

4. Сплайнова 3D-графіка

4.1. Інтерполяція сплайна

Крива, що описує деформацію гнучкої лінійки, зафіксованої в окремих точках, є сплайном. Інакше кажучи, сплайн використовується для визначення функції профілю між точками даних.

Сплайни мають хороші апроксимативні властивості, універсальність і забезпечують простоту реалізації обчислювальних алгоритмів, отриманих на їх основі. Тобто сплайн – це не вигадана математична абстракція, а в багатьох випадках розв'язання диференціальних рівнянь, що описують цілком реальні фізичні процеси (наприклад, у механіці це деформація гнучкої пластини або стрижня, зафіксованого в окремих точках).

Сплайни – це гладкі (що мають декілька безперервних похідних) кусково-поліноміальні функції, які можуть бути використані для подання функцій, заданих великою кількістю значень, для яких непридатна апроксимація одним поліномом. Оскільки сплайни гладкі, економічні й легкі у роботі, вони використовуються під час побудови довільних функцій для:

- моделювання кривих;
- апроксимації даних за допомогою кривих;
- виконання функціональних апроксимацій;
- розв'язання функціональних рівнянь.

Розглянемо задачу проведення гладких кривих за заданими граничними точками, або завдання інтерполяції. Оскільки через дві точки можна провести скільки завгодно багато гладких кривих, то для вирішення цього задавання необхідно обмежити клас функцій, які визначатимуть шукану криву. Математичними сплайнами називають функції, використовувані для апроксимації кривих. Важливою їх властивістю є простота обчислень. На практиці часто використовують сплайни у вигляді поліномів третьої міри. З їх допомогою досить зручно проводити криві, які інтуїтивно відповідають людському суб'єктивному поняттю гладкості.

Розглянемо спочатку функцію сплайна для побудови графіка функції однієї змінної. Нехай на площині задана послідовність точок $\{x_i, y_i\}$, $i = 0, 1, 2, \dots, m$, $x_0 < x_1 < \dots, x_{m-1} < x_m$. Визначимо шукану функцію $y = S(x)$ (рис. 4.1), причому поставимо дві умови:

- функція має проходити через усі точки $y_i = S(x_i)$, $i = 0, 1, 2, \dots, m$;
- функція має двічі безперервно диференціюватися, тобто мати безперервну другу похідну на усьому відрізку $[x_0, x_m]$.

На кожному з відрізків $[x_i, x_{i+1}]$, $i = 0, 1, 2, \dots, m - 1$, шукатимемо функцію у вигляді полінома третьої міри (4.1):

$$S_i(x) = \sum_{j=0}^3 (x - x_i)^j \cdot a_{i,j}. \quad (4.1)$$

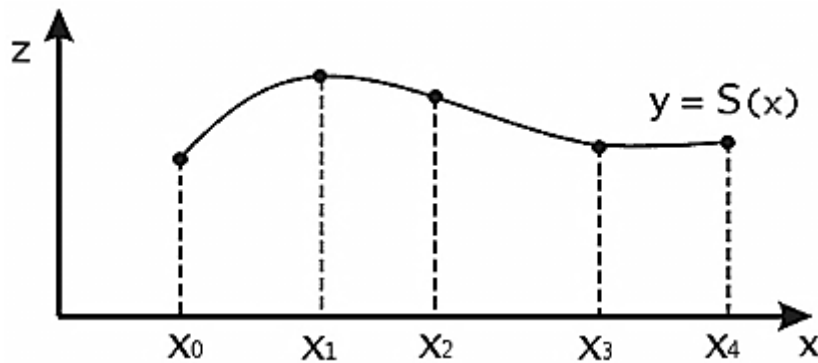


Рис. 4.1. Функція сплайна

4.2. Поліноміальна сплайн-інтерполяція

Задавання побудови полінома зводиться до знаходження коефіцієнтів a_{ij} . Оскільки для кожного з відрізків $[x_i, x_{i+1}]$ необхідно знайти 4 коефіцієнти a_{ij} , а всього кількість шуканих коефіцієнтів дорівнюватиме $4m$. Для знаходження всіх коефіцієнтів визначимо відповідну кількість рівнянь. Перші $(m - 1)$ рівнянь отримуємо з умов збігу значень функції у внутрішніх вузлах x_i , $i = 1, 2, \dots, m - 1$. Такі $2(m - 1)$ рівнянь отримуємо аналогічно з умов збігу значень перших і других похідних у внутрішніх вузлах. Разом із першою умовою отримуємо $m - 1 + m - 1 + m - 1 + m + 1 = 4m - 2$ рівнянь. Відсутні два рівняння можна отримати задаванням значень перших похідних у кінцевих точках відрізка $[x_0, x_m]$. Так можуть бути задані граничні умови.

Перейдемо до складнішого випадку – задавання кривих у тривимірному просторі. У разі функціонального завдання кривої $y = f(x)$, $z = f(x)$ можливі багатозначності в разі самоперетинів і незручності, коли значення похідних дорівнюють ∞ . Зважаючи на це шукатимемо функцію в параметричному вигляді. Нехай t – незалежний параметр, такий, що $0 \leq t \leq 1$. Кубічним параметричним сплайном назвемо наступну таку систему рівнянь (4.2):

$$\begin{aligned}
 x(t) &= a_x \cdot t^3 + b_x \cdot t^2 + c_x \cdot t + d_x; \\
 y(t) &= a_y \cdot t^3 + b_y \cdot t^2 + c_y \cdot t + d_y; \\
 z(t) &= a_z \cdot t^3 + b_z \cdot t^2 + c_z \cdot t + d_z.
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Координати точок на кривій описуються вектором $[x(t), y(t), z(z)]$, а три похідні задають координати відповідного дотичного вектора в точці. Наприклад, для координати x (4.3):

$$\frac{d}{dx} x = 3 \cdot a_x \cdot t^2 + 2 \cdot b_x \cdot t + c_x.
 \tag{4.3}$$

Одним зі способів задавання параметричного кубічного сплайна є зазначення координат початкової і кінцевої точок, а також векторів, дотичних до них. Такий спосіб задавання називається формою Ерміта. Позначимо кінцеві точки P_1 і P_4 , а дотичні вектори у них R_1 і R_4 . Індекси обрані з урахуванням подальшого викладення матеріалу.

Вирішуватимемо завдання знаходження четвірки коефіцієнтів a_x, b_x, c_x, d_x , оскільки для двох рівнянь, що залишилися, коефіцієнти знаходяться аналогічно. Запишемо умову для побудови сплайна (4.4):

$$x(0) = P_{1x}, \quad x(1) = P_{4x}, \quad x'(0) = R_{1x}, \quad x'(1) = R_{4x}.
 \tag{4.4}$$

Перепишемо вираз для (4.2) у векторному вигляді (4.5):

$$x(t) = \begin{pmatrix} t^3 & t^2 & t & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix}_x.
 \tag{4.5}$$

Позначимо вектор-рядок як T і вектор-стовпець коефіцієнтів як C_x , тоді $x(t) = TC_x$. З (4.4) і (4.5) випливає (4.6):

$$\begin{aligned}
 x(0) = P_{1x} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot C_x; \\
 x(1) = P_{4x} &= \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot C_x.
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

Для дотичних отримаємо (4.7):

$$\begin{aligned}
 x'(0) = R_{1x} &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot C_x; \\
 x'(1) = R_{4x} &= \begin{pmatrix} 3 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot C_x.
 \end{aligned}
 \tag{4.7}$$

Звідси матимемо векторно-матричне рівняння (4.8):

$$\begin{pmatrix} P_{1x} \\ P_{4x} \\ R_{1x} \\ R_{4x} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot C_x. \quad (4.8)$$

Розв'язуємо систему відносно C_x (4.9):

$$C_x = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} P_{1x} \\ P_{4x} \\ R_{1x} \\ R_{4x} \end{pmatrix} = M_h \cdot G_{hx}. \quad (4.9)$$

Тут M_h – Ермітова матриця, G_{hx} – геометричний вектор Ерміта. Підставимо вираз C_x для знаходження $x(t)$, $y(t)$ і $z(t)$ (4.10):

$$\begin{aligned} x(t) &= T \cdot M_h \cdot G_{hx}; \\ y(t) &= T \cdot M_h \cdot G_{hy}; \\ z(t) &= T \cdot M_h \cdot G_{hz}. \end{aligned} \quad (4.10)$$

Випишемо в явному вигляді формули для обчислення координат точок сплайна (4.11):

$$\begin{aligned} x(t) &= T \cdot M_h \cdot G_{hx} = \\ &= P_{1x}(2 \cdot t^3 - 3 \cdot t^2 + 1) + P_{4x}(-2 \cdot t^3 + 3 \cdot t^2) + \\ &+ R_{1x}(t^3 - 2 \cdot t^2 + t) + R_{4x}(t^3 - t^2). \end{aligned} \quad (4.11)$$

Чотири функції у дужках називаються функціями сполучення.

Форму кривої, заданої у формі Ерміта, легко змінювати, якщо врахувати, що напрям вектора дотичної задає початковий напрям, а модуль вектора дотичної задає міру витягнутості кривої у напрямку цього вектора, як показано на рис. 4.2.

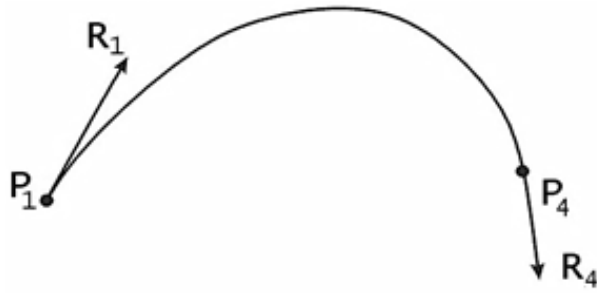


Рис. 4.2. Параметричний сплайн у формі Єрміта

Витягнутість кривої вправо забезпечується тим, що $|R_1| > |R_4|$.

