

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ГАРБАРУК ЮЛІЯ ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 514.18

**ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНОЇ ОСВІТЛЕНOSTІ
ВІД ДЗЕРКАЛЬНО ВІДБИВАЮЧИХ СВІТЛОВИХ ШАХТ**

05.01.01 – Прикладна геометрія, інженерна графіка

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті водного господарства та природокористування Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Пугачов Євген Валентинович,
Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне) МОН України, професор кафедри основ архітектурного проектування, конструювання та графіки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сергейчук Олег Васильович,
Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ) МОН України, професор кафедри архітектурних конструкцій

кандидат технічних наук, доцент
Єгорченков Володимир Олексійович,
Національний авіаційний університет, інститут аеропортів (м. Київ) МОН України, доцент кафедри містобудування

Захист відбудеться “29” червня 2016 року о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.06 при Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03680, Київ, Повітрофлотський проспект, 31, КНУБА, Вчена рада університету, ауд. 466

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03680, Київ, Повітрофлотський проспект, 31, КНУБА

Автореферат розісланий “___” _____ 2016 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.А. Бондар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зростання витрат енергії спонукає архітекторів ширше застосовувати верхнє природне освітлення в новобудовах і реконструкції існуючих будівель як приватного, так і громадського секторів. За рахунок використання природного верхнього освітлення досягається не тільки економія електроенергії, але й забезпечення необхідного світлового комфорту, що пояснюється позитивним психологічним впливом природного світла.

Верхнє освітлення через світлові шахти проектують в будівлях (приміщеннях), які за їх функціональним призначенням та просторовим вирішенням мають низьку стелю і велику товщину покриття. Світлові шахти влаштовують в промислових будівлях з підвісними стелями або технічними верхніми поверхами, а також у громадських і навіть житлових будівлях. Зокрема – в громадських будівлях з специфічними вимогами до світлового середовища (виставкові зали, музеї тощо. Особливістю світлових шахт порівняно з зенітними ліхтарями є те, що значна частина світлового потоку виходить з шахт після багатократного відбивання від внутрішньої поверхні, оскільки вони мають значно більшу висоту. Тому не можна методи моделювання освітленості від зенітних ліхтарів використати для світлових шахт.

Велика різноманітність типів, форм і розмірів світлових шахт робить вибір світлопрорізу складною задачею, яка повинна спиратися на моделювання освітленості (світлового вектора) під шахтою та її ефективності (коефіцієнта корисної дії). Перше дозволяє прогнозувати характеристики освітленості і порівнювати їх значення з нормованим, а друге – порівнювати шахти між собою і обирати найбільш адекватну проектній ситуації.

Наявні способи моделювання ефективності світлових шахт і коефіцієнта природної освітленості від них (В.О. Земцов) здебільшого характеризуються намаганням обійти геометричні проблеми. Внаслідок прийнятих спрощень ці способи дають результати, що не відповідають реальним фізичним процесам (розподіл освітленості під світловою шахтою, ефективність світлової шахти). Коректні ж способи моделювання інтегральних характеристик світлового поля від світлових шахт різних геометричних форм були розроблені, головним чином, для шахт з дифузним відбиванням світла. Для них також проведено аналіз та порівняння їх ефективності.

Отже, актуальність теми обумовлена тим, що світлові шахти, зокрема з дзеркальним відбиванням світла, широко використовуються в архітектурно-будівельній практиці, але моделювання їх ефективності та освітленості від них потребує подальшого розвитку та може спиратися на геометричні методи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно плану проведення науково-дослідних робіт кафедри основ архітектурного проектування, конструювання та графіки Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне) за темою «Геометричне та фізичне моделювання в архітектурі, будівництві та техніці», державний реєстраційний номер 0114U001154.

Мета й задачі дослідження. *Мета роботи* – розроблення способу моделювання ефективності світлових шахт у вигляді паралелепіпеда з дзеркальним відбиванням світла, аналіз і порівняння ефективності дзеркально відбиваючих шахт у вигляді

паралелепіеда та циліндра, порівняння їх ефективності з ефективністю дифузно відбиваючих шахт. Розроблення програмного забезпечення моделювання освітленості та світлового вектора від дзеркально відбиваючих світлових шахт та візуалізація поверхонь освітленості, проєкцій світлового вектора та світлового поля. Для її досягнення поставлені та вирішені такі *основні задачі*:

1. Проаналізувати існуючі способи моделювання ефективності світлових шахт з дзеркальним відбиванням світла, світлового вектора та природної освітленості від них.
2. Розробити спосіб моделювання ефективності світлових шахт з дзеркальним відбиванням світла у вигляді паралелепіеда.
3. Порівняти ефективності світлових шахт з дзеркальним відбиванням світла однакових та різних форм та однакових форм, але різних за характером відбивання світла (дифузним та дзеркальним).
4. Розробити спосіб визначення раціональних пропорцій циліндричних світлових шахт і шахт у вигляді паралелепіеда квадратного перерізу з дифузним та дзеркальним відбиванням світла.
5. На основі теоретичних положень, запропонованих проф. Пугачовим Є.В., розробити програмне забезпечення моделювання освітленості та світлового вектора для циліндричних світлових шахт і світлових шахт у вигляді паралелепіеда з дзеркальним відбиванням світла, а також візуалізувати поверхні освітленості, проєкцій світлового вектора та світлового поля під шахтами.
6. Впровадити результати досліджень в архітектурно-будівельну практику.

Об'єкт дослідження – світлове поле, створюване світловими шахтами з дзеркальним відбиванням світла від їх внутрішніх поверхонь.

Предмет дослідження – способи моделювання ефективності світлових шахт, освітленості, світлового вектора.

Методи дослідження. Поставлені у роботі задачі розв'язувались на основі методів аналітичної та диференціальної геометрії, комп'ютерної графіки з використанням системи AutoCAD, середовища програмного продукту MathCAD, методів теоретичної фотометрії та світлотехніки.

Наукова новизна одержаних результатів:

Вперше:

- розроблено спосіб моделювання ефективності світлових шахт у вигляді паралелепіеда з дзеркальним відбиванням світла;
- проведено порівняння ефективності циліндричних світлових шахт і шахт у вигляді паралелепіеда квадратного перерізу з дзеркальним відбиванням світла, циліндричних світлових шахт з дифузним та дзеркальним відбиванням світла, світлових шахт у вигляді паралелепіеда квадратного перерізу з дифузним та дзеркальним відбиванням світла;
- запропоновано спосіб визначення раціональних пропорцій циліндричних світлових шахт і шахт у вигляді паралелепіеда квадратного перерізу з дифузним та дзеркальним відбиванням світла.

Удосконалено:

- способи моделювання освітленості і світлового вектора для циліндричних світлових шахт і світлових шахт у вигляді паралелепіеда з дзеркальним відбиванням

світла стосовно розробки відповідного програмного забезпечення, візуалізації поверхонь освітленості, проєкцій світлового вектора та світлового поля під шахтою.

Отримав подальший розвиток:

– спосіб моделювання ефективності циліндричних світлових шахт з дзеркальним відбиванням світла стосовно візуалізації залежності ефективності, створеної відбитим світлом, від індексу шахти та аналізу характеру зміни кривої освітленості вздовж діаметра шахти.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів підтверджується відповідністю постановки задач фізичному процесу поширення світла, візуалізацією результатів обчислювальних експериментів (характер зміни та значення ефективності, освітленості та світлового вектора відповідають суті фізичного явища), а також збігом результатів для окремих випадків з відомими.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблений спосіб моделювання ефективності світлових шахт у вигляді паралелепіпеда дає можливість порівнювати шахти між собою і вибирати найбільш відповідні проєктній ситуації. Удосконалені способи моделювання освітленості і світлового вектора дозволяють обґрунтовано і відповідно до норм проєктування природної освітленості визначати необхідну кількість світлових шахт, їх форму та геометричні параметри.

Впровадження одержаних результатів здійснено на:

– ТОВ "Тектон" м. Гродно, Білорусь при розрахунку ефективності та поверхонь освітленості в будинку ритуальних послуг та при реконструкції приміщень магазину «Сонячний» м. Гродно (довідка № 28 впровадження результатів досліджень від 01.07.2014 р.);

– ПП «Творчо-виробнича фірма Тріада» – програми для розрахунку природної освітленості від дзеркально відбиваючих світлових шахт передано для використання в проєктній практиці (довідка №53 впровадження результатів досліджень від 15.10.2014 р.).

Особистий внесок здобувача. Напрямок досліджень був сформований науковим керівником. Дисертантом самостійно розв'язані усі наведені в роботі задачі, розроблено алгоритми та відповідне програмне забезпечення для отримання числових результатів.

