



УКРАЇНА

(19) UA (11) 60552 (13) U  
(51) МПК (2011.01)  
G06T 15/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ СПЕКУЛЯРНОЇ СКЛАДОВОЇ КОЛЬОРУ

1

2

(21) u201013611

(22) 16.11.2010

(24) 25.06.2011

(46) 25.06.2011, Бюл.№ 12, 2011 р.

(72) РОМАНЮК ОЛЕКСАНДР НИКИФОРОВИЧ,  
ЛЯШЕНКО ЮРІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

(57) Пристрій для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору, який містить блок постійної пам'яті, п'ять блоків множення, причому вихід третього блока множення підключено до першого виходу пристрою, вихід четвертого блока множення підключено до другого виходу пристрою, вихід п'ятого блока множення підключено до третього виходу пристрою, керуючий вхід першого регістра підключено до першого керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до першого інформаційного входу пристрою, а вихід підключено до першого входу першого суматора, вихід другого регістра підключено до блока постійної пам'яті та до першого блока множення, керуючий вхід якого підключено до другого керуючого входу пристрою, а інформаційний вхід підключено до другого інформаційного входу пристрою, керуючий вхід третього регістра підключено до третього керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до третього інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із першим входом третього блока множення, керуючий вхід четвертого регістра підключено до четвертого керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до четвертого інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із першим входом

четвертого блока множення, керуючий вхід п'ятого регістра підключено до п'ятого керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до п'ятого інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із першим входом п'ятого блока множення, перший вхід першого суматора з'єднано із виходом першого регістра, кожний розряд другого входу під'єднано до рівня логічної одиниці, а вхід переносу заземлено, перший вхід першого блока множення з'єднано із виходом першого суматора, другий вхід - із виходом другого регістра, а вихід з'єднано із першим входом другого суматора, перший вхід другого суматора підключено до виходу першого блока множення, другий вхід заземлено, вхід переносу під'єднано до рівня логічної одиниці, а вихід під'єднано до обох входів другого блока множення, обидва входи другого блока множення підключено до виходу другого суматора, а вихід підключено до першого входу схеми порівняння та до першого входу блока ключів, перший і другий входи схеми порівняння з'єднано із виходом другого блока множення і виходом блока постійної пам'яті відповідно, а вихід з'єднано із другим входом блока ключів, до входів якого підключено вихід другого блока множення та вихід схеми порівняння, який **відрізняється** тим, що у нього введено другий блок пам'яті та шостий блок множення, вхід другого блока пам'яті з'єднано із виходом другого регістра, а вихід підключено до другого входу шостого блока множення, перший вхід блока множення підключено до виходу блока ключів, другий вхід - до виходу другого блока пам'яті, а вихід підключено до других входів третього, четвертого та п'ятого блоків множення.

Корисна модель належить до автоматики та обчислювальної техніки і призначена для формування в системах комп'ютерної графіки спекулярної (дзеркальної) складової кольору.

Відомий пристрій для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору, який містить перший і другий суматори, перший і четвертий блоки множення, зсувний регістр, лічильник, схему порівняння, мультиплексор. Зсувний регістр під-

ключено до інформаційного входу пристрою, а виходи підключено до входу першого суматора та до першого входу схеми порівняння, вхід першого суматора підключено до виходу зсувного регістра, в вихід з'єднано із другим входом схеми порівняння та із першим входом другого суматора, перший вхід другого суматора підключено до виходу першого суматора, другий вхід - до рівня логічної одиниці, а вихід підключено до обох входів першого

(19) UA (11) 60552 (13) U

блока множення, обидва входи першого блока множення підключено до виходу другого суматора, а вихід підключено до обох входів другого блока множення, обидва входи другого блока множення підключено до виходу першого блока множення, а вихід з'єднано із першим входом мультиплексора, перший вхід схеми порівняння з'єднано з зсувним регістром, другий вхід із виходом першого суматора, а вихід підключено до стробового входу мультиплексора, перший вхід мультиплексора підключено до вихода другого блока множення, другий вхід заземлено, стробовий вхід підключено до виходу схеми порівняння, а вихід підключено до виходу пристрою [патент № 5739820 США, МПК6 G06T 15/50, 1998, фіг. 7C, 7D].

