

УДК 514.18

## **АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОЇ ЯСКРАВОСТІ ВИХІДНОГО ПРОМЕНЯ З ПОХИЛОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ СВІТЛОВОЇ ШАХТИ З ДЗЕРКАЛЬНИМ ВІДБИВАННЯМ СВІТЛА**

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)*

*Розроблено алгоритм визначення відносної яскравості вихідного променя з похилої циліндричної світлової шахти з дзеркальним відбиванням світла від її внутрішньої поверхні. Алгоритм ґрунтується на способі визначення яскравості вихідного променя, розробленому для вертикальної циліндричної світлової шахти для моделі розподілу яскравості за Муном-Спенсер (хмарний небозвід), коли відносна яскравість точки на небозводі залежить лише від її кутової висоти.*

*В сучасних п'ятнадцяти моделях розподілу відносної яскравості за небозводом, стандартизованих Міжнародною комісією з освітлення, яскравість залежить не тільки від кутової висоти точки на небозводі, а й від положення на ньому сонця на даний момент сонячного часу. Тому навіть для вертикальної циліндричної світлової шахти алгоритм визначення яскравості вихідного променя вимагає корегування.*

*Використання алгоритму дозволяє визначати в розрахунковій точці під шахтою світловий вектор, а також інші інтегральні характеристики світлового поля (сферичну і напівсферичну освітленість, циліндричну освітленість, просторову освітленість), створені відбитим від внутрішньої поверхні світлової шахти світлом, або освітленість площини (поверхні). Вибір конкретної інтегральної характеристики світлового поля залежить від призначення приміщення, яке освітлюється світловою шахтою. А вибір моделі розподілу відносної яскравості диктується особливостями світлового клімату району будівництва.*

*Для переходу від відносних характеристик світлового поля до абсолютних треба задіяти яскравість небозводу в зеніті на даний момент сонячного часу.*

*Запропонований алгоритм можна використати і для*

*простішого випадку, коли світлова шахта є вертикальною.*

*Ключові слова: похила циліндрична світлова шахта, вхідний промінь, вихідний промінь, дзеркальне відбивання світла, коефіцієнт дзеркального відбивання світла, орієнтація світлової шахти, розподіл відносної яскравості за небозводом, число відбивань променя, сонячний час, координати сонця, обертання навколо осей координат.*

**Постановка проблеми.** Для розрахунку світлового вектора під світловою шахтою, створеного природним світлом, відбитим її внутрішньою поверхнею, необхідно знати відносну яскравість вихідного променя. Вона залежить від координат останньої відбиваючої точки на внутрішній поверхні шахти, координат приймаючої точки (розрахункової точки), розподілу яскравості по небозводу на даний момент сонячного часу, орієнтації світлової шахти, числа відбивань  $k$  променя до виходу з шахти та коефіцієнта дзеркального відбивання її внутрішньої поверхні  $\rho$ .

Якщо відома відносна яскравість променя на вході в світлову шахту  $L_{вх}$ , то його відносну яскравість на виході з неї  $L_{вих}$  можна обчислити за формулою

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

Відносна яскравість променя на вході в шахту залежить від його координат (фактично, координат елемента небозводу, відносна яскравість якого  $i$  є відносною яскравістю вхідного променя) та розподілу яскравості по небозводу, характерному для даної місцевості.

Міжнародною комісією з освітлення стандартизовані 15-ть відносних розподілів яскравості по небозводу [3]. Згідно з [3] відносна яскравість довільного елемента небозводу визначається його кутовою висотою та азимутальною різницею між ним та Сонцем, отже, залежить від координат Сонця на небозводі. Координати Сонця визначаються за відомими формулами (тут не наводяться) і залежать від багатьох факторів (широта місцевості, номер дня року, сонячний час тощо).

Таким чином, всі 15-ть стандартизованих моделей мають динамічний характер, тобто відносна яскравість елемента небозводу для даної місцевості залежить від сонячного часу (положення Сонця на небозводі).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [1] розглянуто аналогічну задачу для вертикальної циліндричної світлової шахти, але лише для звичайного хмарного неба (модель розподілу відносної яскравості за Муном-Спенсер), коли відносна яскравість елемента небозводу залежить тільки від його кутової висоти (кута нахилу променя до горизонтальної площини). В згаданій

роботі також показано, що цей кут при відбиванні від внутрішньої поверхні вертикальної циліндричної шахти не змінюється. За такої ж моделі (Муна-Спенсер) схожі задачі розглядалися для вертикальних світлових шахт у формі паралелепіпеда [1, 2].