Результати виконаних досліджень, які виносяться на захист і складають наукову новизну роботи, викладені в 9 працях.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження доповідались на: всеукраїнській науковій конференції молодих вчених, аспірантів та студентів "Прикладна геометрія та інженерна графіка 2011"(2011 р.), м. Луцьк; VIII Всеукраїнській науково-практичній конференції "Прикладна геометрія, графічні технології та дизайн" (2012 р.), м. Полтава; дев'ятій кримській міжнародній науково-практичній конференції "Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн" (2012 р.), м. Сімферополь; XV Міжнародній конференції з математичного моделювання (2014 р.), м. Херсон; 3rd International Scientific Conference "Theoretical and Applied Sciences in the USA" (2015 р.), Нью – Йорк, США.

Публікації. Основний зміст і результати досліджень висвітлені в 9 публікаціях, із яких 7 опубліковано у фахових виданнях, затверджених МОН України, із них одна праця є одноосібною, одна праця опублікована в іноземному виданні, входить до бази

Російського індексу національного цитування (РІНЦ). Одна праця опублікована в інших виданнях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 237 найменувань і трьох додатків. Робота містить 112 сторінок основного тексту 128 рисунків і 3 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації; сформульовано мету та задачі досліджень; охарактеризовано наукову новизну та вірогідність отриманих результатів, їх теоретичне та практичне значення; наведено дані про апробацію отриманих результатів і публікації, що відображають основний зміст роботи; її зв'язок із науковими програмами.

У першому розділі наведено огляд літератури та обґрунтовано вибір напрямку досліджень. Проаналізовано використання світлових шахт в архітектурно-будівельній практиці. Розглянуто основні поняття та критерії оцінки світлового середовища в приміщеннях. Розглянуто способи моделювання ефективності світлових шахт та освітленості від них в області архітектурно-будівельної світлотехніки.

Природному освітленню в області архітектурно-будівельної світлотехніки присвячені роботи багатьох вчених, зокрема Бахарева Д.В., Галінської Т.А., Гусева Н.М., Гордіци Д.Д., Дроздова В.А., Іванченко В.Т., Земцова В.А., Зоколя С.В., Єгорченкова В.А., Кіреєва М.М., Нуретдінова Х.Н., Скриля І.Н., Соловійова А.К., Яббарова Ф.А. Основи теорії світлового поля закладені в роботах Болдирева Н.Г., Габела Д., Гершуна А.А., Гуревича М.М., Гуторова М.М., Мешкова В.В., Сапожникова Р.А.

Теоретичною базою даних досліджень є роботи провідних вчених у галузях: геометричного моделювання ліній і поверхонь – Бадаєва Ю.І., Балюби І.Г., Борисенка В.Д., Ваніна В.В., Верещаги В.М., Вірченка Г.А., Гумена М.С., Іванова Г.С., Ковальова С.М., Ковальова Ю.М., Корчинського В.М., Котова І.І., Малкіної В.М., Михайленка В.Є., Найдиша В.М., Найдиша А.В., Несвідоміна В.М., Обухової В.С., Пилипаки С.Ф., Підгорного О.Л., Пустюльги С.І.; геометричного моделювання явищ і процесів – Дворецького О.Т., Куценка Л.М., Підгорного О.Л., Плоского В.О., Пугачова Є.В., Сергейчука О.В., Тормосова Ю.М., Шоман О.В., Чернікова О.В. та інших.

Напрямок геометричного моделювання в області архітектурно-будівельної фізики в Україні започатковано професором Підгорним О.Л. і розвинуто у роботах Дворецького О.Т., Пугачова Є.В., Сергейчука О.В. та інших. Значним доробком є праці професора Є.В. Пугачова, присвячені геометричним способам моделювання інтегральних характеристик світлового поля для складних світлопросторових експозицій та комп'ютерному моделюванню сонячного опромінення. Зокрема, ним розроблено в теоретичному плані геометричні способи моделювання інтегральних характеристик світлового поля від циліндричних світлових шахт з дзеркальним відбиванням світла та загальний спосіб зонування простору під світловими шахтами поширених в архітектурно-будівельній практиці форм.

Перші роботи з моделювання ефективності світлових шахт та коефіцієнта природної освітленості при дифузному та дзеркальному відбиванні світла внутрішньою

поверхнею шахти пов'язані з іменами М.М. Кіреєва та В.О.Земцова. Вони ж проводили лабораторні дослідження в цьому напрямку, які дозволили скорегувати запропоновані ними теоретичні формули за рахунок введення емпіричних коефіцієнтів і, таким чином, розробити наближений спосіб розрахунку. Але в роботах В.А. Земцова прийняті значні спрощення, які призводять до суттєвих похибок.

На сучасному рівні моделювання інтегральних характеристик світлового поля від шахт з дифузним відбиванням світла розглянуто в роботах Є.В. Пугачова та Т.М. Кундрата. У роботах проф. Є.В. Пугачова розроблено теоретичні основи способів геометричного моделювання інтегральних характеристик світлового поля від світлових шахт різних форм при дифузному відбиванні світла з орієнтацією на комп'ютерне проектування. У роботах доцента Т.М. Кундрата розроблено геометричні методи моделювання ефективності, інтегральних характеристик світлового поля та коефіцієнта природної освітленості для світлових шахт різних геометричних форм з дифузним відбиванням світла, та проведено аналіз та порівняння їх ефективності.

У спільній роботі Є.В. Пугачова та Т.М. Кундрата розглянуто моделювання ефективності циліндричної шахти з дзеркальним відбиванням світла.

Спільним для шахт з дифузним і дзеркальним відбиванням світла є способи моделювання освітленості та інтегральних характеристик світлового поля прямим світлом від небозводу.

В розділі також наведені основні поняття, пов'язані з моделюванням характеристик світлового поля та освітленості, зокрема, розподіл яскравості для хмарного небозводу та визначення світлового вектору.

У другому розділі для циліндричних світлових шахт розглядаються: моделювання ефективності світлових шахт; моделювання освітленості та світлового вектора в розрахункових точках під світловою шахтою; порівняння ефективності світлових шахт з дзеркальним та дифузним відбиванням світла; способу моделювання ефективності світлової шахти наведеного в роботі Е.В. Пугачова та Т.М. Кундрата з існуючими способами.

Ефективність шахти, як і в роботі Є.В. Пугачова та Т.М. Кундрата, визначалася як відношення світлових потоків: вихідного до вхідного (може виражатися у відсотках). Вхідний світловий потік можна визначити як добуток освітленості горизонтальної площини повністю відкритим небозводом на площу верхньої основи шахти, тобто:

$$F_{vh} = \left(\frac{7}{9}\pi L_z\right)\pi R^2 = \frac{7}{9}\pi^2 L_z R^2, \quad (1)$$

де L_z – яскравість небозводу в zenіті (приймалась рівною 1), $\frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$;

R – радіус циліндричної світлової шахти.

Вихідний світловий потік (потік, який виходить через нижню основу шахти) створюється в кожній точці нижньої основи прямим світлом від частини небозводу і світлом, відбитим від всієї внутрішньої поверхні світлової шахти. Тому в точках нижньої основи світлової шахти проекції світлового вектора визначалися інтегруванням по всій верхній основі шахти значень світлового вектора, створених елементарною площинкою dS (пряме світло, рис. 1, а), і по всій внутрішній поверхні світлової

шахти (відбите світло, рис. 1, б).

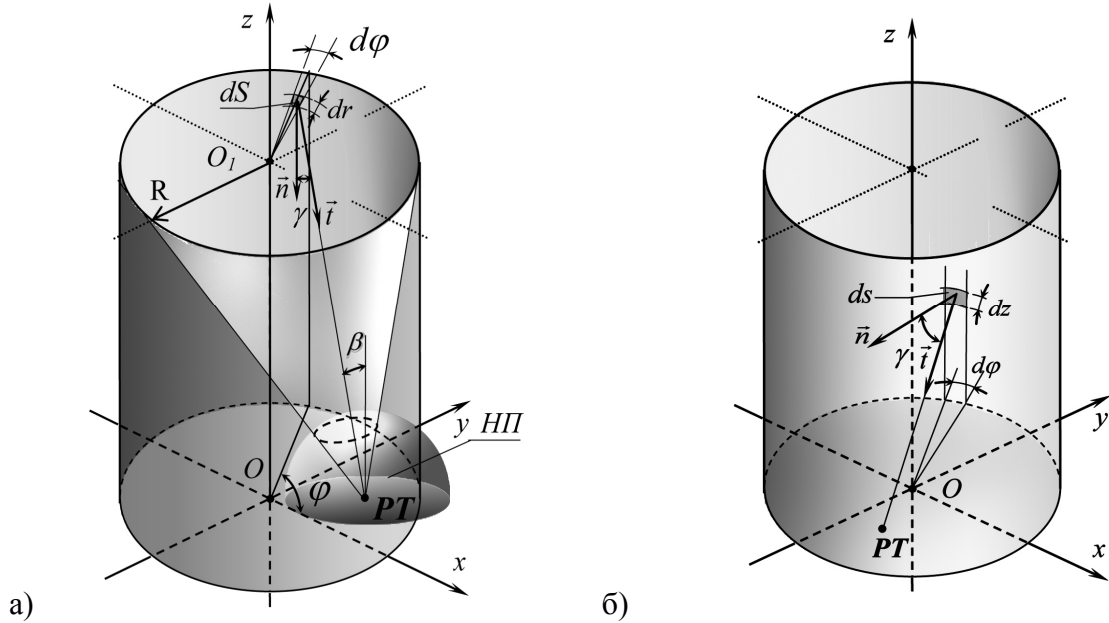


Рис. 1. До визначення освітленості прямим (а) та відбитим (б) світлом точок нижньої основи світлової шахти

