

УДК 514.18, 535.312

УМОВИ ПРОХОДЖЕННЯ ПРОМЕНЯ КРІЗЬ КОНІЧНУ СВІТЛОВУ ШАХТУ ПІСЛЯ ЙОГО БАГАТОРАЗОВОГО ВІДБИВАННЯ

Зданевич В.А.,

Кундрат Т.М., к.т.н.,

Літніцький С.І., к.т.н.,

Пугачов Є.В., д.т.н.

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

Запропоновано геометричні умови проходження променю крізь конічну світлову шахту (СШ) після його багаторазового відбивання від внутрішньої поверхні шахти.

Ключові слова: конічна світлова шахта, дзеркальне відбивання, світловий промінь.

Постановка проблеми. Світлова шахта – світловий проріз верхнього світла крізь який проходить природне світло, вагома частина якого виходить після багаторазового відбивання від внутрішньої поверхні шахти. Проходження променя крізь СШ є складовою геометричних методів моделювання освітленості під СШ та її ефективності. Зокрема, для СШ у вигляді зрізаного конуса, геометричні методи реалізовані в працях [1, 2] для стандартного розподілу яскравості звичайним хмарним небом [3]. Проте ці методи не поширені на інші стандартні типи розподілу яскравості [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Подібна задача розглянута в літературі з оптики [4, 5] та стосовно концентраторів сонячної енергії [6], разом з тим в цих працях наведені спрощені умови проходження променя. В роботі [5] наведено дві умови проходження променя в осьовій (меридіональні промені) та довільній (косі промені) площинах крізь конус зі звуженням до вихідної основи. Перша умова (рис. 1): пряма вихідного променя має перетинатися зі сферою S , центр якої збігається з вершиною (O_S) конуса СШ, а сама сфера перетинає конус по колу вхідної основи. Друга умова: дотик променя до відповідного кола сфери S . В роботі [7] показано, що для променів в осьовій площині умови, наведені в роботі [5], не є достатніми, разом з тим перша умова є необхідною. В роботі [1] наведено достатню умову лише для променів в осьовій площині.

Формулювання цілей статті. Мета статті – розробити спосіб визначення можливості проходження довільного променя крізь СШ.

Основна частина. Як і в роботі [8] розглянемо зворотню траєкторію променя в конічній СШ від розрахункової точки P_T під СШ до точки P на верхній основі СШ (рис. 2). Відомо, [5] що для довільно обраного відбитого вихідного променя вхідний промінь, який проходить через верхню основу СШ (наприклад, рис. 2), може або існувати, або - ні (якщо розглядати обернену траєкторію вихідного променя, то він після деякого числа відбивань поверне до вихідної основи шахти).

