

Розробка методів зафарбовування та моделей відбивних здатностей поверхонь для створення реалістичної комп'ютерної графіки

## Частина 1. Розробка відбивних здатностей поверхонь і засобів для їх реалізації



Виконав:  
Величко П.О.

Науковий керівник:  
д.т.н., проф. Кветний Р.Н.

# Методи та засоби підвищення реалістичності відтворення кольорів у засобах комп'ютерної графіки

**Мета роботи** - підвищення продуктивності зафарбовування за рахунок розробки та використання нових моделей відбивної здатності поверхні.

**Об'єкт дослідження** - процес формування дифузної та спекулярної складових кольору в системах комп'ютерної графіки

**Предмет дослідження** - методи зафарбовування з використанням моделей освітлення на основі дистрибутивних функцій відбивної здатності поверхні.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **задачі**:

- Проаналізувати існуючі моделі освітлення та методи зафарбування у комп'ютерній графіці.
- Розробити моделі освітлення на основі двопроменевої функції відбивної здатності поверхні.
- Інтегрувати розроблені моделі в професійний графічний конвейєр.
- Розробка програмно-апаратних засобів для реалізації дистрибутивних функцій у складі професійного графічного конвеєра.
- Розробка програмних засобів для тестування методів зафарбовування з використанням різних ДФВЗ.

# Методи та засоби підвищення реалістичності відтворення кольорів у засобах комп'ютерної графіки

## Наукова новизна одержаних результатів

- Запропоновано модифікацію моделі Шліка, яка на відмінну від існуючої використовує різні степені залежно від коефіцієнта спекулярності, що дозволило більш реалістично відтворити зони блюмінгу.
- Запропоновано нову дистрибутивну функцію відбивної здатності поверхні, яка на відмінну від існуючої використовує косинус утворюючу функцію низької степені, що спростило апаратну реалізацію.
- Вперше розроблено модель відбивної здатності поверхні у якій на відмінну від існуючої досягнуто закон збереження енергії і принцип симетричності Гельмгольца, що дозволило підвищити реалістичність формування графічних зображень.

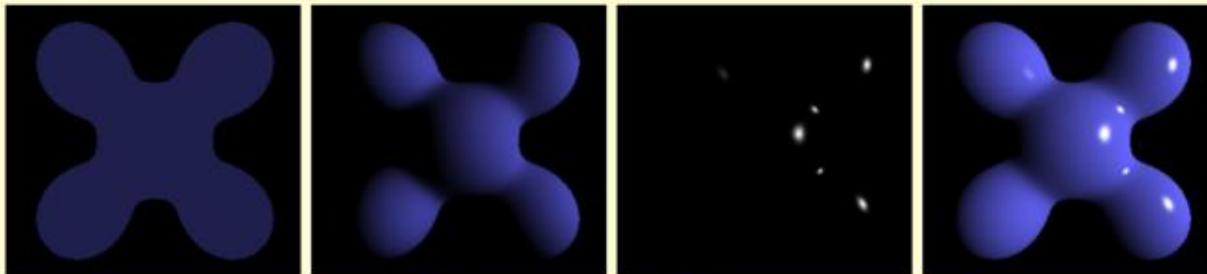
## Практичне значення одержаних результатів

Практична цінність полягає в тому, що на основі запропонованих моделей відбивної здатності поверхні розроблені алгоритми та програмні засоби для формування дифузної та спекулярної складових кольору при формуванні реалістичних тривимірних зображень.

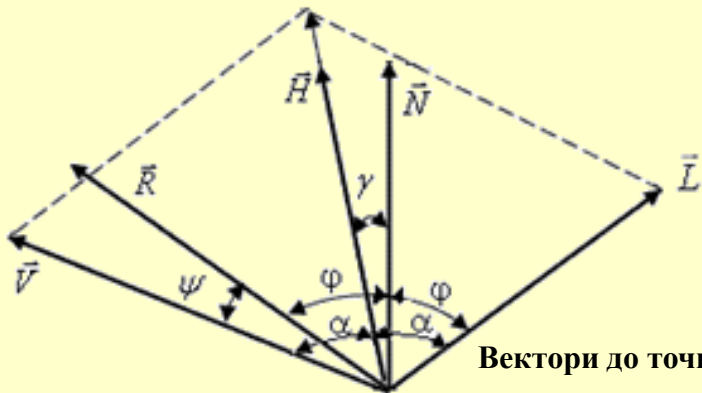
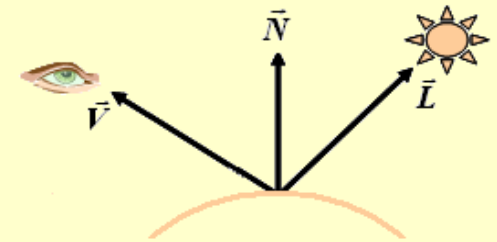
# Складові інтенсивності кольору



$$I = k_a I_a + I_i (k_d (\vec{N} \cdot \vec{L}) + k_s (\vec{N} \cdot \vec{H})^n)$$