Розглянемо форму Без'є, яка відрізняється від форми Єрміта способом задавання граничних умов, а саме замість векторів R_1 і R_4 вводяться точки (і відповідні їм радіус-вектори) P_2 і P_3 , як показано на рис. 4.3, такі, що задовольняють умови: $P'(0) = R_1 = 3(P_2 - P_1)$ і $P'(1) = R_4 = 3(P_4 - P_3)$.

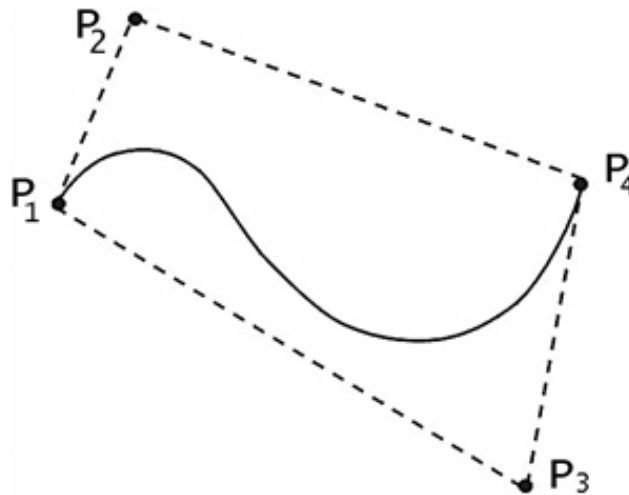


Рис. 4.3. Параметричний сплайн у формі Без'є

Перехід від форми Єрміта до форми Без'є виконується шляхом перетворення (4.12):

$$G_h = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_4 \\ R_1 \\ R_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3 & 3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{pmatrix} = M_{hb} \cdot G_b, \quad (4.12)$$

де G_b – геометричний вектор Без'є. Підставляючи отримані дані у вираз для $x(t)$, отримуємо (4.13):

$$\begin{aligned}
 x(t) &= T \cdot M_h \cdot G_{hx} = T \cdot M_h \cdot M_{hb} \cdot G_{bx} = \\
 &= P_1(1-t^3) + P_2 3t(t-1)^2 + P_3 3t^2(1-t) + P_4 t^3.
 \end{aligned}
 \tag{4.13}$$

Корисною властивістю сплайнів у формі Без'є є те, що крива завжди лежить усередині опуклої оболонки, утвореної чотирикутником ($P_1P_2P_3P_4$). Цю властивість можна довести, користуючись тим, що у виразі (4.12) коефіцієнти набувають значень від 0 до 1 і їхня сума дорівнює одиниці.

Слід зауважити, що матриця вигляду (4.14) називається матрицею Без'є.

$$M_h \cdot M_{hb} = M_b = \begin{pmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.
 \tag{4.14}$$

Дещо складніший тип інтерполяція – так звана поліноміальна сплайн-інтерполяція, або інтерполяція В-сплайнами (рис. 4.4). На відміну від звичайної сплайн-інтерполяції, зшивання елементарних В-сплайнів проводиться не в точках (t_i, x_i) , а в інших точках, координати яких зазвичай пропонується визначити користувачеві. Таким чином, вимога рівномірного дотримання вузлів під час інтерполяції В-сплайнами відсутня і з їх допомогою можна наближати розрізнені дані.

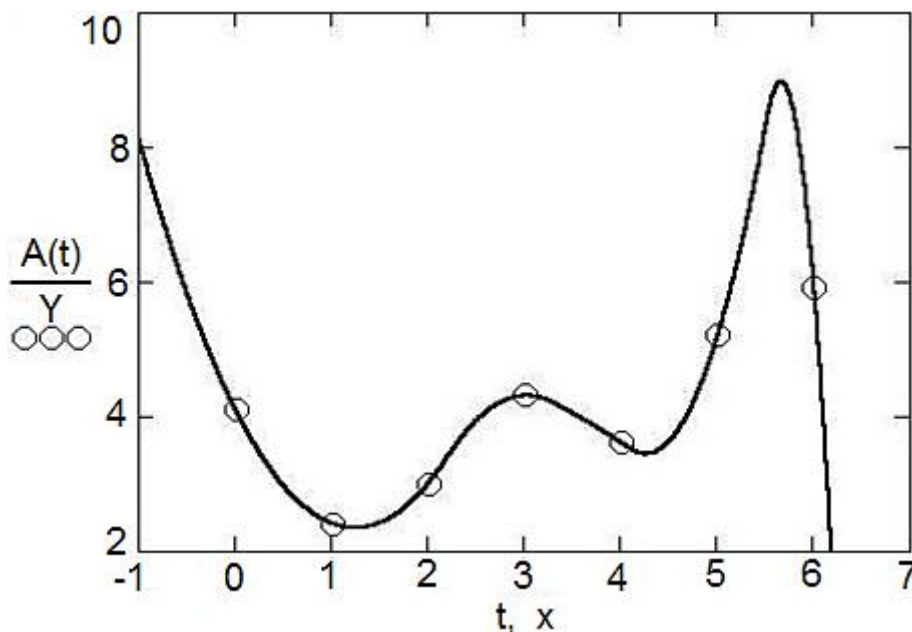


Рис. 4.4. Інтерполяція В-сплайнами

Сплайни можуть бути поліномами першого, другого або третього ступеня (лінійні, квадратичні або кубічні). Застосовується інтерполяція B-сплайнами точно так само, як і звичайна сплайн-інтерполяція, відмінність полягає тільки у визначенні допоміжної функції коефіцієнтів сплайна.

4.3. NURBS

Розглянуті методи досить просто узагальнюються на випадок апроксимації двовимірних функцій. Для конструювання криволінійних поверхонь за допомогою стандартних параметричних поліномів, поліномів Бернштейна і NURBS у сучасних системах геометричного моделювання застосовують три основні методи:

- тензорного добутку (tensor product surfaces);
- каркасний (lofting surfaces);
- булевої суми (transfinite method).

Водночас раціональні параметричні криві Без'є є окремим випадком NURBS.

Узагальнення методів Без'є і B-сплайнів на початку 70-х років дозволило отримати один із найпотужніших і універсальних засобів геометричного моделювання криволінійних обведень – NURBS-технологію (Non-Uniform, Rational B-Spline) – нерівномірний раціональний B-сплайн. Базова геометрична фігура (геометричний примітив) використовується для опису кривих поверхонь.

На сьогодні існує безліч способів опису геометричних об'єктів. Проте з точки зору співвідношення можливостей і витрат обчислювальних ресурсів найпотужнішим інструментом є так зване NURBS-моделювання. В основі методу NURBS лежить опис об'єктів за допомогою так званих раціональних поліноміальних функцій. Цей підхід дає максимальну економію обчислювальних ресурсів і абсолютну гнучкість у створенні об'єктів довільної форми.

Моделі NURBS створюються з декількох кривих. Причому для налаштування викривлення досить змінити власну вагу вершин і визначити сплайни. Поверхні, побудовані на основі NURBS-кривих, називають NURBS-об'єктами. Вони виглядають плавними і згладженими, легко піддаються редагуванню. Прорахунок таких моделей є більш прискореним, ніж у традиційних полігональних мережах.

4.4. Моделювання сплайна у 3ds max

Щоб краще зрозуміти, що таке сплайни, відкриємо меню Create і знайдемо іконку Shapes. У випадковому меню виберемо Spline (рис. 4.5).

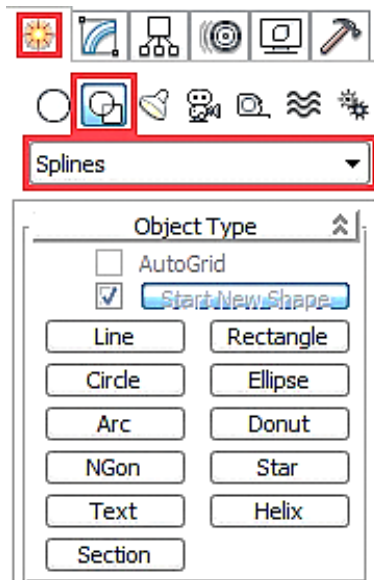


Рис. 4.5. Вкладка примітивів сплайнів

З цього меню починається будь-яка робота зі сплайнами (spline) у 3ds max. Вкладка Object Type містить 11 примітивів (рис. 4.6) сплайнів.

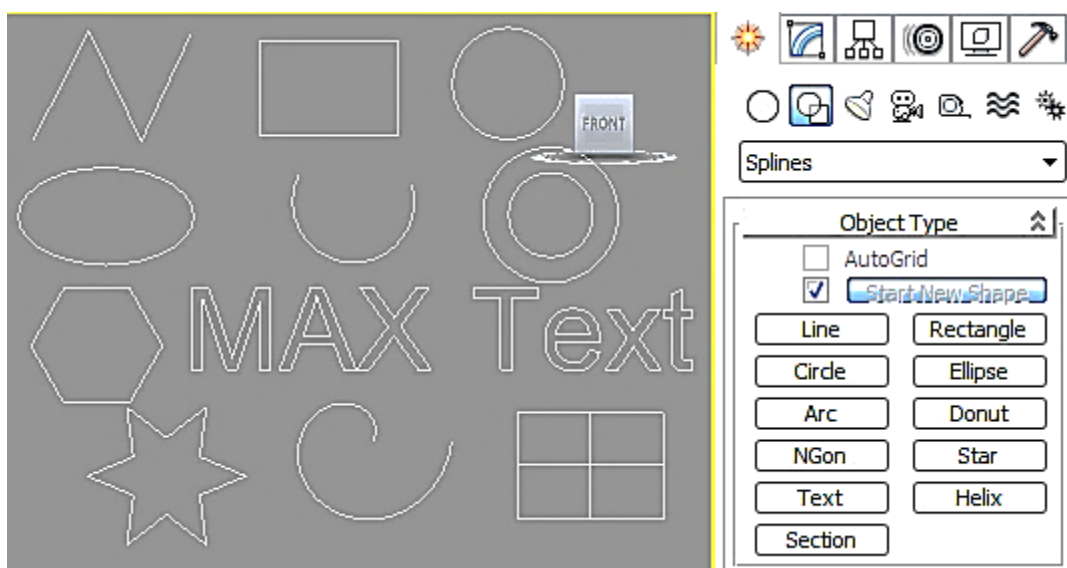


Рис. 4.6. Зовнішній вигляд примітивів сплайнів

Кожна з форм має ряд своїх налаштувань: наприклад, прямокутнику можна задати довжину сторін, зірці – кількість і глибину променів. Line є найгнучкішим інструментом, оскільки дозволяє побудувати абсолютно будь-який контур.