Для визначення частини вихідного світлового потоку, створеної відбитим світлом, необхідно знати яскравість вихідного променя. Вона залежить від яскравості вхідного променя, кількості його відбивань до виходу з шахти та коефіцієнта відбиття. Оскільки при відбитті променів від вертикальних площин (дотичні площини до циліндра в точках відбиття променя) їх кут нахилу до горизонтальної площини не змінюється, і після кожного відбивання променя даної траєкторії горизонтальна проекція променя повертається на однаковий кут $\Delta\varphi$ а вертикальна опускається на однакову величину Δz (рис. 2), то яскравість променя на виході з шахти після багатократного відбивання розраховується за формулою:

$$L_{\text{vuh}} = L_z \frac{1 + 2\sin\theta}{3} \rho^N, \quad (2)$$

де θ – кут нахилу вхідного і вихідного променів до площини горизонту, який обчислюється за координатами приймаючої (розрахункової) точки і відбиваючої точки на поверхні циліндричної шахти; $N = \text{Ent}\left(\frac{H - z}{\Delta z}\right) + 1$ – кількість відбиттів променю від стінок світлової шахти (H – висота шахти, z – апліката останньої відбиваючої точки, Δz – крок гвинтової лінії, в яку вписана траєкторія променю); ρ – коефіцієнт світловідбиття внутрішньої поверхні шахти.

На рис. 3 показано освітленість основи світлової шахти вздовж осі x , створена прямим, відбитим та сумарним (прямим і відбитим) світлом (параметри шахти $R = 2,5\text{ м}; H = 1\text{ м}; \rho = 0,8$). Поверхні освітленості нижньої основи шахти визначаються обертанням відповідних кривих освітленості навколо вертикальної осі симетрії шахти. А вихідний світловий потік – інтегруванням значень сумарної освітленості на нижній основі шахти.

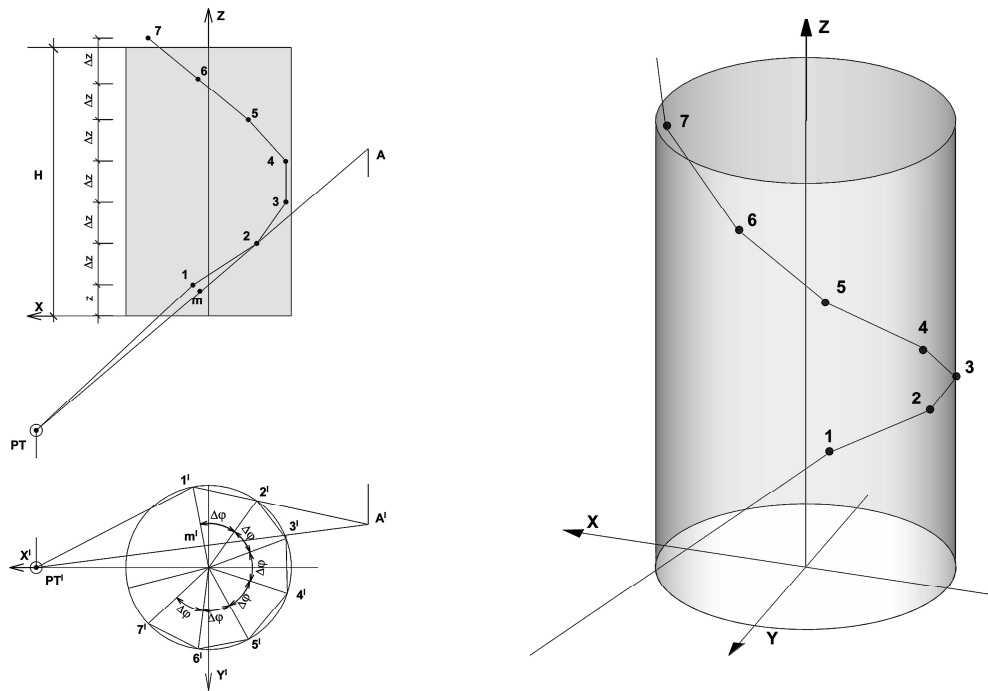


Рис. 2. До визначення освітленості відбитим світлом точок нижньої основи світлової шахти

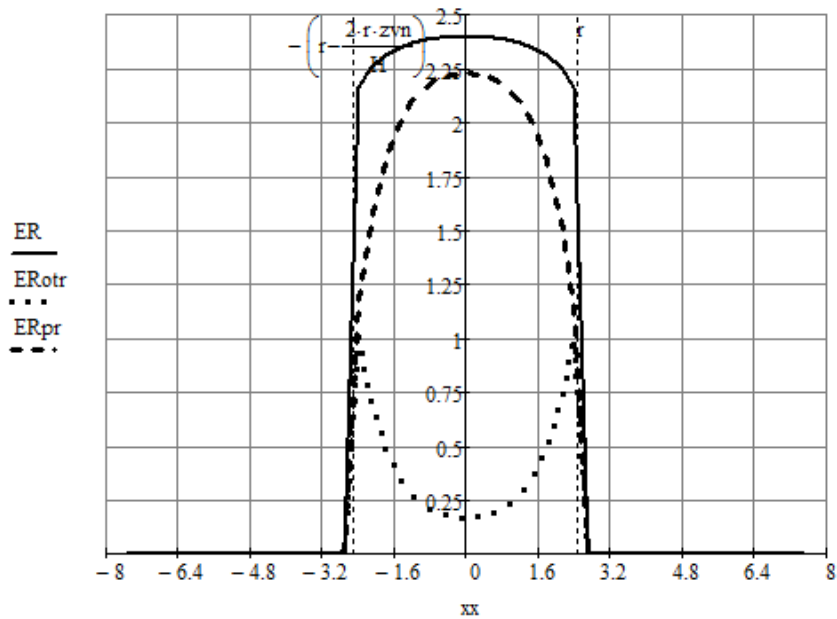


Рис. 3. Освітленість основи світлової шахти вздовж осі x , створена прямим, відбитим (нижня крива) та сумарним (верхня крива) світлом (параметри шахти $R = 2,5\text{ м}; H = 1\text{ м}; \rho = 0,8$)

Графіки, наведені на рисунку 3 для прямого і сумарного світла, відрізняються від аналогічних наведених в роботі Є.В. Пугачова та Т.М. Кундрата, в зв'язку з тим, що розрахунки проводились на більш густій сітці точок. Для відбитого світла тестові розрахунки проводилися, зокрема, і для шахт з великим значенням індексу. Це дозволило виявити інший характер кривих освітленості, створеної відбитим світлом. Вони мають не один максимум посередині шахти, а два біля її стінок і мінімум посередині шахти.

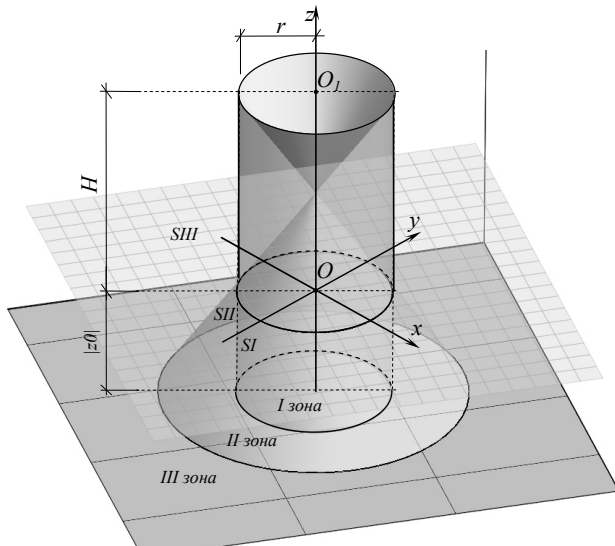


Рис. 4. Зонування півпростору під циліндричною світловою шахтою

Залежно від розміщення розрахункової точки відносно світлової шахти розрахункова точка освітлюється або прямим світлом від небозводу і відбитим від внутрішньої поверхні світлової шахти, або тільки відбитим світлом. Причому в першому випадку від положення розрахункової точки залежать границі областей, які освітлюють розрахункову точку прямим і відбитим світлом. А в другому – тільки відбитим світлом. Тому простір під світловою шахтою зонувався таким чином, як це показано на рис. 4.