**Формулювання цілей статті.** Мета статті – розробити алгоритм визначення відносної яскравості вихідного променя з похилої циліндричної світлової шахти з дзеркальним відбиванням світла від її внутрішньої поверхні.

**Основна частина.** Число відбивань конкретного променя до виходу з світлової циліндричної шахти залежить лише від взаємного розміщення останньої відбиваючої точки і приймальної (розрахункової точки) та геометричних параметрів шахти. Проте для вертикальної світлової шахти це число визначати простіше, ніж для похилої. Але при цьому координати вхідного променя будуть різними.

Тому ідея алгоритму полягає в тому, щоб спочатку задати координати розрахункової точки відносно похилої шахти, потім обертанням перевести шахту (разом з точкою) у вертикальне положення і визначити число відбивань і координати вхідного вектора. А далі зворотнім обертанням обчислити координати вхідного вектора вже для похилої шахти.

Нехай вісь похилої циліндричної світлової шахти розташована під кутом  $\gamma$  до площини горизонту (площина  $xOy$ ), а вертикальна площина, інцидентна осі шахти, становить кут  $\alpha$  з напрямом на північ (рис. 1). Центр кола нижньої основи збігається з початком системи координат. Площини нижньої і верхньої основ шахти перпендикулярні до її осі. Координатна вісь  $y$  спрямована на схід, вісь  $x$  – на південь, а вісь  $z$  – в зеніт.

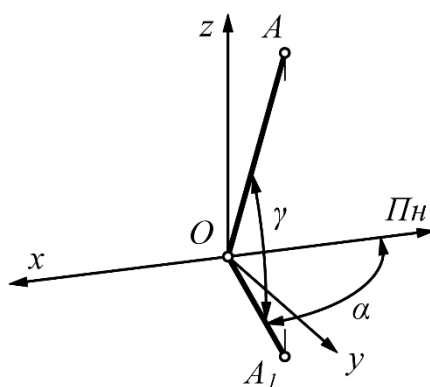


Рис. 1. Орієнтація осі похилої світлової шахти:  
 $\gamma$  – кутова висота,  $\alpha$  – азимут

Алгоритм визначення відносної яскравості вихідного вектора містить таку послідовність дій.

1. Задаємо відносно похилої світлової шахти розрахункову

точку  $PT$ .

2. На внутрішній поверхні шахти в області, яка відбиває світло в розрахункову точку, задаємо довільно останню відбиваючу точку (т.  $E$ , рис. 2). Область, яка відбиває світло в розрахункову точку, визначається як перетин конуса з вершиною у розрахунковій точці і напрямною – колом нижньої основи світлової шахти з циліндром шахти [1]. Згадані конус і циліндр перетинаються по двом плоским кривим другого порядку – колу нижньої основи шахти та еліпсу
3. Повертаємо світлову шахту разом з розрахунковою і останньою відбиваючою точками навколо осі  $z$  на кут  $\alpha - \pi/2$ , щоб вісь шахти опинилась в координатній площині  $zOy$ .
4. Повертаємо світлову шахту разом з розрахунковою і останньою відбиваючою точками навколо осі  $x$  на кут  $\pi/2 - \gamma$ , щоб вісь шахти збіглась з віссю  $z$  (шахта стає вертикальною).
5. Визначаємо точку  $F$  перетину прямої вихідного променя  $EM$  (рис. 2) з коловим циліндром шахти. Оскільки промінь вихідний, то точка перетину розміщена нижче площини нижньої основи шахти.
6. Обчислюємо координати вектора, спрямованого з останньої відбиваючої точки  $E$  до обчисленої в попередньому пункті точки перетину  $F$ .
7. За координатами точок, використаних в 6-му пункті, визначаємо кут  $\Delta\varphi$  (рис. 2), на який після кожного відбивання повертається горизонтальна проекція даного променя навколо осі  $z$  (траєкторія променя вписана в гвинтову лінію [1]). Після кожного відбивання горизонтальна проекція вектора повертається на кут  $\Delta\varphi$  проти годинникової стрілки, тобто кут обертання є додатнім. Він був би від'ємним, якби гвинтова лінія закручувалась у протилежному напрямі.
8. Визначаємо величину  $\Delta z$  (рис. 2), на яку опускається промінь після кожного відбивання, як різницю аплікат останньої відбиваючої точки  $E$  і згаданої точки перетину  $F$ .