Фонова + Дифузна + Спекулярна = Інтегральна



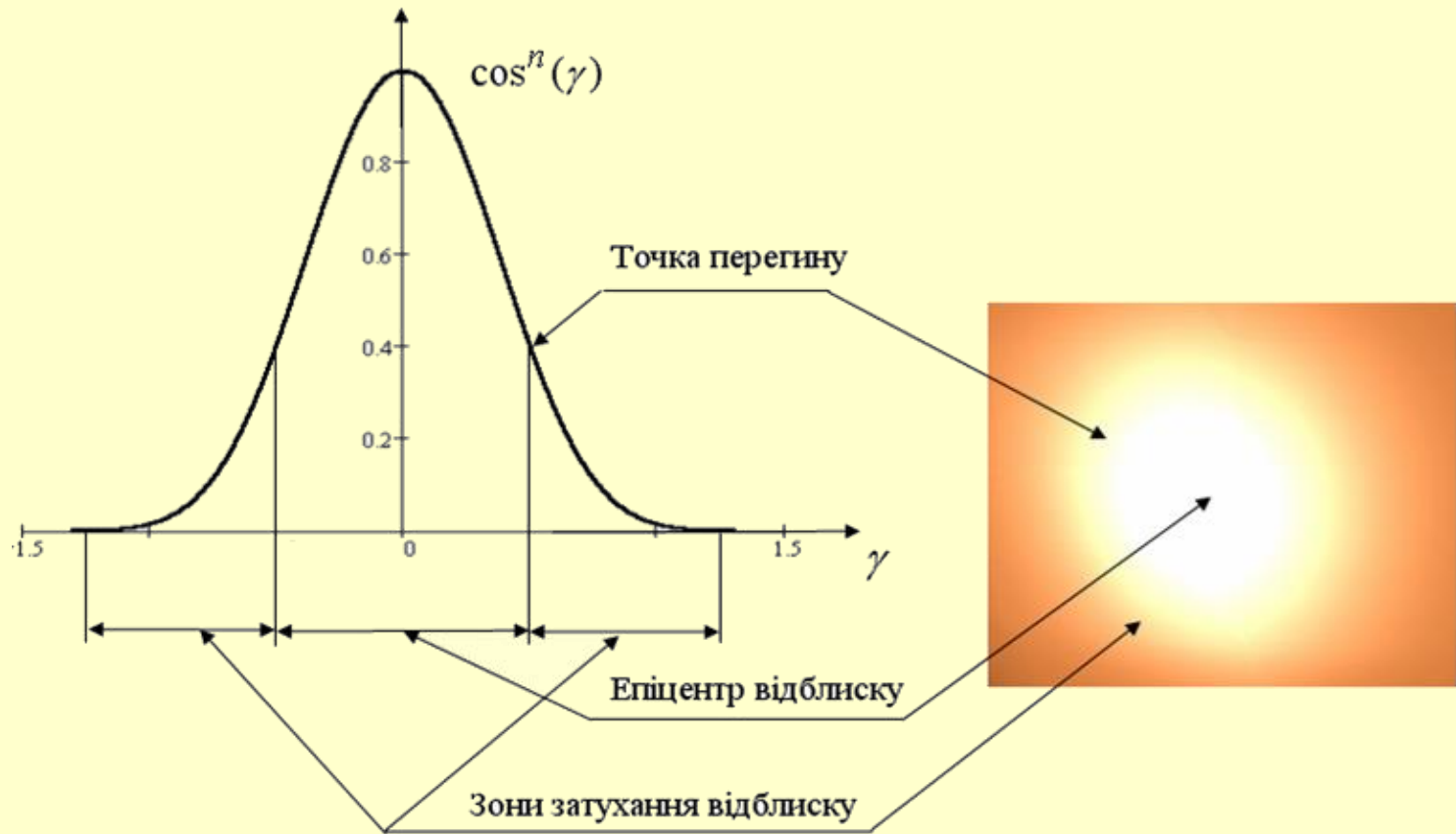
Вектори до точки поверхні

$$(\vec{V} \cdot \vec{R})^n = \cos^n \psi \quad - \text{ДФВЗ Фонга,}$$

$$(\vec{N} \cdot \vec{H})^n = \cos^n \gamma \quad - \text{ДФВЗ Бліна,}$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{L} + \vec{V}}{|\vec{L} + \vec{V}|}, \quad n \in [1, 1000].$$

# Розподіл зон епіцентру та блюмінгу



# Модифікація ДФВЗ Шліка

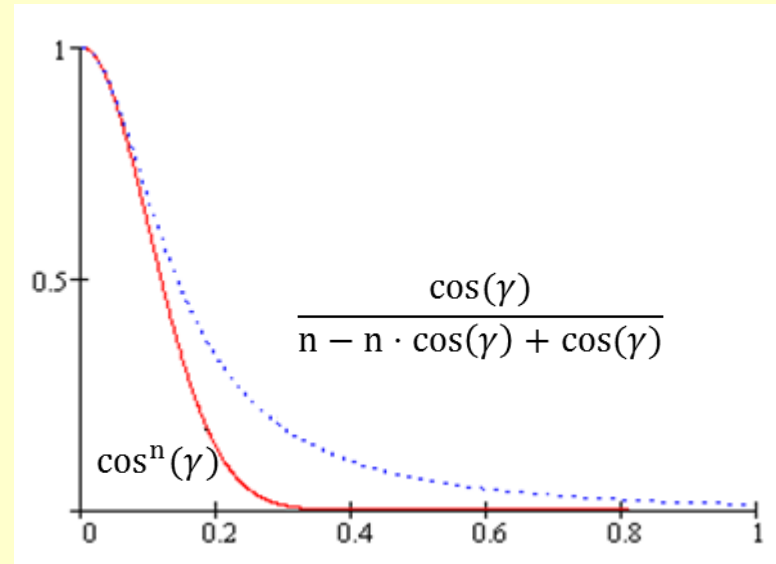
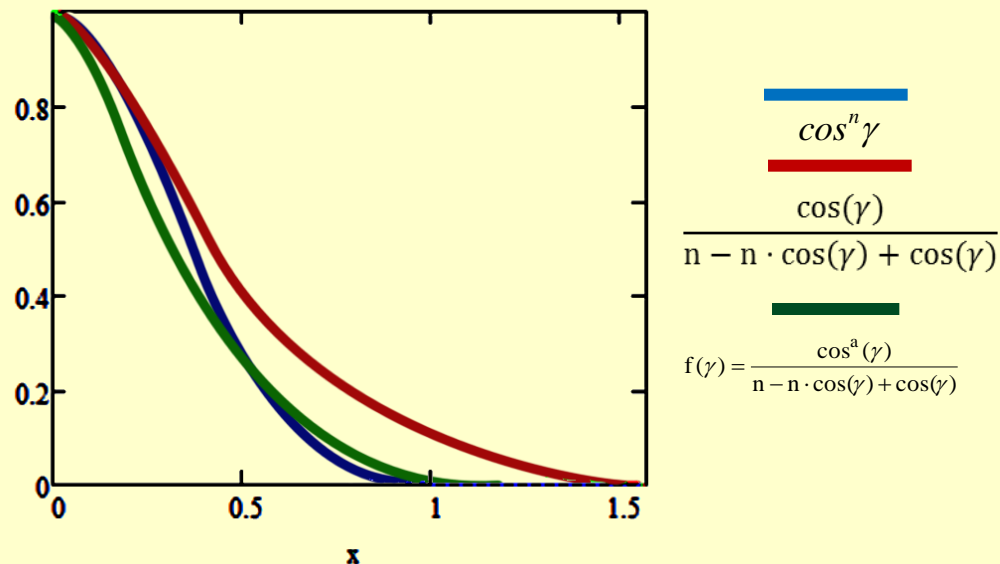
ДФВЗ Шліка: 
$$\frac{\cos(\gamma)}{n - n \cdot \cos(\gamma) + \cos(\gamma)}$$

**Недолік:** неприродне освітлення об'єктів у зоні відблиску за рахунок повільного спадання ДФВЗ

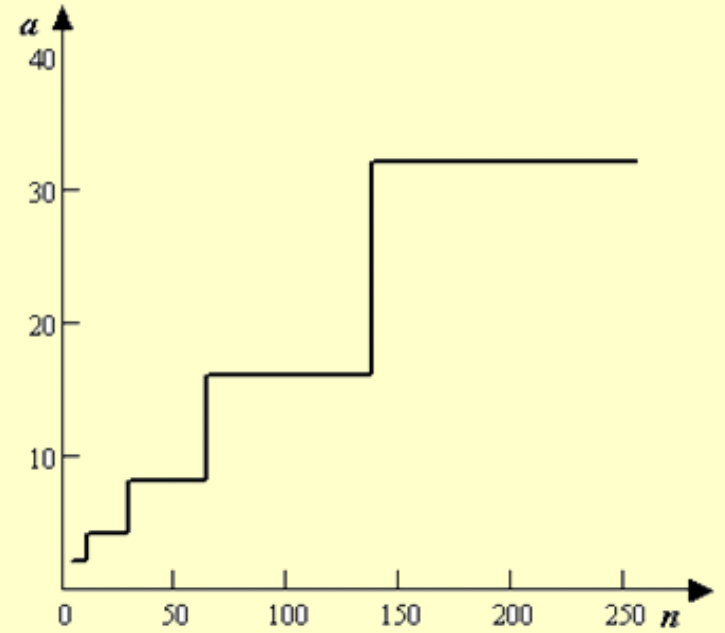
Пропонується така апроксимація:

$$f(\gamma) = \frac{\cos^a(\gamma)}{n - n \cdot \cos(\gamma) + \cos(\gamma)}$$

$a \ll n$  вибирається залежно від значення коефіцієнта спекулярності



# Модифікація ДФВЗ Шліка



$$f(\gamma) = \frac{\cos^{2^{\lfloor \log_2 n - 2 \rfloor}}(\gamma)}{n - n \cdot \cos(\gamma) + \cos(\gamma)}$$