Виберемо примітив сплайна Create/Shapes/Line. Створимо з його допомогою довільну форму на проекції Top (рис. 4.7).

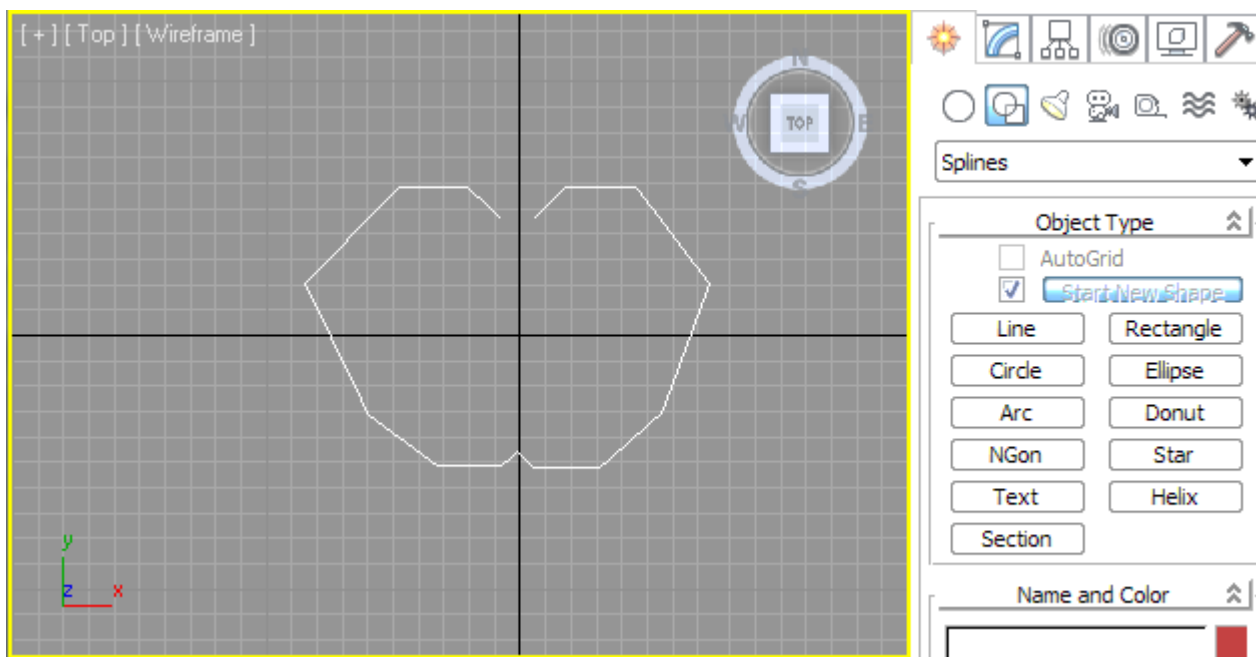


Рис. 4.7. Формування сплайна з окремих ліній

Після завершення малювання форми треба натиснути праву кнопку мишки.

Як і під час роботи з полігонами, робота зі сплайнами має декілька режимів редагування підоб'єктів. Їх можна побачити в свитку Selection або натиснувши на плюсики біля напису Line (рис. 4.8).

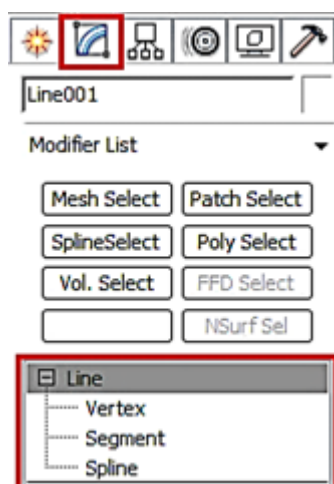


Рис. 4.8. Режими редагування підоб'єктів сплайна

З рисунка видно три режими редагування.

Перший – це Vertex, тобто редагування за точками, вершинами. Вертексами називають вузли, на скриншоті їх добре видно, червона точка – виділений (активний) вертекс (рис. 4.9).

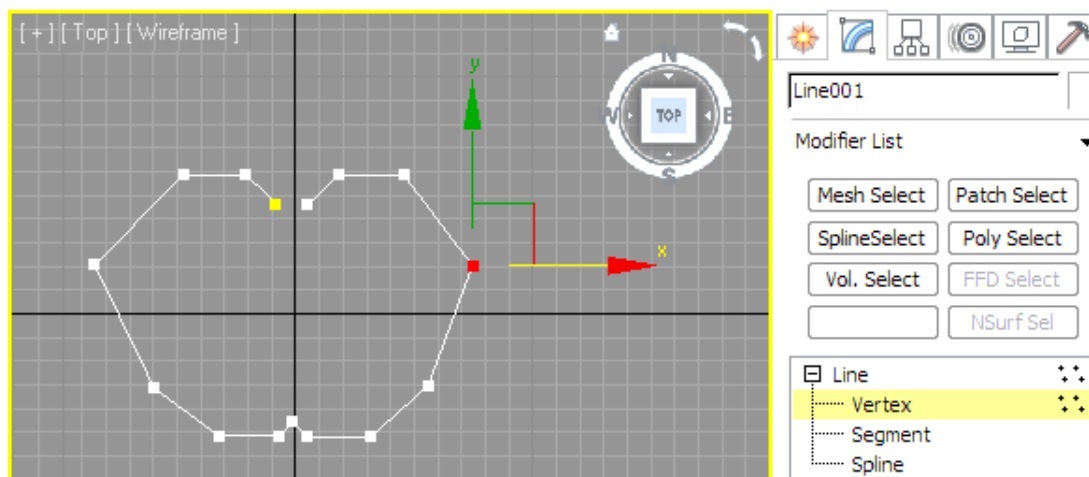


Рис. 4.9. Виділення і редагування точки сплайна

Другий – Segment – редагування у сегментах. Сегмент – відрізок, обмежений двома вертексами (рис. 4.10).

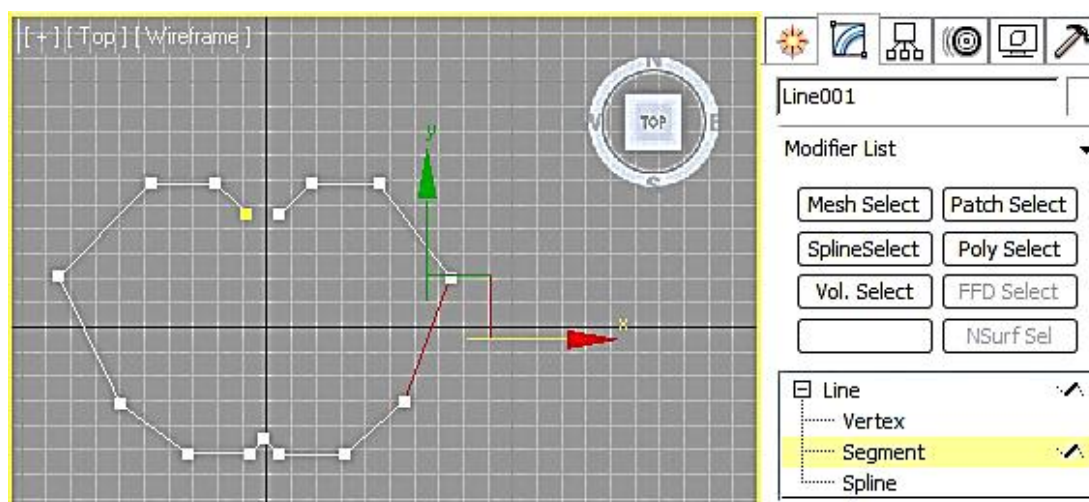


Рис. 4.10. Виділення сегмента

Третій – Spline – редагування по всьому сплайну. Сплайн виділяється повністю: від першої до останньої точки (рис. 4.11).

Виділимо точку і викличемо контекстне меню. У ньому є блок, у якому позначений тип виділеної точки (рис. 4.12).

Виділяють такі точки сплайнів:

Bezier Corner – кут із кривою. У процесі застосування виходить кут, який матиме два не залежних один від одного маніпулятори;

Bezier – криву із симетричними маркерами-маніпуляторами, що згинаються разом;

Corner – кут, ламану лінія;

Smooth – автоматичне згладжування, що не має маніпуляторів.

