

УДК 004.925:004.942

## ПРОЦЕДУРНА ГЕНЕРАЦІЯ ТРИВИМІРНИХ ЛАНДШАФТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КАСТОМНИХ СИСТЕМ ЗАТІНЕННЯ

Колиско О.З., кандидат технічних наук, доцент  
Київський національний університет технологій та дизайну

Мельник А.А., студент

Київський національний університет технологій та дизайну

**Ключові слова:** процедурна генерація, шум Перліна, карта висот, Unity, шейдер, полігональна сітка, ігрова індустрія.

У сучасній індустрії розробки інтерактивних додатків, симуляторів та відеоігор спостерігається стійка тенденція до використання віртуальних світів великих масштабів. Ручне створення деталізованих ландшафтів вимагає колосальних витрат часу та людських ресурсів. Традиційні методи моделювання стають "вузьким місцем" у виробничому циклі розробки контенту. Виникає необхідність автоматизації цього процесу за допомогою процедурної генерації.

Головним завданням дослідження є програмна реалізація та застосування алгоритмів процедурної генерації для динамічного формування геометрії віртуального простору. Процес розробки передбачає створення базової 3D-геометрії на основі математичних функцій шуму, а також проектування спеціалізованих матеріалів, які динамічно реагують на топографічні характеристики згенерованої полігональної сітки.

Програмна система будується за компонентно-орієнтованою архітектурою в середовищі Unity. Вона складається з декількох незалежних модулів, що взаємодіють між собою для перетворення математичних формул у візуальний об'єкт. Структурна схема системи представлена на рис. 1.

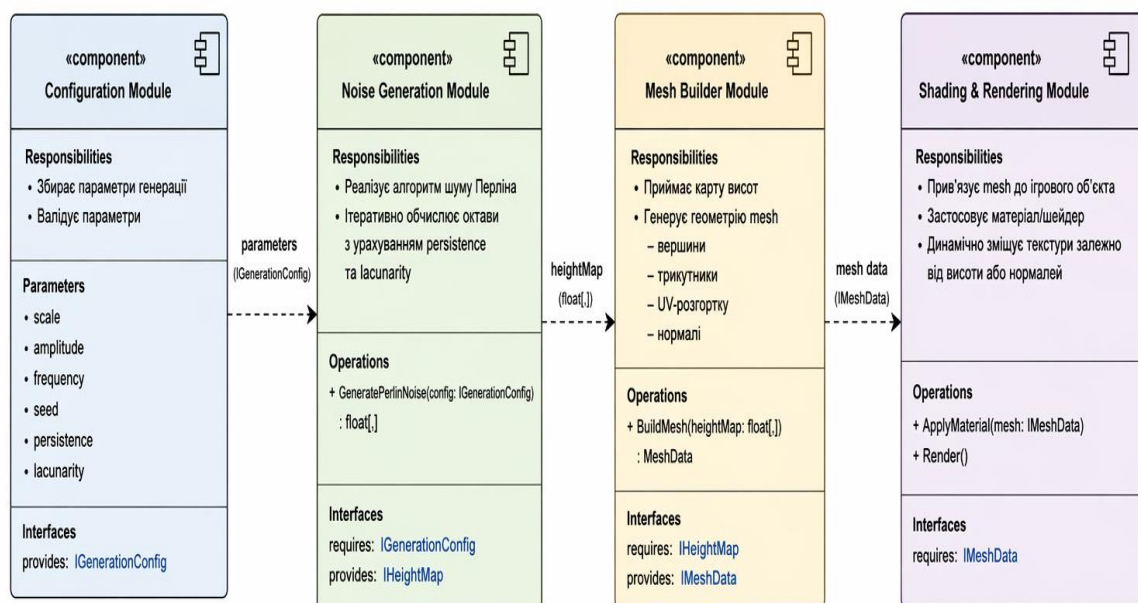


Рисунок 1 – Структурна схема системи процедурної генерації

1. Модуль конфігурації (Configurationmodule): збирає та валідує параметри генерації, такі як: масштаб, амплітуда, частота, глобальний seed; передає перевірені дані до модуля генерації шуму.

2. Модуль генерації шуму (Noisegenerationmodule): реалізує математичний алгоритм шуму Перліна; проводить ітеративні обчислення для кожної октави, змінюючи амплітуду та частоту; повертає двовимірний масив значень висот (float[,]).

3. Модуль побудови геометрії (Meshbuildermodule): приймає двовимірну карту висот; виконує триангуляцію, тобто генерує масив вершин (Vector3[]), обчислює індекси трикутників (int[]) та генерує UV-розгортку (Vector2[]); автоматично перераховує нормалі для забезпечення коректного освітлення полігонів.

4. Модуль затінення та візуалізації (Shading&renderingmodule): прив'язує згенерований mesh до ігрового об'єкта; застосовує кастомний матеріал, який динамічно змішує різні текстури (наприклад, пісок, трава, камінь, сніг) залежно від локальної висоти кожної вершини або глобальної нормалі полігона.

Одним із найважливіших аспектів роботи є розробка кастомного шейдера. Стандартні системи текстурування не підходять для процедурних ландшафтів, оскільки не можуть автоматично визначати типи покриття для мільйонів полігонів.

Розроблений шейдер використовує дані про висоту (Y-координата) та нахил поверхні (скалярний добуток нормалі вершини та вектора вгору). Це дозволяє автоматично накладати текстуру трави на рівнини, каміння - на стрімкі схили, а сніг на вершини гір. Для уникнення ефекту розтягування текстур на крутих схилах застосовується техніка трипланарного мапування (TriplanarMapping), яка проектує текстуру з трьох осей одночасно.

Впровадження описаної системи дозволяє автоматизувати створення природних ландшафтів, зменшуючи навантаження на художників. Завдяки перенесенню частини обчислень на графічний процесор (GPU) через кастомні шейдери, досягається висока кадрова частота навіть при високій деталізації об'єктів. Перспективи подальших досліджень полягають в інтеграції алгоритмів гідравлічної ерозії, що дозволить імітувати вплив води на рельєф, створюючи ще більш реалістичні віртуальні світи.

#### Список використаних джерел

1. Procedural terrain generation with style transfer / A. Surname et al. arXiv.org. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2403.08782> (дата звернення: 20.04.2026).

2. Terrain Diffusion: successor to Perlin noise / B. Surname et al. arXiv.org. 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2512.08309> (дата звернення: 20.04.2026).

3. Procedural Terrain Generation in Unity using Perlin Noise / C. Surname et al. Asian Journal of Research in Computer Science. 2023. Vol. 16, No. 1. P. 12-25. URL: <https://journalajrcos.com/index.php/AJRCOS/article/view/333> (дата звернення: 20.04.2026).