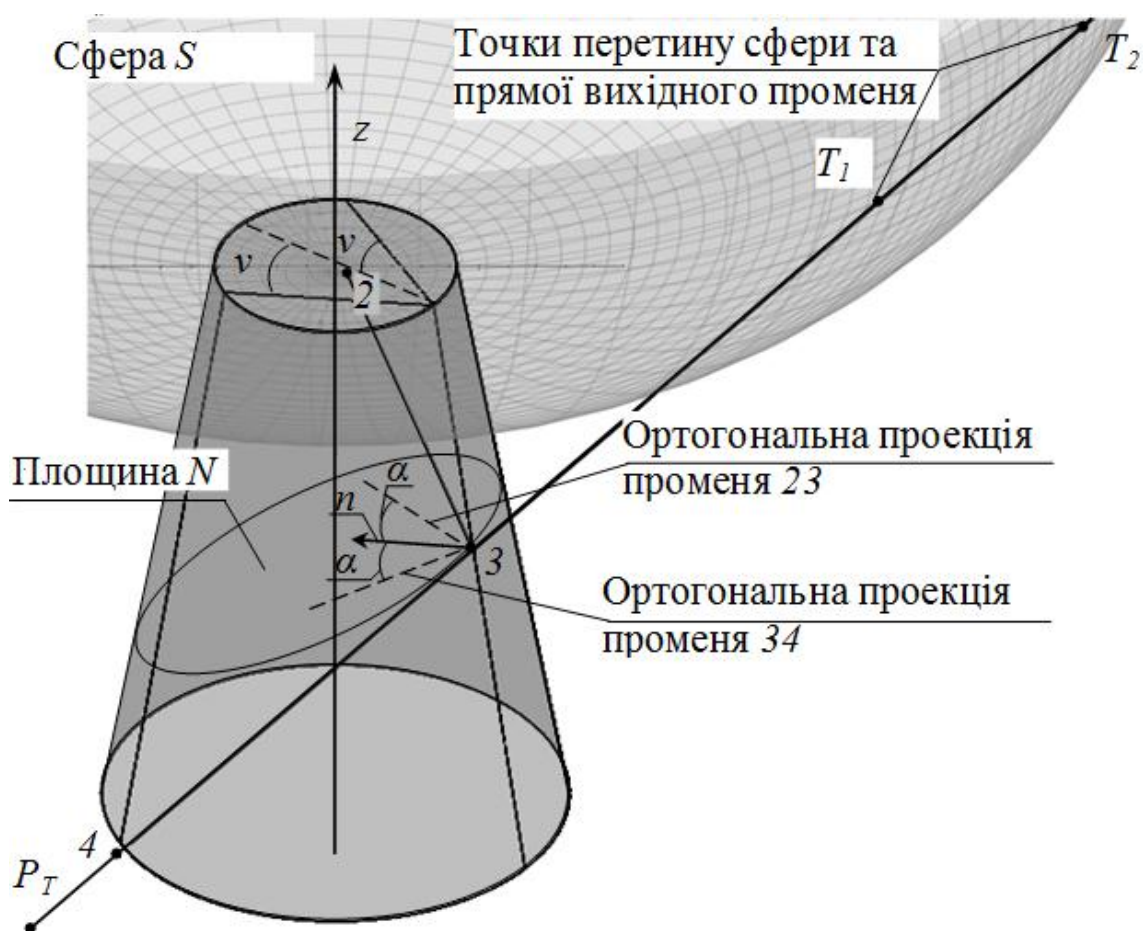


Рис. 1. Світлова шахта, сфера S та пряма вихідного променя $3P_T$

Якщо промінь проходить крізь СШ, то він перетне верхню основу (рис. 2) в точці (P) на хорді, утвореній як перетин кола верхньої основи та твірних (рис. 3), на яких лежать точки двох послідовних відбивань променя. Ці твірні і хорди, які з'єднують їх кінці на вхідній (точки A з індексом відповідного відбивання) і вихідній (точки B з індексом відповідного відбивання) основах шахти, утворюють трапеції.

Трапеції послідовно розгортаємо на площину вихідного променя $3P_T$ (рис. 3, 4) і бачимо, що умовою проходження крізь СШ

променя, що не лежить в осьовій площині, є перетин розгортки променя та відповідної йому розгортки хорд кола верхньої основи. Проте реалізацію цієї умови виконаємо в дві дії.