Недолік пристрою полягає в низькій точності відтворення зони затухання відблиску через різке спадання функції та невідповідність розрахунків закону збереження енергії.

Найбільш близьким до технічного рішення, що заявляється, є пристрій для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору, який містить блок постійної пам'яті, перший блок множення, другий блок множення, третій блок множення, вихід якого підключено до першого виходу пристрою, четвертий блок множення, вихід якого підключено до другого виходу пристрою, п'ятий блок множення, вихід якого підключено до третього виходу пристрою, перший регістр, керуючий вхід якого підключено до першого керуючого входу пристрою, а інформаційний вхід підключено до першого інформаційного входу пристрою, другий регістр, вихід якого підключено до блока постійної пам'яті, керуючий вхід якого підключено до другого керуючого входу пристрою, а інформаційний вхід підключено до другого інформаційного входу пристрою, третій регістр, керуючий вхід якого підключено до третього керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до третього інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із першим входом третього блока множення, четвертий регістр, керуючий вхід якого підключено до четвертого керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до четвертого інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із першим входом четвертого блока множення, п'ятий регістр, керуючий вхід якого підключено до п'ятого керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до п'ятого інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із першим входом п'ятого блока множення, перший та другий суматори, схему порівняння та блок ключів, перший вхід першого суматора з'єднано із виходом першого регістра, кожний розряд другого входу під'єднано до рівня логічної одиниці, а вхід переносу заземлено, перший вхід першого блока множення з'єднано із виходом першого суматора, другий вхід - із виходом другого регістра, перший вхід другого суматора підключено до виходу першого блока множення, другий вхід заземлено, а вхід переносу під'єднано до рівня логічної одиниці, обидва входи другого блока множення підключено до виходу другого суматора, перший і другий входи схеми порівняння з'єднано із виходом другого блока множення і виходом блока постійної пам'яті відповідно, до входів

блока ключів підключено вихід другого блока множення та вихід схеми порівняння, а вихід підключено до других входів третього, четвертого а п'ятого блоків множення [патент на корисну модель №30041, опубл. 11.02.2008, Бюл. № 3].

Недоліками пристрою є низька реалістичність відтворення спекулярної складової кольору, оскільки при обчисленнях не дотримано закону збереження енергії.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення пристрою для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору, у якому за рахунок введення нових елементів і зв'язків, а також використання нової функціональної залежності досягається підвищення реалістичності визначення спекулярної складової кольору за рахунок дотримання закону збереження енергії.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для визначення спекулярної складової кольору, який містить блок постійної пам'яті, п'ять блоків множення, причому вихід третього блока множення підключено до першого виходу пристрою, вихід четвертого блока множення підключено до другого виходу пристрою, вихід п'ятого блока множення підключено до третього виходу пристрою, керуючий вхід першого регістра підключено до першого керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до першого інформаційного входу пристрою, а вихід підключено до першого входу першого суматора, вихід другого регістра підключено до блока постійної пам'яті та до першого блока множення, керуючий вхід якого підключено до другого керуючого входу пристрою, а інформаційний вхід підключено до другого інформаційного входу пристрою, керуючий вхід третього регістра підключено до третього керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до третього інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із першим входом третього блока множення, керуючий вхід четвертого регістра підключено до четвертого керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до четвертого інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із першим входом четвертого блока множення, керуючий вхід п'ятого регістра підключено до п'ятого керуючого входу пристрою, інформаційний вхід підключено до п'ятого інформаційного входу пристрою, а вихід з'єднано із першим входом п'ятого блока множення, перший вхід першого суматора з'єднано із виходом першого регістра, кожний розряд другого входу під'єднано до рівня логічної одиниці, а вхід переносу заземлено, перший вхід першого блока множення з'єднано із виходом першого суматора, другий вхід - із виходом другого регістра, а вихід з'єднано із першим входом другого суматора, перший вхід другого суматора підключено до виходу першого блока множення, другий вхід заземлено, вхід переносу під'єднано до рівня логічної одиниці, а вихід під'єднано до обох входів другого блока множення, обидва входи другого блока множення підключено до виходу другого суматора, а вихід підключено до першого входу схеми порівняння та до першого входу блока ключів, перший і другий входи схеми порівняння з'єднано із виходом другого блока множення і ви-