Розрахункова точка під світловою шахтою залежно від її розташування освітлюється:

- прямим світлом, що потрапляє в неї через верхню основу шахти, і відбитим від всієї внутрішньої поверхні шахти (I зона);
- прямим світлом, що потрапляє через частину верхньої основи шахти, і відбитим від частини внутрішньої поверхні шахти (II зона);
- відбитим від частини внутрішньої поверхні шахти (III зона).

Згідно із цим зонуванням Пугачов Є.В. запропонував у теоретичному плані спосіб розрахунку освітленості та інтегральних характеристик світлового поля, удосконалений автором стосовно програмної реалізації та візуалізації результатів обчислень.

Для того, щоб виявити, як впливає відстань від нижньої основи світлової шахти розрахункової площини на її освітленість, розраховано залежність відношення потоків, створених прямим і відбитим світлом, від згаданої відстані (рис. 5). Потоки обчислювалися в межах першої і другої зон, тобто всередині кола, утвореного як перетин горизонтальної розрахункової площини з прямим коловим конусом, який обмежує другу зону. Третя зона до уваги не бралася, оскільки в неї пряме світло не потрапляє. З рисунку 5 видно, що по мірі віддалення розрахункової площини від нижньої основи шахти відношення прямого потоку світла до відбитого зростає прямолінійно. Прямі відповідають коефіцієнтам дзеркального відбивання шахти 0,7; 0,8; 0,9; 0,97 (рахуючи зверху вниз).

Надалі в розділі порівнюються ефективність циліндричних шахт з дзеркальним та дифузним світловідбиттям. Оскільки частина ефективності світлової шахти, створена прямим світлом, однакова для дифузної та дзеркально відбиваючих шахт, то були побудовані графіки залежності частини ефективності, створеної відбитим світлом, від значення індексу шахти для значень коефіцієнта світловідбиття 0,1–0,97 для світлової шахти з дзеркальним (рис. 6) та дифузним (рис. 7) відбиттям світла.

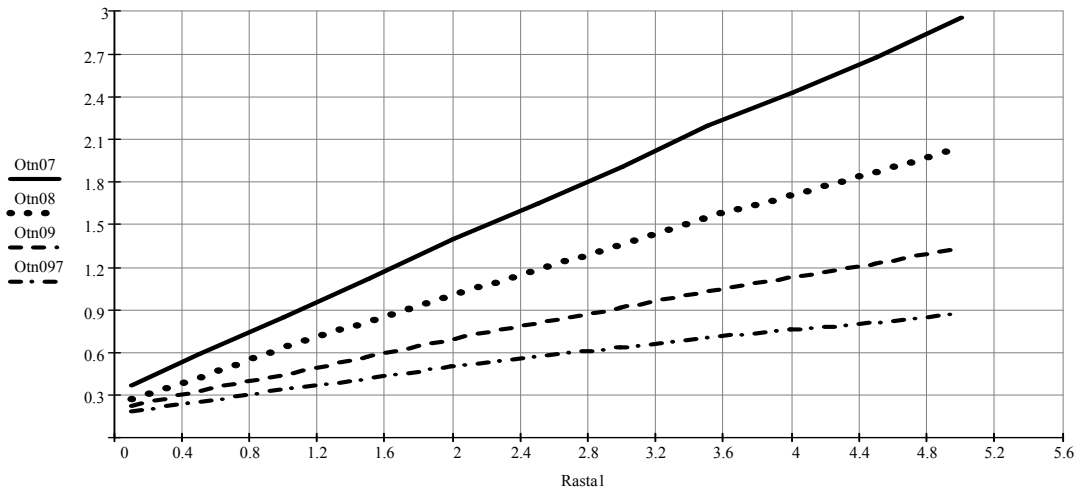


Рис. 5. Залежність відношення потоків, створених прямим і відбитим світлом в межах першої та другої зон, від відстані розрахункової площини до нижньої основи шахти при її параметрах: $R = 1 м$; $H = 3 м$; $\rho = 0,7 \div 0,97$

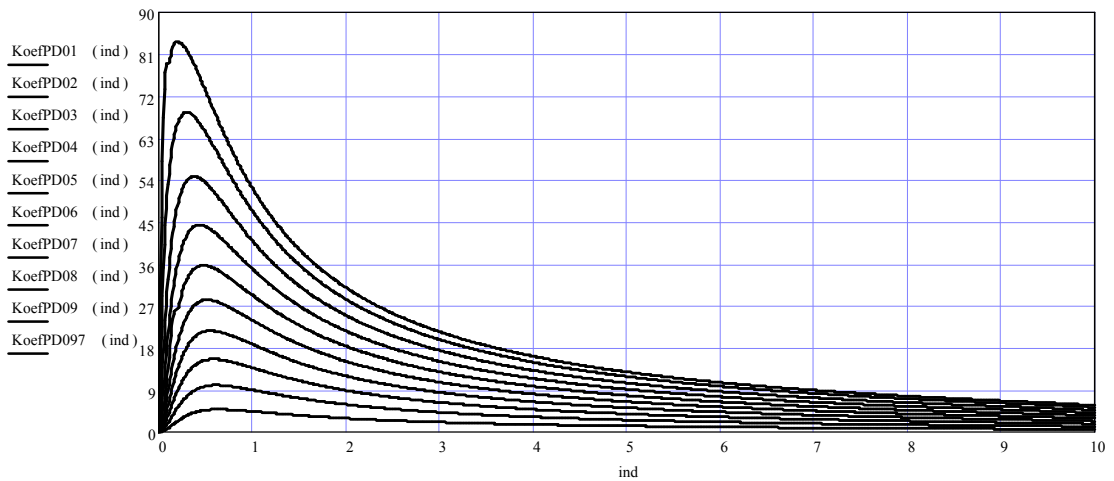


Рис. 6. Графіки залежності частини ефективності, створеної відбитим світлом, від значення індексу шахти при коефіцієнті світловідбиття $0,1 \div 0,97$ для світлової шахти з дзеркальним відбиттям світла

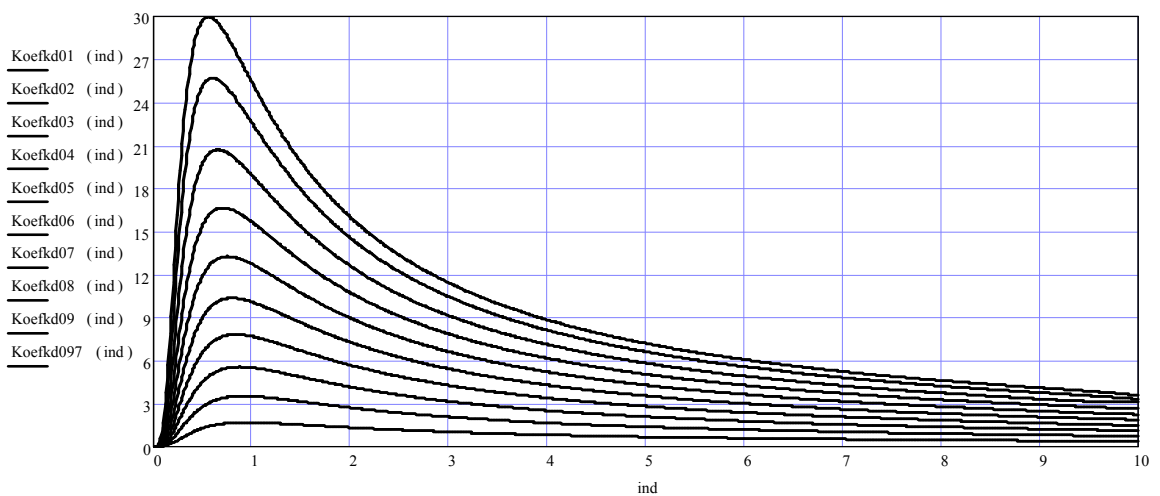


Рис. 7. Графіки залежності частини ефективності, створеної відбитим світлом, від значення індексу шахти при коефіцієнті світловідбиття $0,1 \div 0,97$ для світлової шахти з дифузним відбиттям світла

Аналіз показав, що при збільшенні індексу шахти зменшується значення частини ефективності, створеної відбитим світлом, асимптотично наближаючись до осі x . Це пояснюється тим, що збільшується радіус шахти (збільшується відстань від внутрішньої поверхні шахти до розрахункових точок), і відбите світло вносить все меншу частку в освітленість нижньої основи шахти. Також з графіків видно що ефективність шахти, створена відбитим світлом, при дзеркальному відбиванні світла майже в 3 рази більша, ніж при дифузному. Криві на побудованих графіках мають максимуми як для дзеркально, так і для дифузно відбиваючих шахт. Це використано для раціонального вибору індексу світлової шахти – побудовані криві залежності індексу шахти, при якому виникають максимальні значення ефективності для даного значення коефіцієнта світловідбиття (рис. 8). Визначений за графіками індекс світлової шахти дозволяє раціонально підібрати пропорції шахти: висоту для заданого радіусу шахти, чи навпаки.