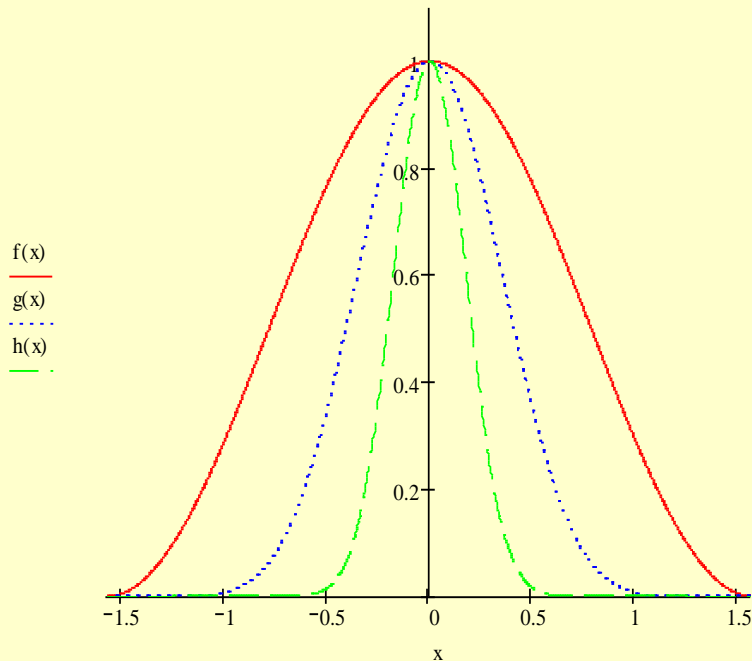
# Апроксимація ДФВЗ поліномами Чебішева

$$\begin{aligned} N_a &:= 3 \\ a &:= 0 \\ b &:= 0.6 \end{aligned}$$

$$c(j) := \frac{2}{N_a} \cdot \sum_{k=1}^{N_a} \left[ f \left[ \cos \left[ \pi \cdot \frac{\left( k - \frac{1}{2} \right)}{N_a} \cdot \frac{(b-a)}{2} + \frac{(b+a)}{2} \right] \cdot \cos \left[ \pi \cdot j \cdot \frac{\left( k - \frac{1}{2} \right)}{N_a} \right] \right] \right]$$

$$T(n, x) := \cos(n \cdot \arccos(x))$$

$$\begin{aligned} ap(x) &:= \sum_{k=0}^{N_a-1} \left[ c(k) \cdot T \left[ k, \frac{x - \frac{(b+a)}{2}}{\frac{(b-a)}{2}} \right] \right] - \frac{c(0)}{2} \\ T_m &:= \frac{(b-a)}{2} \\ T_p &:= \frac{(b+a)}{2} \end{aligned}$$



$$C := \frac{\left( 2 \cdot c(2) \cdot T_p^2 \right) - (c(1) \cdot T_p \cdot T_m)}{T_m^2} + \frac{c(0)}{2} - c(2)$$

$$B := \frac{c(1) T_m - 4c(2) T_p}{T_m^2}$$

$$A := \frac{2c(2)}{T_m^2}$$

$$fa(x) := A \cdot x^2 + B \cdot x + C$$

Графіки функції  $\cos^n(x)$  при різних  $n$ :

$$f(x) := \cos(x)^2 \quad g(x) := \cos(x)^8 \quad h(x) := \cos(x)^{32}$$



# Апроксимація ДФВЗ поліномами Чебішева

$$fa(x) := A \cdot x^2 + B \cdot x + C$$

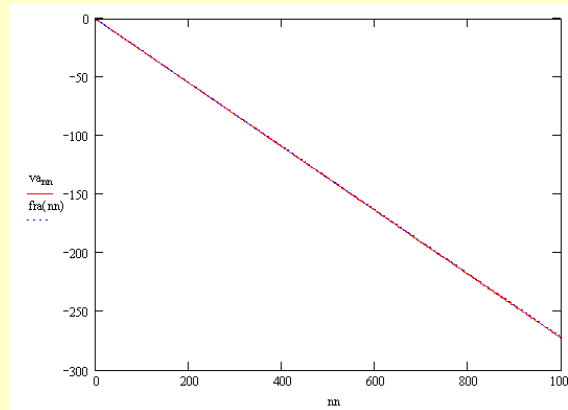
$$\cos x = a_1 x^2 + b_1 x + c_1$$

$$\cos^2 x = a_2 x^2 + b_2 x + c_2$$

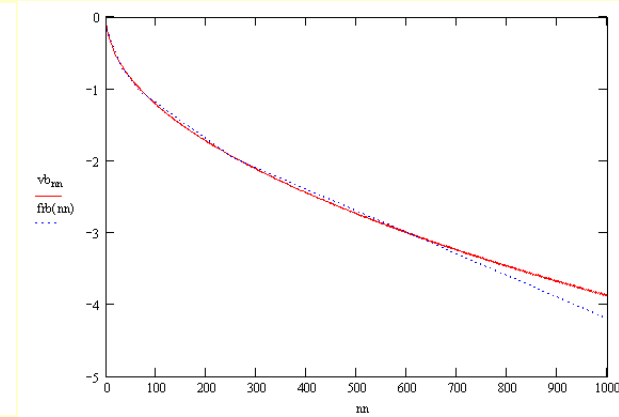
$$\cos^3 x = a_3 x^2 + b_3 x + c_3$$

...

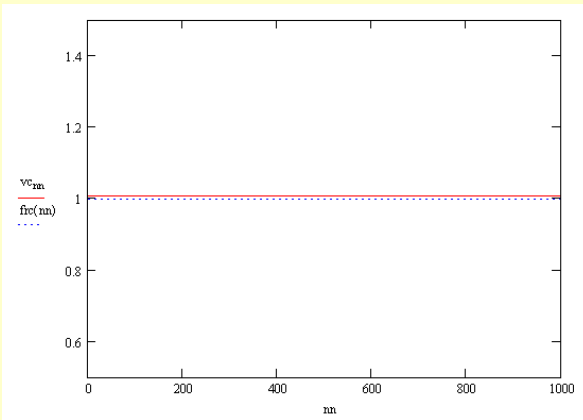
$$\cos^{256} x = a_{256} x^2 + b_{256} x + c_{256}$$