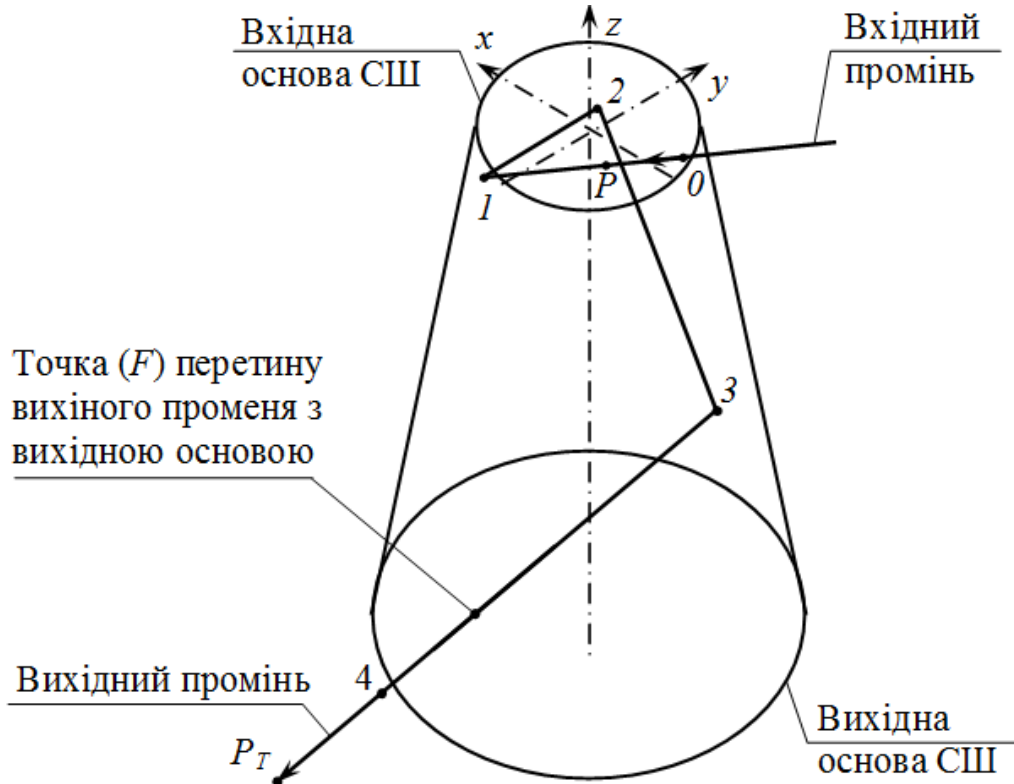


Рис. 2. СШ та траєкторія ходу променя

Спершу визначаємо точку (T_1) перетину прямої, яка проходить через вихідний промінь $3P_T$ (рис. 1), зі сферою S , або інакше - визначаємо, чи має місце перетин кола сфери S та прямої вихідного променя $3P_T$ (рис. 3, 4). Якщо точка перетину існує, то визначаємо її координати та число відбивань променя k , округливши до більшого

цілого числа співвідношення $\left\lceil \frac{\theta}{\varphi} \right\rceil$ (рис. 4). Рівність $k = \left\lceil \frac{\theta}{\varphi} \right\rceil$ слідує з

того (рис. 3), що всі хорди на колі верхньої основи, отримані перетином цього кола та твірних, на яких лежать точки двох послідовних відбивань променя, рівні між собою. Ортогональні проєкції (рис. 1) на площину N кутів між нормаллю n до дотичної площини і падаючим (23) та відбитим (34) променями рівні між собою (α). Центральна проєкція кутів α на коло вхідної основи (з центром в O_S) дає інші рівні між собою кути ν . Причому ці кути ν рівні для усіх відбивань променя, звідки маємо рівність між собою відповідних хорд (рис. 3) на верхній та нижній основах.

