

УДК 514.18

## АЛГОРИТМ ТРАСУВАННЯ ПРОМЕНІВ В СВІТЛОВІЙ ШАХТІ У ВИГЛЯДІ ЗРІЗАНОГО ПРЯМОГО КОЛОВОГО КОНУСА

Зданевич В.А.,

Кундрат Т.М., к.т.н.,

Літницький С.І., к.т.н.,

Пугачов Є.В., д.т.н.

*Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне, Україна)*

*Розроблено алгоритм трасування променя в світловій шахті (СШ) у вигляді зрізаного прямого колового конуса з дзеркальним відбиванням світла від внутрішньої поверхні.*

*Ключові слова: світлова шахта, дзеркальне відбивання, трасування світлового променя, розподіл яскравості небозводу.*

**Постановка проблеми.** Способи розрахунку освітленості від СШ з дзеркальним відбиванням світла [1, 2], розроблені для стандартного розподілу яскравості за хмарним небозводом [3] і не адаптовані до інших 15 типів стандартних відносних розподілів яскравості. Довільна розрахункова точка  $P_T$  під СШ освітлюється видимими з неї частинами: небозводу (пряме світло) та внутрішньої поверхні СШ (відбите світло).

Розглянемо моделювання освітленості, створеної відбитим світлом. Кожна розрахункова точка  $P_T$  виділяє на внутрішній поверхні СШ область  $Q$ , яка відбиває в неї світло (рис. 1). Форма і параметри згаданої області залежать від положення  $P_T$ , що детально розглянуто в [1, 4]. Яскравість  $L_{вих}$  вихідного променя з  $P_T$  (рис. 2) залежить від числа  $k$  відбивань променя до його виходу з СШ і яскравості  $L_{вх}$  цього променя на вході у світлову шахту:

$$L_{вих} = L_{вх} \cdot \rho^k, \quad (1)$$

де  $\rho$  – коефіцієнт дзеркального відбивання стінки шахти.

Яскравість вхідного променя  $P1$  (рис. 2) визначається його напрямом в системі координат, до якої віднесені моделі стандартних відносних розподілів яскравості [3]. Отже, змоделюємо траєкторію зворотного ходу променя від розрахункової точки  $P_T$  до точки  $P$ .

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Трасування світлового променя в призматичних СШ розглядалось в роботі [5]. Умови проходження променя крізь СШ - в [6].

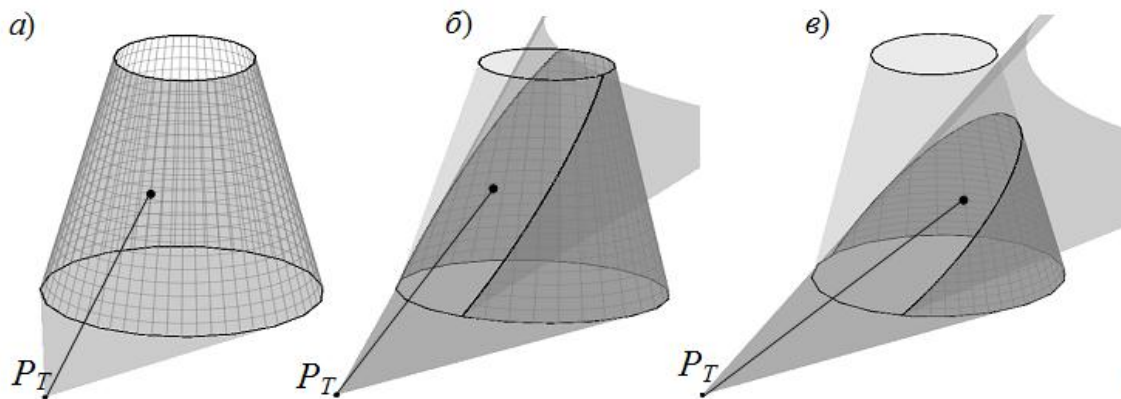


Рис. 1. Области  $Q$  внутрішньої поверхні СШ, що відбивають світло в  $P_T$ : а) вся внутрішня поверхня СШ; б) і в) частина внутрішньої поверхні СШ, що виділена сіткою

**Формулювання цілей статті.** Мета статті – розробити алгоритм і відповідне програмне забезпечення трасування променя в СШ у вигляді зрізаного конуса.