ходом блока постійної пам'яті відповідно, а вихід з'єднано із другим входом блока ключів, до входів якого підключено вихід другого блока множення та вихід схеми порівняння, введено другий блок пам'яті та шостий блок множення, вхід другого блока пам'яті з'єднано із виходом другого регістра, а вихід підключено до другого входу шостого блока множення, перший вхід блока множення підключено до виходу блока ключів, другий вхід - до виходу другого блока пам'яті, а вихід підключено до других входів третього, четвертого та п'ятого блоків множення.

На фіг. 1 зображено схему пристрою.

На фіг. 2 зображено хід променів для моделі освітлення Бліна.

На фіг. 3 зображено графіки інтеграла по поверхні для дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні (ДФВЗ) згідно з моделлю Бліна та для апроксимаційної функції з нормалізаційним коефіцієнтом, що пропонується.

На фіг. 4 зображено графік інтеграла по поверхні для ДФВЗ, яка використовується у пристрої прототипі, та показано, що його значення перевищують 1.

На фіг. 5 зображено параметри ДФВЗ.

Пристрій для визначення інтенсивності спекулярної складової кольору містить перший 9 і другий 33 блоки постійної пам'яті, відповідно перший-п'ятий 1÷5 регістри, перший суматор 6, другий суматор 8, відповідно перший-шостий 7, 10, 13÷15, 34 блоки множення, схему порівняння 11 і блок 12 ключів, перший 32, другий 17, третій 19, четвертий 21, п'ятий 23 інформаційні входи пристрою, перший 16, другий 18, третій 20, четвертий 22, п'ятий 24 керуючі входи пристрою, відповідно перший-третій 25÷27 інформаційні виходи пристрою.

Вихід третього блока 13 множення підключено до першого виходу 25 пристрою, вихід четвертого блока 14 множення підключено до другого виходу 26 пристрою, вихід п'ятого блока 15 множення підключено до третього виходу 27 пристрою. Вихід другого регістра 2 підключено до блока 9 постійної пам'яті, керуючий вхід другого регістра 2 підключено до другого керуючого входу пристрою 18, а інформаційний вхід підключено до другого інформаційного входу пристрою 17. Керуючий вхід першого регістра 1 підключено до першого керуючого входу пристрою 16, а інформаційний вхід підключено до першого інформаційного входу пристрою 32. Керуючий вхід третього регістра 3 підключено до третього керуючого входу пристрою 20, інформаційний вхід підключено до третього інформаційного входу пристрою 19, а вихід з'єднано із першим входом третього блока 13 множення. Керуючий вхід четвертого регістра 4 підключено до четвертого керуючого входу пристрою 22, інформаційний вхід підключено до четвертого інформаційного входу пристрою 21, а вихід з'єднано із першим входом четвертого блока множення 14. Керуючий вхід п'ятого регістра 5 підключено до п'ятого керуючого входу пристрою 24, інформаційний вхід підключено до п'ятого інформаційного входу пристрою 23, а вихід з'єднано із першим входом п'ятого блока 15 множення. Перший вхід