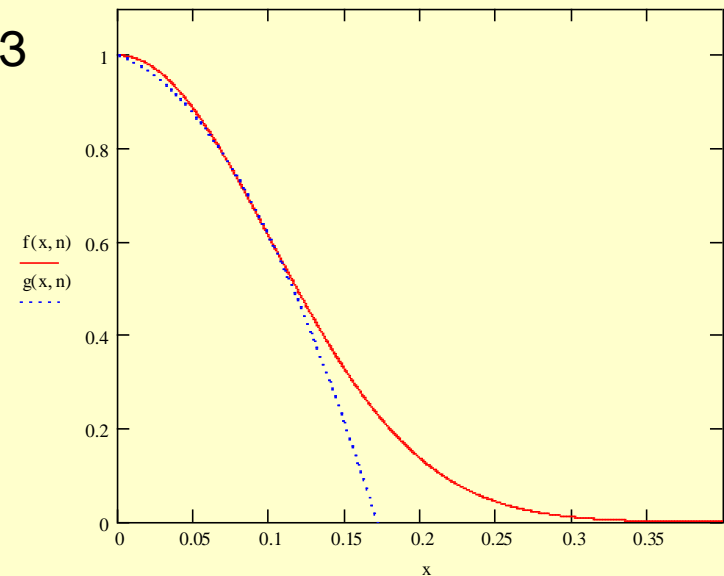
$$fra(n) := -0.272 \cdot n - 0.16$$



$$C = 1$$



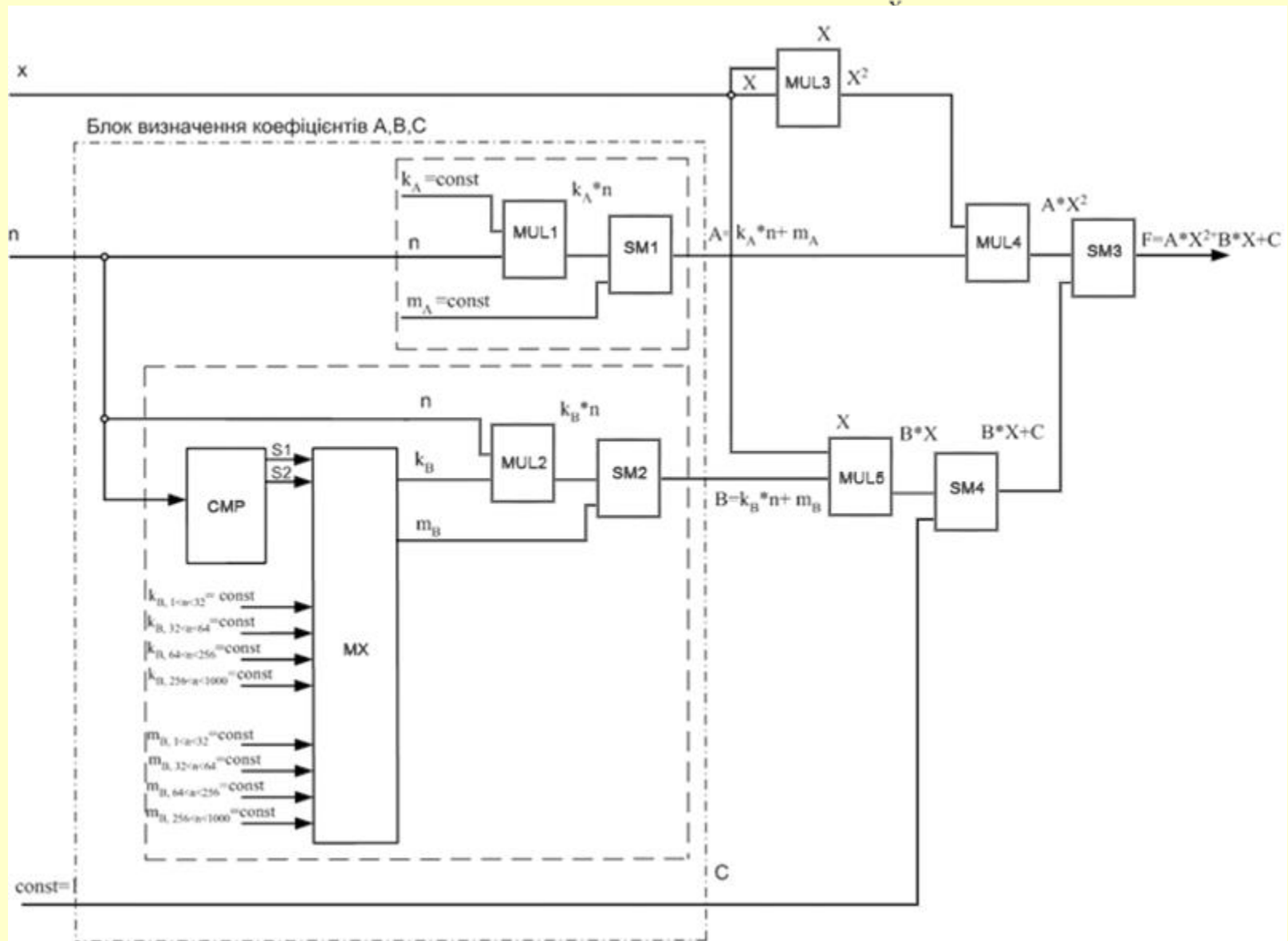
ДФВЗ



$$frb(n) := \begin{cases} (-0.018 \cdot n - 0.158) & \text{if } n \leq 31 \wedge n \geq 1 \\ (-0.01 \cdot n - 0.38) & \text{if } n \leq 63 \wedge n \geq 32 \\ (-0.005 \cdot n - 0.7) & \text{if } n \leq 255 \wedge n \geq 64 \\ (-0.003 \cdot n - 1.2) & \text{if } n \leq 1000 \wedge n \geq 256 \end{cases}$$

Для епіцентру відблиску відносна похибка не перевищує 0.5 %

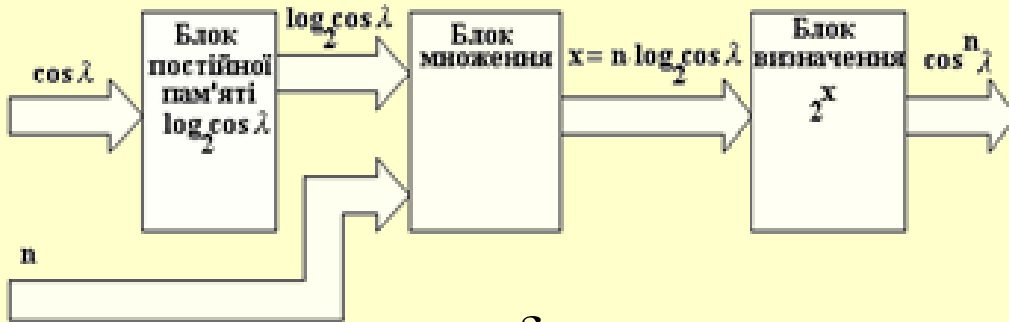
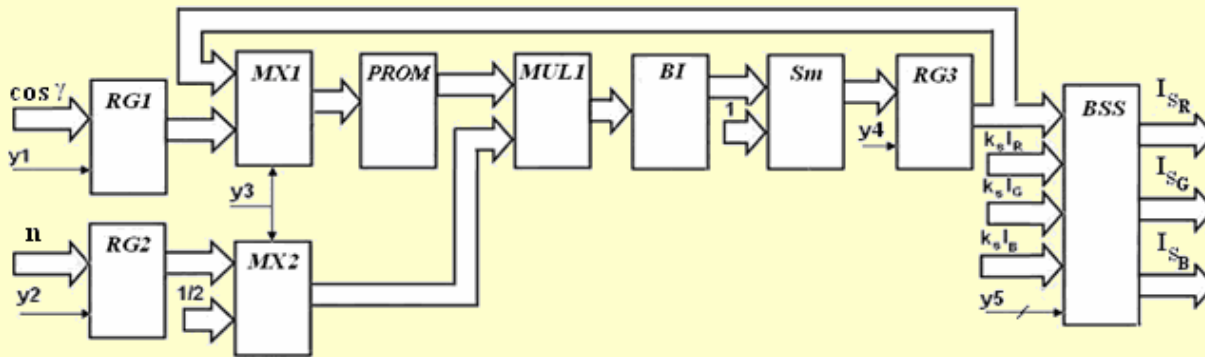
# Структурна схема ДФЗ поліномів Чебішева