**Основна частина.** Алгоритм трасування променя у СШ складається з таких дій.

1. Задаємо параметри СШ та координати вихідного променя (розрахункову точку  $P_T$  та останню відбиваючу точку в області  $Q$ )  $4P_T$  в просторовій системі координат (рис. 2). Причому систему координат, до якої віднесена поверхня СШ, узгоджуємо з системою координат, до якої віднесена небесна сфера, використана в моделях розподілу яскравості за небозводом. Наприклад, вісь  $Z$  спрямуємо в zenit, вісь  $X$  – на схід, вісь  $Y$  – на південь.

Поверхню СШ у вигляді прямого колового зрізаного конуса (рис. 2) з вершиною  $O_S$  до гори, задаємо обертанням прямої, яка проходить через точку  $(r,0,0)$ , на відстані  $r$  від осі аплікату і лежить на осі абсцис, та точку  $O_S(0,0,H-h)$ , на відстані  $H-h$  ( $h$  – висота СШ) від осі абсцис і лежить на осі аплікату, таке положення відповідає розташуванню центру верхньої основи в початку координат  $O(0,0,0)$ , вихідній основі з аплікатою  $z = -h$  та радіусом  $R = \frac{H \cdot r}{H - h}$ .

2. Переходимо до системи координат на площині (рис. 3) яка проходить через вершину конуса та вихідного променя  $4P_T$ . Вона перетинає поверхню шахти по твірних  $A_4B_4$  і  $A_5B_5$ , на яких лежать відповідно дві послідовні точки відбивання променя: 4 – точка останнього відбивання; 5 – точка уявного відбивання, яка була б при продовженні поверхні конуса СШ нижче вихідної основи. Точки  $(0, 1, 2, 3, 4, 5)$  послідовних відбивань лежать на твірних конуса СШ, які

перетинають кола верхньої та нижньої основи СШ в точках  $A_0, A_1, \dots, A_4, A_5$  та  $B_0, B_1, \dots, B_4, B_5$ , відповідно. Послідовно з'єднавши точки на верхній та нижній основах маємо дві ламані, кожна з яких складена з рівних між собою хорд.