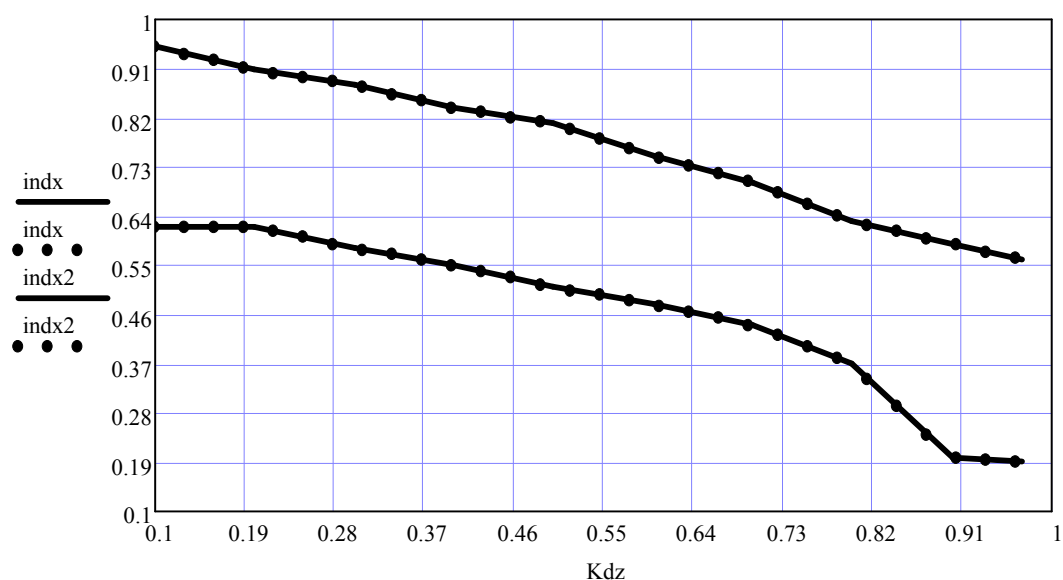


Рис. 8. Графік залежності значення індексу шахти, яке відповідає максимальній ефективності, від значення коефіцієнта світловідбиття для шахти з дзеркальним (нижня крива) та дифузним (верхня крива) відбиттям

Також виконане порівняння способу розрахунку ефективності циліндричної світлової шахти, запропонованого в роботах В.О. Земцова, зі способом наведеним в роботі Е.В. Пугачова та Т.М. Кундрата, яке показало неадекватність моделі В.О. Земцова щодо врахування відбитого світла.

У третьому розділі для світлових шахт у вигляді паралелепіпеда розглядаються: моделювання ефективності світлових шахт; моделювання освітленості, створеної прямим та відбитим світлом в розрахункових точках під світловою шахтою; порівняння коефіцієнтів корисної дії світлових шахт у вигляді паралелепіпеда з різними пропорціями перерізу; порівняння ефективності світлових шахт у формі паралелепіпеда квадратного перерізу з дифузним та дзеркальним відбиттям світла; порівняння ефективності циліндричних світлових шахт та шахт у формі паралелепіпеда квадратного перерізу; порівняння авторського способу моделювання ефективності світлової шахти з існуючими способами.

Моделювання ефективності світлової шахти у вигляді прямокутного паралелепіпеда аналогічно моделюванню ефективності циліндричних шахт, суттєво відрізняється тільки визначенням числа відбивань N променя до виходу з шахти. Для світлових шахт у вигляді паралелепіпеда кількість відбиттів променя визначається за допомогою способу випрямлення бильярдної траєкторії, запропонованого німецьким математиком Шварцем. Суть цього способу полягає в тому, що шахта і падаючий на її грань промінь дзеркально відображаються відносно відбиваючої грані. При цьому промінь падаючий і відбитий утворюють одну пряму. Повторюючи таке відображення для кожної грані шахти, можна замостити простір навколо шахти паралелепіпедами, а траєкторію променя випрямити. Тоді число відбивань променя дорівнює числу перетинів випрямленого променя (до виходу з шахти) з прямокутною сіткою, комірки якої мають розміри сторін шахти (рис. 9).

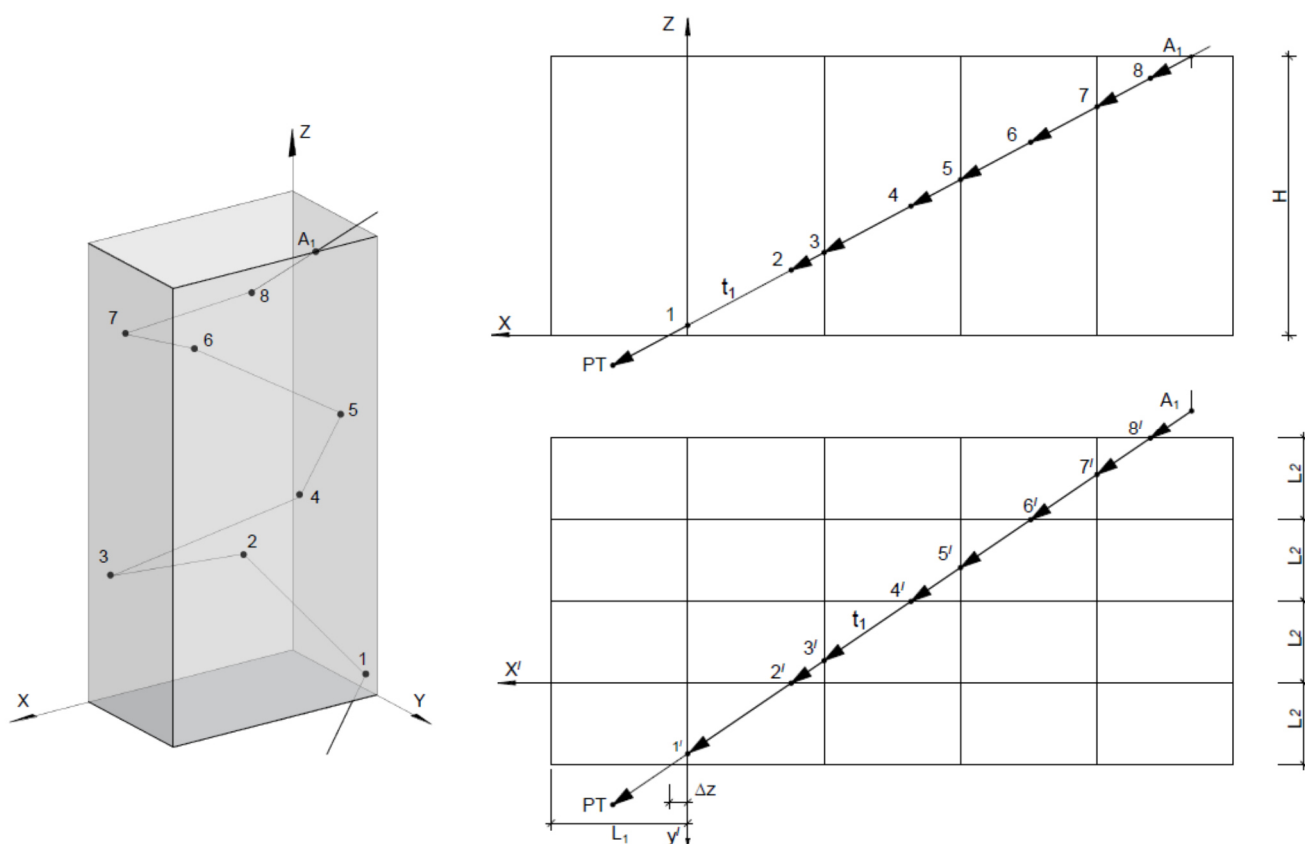


Рис. 9. До визначення кількості відбиттів за способом випрямлення бильярдної траєкторії

Координати світлового вектора визначались інтегруванням по всім чотирьом граням світлової шахти для сітки розрахункових точок, розміщених на нижній основі світлової шахти. Модуль аплікати світлового вектора дорівнюватиме освітленості, створеної відбитим від внутрішньої поверхні шахти світлом. На рис. 10 показано освітленість нижньої основи шахти відбитим (рис. 10, а) та сумарним (рис. 10, б) – прямим і відбитим світлом. Вихідний світловий потік визначався інтегруванням по нижній основі шахти значень освітленості, а ефективність – як відношення вихідного потоку до вхідного.