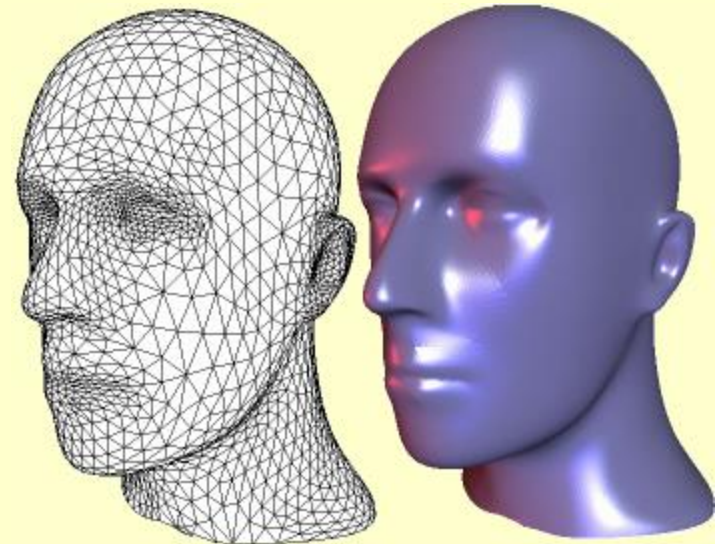
# Моделі відбивної здатності поверхні на основі логарифмічної та показникової функцій

$$2^x \approx 1 - \frac{1}{2} \log_2(1 - x)$$

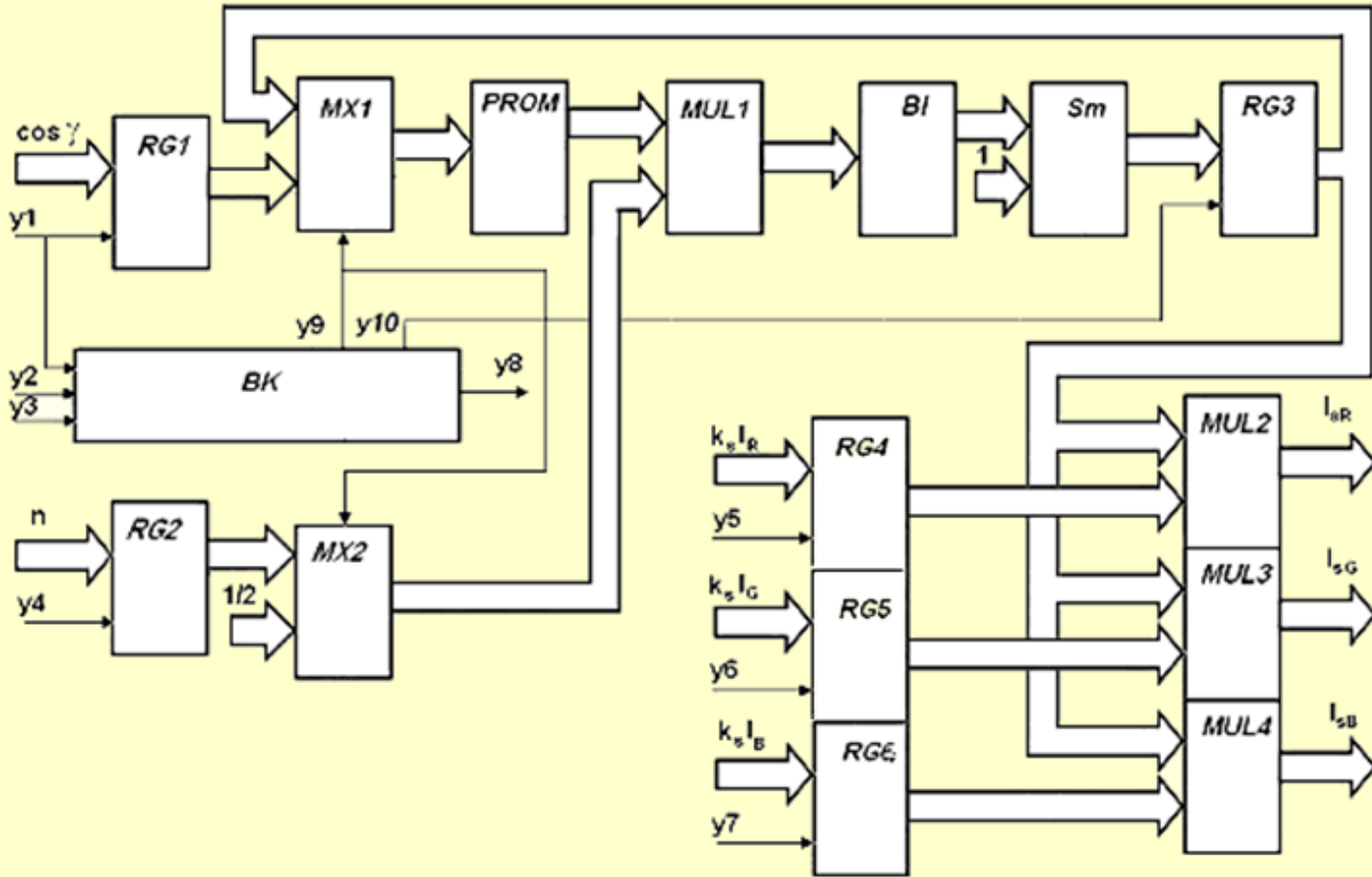
$$\cos^n \gamma = 2^{n \cdot \log_2(\cos \gamma)} \approx 1 - \frac{1}{2} \log_2(1 - n \cdot \log_2 \cos \gamma)$$



$$\delta = 0,29 \%$$



# Структурна схема ДФВЗ на основі логарифмічної та показникової функцій



# Модель відбивної здатності поверхні на основі косинус-квадратичної функції

Еталонна функція -  $\cos^n \gamma$

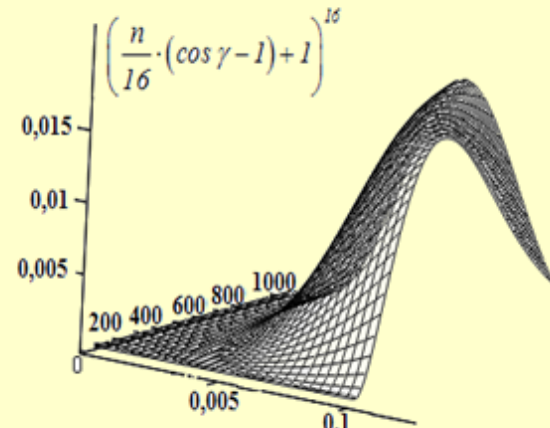
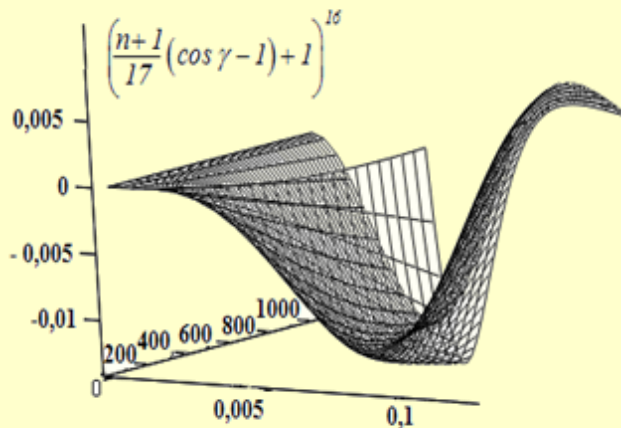
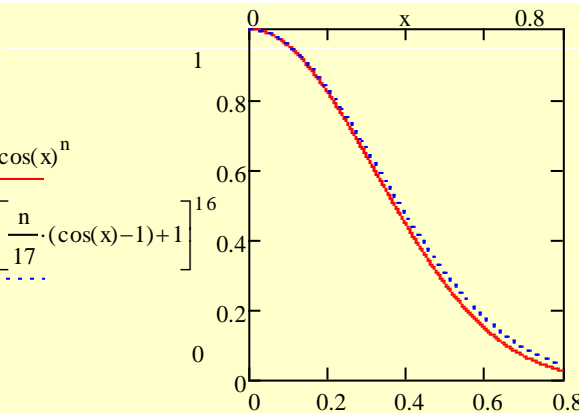
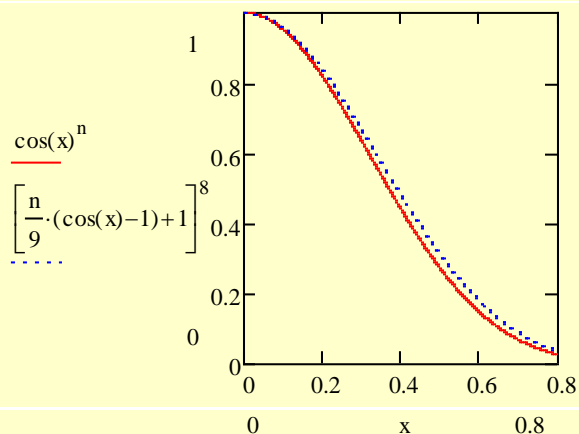
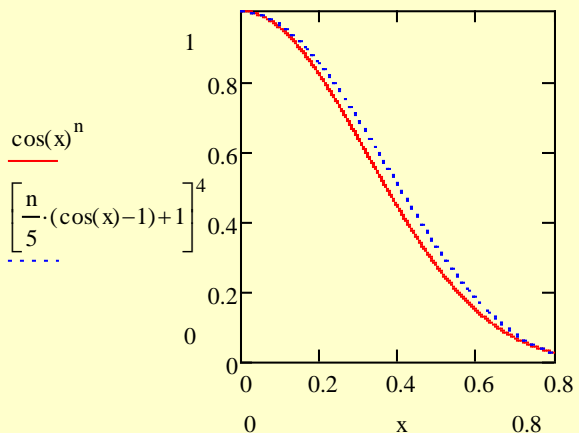
Утворююча функція -  $(a \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1)^{2^v}$