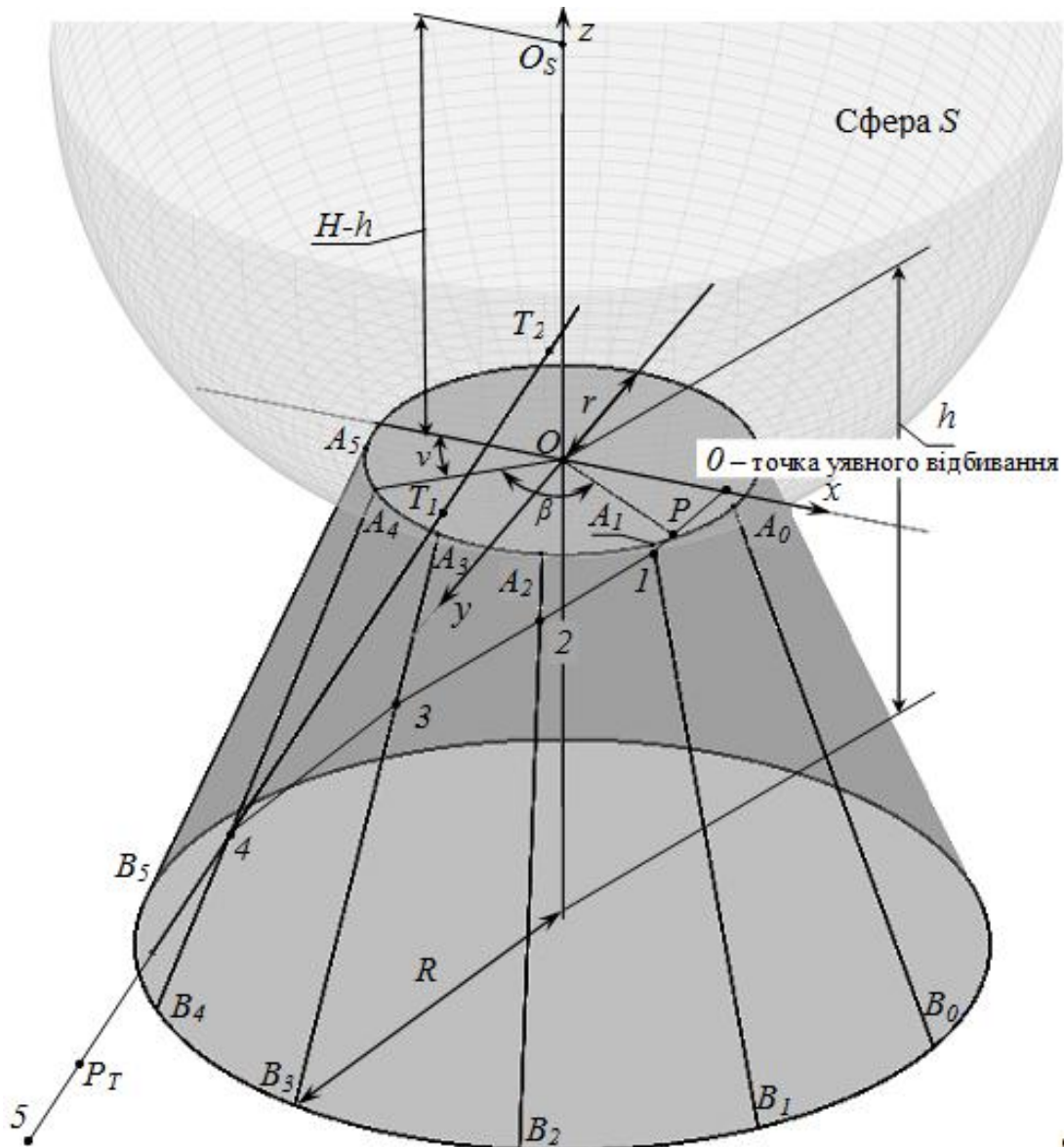


Рис. 2. Схема СШ та траєкторія ходу променя

3. Способом, наведеним в роботі [6], перевіряємо чи проходить промінь крізь СШ. На розгортці променя та відповідних йому трапецій (рис. 3) визначаємо точку перетину розгортки прямої вихідного променя  $4 P_T$  з колом сфери  $S$ . Якщо точки перетину немає, то такий промінь не проходить крізь шахту, і яскравість відповідного вихідного променя приймаємо  $L_{6x} = 0$ . Якщо перетин є, визначаємо координати точки перетину  $T_1$  та обчислюємо число відбивань  $k$  як округлене до більшого цілого числа відношення кута  $\theta$  до кута  $\varphi$

(рис. 3). Поворотом хорди  $A_4A_5$  на кут  $k\varphi$  визначаємо положення хорди  $A_0A_1$ . Перевіряємо, чи має місце точка перетину ( $P_1$ ) прямої вихідного променя  $4P_T$  з хордою  $A_0A_1$ , якщо точки перетину немає, то такий промінь не проходить крізь шахту і яскравість відповідного вихідного променя приймаємо  $L_{ex} = 0$ .