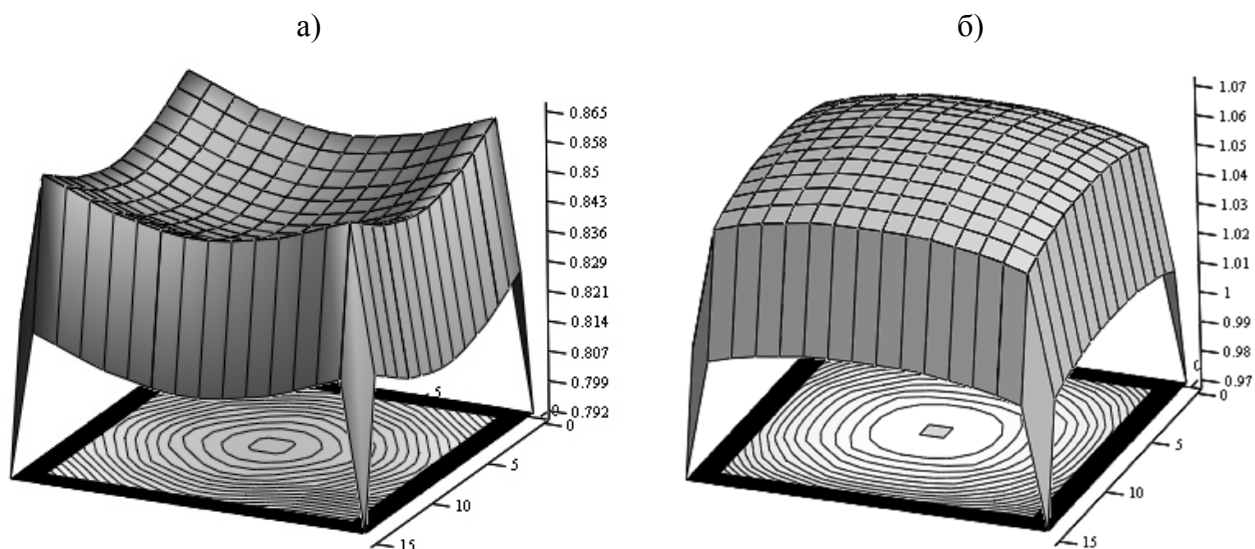


Рис. 10. Поверхня освітленості нижньої основи шахти відбитим (а) та сумарним (б) світлом

Далі в дисертації розглядається моделювання освітленості і світлового вектора під шахтою. Для світлових шахт у вигляді паралелепіпеда, так само як і для циліндричних шахт, залежно від розміщення розрахункової точки відносно світлової шахти розрахункова точка освітлюється або прямим світлом від небозводу і відбитим від внутрішньої поверхні світлової шахти, або тільки відбитим світлом. Тому простір під шахтою зонувався (рис. 11). В зв'язку з симетрією світлової шахти розрахункові точки задавалися в одній чверті розрахункової площини. Граничні поверхні зон в просторі, перетинаючи розрахункову площину, визначали на ній плоскі зони. Вони, в свою чергу, поділялися на підзони залежно від форми області інтегрування по внутрішній поверхні шахти.

Освітленість розрахункової площини прямим світлом моделювалась аналогічно тому, як це зроблено в роботі доц. Кундрата Т.М.

На основі способу моделювання ефективності від світлових шахт виконано порівняння ефективності світлових шахт з дзеркальним відбиванням з різними пропорціями перерізу, яке показало, що найбільш ефективними є шахти квадратного перерізу (максимуми на графіках відповідають співвідношенню сторін рівному одиниці). Проведено порівняння світлових шахт квадратного перерізу з циліндричними світловими шахтами, за результатами якого циліндричні шахти виявилися більш ефективними, а також – порівняння світлових шахт з дзеркальним та дифузним відбиттям. Виявилось, що ефективність світлових шахт з дзеркальним відбиттям приблизно у три рази більша ніж з дифузним (рис. 12, рис. 13).

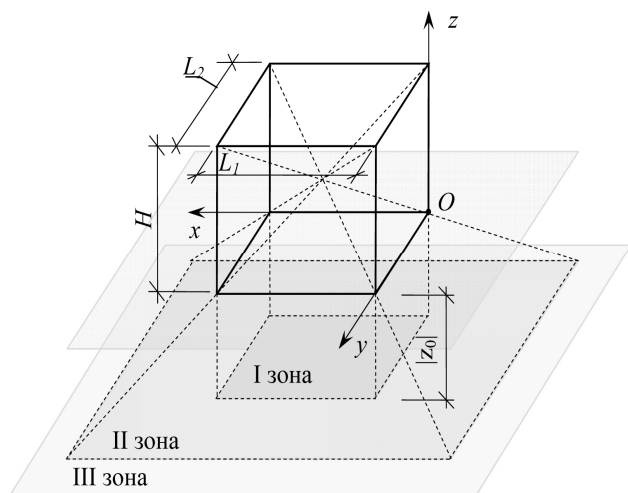


Рис. 11. Зонування простору під шахтою у вигляді паралелепіпеда

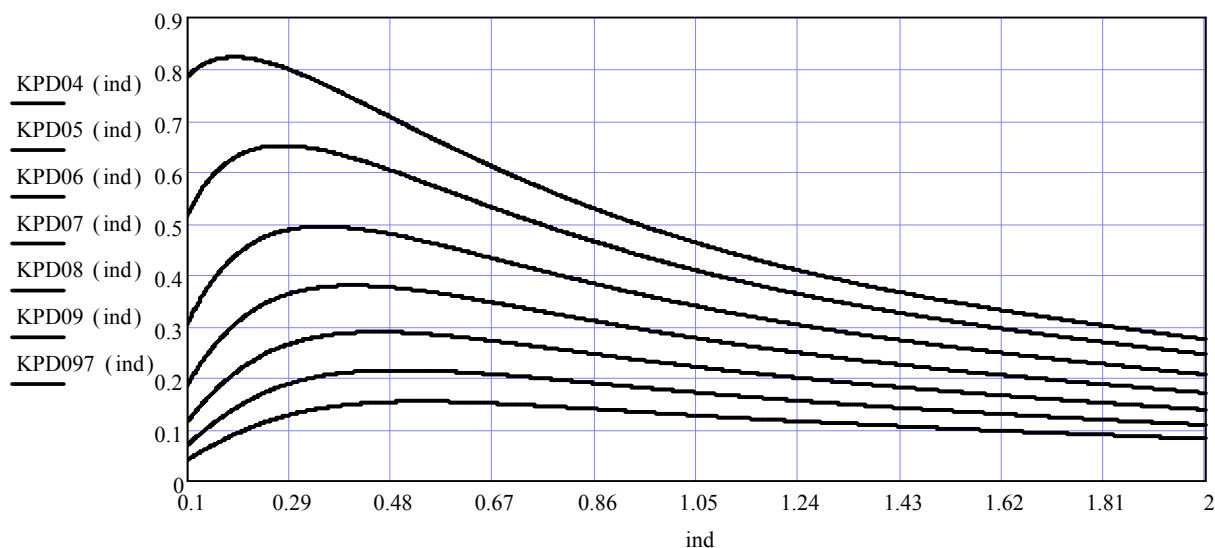


Рис. 12. Графіки залежності частини ефективності, створеної відбитим світлом, світлової шахти квадратного перерізу з дзеркальним відбиванням світла від значення індексу шахти при коефіцієнті світловідбиття $0,4 \div 0,97$