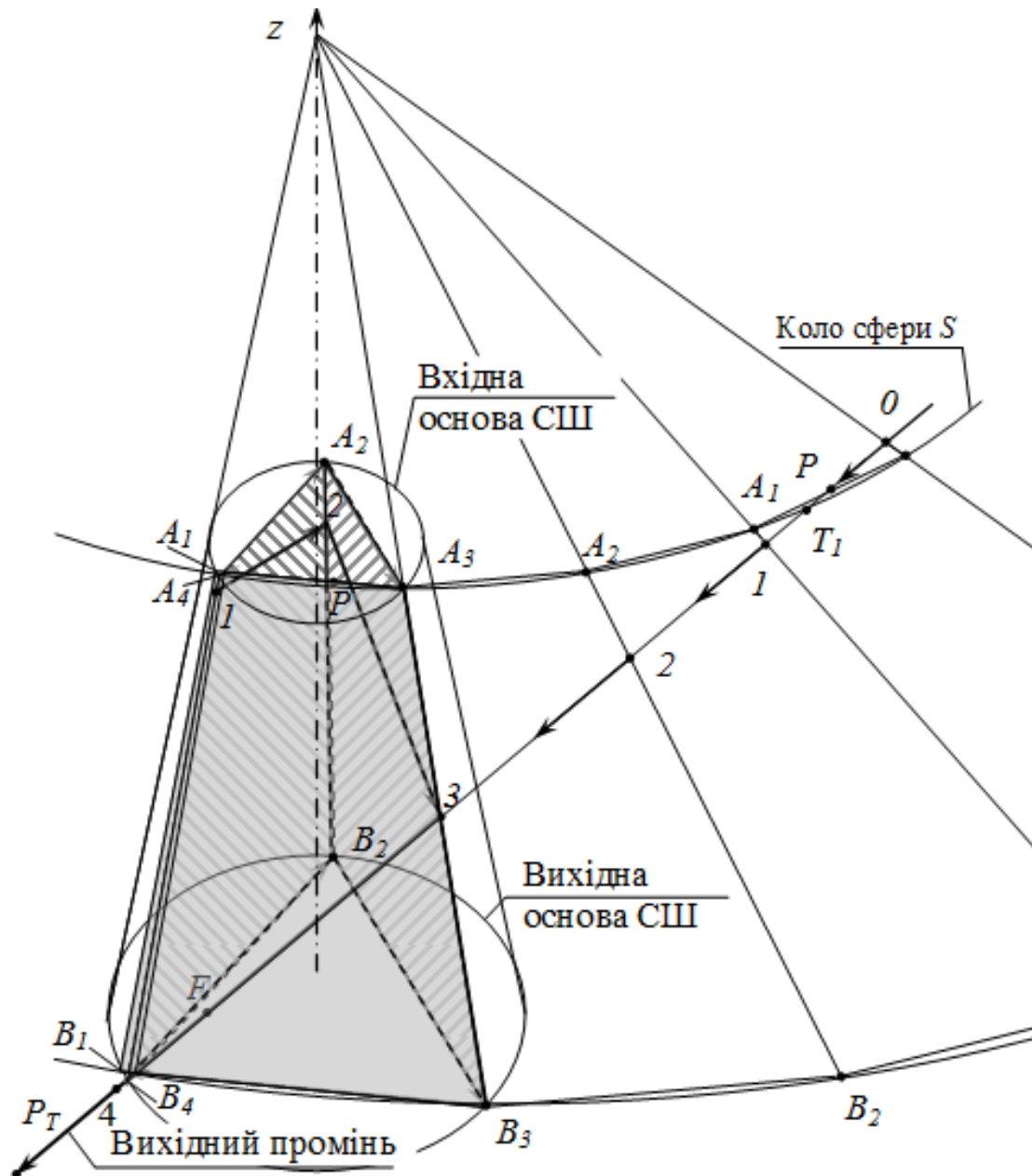


Рис. 3. Світлова шахта, траєкторія ходу променя та її розгортка з відповідними трапеціями на площину вихідного променя $z P_T$

Друга дія полягає у визначенні точки перетину прямої вихідного променя $z P_T$ з хордою $A_0 A_1$ на розгортці (положення згаданої хорди знаходимо поворотом хорди $A_3 A_4$ на кут $k\varphi$ (рис. 4)). Якщо точка (P) перетину існує, то промінь проходить крізь СШ і обчислюємо її координати.