$$\int_0^{\pi/2} \cos^n \gamma \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma = \frac{\cos^{n+1} \gamma}{n+1} \Big|_0^{\pi/2} = \frac{1}{n+1}$$

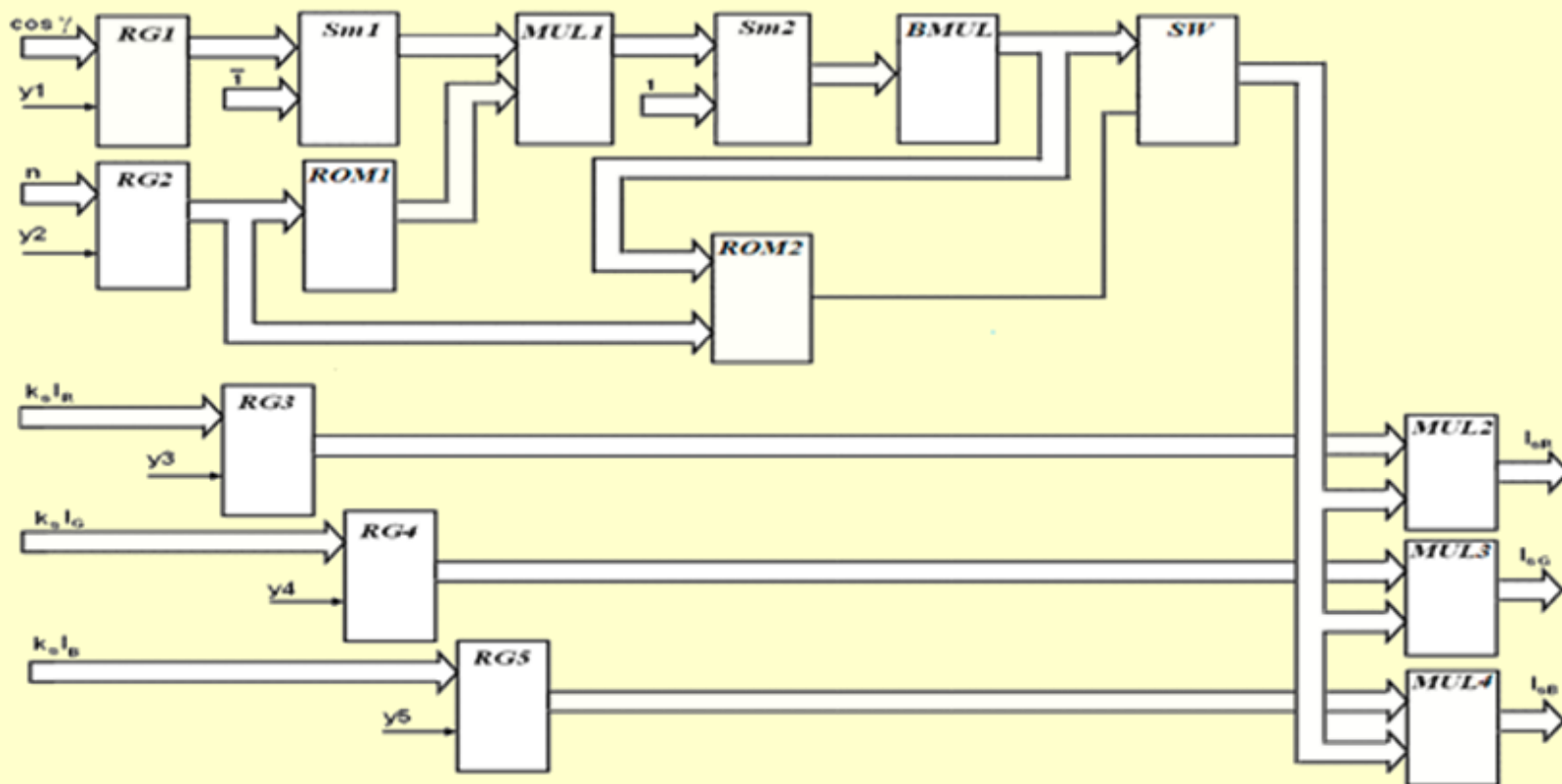
$$\int_0^{\arccos(\frac{a-1}{a})} (a \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1)^{2^v} \cdot \sin(\gamma) d\gamma = \frac{1}{(2^v + 1) \cdot a}$$

$$\frac{1}{(2^v + 1) \cdot a} = \frac{1}{n+1}, \quad a = \frac{n+1}{2^v + 1}, \quad K_g(n, \gamma) = \left( \frac{n+1}{2^v + 1} \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1 \right)^{2^v}$$

$$K_4(n, \gamma) = \left( \frac{n+1}{17} \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1 \right)^{16}$$



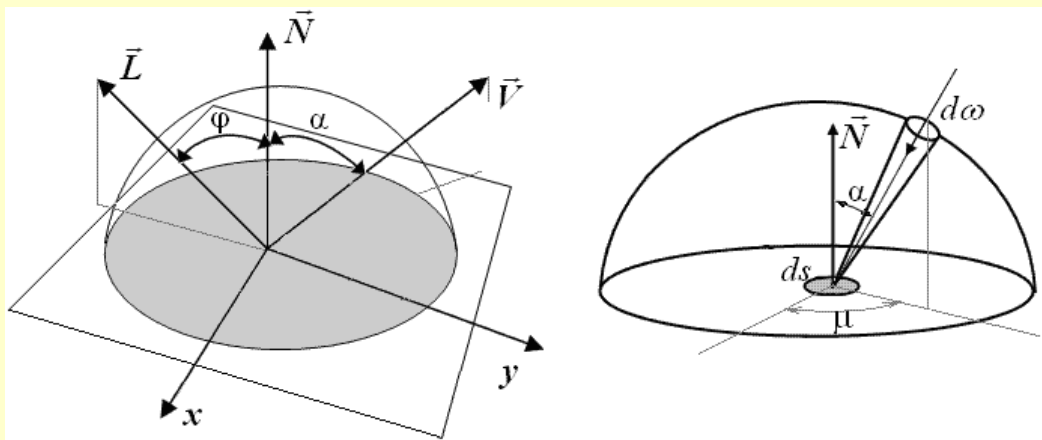
# Структурна схема ДФВЗ на основі косинус-квадратичної функції