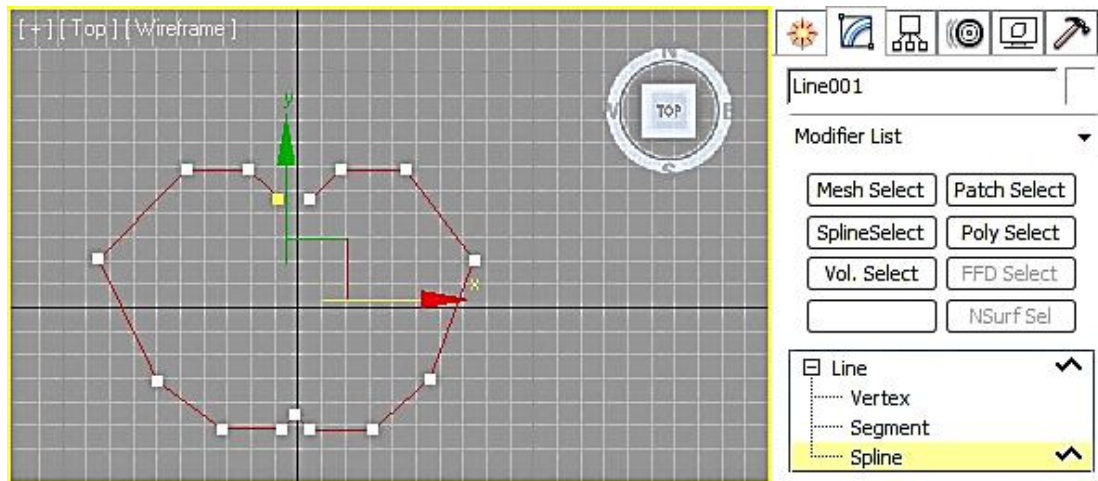


Рис. 4.11. Виділення всіх точок сплайна

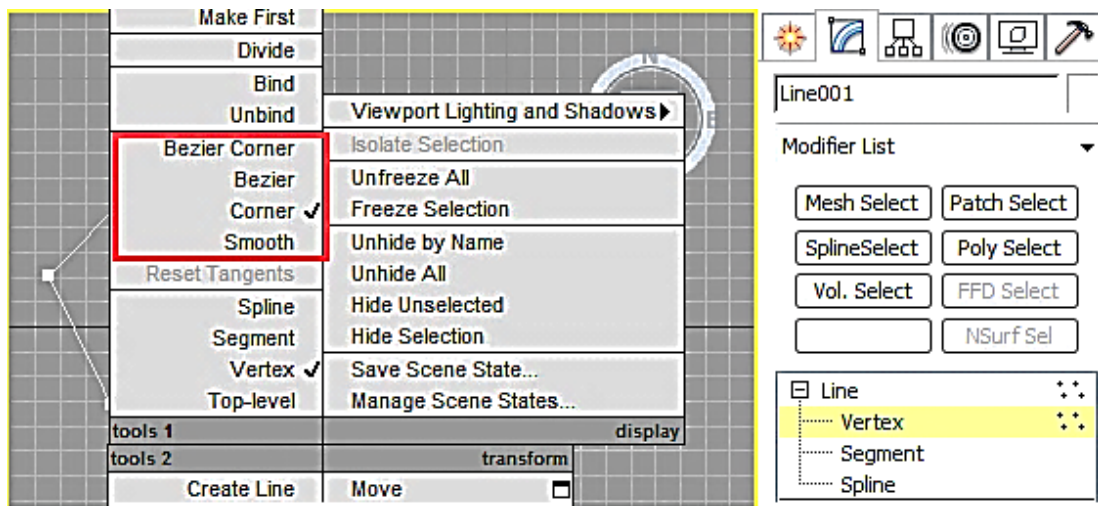


Рис. 4.12. Типи точок сплайнів

Виділимо всі точки і виберемо тип точки Smooth (рис. 4.13).

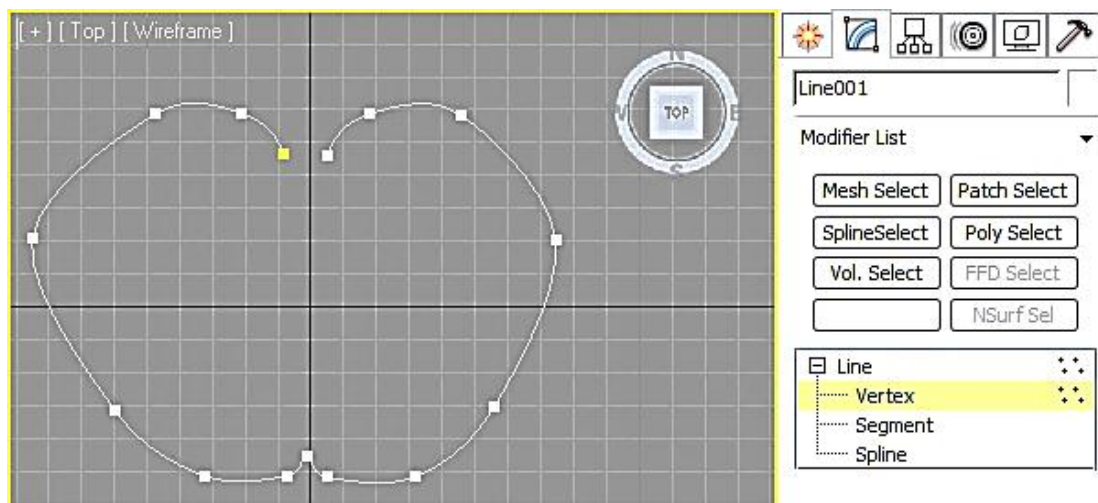


Рис. 4.13. Згладжування кривої сплайна

Незграбна форма кривої стала згладженою.

Далі можна виділити декілька точок і перемістити їх. Форма кривої помітно зміниться (рис. 4.14).

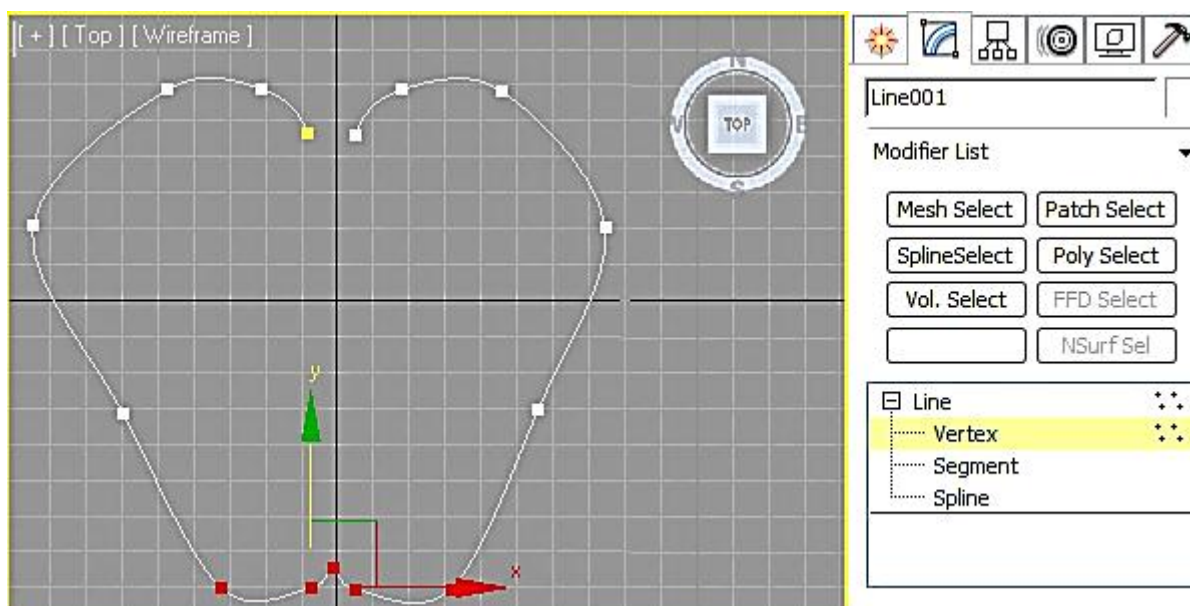


Рис. 4.14. Виділення декількох точок на сплайні

Для того щоб додати точку на сплайні, треба на вкладці Geometry натиснути кнопку Refine, а потім розмістити точки в потрібному місці на лінії сплайна (рис. 4.15).

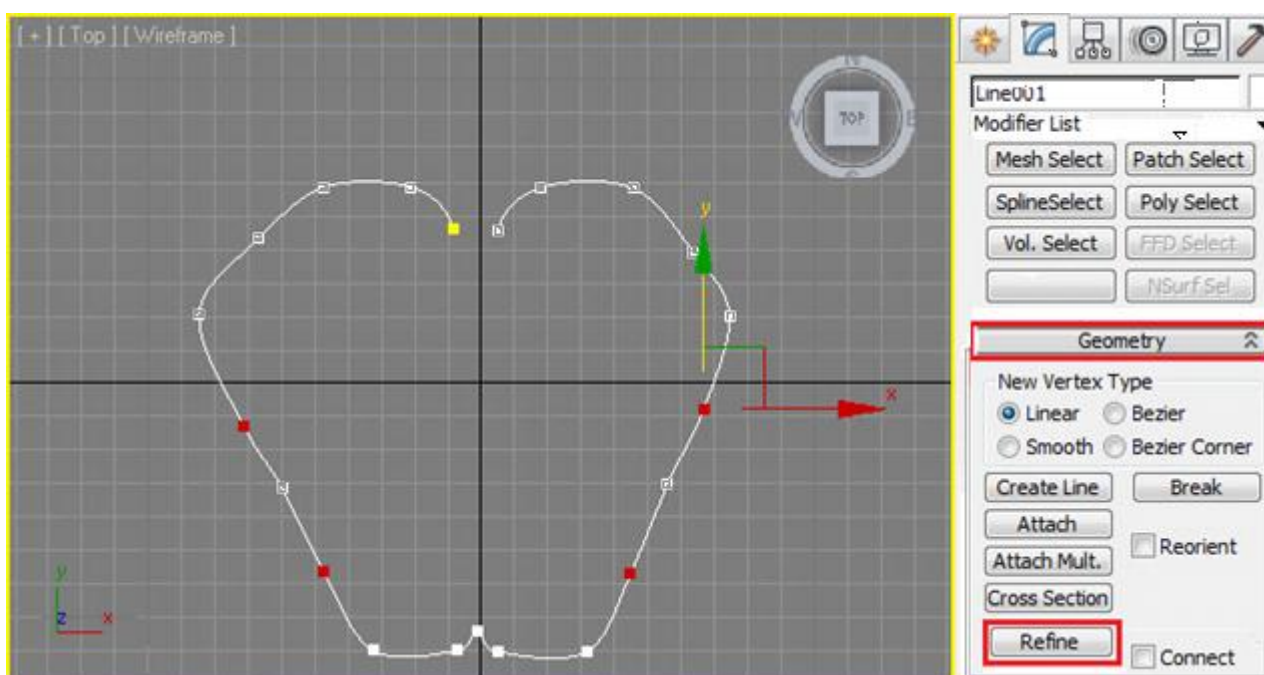


Рис. 4.15. Додавання точок на сплайні

Для видалення точки треба її виділити і натиснути Del на клавіатурі.