першого суматора 6 з'єднано із виходом першого регістра 1, на кожний розряд другого входу подано "1", а вхід переносу заземлено. Перший вхід першого блока 7 множення з'єднано із виходом першого суматора 6, другий вхід - із виходом другого регістра 2. Перший вхід другого суматора 8 підключено до виходу першого блока 7 множення, а другий вхід заземлено, на вхід переносу подано "1". Обидва входи другого блока 10 множення підключено до виходу другого суматора 8, перший і другий входи схеми порівняння 11 з'єднано із виходом другого блока 10 множення і виходом блока 9 постійної пам'яті відповідно. До входів блока 12 ключів підключено вихід другого блока 10 множення та вихід схеми порівняння 11, а вихід підключено до першого входу шостого блока 34 множення. Вхід другого блока 33 пам'яті підключено до виходу другого регістра, а вихід підключено до другого входу шостого блока 34 множення, вихід якого підключено до других входів третього 13, четвертого 14 та п'ятого 15 блоків множення відповідно (див. фіг. 1).

Для зафарбовування об'єктів у пристрої використовується модель освітлення Бліна, згідно з якою інтенсивність спекулярної складової кольору розраховується по формулі:

$$I = I_0 K_s \cos^n \gamma \quad (1)$$

де  $I_0$  - інтенсивність джерела світла,  $K_s$  - коефіцієнт дзеркального відбиття,  $n$  - коефіцієнт спекулярності поверхні, який знаходиться в діапазоні 1-1000,  $\gamma$  - кут між вектором нормалі  $\vec{N}$  до поверхні в заданій точці і вектором півшляху  $\vec{H}$ ,  $\cos^n \gamma$  - дистрибутивна функція відбивної здатності поверхні (BRDF). Вектор  $\vec{H}$  розраховується за формулою (2).

$$\vec{H} = \frac{\vec{L} + \vec{V}}{|\vec{L} + \vec{V}|} \quad (2)$$

Вектори  $\vec{L}$  та  $\vec{V}$  - одиничні вектори, що визначають відповідно місце розташування джерела світла та спостерігача (див. фіг. 1). Як видно з формули (1), вектор  $\vec{H}$  знаходиться шляхом додавання векторів  $\vec{L}$  та  $\vec{V}$  та нормалізації отриманого вектора (див. фіг. 2).

У пристрої прототипі використовується така апроксимація дистрибутивної функції:

$$\cos^n \gamma \approx \left( \frac{n}{2} (\cos \gamma - 1) + 1 \right)^2 \quad (3)$$

На фіг. 4 зображено графік відповідного інтеграла, який показує, що для апроксимаційної моделі (3) не виконується закон збереження енергії. Якщо розкрити дужки у формулі (3), то отримуємо такий вираз

$$f(\theta) = a \cos^2(\theta) + b \cos(\theta) + c \quad (4)$$

де  $a, b, c$  - коефіцієнти, формули для визначення яких такі:

$$a = \frac{n^2}{4}, b = \frac{4n - 2n^2}{4}, c = \frac{n^2 - 4n + 4}{4} \quad (5)$$

Закон збереження енергії стосовно ДФВЗ передбачає, що кількість світла, яке відбилось від поверхні, не може перевищувати кількість світла, яке потрапило на поверхню. У сферичних координатах умова справедливості закону збереження енергії запишеться так:

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} BRDF(S' \cdot V) \cos \theta \sin \theta d\theta d\varphi \leq 1,$$

де

-  $\theta_i$  - зенітний (полярний) кут вхідного променя;

-  $\theta_r$  - зенітний (полярний) кут відбитого променя;

-  $\varphi_i$  - азимутальний кут вхідного променя;

-  $\varphi_r$  - азимутальний кут відбитого променя;

$$dw_i = \sin \theta_i d\theta_i d\varphi_i;$$

$$dw_r = \sin \theta_r d\theta_r d\varphi_r;$$

-  $S$  - напрямок на джерело світла;

-  $V$  - напрямок на спостерігача.

Перераховані кути зображено на фіг. 5.