# Енергетично-коректна модель відбивної здатності поверхні

При формуванні реалістичних графічних зображень, для яких передбачається подальше трансформування та обробка, важливо дотриматися фізичної сутності процесів, що відбуваються в реальному житті. Для того, щоб ДФВЗ забезпечувала закон збереження енергії, величина напівсферичної інтегральної відбивальності поверхні повинна задовольняти умові:

Для моделі Фонга енергетична коректність ДФВЗ передбачає виконання умови :

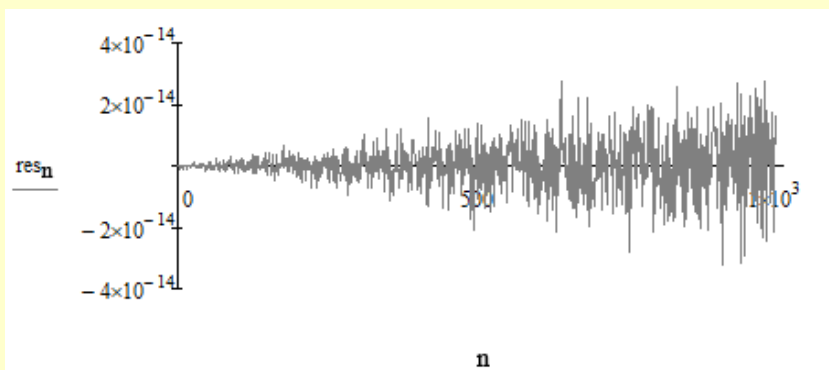


$$coef(n) \cdot \int_{\Omega} (\vec{R} \cdot \vec{V})^n \cdot d\omega = 1.$$

Доведено, що

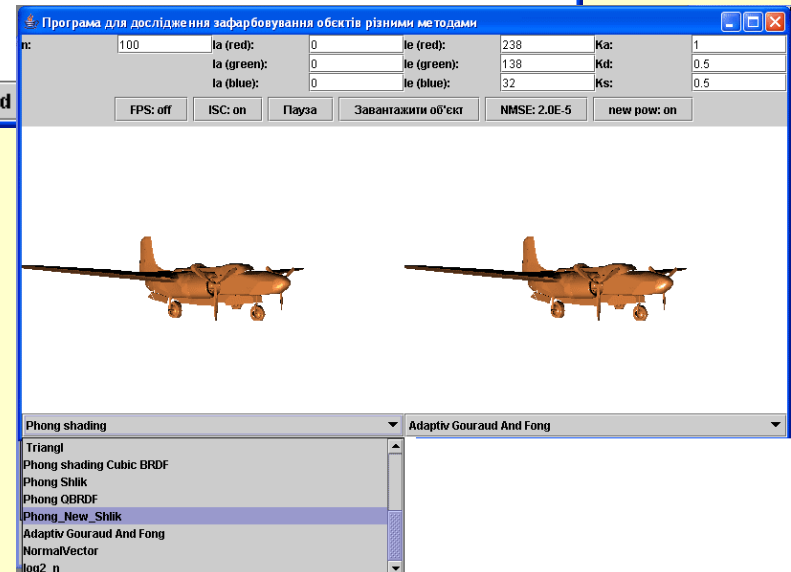
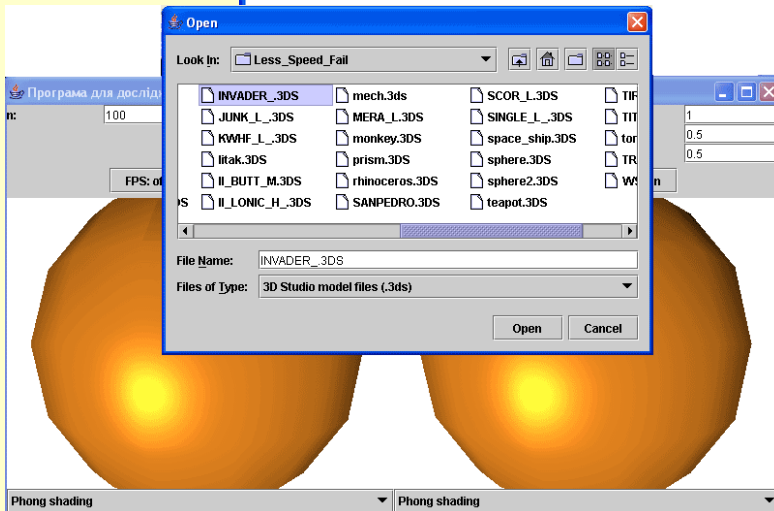
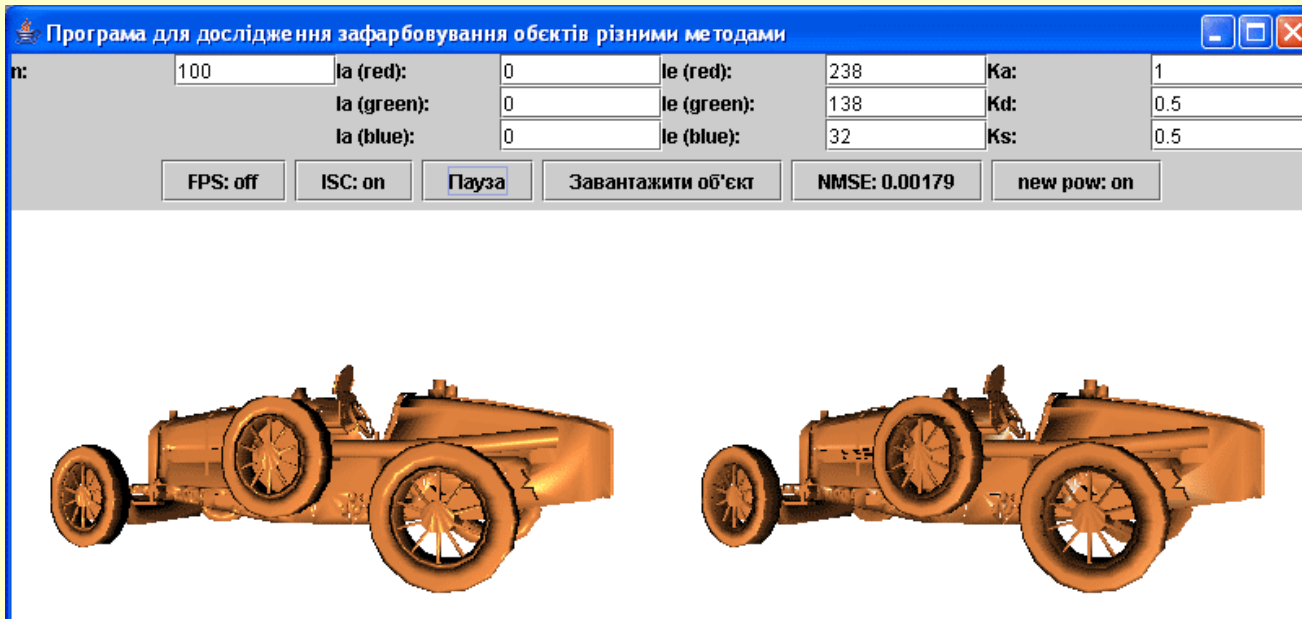
$$coef_1(n) = 1.063n / (2\pi)$$