Для того щоб з'єднати дві точки на сплайні, треба виділити точки у вкладці Geometry, натиснути кнопку Fuse (об'єднати), а потім натиснути кнопку Weld (рис. 4.16).

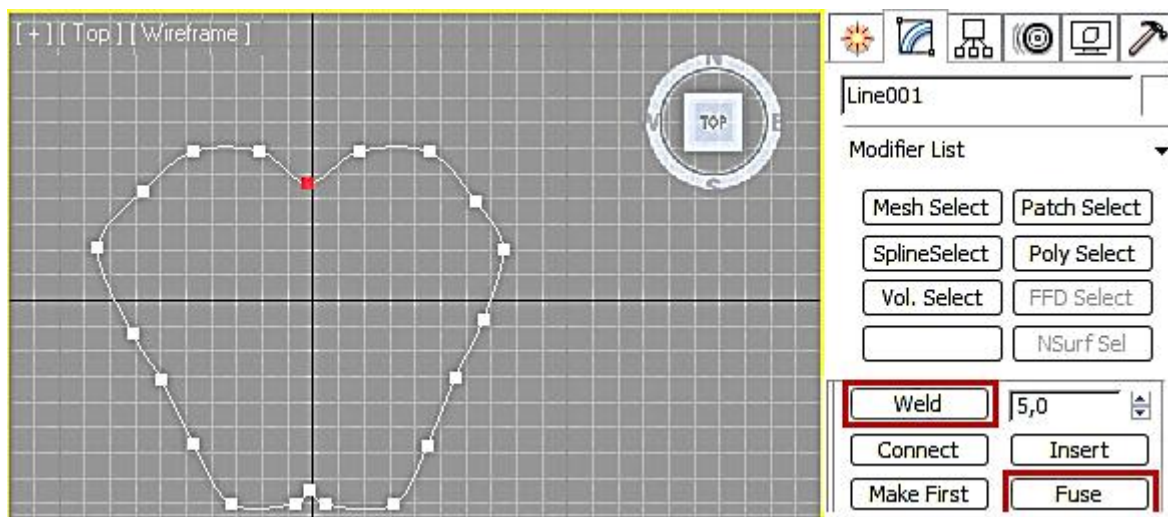


Рис. 4.16. З'єднання двох точок сплайна

У цьому місці можна поставити тип точки Corner Bezier.

Якість згладжування форми можна поліпшити, збільшивши кількість Steps (кроків) у свитку Interpolation (рис. 4.17).

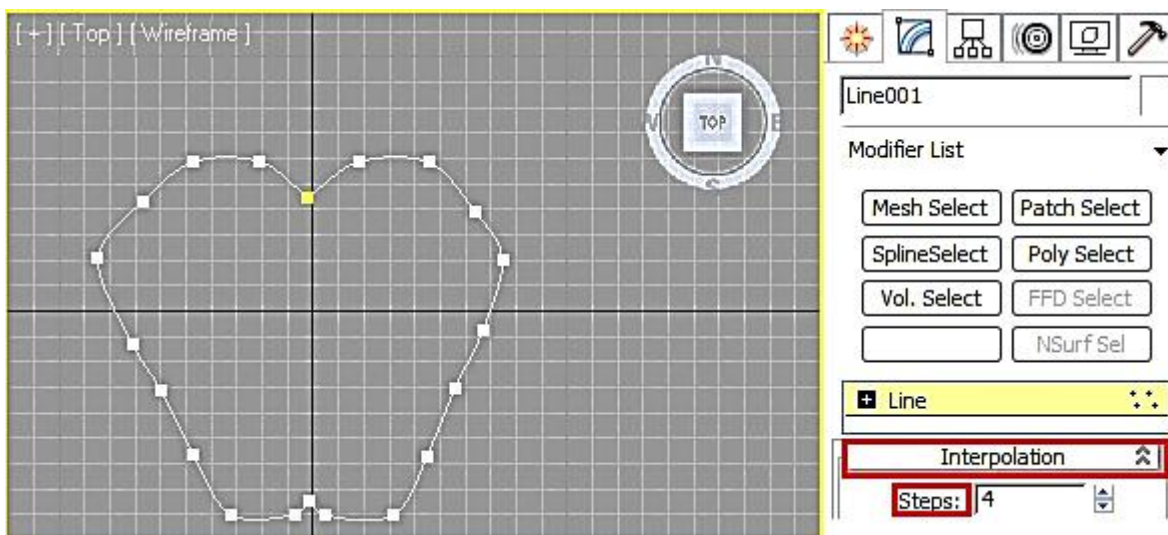


Рис. 4.17. Зміна параметра Steps для згладжування сплайна

Часто виникає потреба в об'єднанні сплайнів між собою. Для того щоб продемонструвати це, створимо листочок для яблука (рис. 4.18).

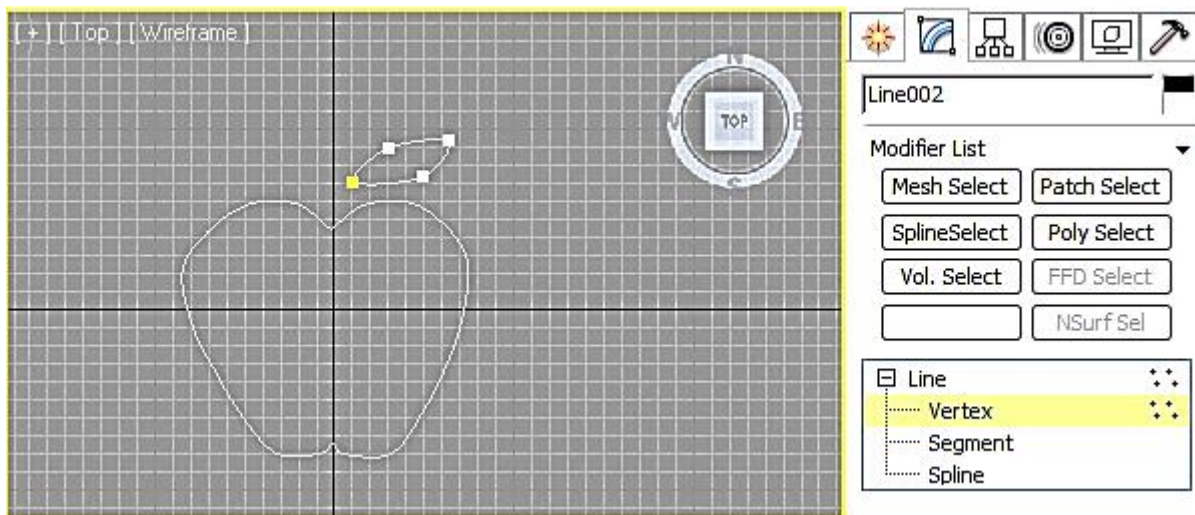


Рис. 4.18. Формування другого сплайна сцени

У момент змикання першої точки з останньою в процесі створення листочка на запитання "Close spline?" потрібно відповідати ствердно. Щоб з'єднати листок і яблуко, вибираємо одну з фігур, натискаємо кнопку Attach і вибираємо те, що хочемо приєднати. Після цього, у процесі переходу в режим підоб'єктів добре видно, що точки можна редагувати і на листку, і на самому яблуці (рис. 4.19).

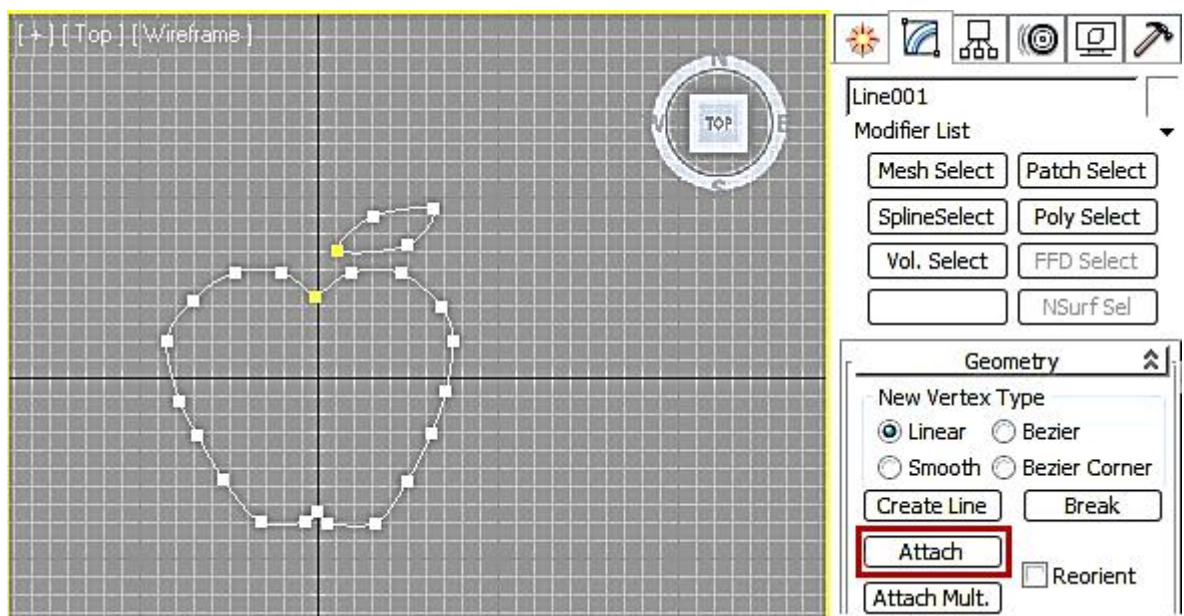


Рис. 4.19. Об'єднання двох сплайнів

Для завершення частково намальованого сплайна (рис. 4.20а) використовується кнопка Insert на вкладці Geometry (рис. 4.20б). Далі приєднаємо гілочку за допомогою кнопки Attach (рис. 4.20в).