Знайдемо в загальному випадку значення цього інтеграла для функції (4):

$$\begin{aligned} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} f(\theta) \cos \theta \sin \theta d\theta d\varphi &= \varphi_0^{2\pi} \times \int_0^{\pi} (a \cos^2(\theta) + b \cos(\theta) + c) \cos(\theta) \sin \theta d\theta = \\ &= 2\pi \times \int_0^{\pi} (a \cos^3(\theta) + b \cos^2(\theta) + c \cos(\theta)) \sin \theta d\theta = 2\pi \times \\ &\times \left[ \int_0^{\pi} a \cos^3(\theta) \sin \theta d\theta + \int_0^{\pi} b \cos^2(\theta) \sin \theta d\theta + \int_0^{\pi} c \cos(\theta) \sin \theta d\theta \right] = 2\pi \times \\ &\times \left[ a \int_{\pi/2}^0 \cos^3(\theta) d(\cos(\theta)) + b \int_{\pi/2}^0 \cos^2(\theta) d(\cos(\theta)) + c \int_{\pi/2}^0 \cos(\theta) d(\cos(\theta)) \right] = \\ &= 2\pi \left[ a \left. \frac{\cos^4(\theta)}{4} \right|_{\pi/2}^0 + b \left. \frac{\cos^3(\theta)}{3} \right|_{\pi/2}^0 + c \left. \frac{\cos^2(\theta)}{2} \right|_{\pi/2}^0 \right] = 2\pi \left[ \frac{a}{4} + \frac{b}{3} + \frac{c}{2} \right] = 2\pi \frac{3a + 4b + 6c}{12} \\ &= \frac{\pi(3a + 4b + 6c)}{6} \end{aligned}$$

Таким чином, нормалізаційний коефіцієнт для косинус-квадратичної апроксимаційної функції у загальному вигляді такий:

$$\frac{6}{\pi(3a + 4b + 6c)}.$$

Підставивши в отриману формулу значення для  $a, b, c$ , знаходимо, що нормалізаційний коефіцієнт матиме такий вигляд:

$$\frac{24}{\pi(n^2 - 8n + 24)}.$$

Зауважимо, що цей коефіцієнт завжди додатний.

Пристрій працює наступним чином.

У другий регістр 2 записується значення коефіцієнта  $n$  спекулярності поверхні. Для цього його значення подається на другий інформаційний вхід 17 пристрою, а на другий керуючий вхід 18 - рівень логічної одиниці. У перший регістр 1 записується значення косинуса кута між вектором нормалі та вектором  $\vec{N}$ ,  $\cos \gamma = \vec{N} \cdot \vec{N}$ . Значення  $\cos \gamma$  подається на перший інформаційний вхід пристрою 32. Запис здійснюється шляхом подавання рівня логічної одиниці на перший керуючий вхід пристрою 16. У третій регістр 3, четвертий регістр 4 та п'ятий регістр 5 від зовнішнього пристрою записується відповідно значення інтенсивності R, G, B складових кольору, помножених на коефіцієнт  $k_s$  дзеркального відбиття поверхні. Для цього, згідно з формулою (1), на третій 19, четвертий 21 і п'ятий

23 інформаційні входи подаються відповідно значення інтенсивності R-складової, G-складової та B-складової, помножених на коефіцієнт дзеркального відбиття поверхні, а на відповідні третій 20, четвертий 22 та п'ятий 24 керуючі входи подається рівень логічної одиниці. Значення коефіцієнта спекулярності  $n$  із другого регістра 2 надходить на вхід блока 9 постійної пам'яті, де зберігаються відповідні граничні значення ДФВЗ (дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні), після яких отримані значення слід обнуляти. Граничне значення ДФВЗ з виходу блока 9 постійної пам'яті надходить на перший вхід схеми порівняння 11, на другий вхід якої надходить операнд -

$$\left( \frac{n}{2} (\cos \gamma - 1) + 1 \right)^2.$$

Він формується таким чином.