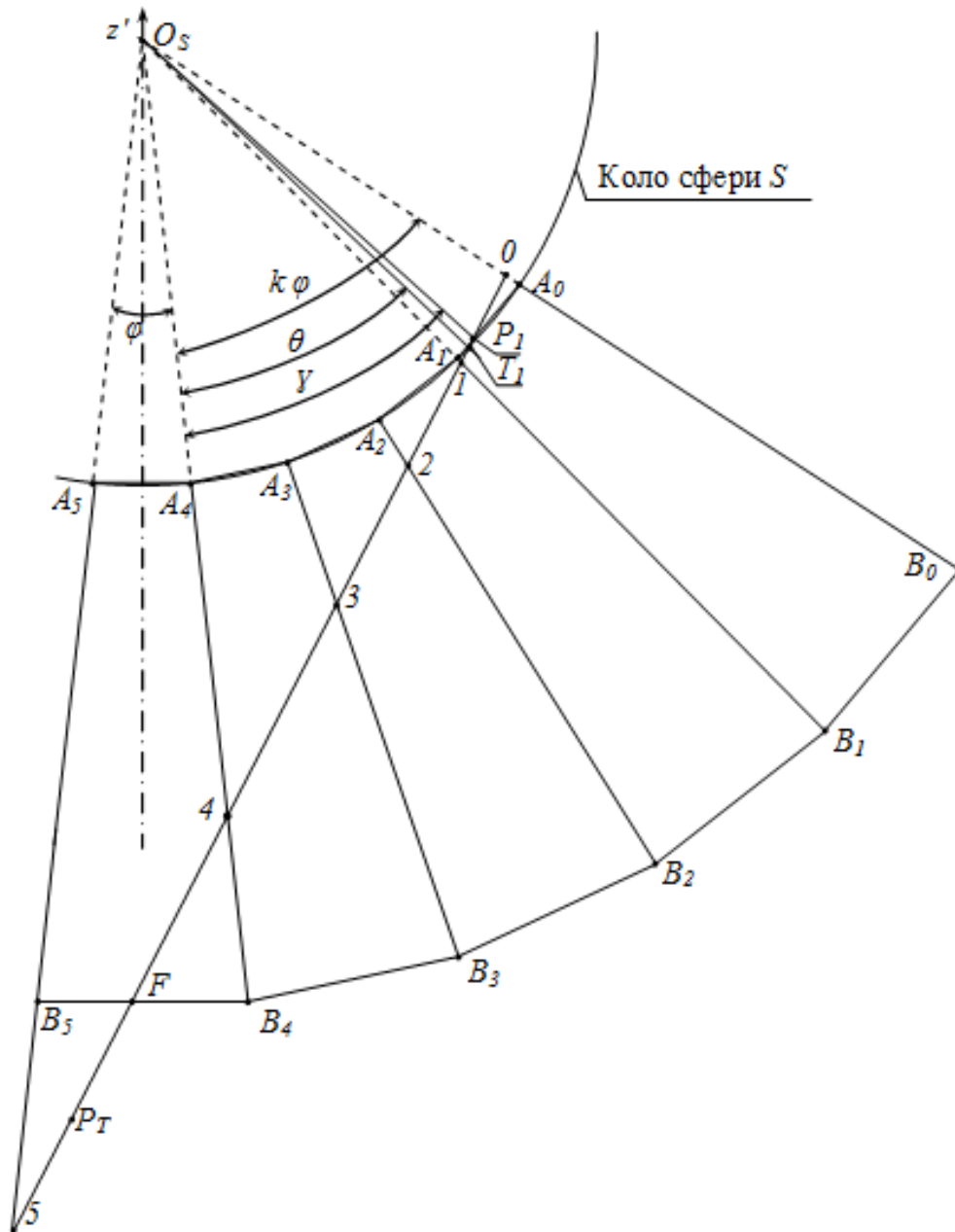


Рис. 3. Розгортка променя та відповідних йому трапецій на площину вихідного променя  $4P_T$

4. Визначаємо координати точок вхідного променя  $1P_1$  в плоскій системі координат та повертаємося в вихідну просторову систему координат. Координати точки  $I$  обчислюємо на твірній  $A_1B_1$ , яку

отримаємо поворотом твірної  $A_4B_4$  на кут  $(k-1)v$  (рис. 4). Кутову координату точки  $P_1$  обчислюємо за формулою:

$$\beta = v \frac{\gamma}{\varphi}, \quad (2)$$

яка витікає з рівності між собою хорд на верхній основі СШ, утворених послідовними точками  $A_0, A_1, \dots, A_4, A_5$ , а також рівності між собою хорд на відповідній розгортці (рис. 3).