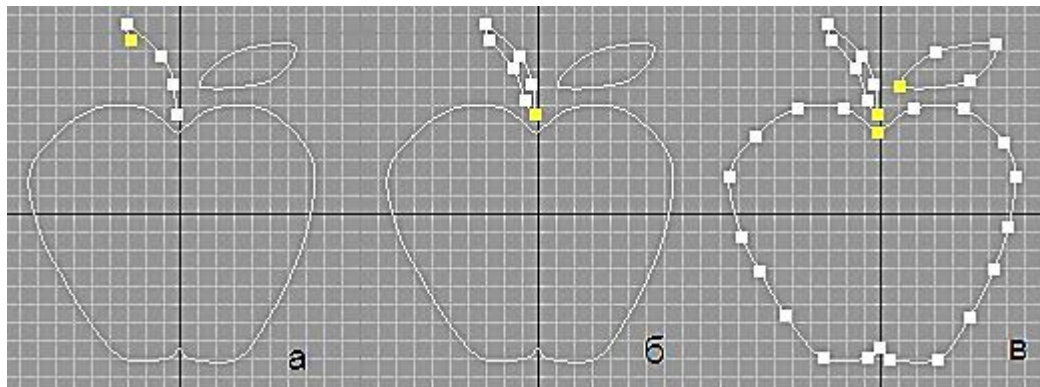


Рис. 4.20. **Завершення частково намальованого сплайна**

Для надання товщини лінії сплайна досить поставити два прапорці Enable in Renderer і Enable in Viewport у вкладці Rendering (рис. 4.21).

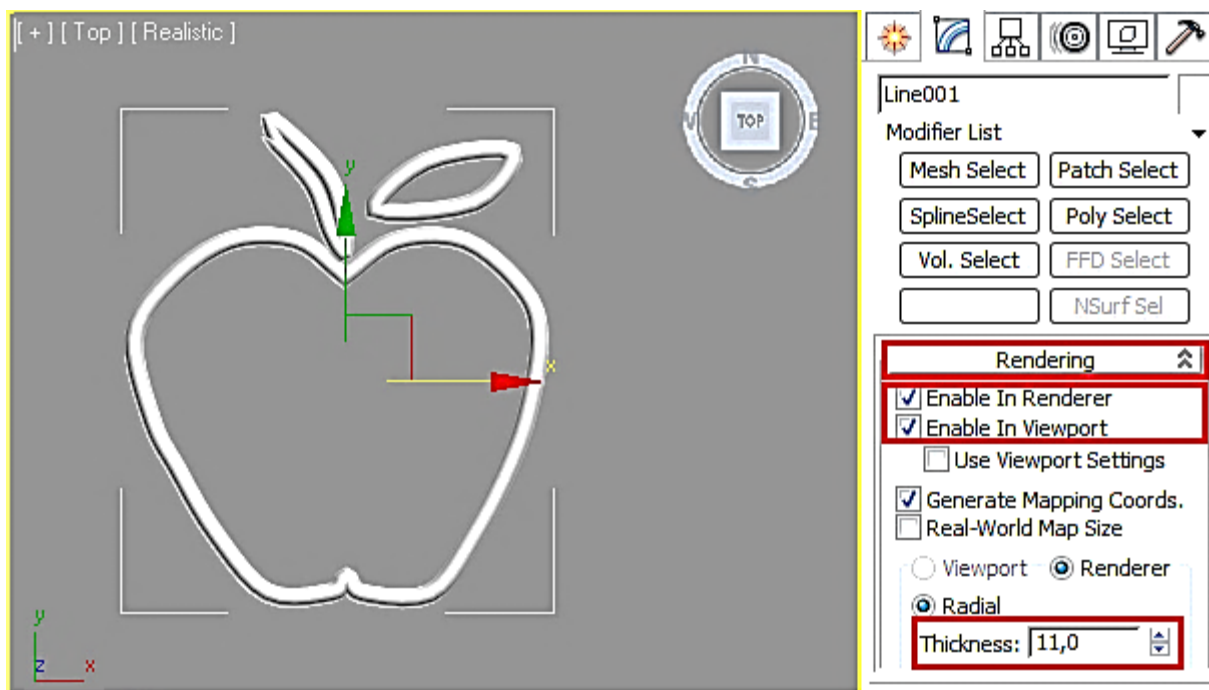


Рис. 4.21. **Надання товщини лінії сплайна**

4.5. Приклад моделювання штампа

Спочатку необхідно налаштувати одиниці вимірювання у сцені. Для цього заходимо в меню Customize > Units Setup (рис. 4.22).

У вікні, що з'явилося, виставляємо метричну систему вимірювання (Metric) і вибираємо одиницю вимірювання – міліметри (Millimeters).

Натискаємо "System Unit Setup" і у вікні, що відкрилося, виставляємо також міліметри і значення 1,0 (рис. 4.23).

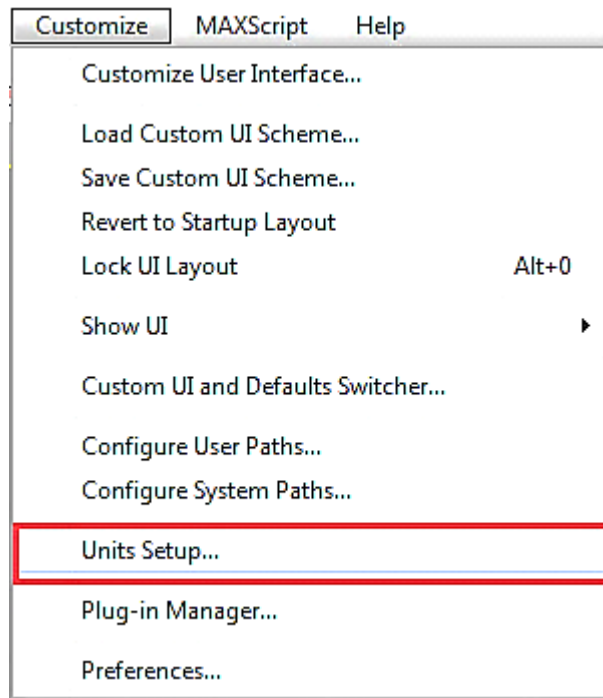


Рис. 4.22. Налаштування одиниці вимірювання у сцені

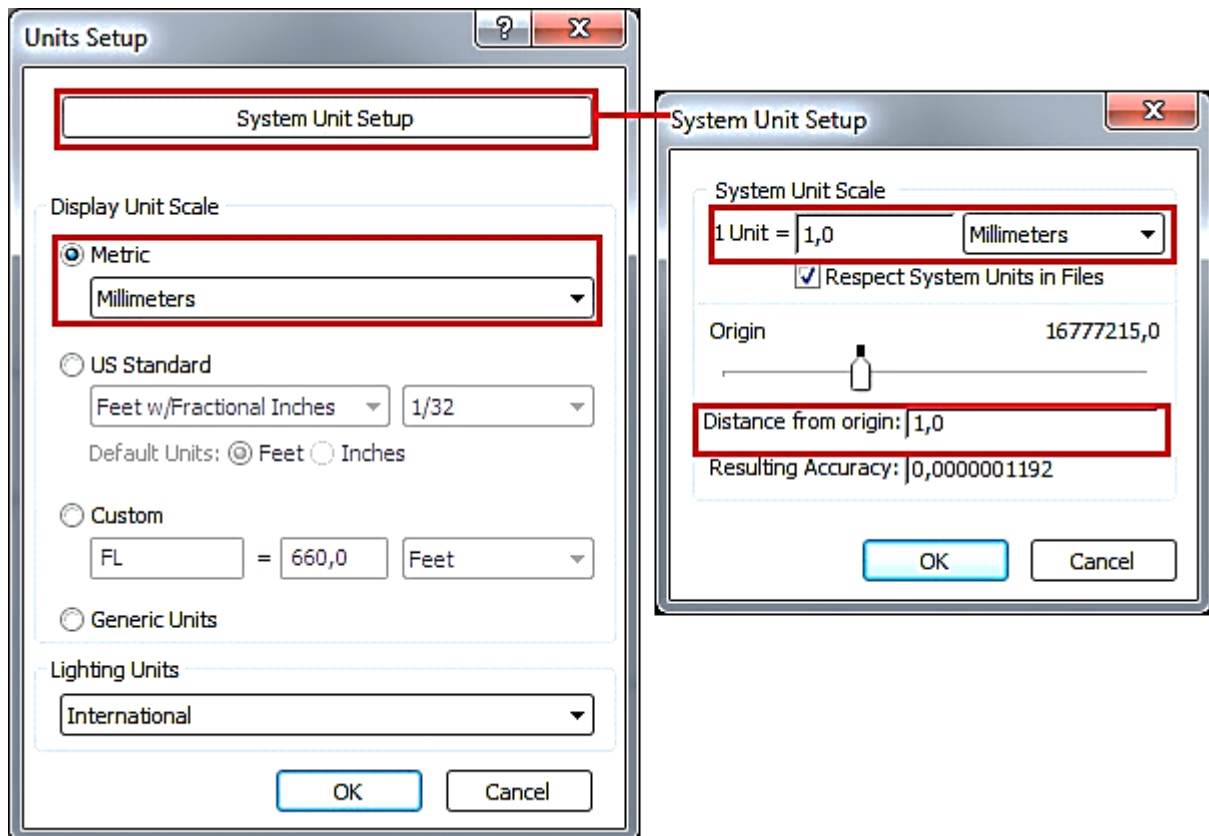


Рис. 4.23. Вибір одиниці вимірювання

Тепер сцена має натуральні звичні розміри.
Штамп повинен мати вигляд (рис. 4.24).



Рис. 4.24. Зовнішній вигляд штампа

Скористаємося малюнком штампа як підкладкою для подальшого обведення і витискання.

Створимо геометричний примітив Plane розміром 50×50 мм. Кількість сегментів по довжині (Length Segs) і ширині (Width Segs) встановимо 1 (рис. 4.25).