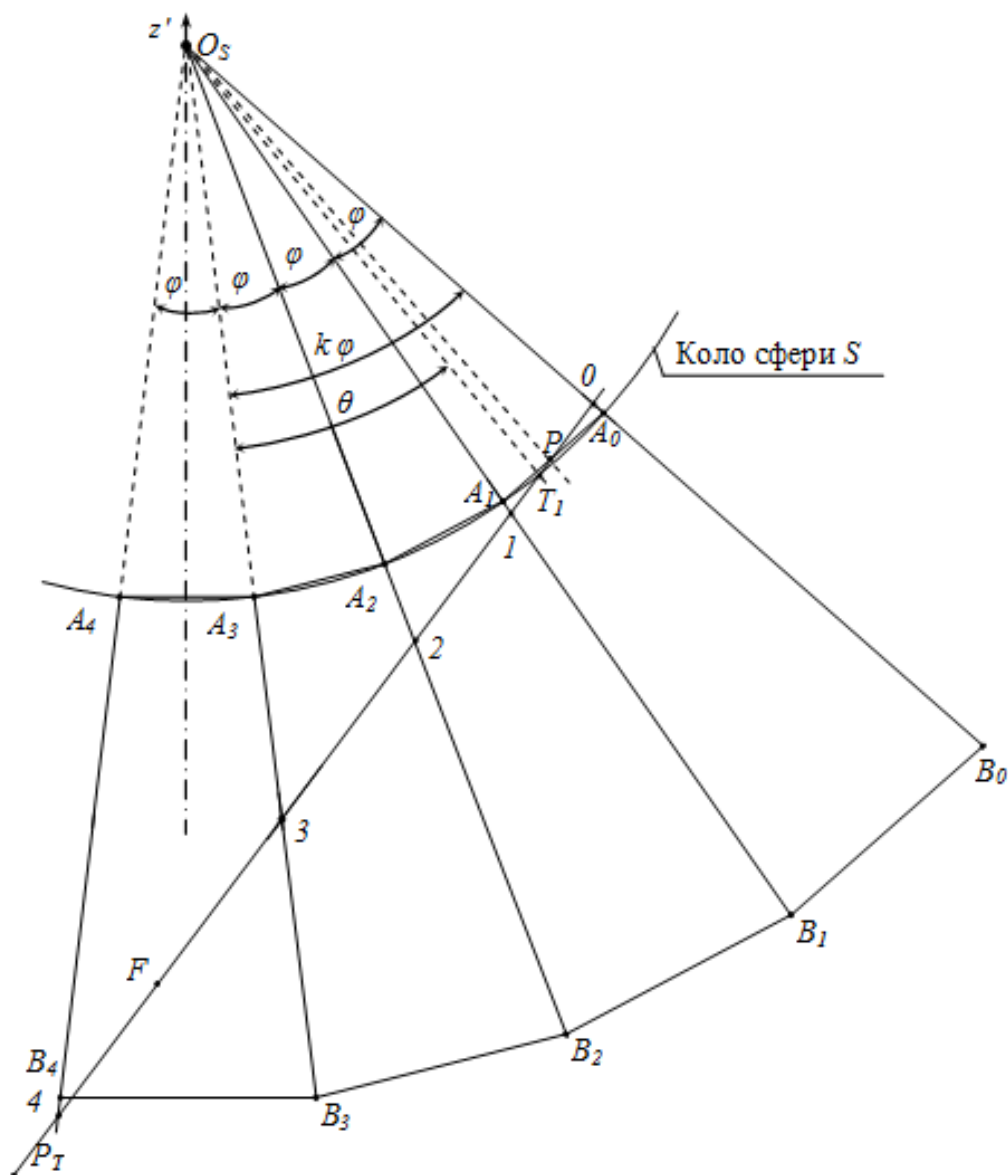


Рис. 4. Розгортка променя та відповідних йому трапецій на площину вихідного променя $z P_T$

Висновок. Запропоновано спосіб визначення можливості проходження променя крізь СШ. Застосування та програмна реалізація способу в подальшому спрямована на розробку та програмну реалізацію алгоритму трасування променя в конічній світловій шахті.

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. Karany N.S. Fiber Optics. VIII The focon. / N.S. Karany // JOSA. – 1961. – 51, №1, – pp. 32–34.
 5. Вейнберг В. Б. Оптика световодов. / В. Б. Вейнберг, Д. К. Саттаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1977. – 319 с.
 6. Williamson D.E. Cone channel condenser optics. / D.E. Williamson // JOSA. – 1952. – № 42 – pp. 712-715.
 7. Wei-Feng Hsu. Orthogonal incidence method for efficient sunlight collection from asymmetric light couplers in tree-structured light guiding systems / Wei-Feng Hsu, Yun-Chiang Hsu, Yi-Ta Shen // Applied Optics. – 2013. – Vol. 52, Issue 25 – pp. 6332–6343.
 8. Пугачев Е.В. Трассировка светового луча в призматических световых шахтах с горизонтальными основаниями в виде правильного шестиугольника / [Е.В.Пугачев, С.И.Литницкий, Т.Н.Кундрат, В.А.Зданевич и др.] // The priorities of the world science: experiments and scientific debate: Proceedings of the XIV International scientific conference 23–25 May 2017. – North Charleston, USA: CreateSpace, 2017. – pp. 38-43.

УСЛОВИЯ ПРОХОЖДЕНИЕ ЛУЧА ЧЕРЕЗ КОНИЧЕСКУЮ СВЕТОВУЮ ШАХТУ ПОСЛЕ ЕГО МНОГОКРАТНОГО ОТРАЖЕНИЯ

Зданевич В.А., Кундрат Т.Н., Литницкий С.И., Пугачев Е.В.

Проанализированы и дополнены условия прохождения светового луча через световую шахту в виде усеченного конуса.

Ключевые слова: коническая световая шахта, зеркальное отражение, световой луч.

CONDITIONS RAY TRANSITING THROUGH CONIC LIGHT SHAFT AFTER ITS MULTIPLE REFLECTION

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

Conditions of transiting of a light ray through light shaft in the form of a frustum of a cone.

Keywords: a conic light shaft, a mirror reflection, a light ray.