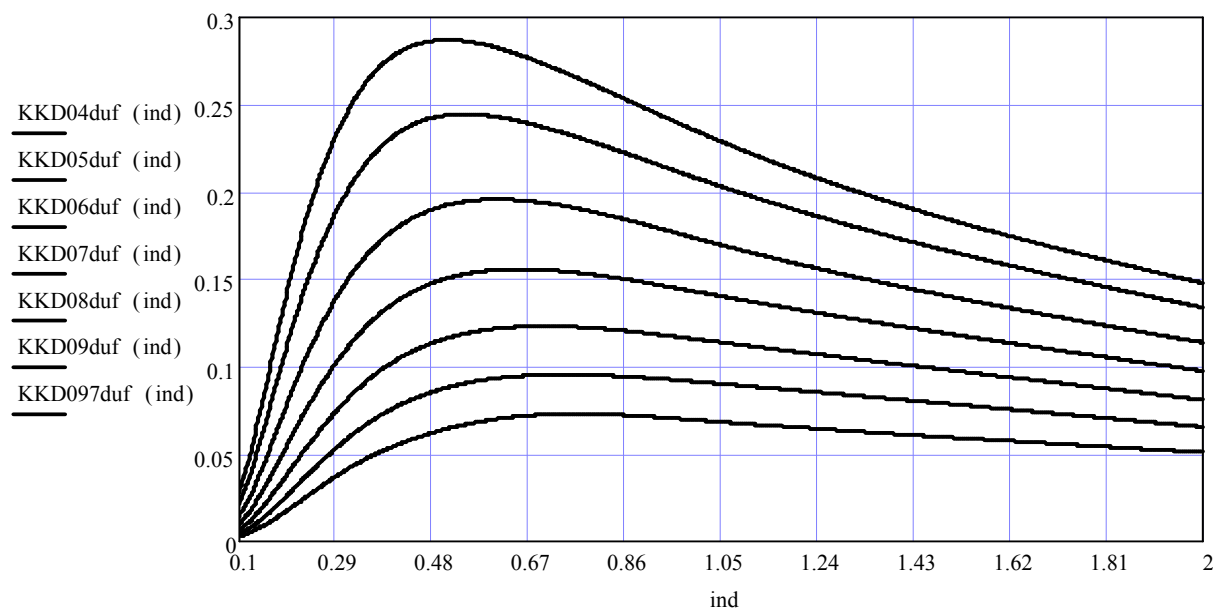


Рис. 13. Графіки залежності частини ефективності, створеної відбитим світлом, світлової шахти квадратного перерізу з дифузним відбиванням світла від значення індексу шахти при коефіцієнті світловідбиття $0,4 \div 0,97$

Так само як для циліндричних шахт для шахт у вигляді паралелепіпеда квадратного перерізу побудовано криві залежності індексу шахти від коефіцієнта світловідбиття для дзеркально і дифузно відбиваючих шахт (рис. 14). З рисунку видно, що для дифузно відбиваючих шахт при однаковому значенні коефіцієнта світловідбиття максимальному значенню ефективності відповідають шахти з більшим значенням індексу.

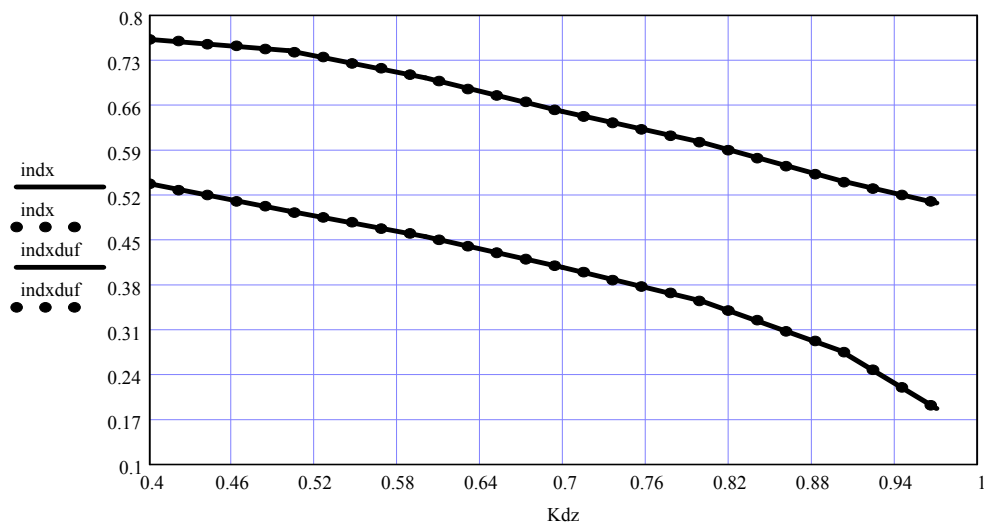


Рис. 14. Графіки залежності значення індексу шахти, яке відповідає максимальній ефективності, створеній відбитим світлом, від значення коефіцієнта світловідбиття для шахти з дзеркальним (нижня крива) та дифузним (верхня крива) відбиванням світла

Порівняння авторського способу моделювання ефективності світлової шахти з способом В.О. Земцова показало, що частина ефективності, створена прямим світлом, для обох способів відрізняється несуттєво. Спосіб В.О. Земцова дає неадекватні значення, якщо порівнювати криві ефективності, створеної відбитим світлом. У В.О. Земцова для різних значень коефіцієнта світловідбиття криві практично зливаються (тобто значення ефективності світлової шахти не залежить від коефіцієнта відбиття), що фізично некоректно.

Четвертий розділ присвячено впровадженню дисертаційного дослідження. Результати дисертаційного дослідження впроваджено при проектуванні будинку ритуальних послуг і модернізації з переплануванням адміністративно-побутових приміщень в будівлі магазину “Сонячний” в м. Гродно (Білорусія).

В будинку ритуальних послуг запроєктовано дві світлові шахти: над перетином коридорів та в ритуальному залі.

Для обох шахт були розраховані криві залежності ефективності світлової шахти від коефіцієнта світловідбиття внутрішньої поверхні шахти, що дозволяє оцінити ефективність шахти залежно від матеріалу оздоблення внутрішньої поверхні шахт (рис. 15, рис. 16).

Суттєвим моментом розрахунку природної освітленості під шахтою є вибір розрахункової площини. Для шахти, розміщеної над перетином коридорів, в якості розрахункової площини прийнята поверхня підлоги, так як на ній, зокрема, відбувається зорова робота під час руху людини коридором. Для шахти в покритті ритуального залу в якості розрахункової площини прийнята горизонтальна площина, розташована на відстані 1 м від підлоги.

Для шахти, розташованої над перетином коридорів, розрахункові точки задавались в межах спільної площі перетину підлог коридорів, а для шахти в покритті ритуального залу – в межах всього залу.

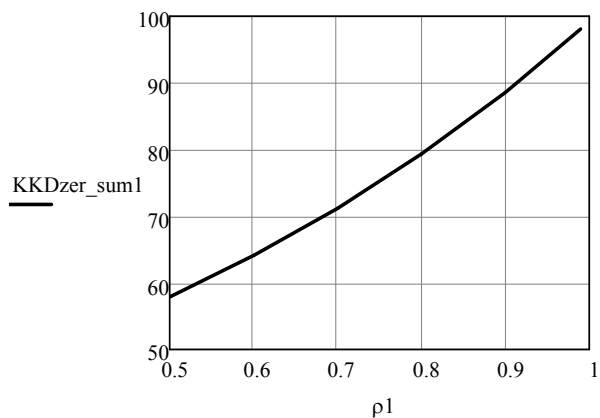


Рис. 15. Залежність ефективності від коефіцієнта дзеркального відбиття для світлової шахти над перетином коридорів

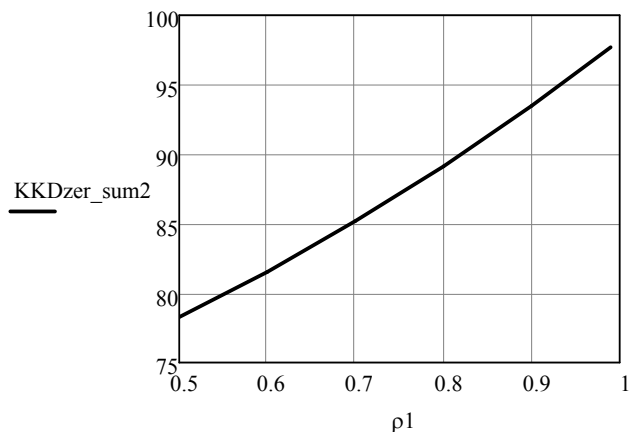


Рис. 16. Залежність ефективності від коефіцієнта дзеркального відбиття для світлової шахти в ритуальному залі

На рис. 17 представлені поверхні освітленості розрахункової горизонтальної площини для значень коефіцієнта дзеркального світловідбиття 0.7, 0.8, 0.9, 0.97 (а, б, в, г – відповідно) для шахти, розташованої над перетином коридорів. А на рисунку 18 – для тих же значень коефіцієнта дзеркального відбиття, але для шахти в покритті ритуального залу. При розрахунку поверхонь освітленості враховувались коефіцієнти світловтрат у прозорих і непрозорих елементах покриття шахт.