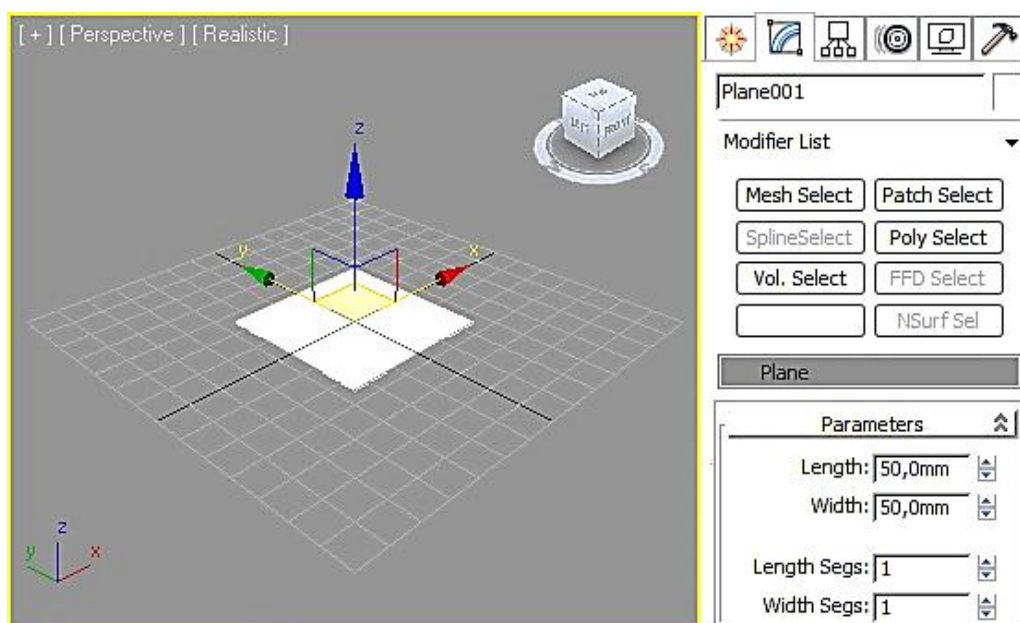


Рис. 4.25. Створення геометричного примітиву Plane

Виконаємо текстурування площини малюнком штампа шляхом перетягування файлу з картинкою у вікно перспективи. Далі скористаємося модифікатором UVW Map у вкладці Parameters, що з'явилася, знімемо галочку з пункту Real-World Map Size (рис. 4.26).

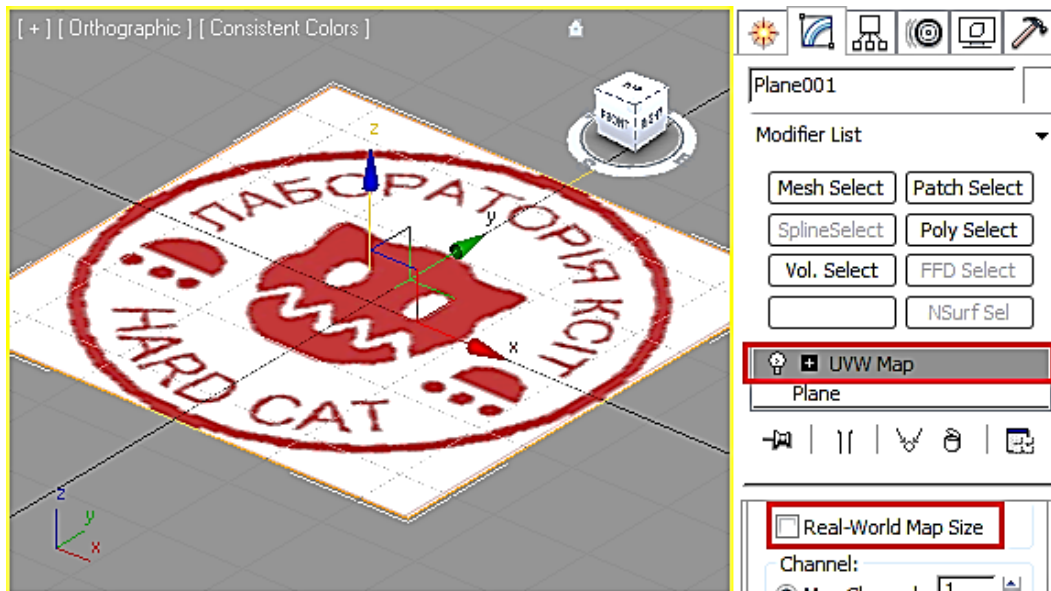


Рис. 4.26. Текстурування площини малюнком штампа

Для зручності й готовності підкладки відцентруємо площину ($x = 0$, $y = 0$, $z = 0$). Обведення підкладки найзручніше робити у вікні Top.

Для того щоб побачити малюнок штампа у вікні Top, треба встановити режим відображення в'ю порту Shaded (F3).

Використовуємо різні примітиви сплайнів для обведення малюнка штампа. У меню створення об'єктів вибираємо Shapes > Splines і вибираємо Line (Лінію), потім обводимо голову кота. Для обведення очей скористаємося примітивом сплайна еліпс. З'єднаємо всі чотири сплайни у один командою Attach і для більшої наочності використаємо клавішу (F3).

Для обведення лапок використовують примітиви сплайнів еліпс, дугу і лінію. Після цього об'єднуємо сплайн голови зі сплайнами лапок (рис. 4.27).

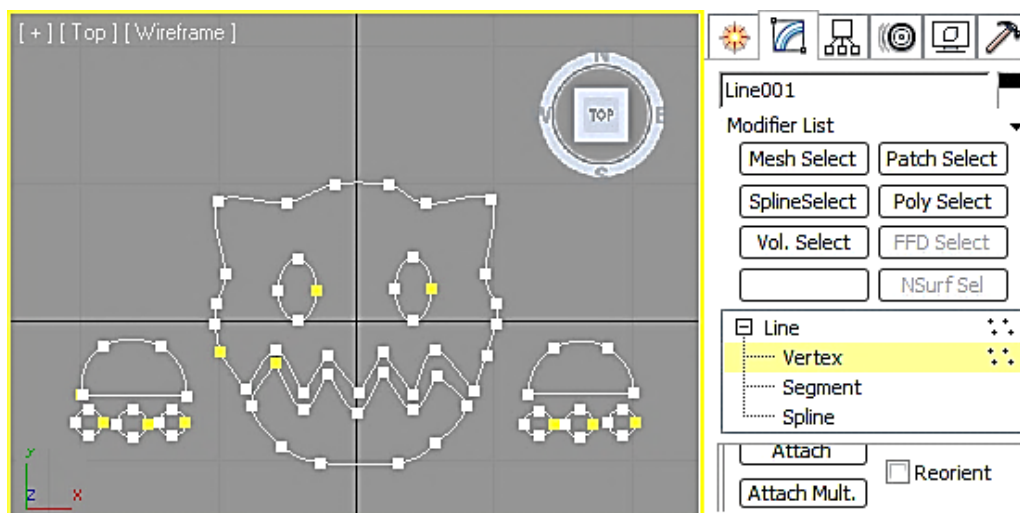


Рис. 4.27. Обведення ліній малюнка штампа

Тепер можна нанести текст. Вибираємо Text у списку примітивів сплайнів і ставимо його в центрі штампа. За замовчуванням з'явиться великий напис "Max Text". Щоб змінити текст, розмір, шрифт та інтервали, заходимо у вкладку "Редагування об'єкта" і змінюємо відповідні параметри.

Потім текст необхідно зігнути у формі кола. Для цього скористаємося модифікатором Bend (рис. 4.28). Залежно від напрямку вигину тексту параметр налаштування Angle модифікатора Bend буде з мінусом або плюсом. Далі приєднуємо текст до основного сплайна.

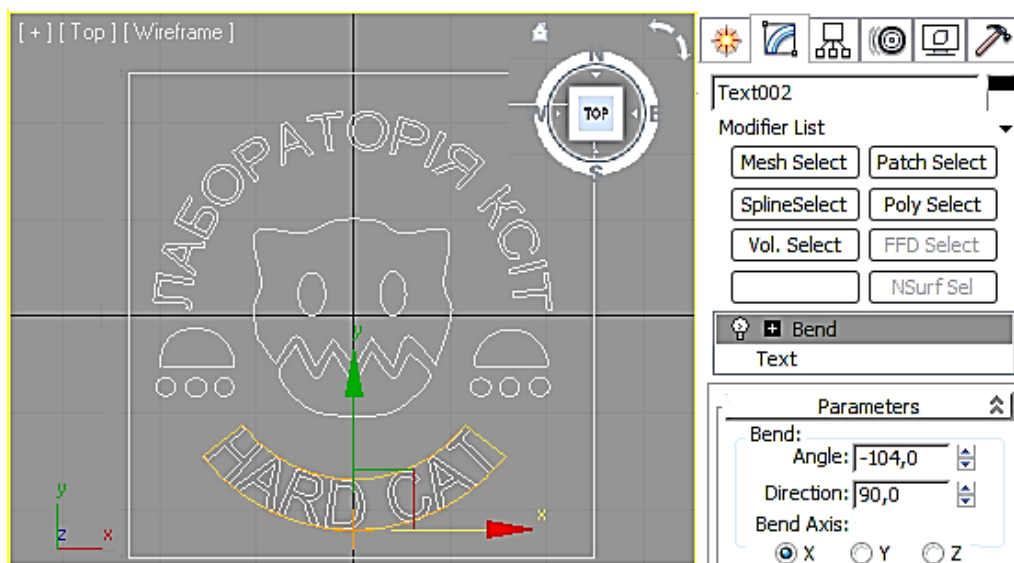


Рис. 4.28. Вигин напису на малюнку штампа

Сформуємо на малюнку штампа обідок з двох кіл і приєднаємо їх до основного сплайна (рис. 4.29).