Значення  $\cos \gamma$  з першого регістра 1 подається на перший вхід першого суматора 6, на кожний розряд другого входу якого подається код одиниці, що забезпечує віднімання від операнда значення 1. Дійсно, прямий код 1-000...01, зворотний код 1-111...10. Зрозуміло, що в молодшому розряді зворотного коду 1 завжди присутній "0". Щоб отримати доповняльний код 1 потрібно до молодшого розряду додати 1, тобто доповняльний код 1 дорівнює 111...11. Вхід переносу першого суматора 6 заземлено, що забезпечує формування на його виході значення  $\cos \delta - 1$ , яке надходить на перший вхід першого блока 7 множення. На другий вхід першого блока 7 множення подається значення з другого регістра 2. Кожний  $(i+1)$ -ий розряд

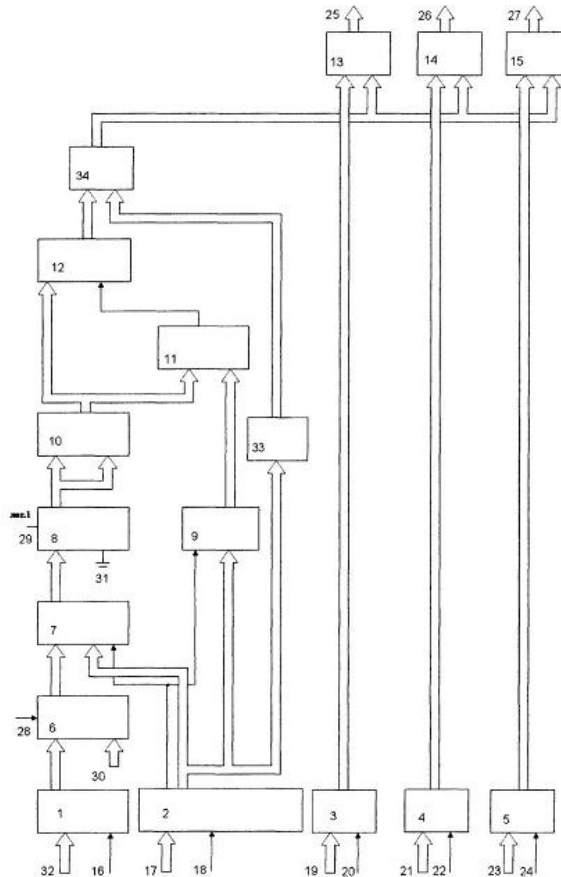
виходу другого регістра 2 підключено до і-го розряду входу першого блока 7 множення, таким чином на виході першого блока 7 множення формується результат  $\frac{n}{2}(\cos\gamma - 1)$ , який подається на перший вхід другого суматора 8. Другий вхід другого суматора 8 заземлено, а на вхід переносу 28 подано рівень логічної одиниці, тому на виході другого суматора 8 формується значення  $\frac{n}{2}(\cos\gamma - 1) + 1$ , яке подається на обидва входи другого блока 10 множення, на виході якого отримують  $-\left(\frac{n}{2}(\cos\gamma - 1) + 1\right)^2$ , яке подається на схему порівняння 11 і на блок 12 ключів. Коли отримане значення менше за граничне, то на виході блока 12 ключів формується нульове значення, інакше - значення  $\left(\frac{n}{2}(\cos\gamma - 1) + 1\right)^2$ . Значення  $\left(\frac{n}{2}(\cos\gamma - 1) + 1\right)^2$  з блока 12 ключів подається на перший вхід блока 34. Для кожного  $n$  у блоці постійної пам'яті 33 зберігається нормалізаційний коефіцієнт, який введено для забезпечення виконання закону збереження енергії. Значення  $n$  із

виходу другого регістра 2 подається на другий блок 33 пам'яті, на виході якого формується коефіцієнт  $\frac{24}{\pi(n^2 - 8n + 24)}$ , який подається на другий

