

УДК 004.942

**АВТОМАТИЧНА ГЕНЕРАЦІЯ РЕАЛІСТИЧНИХ ЯЛИН
ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ
У СЕРЕДОВИЩІ BLENDER**

Зінченко А.Я.

e-mail: anastasiia.zinchenko@nure.ua

Науковий керівник – асп., ас. Кириченко І. Ю.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ
м. Харків, Україна

This work focuses on the automatic generation of realistic 3D spruce trees in Blender. The trees are created using Bézier curves: the trunk is modeled as a segmented curve that gradually narrows upward, while branches are evenly distributed along it, varying in length, thickness, and inclination based on height. To achieve a natural structure, branch placement follows a spiral pattern with controlled randomness. Textured foliage planes with random rotation and tilt enhance realism. Optimization is achieved by grouping elements, reducing system load.

Процедурне моделювання дозволяє автоматично створювати складні об'єкти, значно спрощуючи процес 3D-моделювання. У цій роботі розглядається автоматична генерація реалістичних ялин на основі математичних моделей у середовищі Blender. Алгоритм, реалізований мовою програмування Python, формує деталізовані моделі дерев із природною структурою, використовуючи криві Безьє, геометричні залежності та контрольовану випадковість.

Криві Безьє дозволяють описувати гладкі контури, задаючи форму кількома контрольними точками. Цей підхід не лише зменшує потребу в пам'яті, але й спрощує проектування, оскільки, як зазначає Самюель Басс, дизайнер може контролювати всю криву, змінюючи лише кілька точок [1], що важливо для автоматизованого створення природних об'єктів.

У документації Blender вказано, що криві Безьє редагуються трансформаціями керувальних точок і їх держаків [2], що забезпечує контроль гладкості. У представленому алгоритмі автоматичне налаштування цих точок сприяє плавності переходів між сегментами кривої.

Стовбур створюється як 3D-крива Безьє, що визначається набором контрольних точок. Його висота поділяється на рівні сегменти, для кожного з яких визначається координата:

$$z_i = h \times \frac{i}{n - i},$$

де n – кількість контрольних точок. Радіус стовбура змінюється за експоненціальним законом:

$$r_i = r_0 \times 0,76^i,$$

де r_0 – початковий радіус біля основи, що забезпечує звуження стовбура догори. Для природного вигину застосовується автоматичне налаштування керуючих точок.

Гілки, створені на основі кривих Безьє, рівномірно розподіляються вздовж 40% – 99% висоти стовбура, а довжина залежить від висоти:

$$h_{branch} = h_{trunk} \times k_h,$$

де h_{trunk} – висота стовбура, а k_h – коефіцієнт, що змінюється залежно від висоти розташування гілки.

Товщина та довжина гілок змінюються залежно від їх висоти. Вони враховуються таким чином:

– у нижній частині зони росту гілок ($0,4 \leq z \leq 0,7$) вони поступово збільшуються:

$$h_{factor} = 0,41 + (0,412 \times \frac{z \times 1,2 - 0,4}{0,3})$$

$$r_{factor} = 0,08 + (0,1 \times \frac{z - 0,4}{0,3})$$

– у верхній частині зони росту гілок ($0,7 < z \leq 0,99$) вони поступово зменшуються:

$$h_{factor} = 0,7 - (0,74 \times \frac{z - 0,7}{0,29})$$

$$r_{factor} = 0,2 - (0,24 \times \frac{\frac{z}{1,02} - 0,7}{0,29})$$

Кут нахилу гілок варіюється випадково у межах $115^\circ - 125^\circ$, що забезпечує природну нерівномірність. Окрім цього, для уникнення штучної симетрії кожна наступна гілка отримує додатковий оберт навколо стовбура на випадковий кут у межах $75^\circ - 90^\circ$, формуючи спіральне розташування.

Для природнього вигину гілок три останні контрольні точки зміщуються: остання – найбільше, передостання – втричі менше, а третя – у дев'ять разів менше.

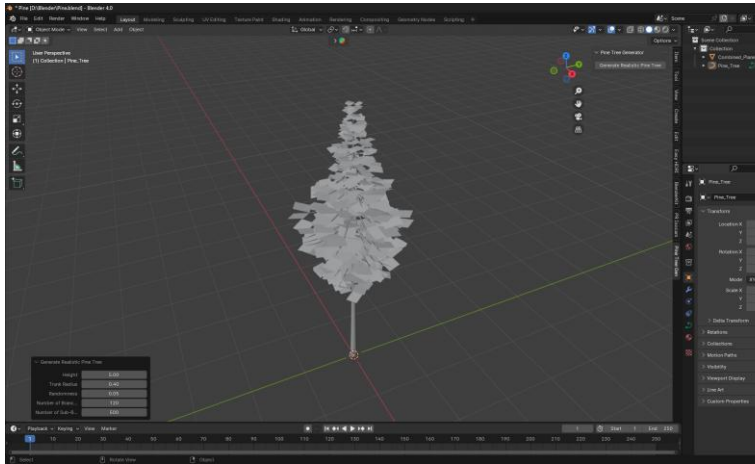
Після генерації стовбура та гілок для реалістичності додаються площини з текстурою ялини. Вони розміщуються у випадкових точках гілок, які обираються серед трьох внутрішніх контрольних точок, із випадковим обертанням ($0^\circ - 180^\circ$) та нахилом ($-15^\circ - 15^\circ$), що запобігає симетрії.

Розмір площини залежить від її висоти на стовбурі, наприклад, для площин на висоті $0,4 \leq z \leq 0,7$ розміри будуть змінюватися таким чином:

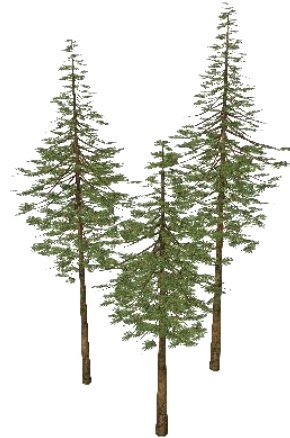
$$s_{plane} = s_0 \times \left(1 + 0,5 \times \frac{\frac{z_{plane}}{h_{trunk}} - 0,4}{0,3}\right)$$

Для оптимізації площини об'єднуються у пакети по 100 об'єктів, що зменшує кількість елементів сцени та покращує продуктивність.

На площини накладається текстура гілки ялини з прозорим фоном, що забезпечує деталізацію без надмірного збільшення кількості полігонів.



а)



б)

Рисунок 1 – Результати роботи алгоритму: а) базова генерація структури ялини у Blender; б) фінальні моделі з текстурованою ялиною.

Отже, розроблений алгоритм дозволяє автоматично створювати реалістичні 3D-моделі ялин у Blender. Використання кривих Безьє та контрольованої випадковості формує природну структуру дерева, а оптимізація площин із текстурами хвої підвищує продуктивність сцени. Отримані моделі придатні для анімації, ігрових рушіїв та візуалізації.

Список використаних джерел:

1. Buss S. R. 3D Computer Graphics: A Mathematical Introduction with OpenGL. Cambridge University Press, 2003.
2. Curve – Blender Manual. *Blender Documentation* - [blender.org](https://docs.blender.org/manual/en/3.3/modeling/curves/editing/curve.html). URL: <https://docs.blender.org/manual/en/3.3/modeling/curves/editing/curve.html> (дата звернення: 03.03.2025).