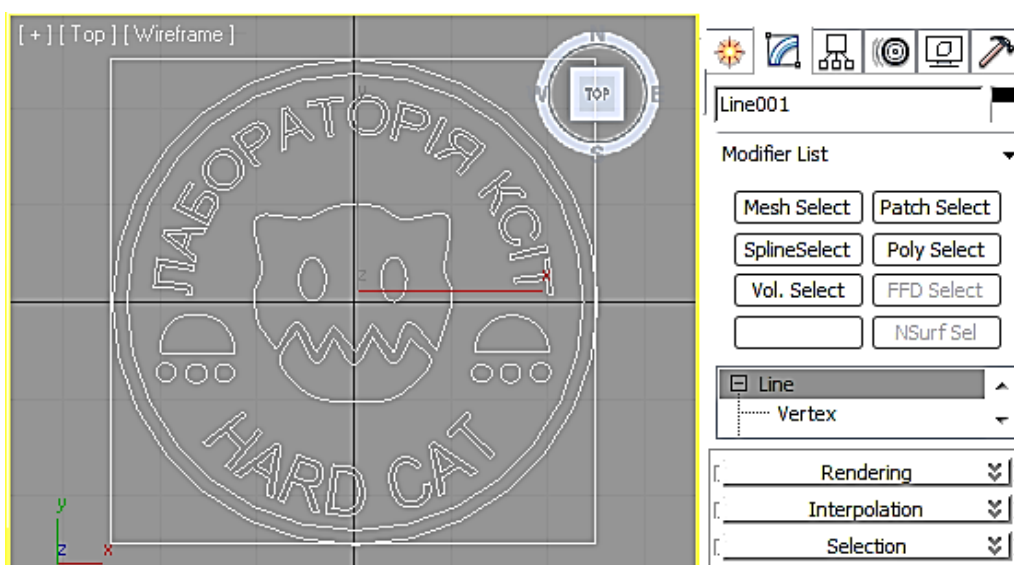


Рис. 4.29. Формування обідка штампа

Після того як всі сплайни об'єднані, застосуємо до малюнка штампа модифікатор Extrude, у налаштуваннях зазначаємо висоту витискання. Для друку можна взяти значення від 2 до 3 мм. Перевіряємо, щоб стояли галочки Cap Start і Cap End. Якщо все зроблено правильно, то побачимо, що малюнок штампа став об'ємним (рис. 4.30).



Рис. 4.30. Застосування до малюнка штампа модифікатора Extrude

Після створення малюнка штампа можна прибрати об'єкт Plane із малюнком через непотрібність.

Тепер змодельюємо руків'я. Інструментом Line у вікні проєкції Front або Left малюємо половинку руків'я. Починати малювати можна з будь-якої точки. Після завершення малювання половинки контура руків'я перетворимо червоні точки в Smooth, три точки, що залишилися, залишимо Bezier (рис. 4.31).

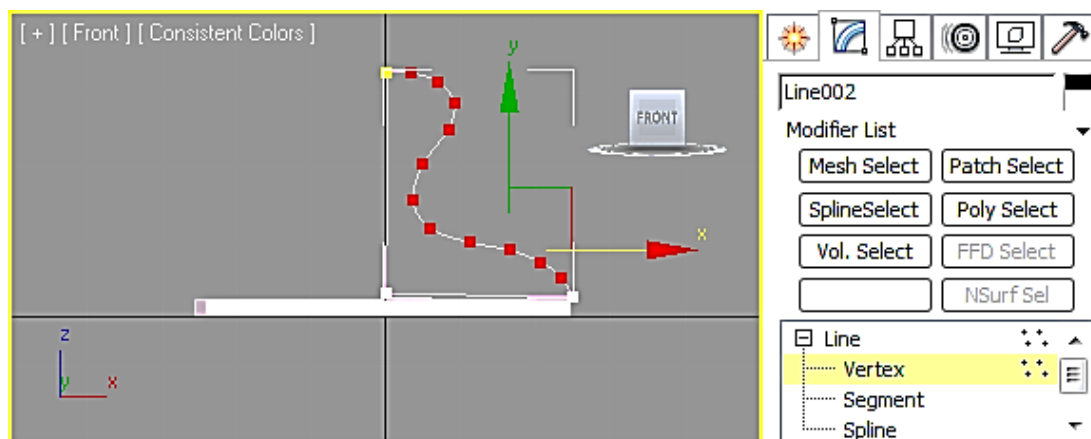


Рис. 4.31. Формування профілю руків'я штампа

Тепер до сплайна-половинки застосовуємо модифікатор Lathe. Для налаштування використовують елементи управління:

Segments – змінити кількість сегментів;

Direction – вибрати вісь, по якій відбуватиметься закручування;

Align – параметр вирівнювання.

Якщо все зроблено правильно, то побачимо, як зі сплайна вийшло тіло обертання (рис. 4.32).

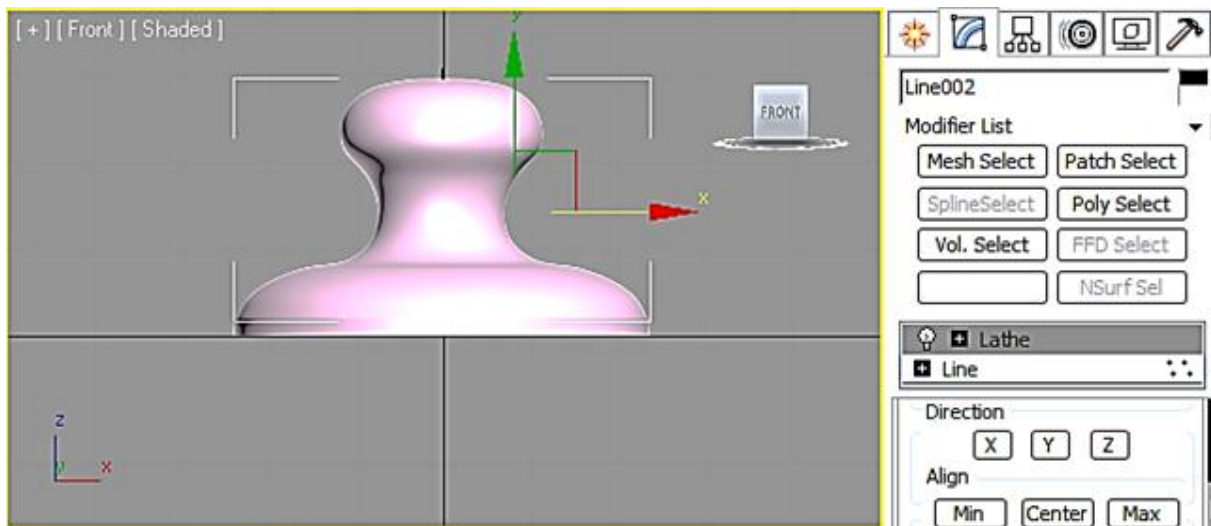


Рис. 4.32. Застосування модифікатора Lathe до профілю руків'я

Тепер необхідно об'єднати витиснутий малюнок штампа і руків'я. Для цього конвертуємо руків'я і малюнок штампа в Editable Poly і групуємо їх (рис. 4.33).

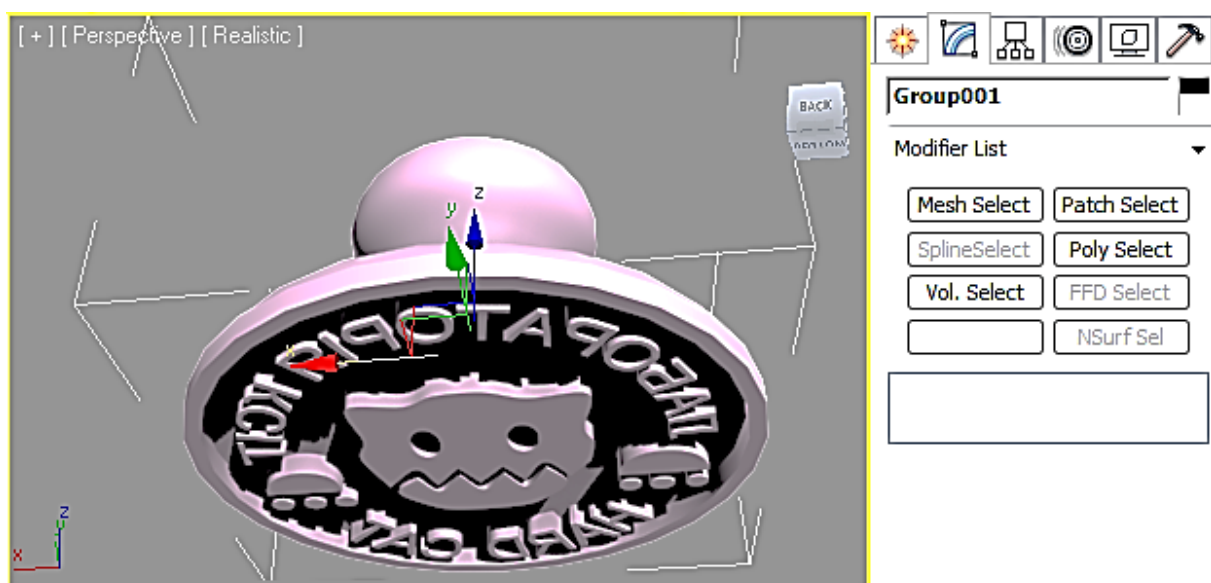


Рис. 4.33. Об'єднання малюнка штампа з руків'ям

Лінію сплайна можна зробити тривимірною без витискування. Для цього у налаштуваннях об'єкта потрібно поставити галочки в пунктах `Enable in Renderer` і `Enable in Viewport`. Потім задаємо профіль `Radial` (круглий) або `Rectangular` (прямокутний) і виставляємо необхідні розміри. Таким чином, обвівши різні фігури, можна виготовити форми.

Контрольні запитання

1. Сплайнова інтерполяція.
2. Види сплайнів.
3. Сплайнова функція.
4. Поліноміальна сплайн-інтерполяція.
5. Конструювання криволінійних поверхонь.
6. Сплайнові примітиви.
7. Додаткові сплайнові об'єкти.
8. Створення складних геометричних тривимірних об'єктів на основі сплайнових фігур.
9. Модифікатори сплайнів.
10. Створення тривимірних об'єктів на основі сплайнів.
11. Основні прийоми роботи з NURBS-кривими і поверхнями.
12. Режим `Sub-Object`.