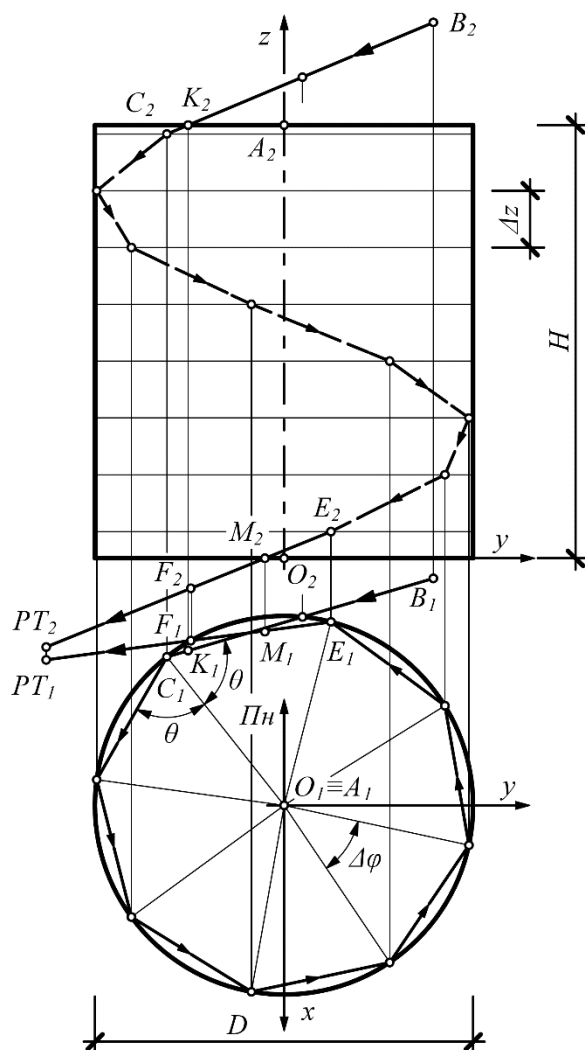


Рис. 2. Траекторія променя всередині вертикальної світлової шахти та кут  $\Delta\varphi$ , на який повертається горизонтальна проекція променя навколо осі  $z$  після кожного відбивання

9. Визначаємо [1] число відбивань променя до виходу з світлової шахти за формулою:

$$k = \text{Ent}[(H - z_1)/\Delta z] + 1, \quad (2)$$

де  $z_1$  – апліката останньої відбиваючої точки (т.  $E$ ),  $H$  – висота шахти, а  $\text{Ent}$  означає цілу частину виразу у квадратних дужках.

10. Визначаємо координати вхідного вектора за координатами вектора  $EF$ , обчисленими в 6-му пункті, шляхом його обертання навколо осі  $z$ . Напрямок обертання є протилежним напрямку закручування променя в шахті під час його багаторазового відбивання, тобто – за годинниковою стрілкою (рис. 2). Вектор обертається на кут  $(-k \Delta\varphi)$ , оскільки кут  $\Delta\varphi$  був додатнім.

11. Повертаємо отриманий в попередньому пункті вхідний вектор навколо осі  $x$  на кут  $\gamma - \pi/2$  (поворот, зворотній повороту, описаному в пункті 4) .
12. Повертаємо отриманий в 11-му пункті вектор навколо осі  $z$  на кут  $\pi/2 - \alpha$  (поворот, зворотній повороту, описаному в пункті 3).
13. За координатами отриманого в попередньому пункті вектора обчислюємо кутову висоту точки його початку (кут нахилу променя до площини горизонту) і кут між його горизонтальною проекцією і напрямом на північ, тобто – кутову висоту точки на небозводі та її азимут.
14. За кутовою висотою точки на небозводі та її азимутом для обраної моделі небозводу визначаємо відносну яскравість вхідного променя  $L_{вх}$ . Відносна яскравість визначається на даний момент сонячного часу.
15. За формулою (1) визначаємо відносну яскравість вихідного променя  $L_{вих}$ , підставляючи в неї число відбивань променя до виходу з світлової шахти  $k$ , коефіцієнт дзеркального відбивання  $\rho$  та відносну яскравість вхідного променя  $L_{в}$ .

**Висновки.** Розроблений алгоритм дає можливість визначати відносну яскравість вихідних відбитих від внутрішньої поверхні похилої циліндричної світлової шахти променів 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 згаданої освітленості та освітленості від похилих шахт інших форм.