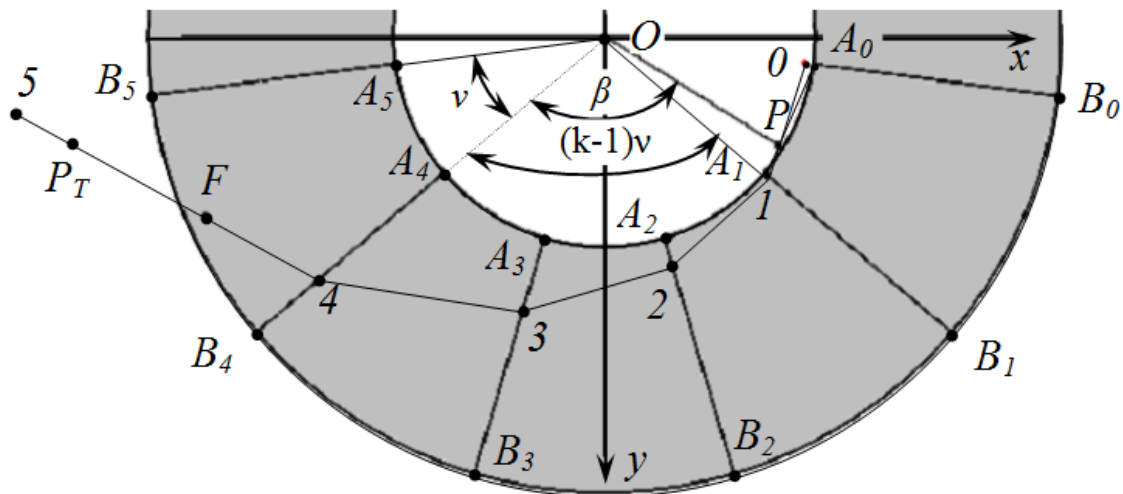


Рис. 4. Ортогональна проекція СШ та траєкторії ходу променя на площину вихідної основи

**Висновки.** Розроблений алгоритм трасування променя і його програмна реалізація дають можливість визначати яскравість відбитих променів від внутрішньої поверхні світлової шахти для стандартних типів відносних розподілів яскравості [3], та моделювати освітленість, створену відбитим світлом на виході зі світлової шахти та під нею. Подальший розвиток досліджень може бути спрямований на моделювання коефіцієнта корисної дії світлових шахт у вигляді зрізаного прямого колового конуса та природної освітленості від них.

### Література

1. Пугачов Є.В. Дискретне геометричне моделювання скалярних і векторних полів стосовно будівельної світлотехніки: дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01 / Пугачов Євген Валентинович. – К., 2001. – 324 с.
2. Гарбарук Ю.В. Геометричне моделювання природної освітленості від дзеркально відбиваючих світових шахт: дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01 / Гарбарук Юлія Володимирівна. – К., 2016. – 165 с.
3. Розподіл яскравості денного світла просторовий. Стандартне хмарне та безхмарне небо згідно з СІЕ (ISO 15469:2004, IDT) :

- ДСТУ ISO 15469:2008. – [Чинний від 2010-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2013. – 7 с. – (Національні стандарти України).
4. Кундрат Т.М. Геометричне моделювання освітленості від світлових шахт з дифузним відбиванням світла / Кундрат Тарас Миколайович // дис. ... канд. техн. наук. 05.01.01 / Рівне, 2010. – 198 с.
  5. Пугачов Є.В. Трасування світлового променя у вертикальних призматичних шахтах з горизонтальними основами / [В.А.Зданевич, Т.М.Кундрат, С.І.Літницький, Є.В.Пугачов] // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького; гол. ред. кол. А.В. Найдиш – Мелітополь, 2017. – Вип. 9. – С.43–47.
  6. Пугачов Є.В. Умови проходження променя крізь конічну світлову шахту після його багаторазового відбивання / [В.А.Зданевич, Т.М.Кундрат, С.І.Літницький, Є.В.Пугачов] // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць. – Мелітополь, 2017. – Вип. 10. – С.70-75.

## **АЛГОРИТМ ТРАССИРОВКИ ЛУЧЕЙ В СВЕТОВОЙ ШАХТЕ В ВИДЕ УСЕЧЕННОГО ПРЯМОГО КРУГОВОГО КОНУСА**

Зданевич В.А., Кундрат Т.Н., Литницький С.І., Пугачев Е.В.

*Разработан алгоритм трассировки луча в световой шахте в виде усеченного прямого кругового конуса с зеркальным отражением света от внутренней поверхности и горизонтальными верхней и нижней основами.*

*Ключевые слова: световая шахта, трассировка светового луча, зеркальное отражение, распределение яркости небосвода.*

## **TRACING OF A RAY IN A LIGHT SHAFT IN THE FORM OF A FRUSTUM OF A CONE**

Zdanevych V., Kundrat T., Litnitskiy S., Pugachov E.

*An algorithm is developed for tracing a ray in a light shaft in the form of a cut straight circular cone with a mirror reflection of light from the inner surface and horizontal upper and lower bases.*

*Keywords: a light shaft, tracing of a light ray, a mirror reflection, luminance distribution of sky.*