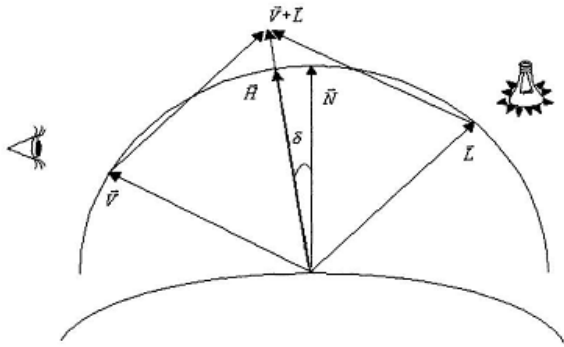
вхід шостого блока множення 34, значення з виходу якого подається на перші входи третього 13, четвертого 14 та п'ятого 15 блоків множення. На другі входи третього 13, четвертого 14 та п'ятого 15 блоків множення із виходів третього 3, четвертого 4 та п'ятого 5 регістрів відповідно подається значення інтенсивності R, G, B складових кольору, помножених на коефіцієнт  $k_s$  дзеркального відбиття поверхні. На першому 25, другому 26 та третьому 27 інформаційних виходах пристрою формуються R, G, B складові інтенсивності кольору, які знайдено по формулі (1).

Недоліком пристрою-прототипу є низька реалістичність спекулярної складової кольору, оскільки обчислене значення не відповідає закону збереження енергії (див. фіг. 4).

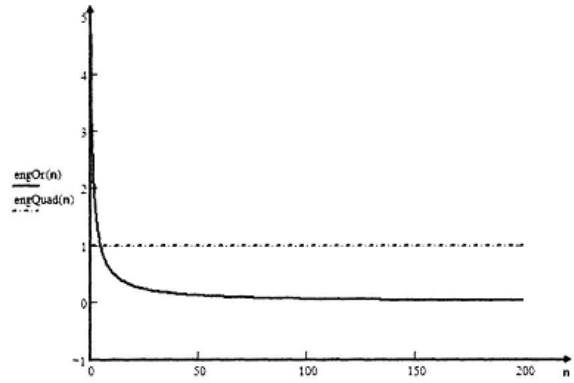
У запропонованому пристрої введено нормалізаційні коефіцієнти для кожного значення  $n$ . Таким чином підвищено реалістичність відтворення спекулярної складової кольору, оскільки обчислене значення відповідає закону збереження енергії (фіг. 3).



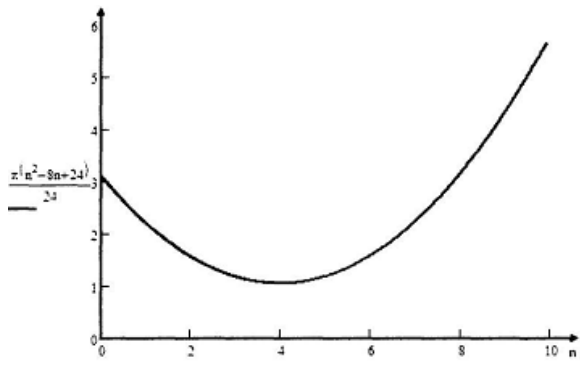
Фіг. 1



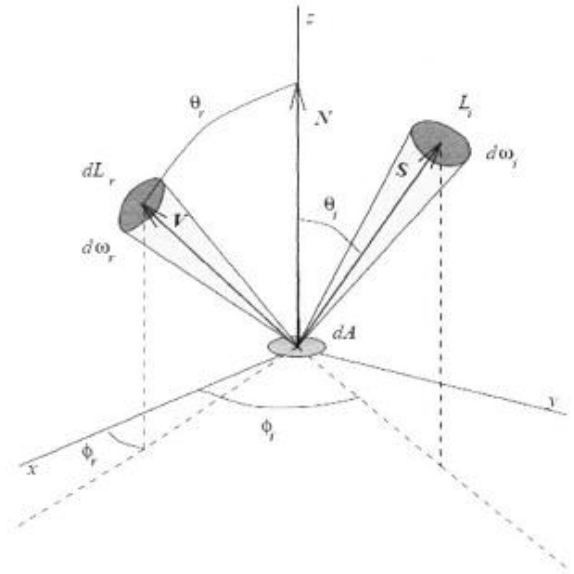
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5