехніка»*

СИМУЛЯТОР ОРБІТАЛЬНИХ МЕХАНІК

Моделювання руху небесних тіл є однією з фундаментальних задач обчислювальної фізики, яка постійно вимагає пошуку балансу між математичною точністю та обчислювальною потужністю. Головною проблемою при моделюванні гравітаційної взаємодії багатьох тіл (проблема N-тіл) є надмірна складність розрахунків та неминуче накопичення ітераційних похибок, що призводить до нестабільності орбіт на великих часових проміжках [1]. Для вирішення цієї проблеми у даній роботі використано метод зшитих конічних перерізів, який декомпозує складну гравітаційну систему на серію ізольованих локальних задач двох тіл. Унікальність запропонованого підходу полягає у застосуванні аналітичного розв'язання на основі рівняння Кеплера замість традиційного чисельного інтегрування векторів стану кадр за кадром. Це дозволяє реалізувати детерміновану систему, де час виступає як абсолютна незалежна змінна, що забезпечує стабільне та необмежене прискорення симуляції без ризику «розповзання» орбіт чи порушення законів збереження енергії. Теоретична новизна та системна значимість роботи розкриваються через формалізацію математичної моделі як обчислювального блоку «чорного ящика», здатного миттєво абстрагувати складні фізичні взаємодії до надійної математичної структури просторових координат.

Розроблений симулятор орбітальної механіки має значну демонстраційну, навчальну та практичну цінність, оскільки пропонує архітектурно чистий підхід до моделювання високоточних астрономічних процесів. Архітектура програмного комплексу побудована на принципі суворого відокремлення стану системи від логіки обчислень. Динамічні процеси та еволюція у часі реалізовані через систему спеціалізованих калькуляторів, які ітераційно розв'язують трансцендентне рівняння Кеплера, перетворюючи середню аномалію на ексцентричну та істинну залежно від морфології траєкторії. Важливою особливістю моделі є успішне подолання системних бар'єрів ігрових рушіїв, зокрема обмеженої точності стандартних чисел із плаваючою комою, завдяки впровадженню власної структури подвійної точності та механізму плаваючої точки відліку [2]. Масштабованість для складних зоряних скупчень досягається завдяки

розрахунку сфер впливу, що автоматично визначають найсильніший гравітаційний центр, та використанню ієрархічно вкладених систем координат, які дозволяють симулювати багаторівневі галактичні структури без втрати обчислювальної простоти. Завдяки такій доступності та архітектурній гнучкості, створений симулятор відкриває широкі перспективи для практичного застосування в освітньому та науковому середовищах.

Отже, створений симулятор представляє собою цілісний програмний комплекс, який ефективно реалізує принципи аналітичного моделювання небесної механіки. Застосування кеплерівських елементів забезпечило створення детермінованої системи, де просторовий стан об'єкта обчислюється з високою точністю незалежно від частоти оновлення кадрів, що є критичною вимогою при екстремальних прискореннях часу. Архітектурна ізоляція даних від математичної логіки гарантує гнучкість розробки, а інтегровані алгоритми подвійної точності та ієрархічної декомпозиції успішно долають технічні обмеження віртуальних середовищ. Незважаючи на свідоме спрощення до задачі двох тіл та нехтування гравітаційними збуреннями, створений математичний каркас повністю виконує поставлені завдання і формує надійну базу для подальшої інтеграції складніших фізичних та астрофізичних ефектів.

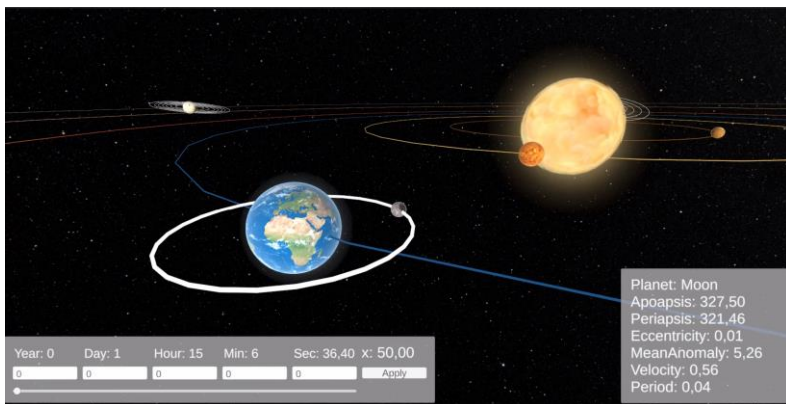


Рис. 1 – Ілюстрація проекту

Список використаних джерел:

1. Howard D. Curtis. Orbital Mechanics Engineering Students. Third Edition. 2014. (дата звернення: 21.02.2026)
2. Unity Documentation. Unity manual. (дата звернення: 01.03.2026)
<https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>