### *Література*

1. Пугачов Є.В. Дискретне геометричне моделювання скалярних і векторних полів стосовно будівельної світлотехніки: дис. ... докт. техн. наук: 05.01.01. К., 2001. 324 с.
2. Гарбарук Ю.В. Геометричне моделювання природної освітленості від дзеркально відбиваючих світових шахт: дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. К., 2016. 165 с.
3. ДСТУ ISO 15469:2008. Розподіл яскравості денного світла просторовий. Стандартне хмарне та безхмарне небо згідно з СІЕ (ISO 15469:2004, IDT). [Чинний від 2010-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2013. 7 с. (Національні стандарти України).

## **АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЯРКОСТИ ВЫХОДЯЩЕГО ЛУЧА ИЗ НАКЛОННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СВЕТОВОЙ ШАХТЫ**

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

*Разработан алгоритм определения относительной яркости выходящего луча из наклонной цилиндрической световой шахты с зеркальным отражением света от ее внутренней поверхности. Алгоритм основывается на способе определения яркости выходящего луча, разработанном для вертикальной цилиндрической световой шахты и модели распределения яркости по Муну-Спенсер (облачный небосвод), когда относительная яркость точки на небосводе зависит лишь от ее угловой высоты.*

*В современных пятнадцати моделях распределения относительной яркости по небосводу, стандартизированных Международной комиссией по освещению, яркость зависит не только от угловой высоты точки на небосводе, но и от положения на нем солнца на данный момент солнечного времени. Поэтому даже для вертикальной цилиндрической световой шахты алгоритм определения яркости выходящего луча требует корректирования.*

*Использование алгоритма позволяет определять в расчетной точке под шахтой световой вектор, а также другие интегральные характеристики светового поля (сферическую и полусферическую освещенность, цилиндрическую освещенность, пространственную освещенность), созданные отраженным от внутренней поверхности световой шахты светом, или освещенность плоскости (поверхности). Выбор конкретной интегральной характеристики светового поля зависит от назначения помещения, которое освещает световая шахта. А выбор модели распределения относительной яркости диктуется особенностями светового климата района строительства.*

*Для перехода от относительных характеристик светового поля к абсолютным нужно задействовать яркость небосвода в зените на данный момент солнечного времени.*

*Предложенный алгоритм можно использовать и для более простого случая, когда световая шахта является вертикальной.*

*Ключевые слова: наклонная цилиндрическая световая шахта, входящий луч, выходящий луч, зеркальное отражение света, коэффициент зеркального отражения света, ориентация световой шахты, распределение относительной яркости по небосводу, число отражений луча, солнечное время, координаты солнца, вращения вокруг осей координат.*

## **ALGORITHM OF DETERMINATION OF RELATIVE BRIGHTNESS OF THE LEAVING BEAM FROM THE INCLINED CYLINDRICAL LIGHTWELL**

Zdanevych V., Kundrat T., Litnitskyi S., Pugachev E.

*The algorithm of determination of relative brightness of an emergent beam from the inclined cylinder lightwell with specular reflection of light from its internal surface is developed. The algorithm is based on the way of determination of brightness of the emergent beam, developed for the vertical cylinder lightwell for brightness distribution model for Moon-Spenser (the cloudy firmament) when the relative brightness of the point in the firmament depends only on its angular height.*

*In the modern fifteen distribution models of relative brightness behind the firmament standardized by the International commission on lighting, brightness depends not only on the angular height of the point in the firmament, but also on position of the sun on it at the solar time moment. Therefore even for the vertical cylinder lightwell the algorithm of determination of brightness of the emergent beam demands correcting.*

*Use of the algorithm allows to define in the reference point under the lightwell light vector and also other integrated characteristics of the light field (spherical and hemispherical illumination, cylinder illumination, space illumination) created by light reflected from the internal surface of the lightwell or illumination of the plane (surface). The choice of specific integrated characteristic of the light field depends on assignment of the room which is lit by the lightwell. And the choice of model is dictated to distribution of relative brightness by features of light climate of the area of construction.*

*From relative characteristics of the light field to absolute it is necessary to use firmament brightness at the peak of at the moment solar time for transition.*

*The offered algorithm can be used also for simpler case when the lightwell is vertical.*

*Keywords: the inclined cylinder lightwell, the entrance beam, the initial beam, specular reflection of light, coefficient mirror light reflection, orientation of the light mine, distribution of relative brightness on the firmament, number of reflections of the beam, solar time, coordinates of the sun, rotation around axes of coordinates.*