Для моделі  $\left( \frac{n+1}{17} (\cos\theta - 1) + 1 \right)^{16}$   $coef_2(n) = (n+1) / (2\pi)$



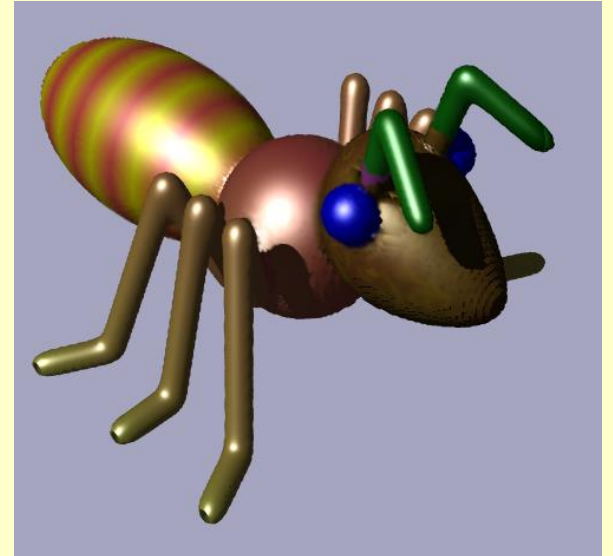
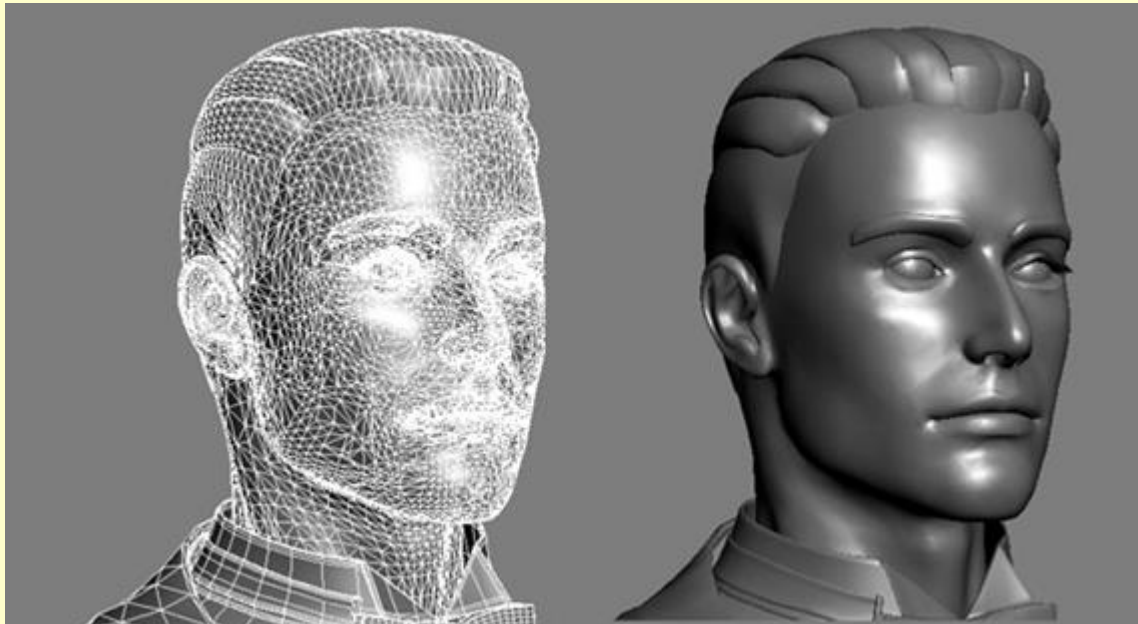
Залежність похибки апроксимації від n

# Інтерфейс програми

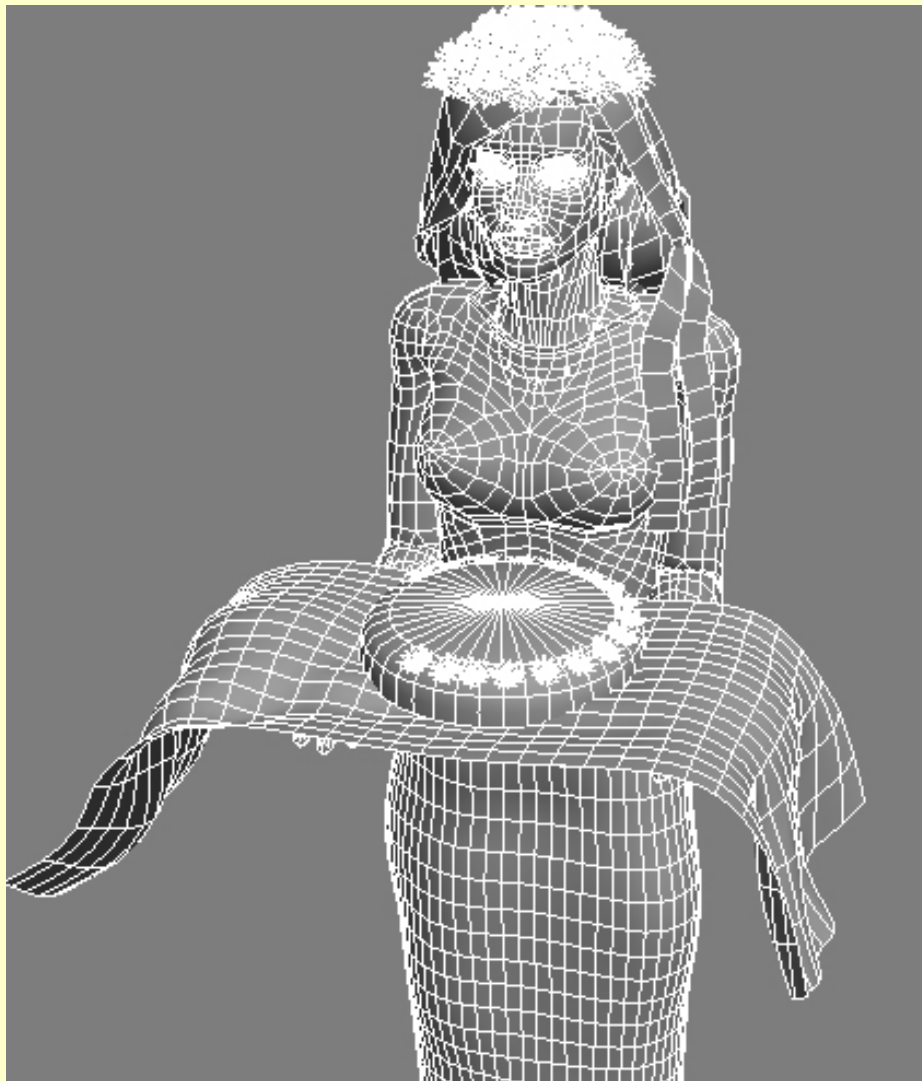




# Приклади сформованих зображень



# Приклади сформованих зображень



## Публікації

9 наукових праць, з них стаття, у фаховому виданні, затвердженому ДАК України.

Комп'ютерна програма «Розрахунок спекулярної складової кольору з використанням нової моделі освітлення». Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір № 65282.

Комп'ютерна програма «Розрахунок спекулярної складової кольору для медичних зображень з використанням фізично-коректної дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні». Свідоцтво на реєстрацію авторського права на твір № 68877.



## 12 – перемог на міжнародних конкурсах з веб-дизайну та комп'ютерної графіки





Дякую за увагу