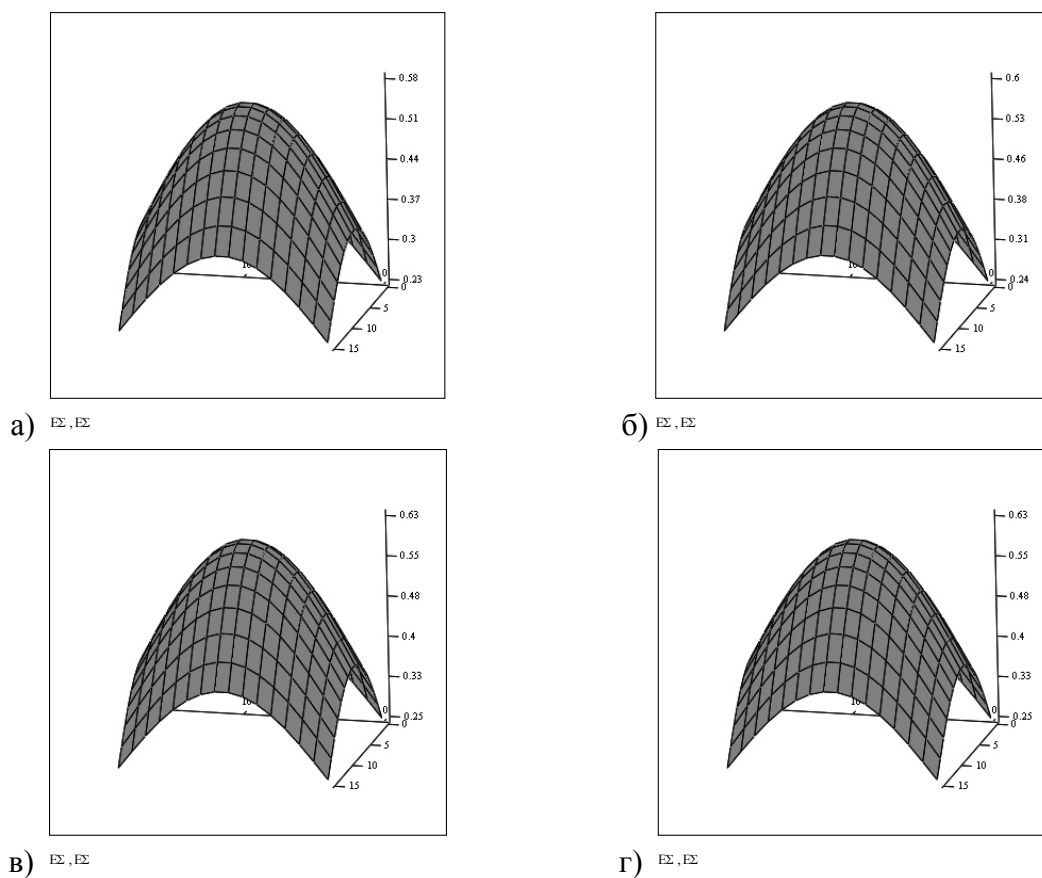


Рис. 17. Поверхні освітленості розрахункової горизонтальної площини для шахти, розташованої над перетином коридорів

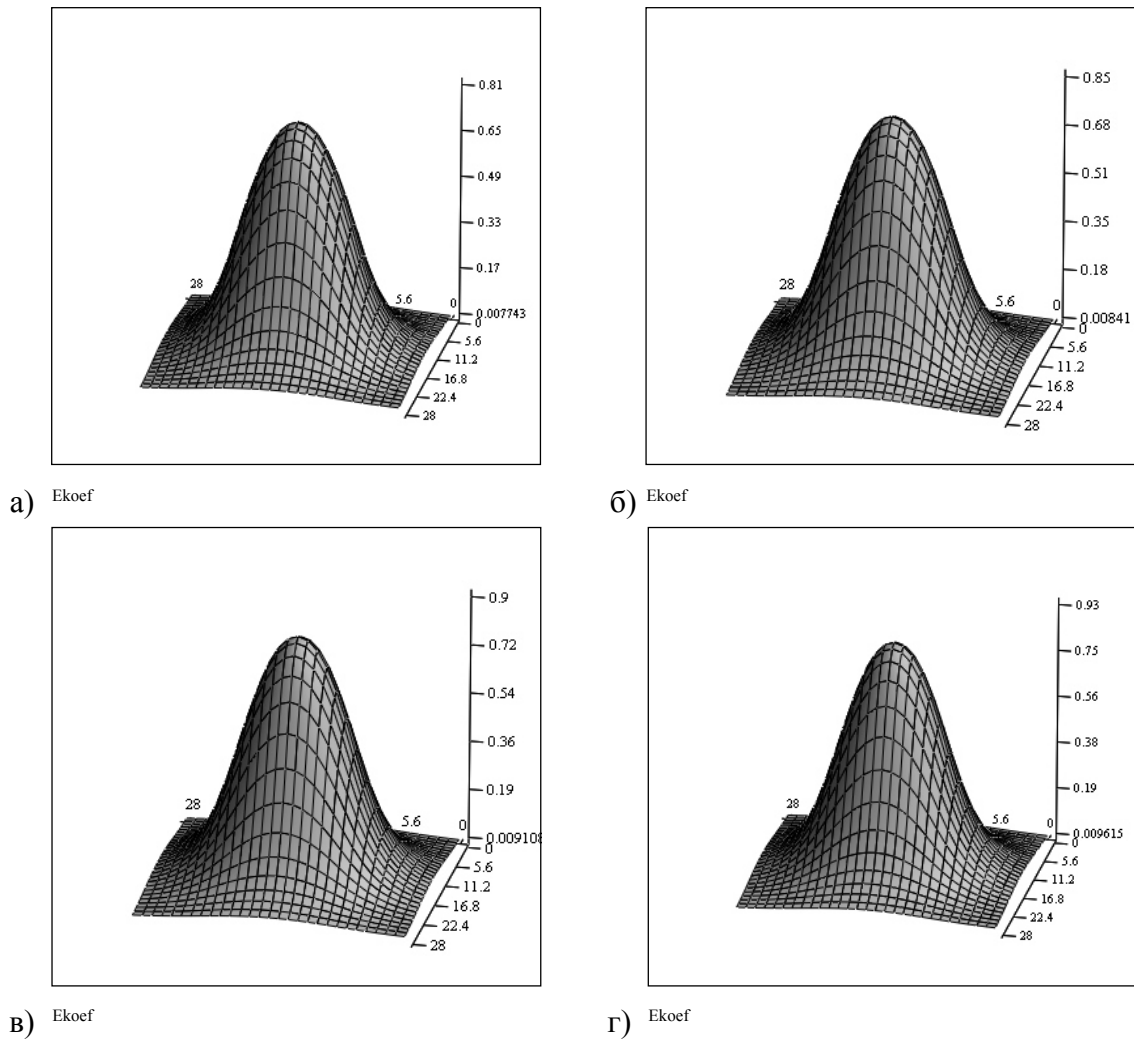


Рис. 18. Поверхні освітленості розрахункової горизонтальної площини для шахти в покритті ритуального залу

Аналогічні розрахунки проводились для шахт в будівлі магазину “Сонячний”.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розроблено спосіб моделювання ефективності світлових шахт у вигляді паралелепіпеда з дзеркальним відбиванням світла. Удосконалено способи моделювання освітленості та світлового вектора від циліндричних шахт та шахт у вигляді паралелепіпеда, отримав подальший розвиток спосіб моделювання ефективності циліндричних шахт. Виконано порівняння ефективності світлових шахт.

Значення для науки роботи полягає в розробленні способу моделювання ефективності світлових шахт у вигляді паралелепіпеда з дзеркальним відбиванням світла та удосконаленні способів моделювання світлового вектора та освітленості від світлових шахт у вигляді паралелепіпеда та циліндра з дзеркальним відбиванням світла.

Значення для практики досліджень полягає тому, що їх результати дозволяють оцінювати світлове поле під світловими шахтами з дзеркальним відбиванням світла стосовно нормативних вимог та підбирати шахти, спираючись на порівняння їх ефективності.

1. Проаналізовано існуючі способи моделювання ефективності (коефіцієнта корисної дії) світлових шахт з дзеркальним відбиванням світла, світлового вектора та природної освітленості від них, що дозволило сформулювати мету та задачі досліджень.
2. Розроблено спосіб моделювання ефективності світлових шахт з дзеркальним відбиванням світла у вигляді паралелепіпеда, що дозволяє порівнювати шахти між собою.
3. Виконано порівняння ефективності світлових шахт з дзеркальним відбиванням світла однакових та різних форм та однакових форм, але різних за характером відбивання світла (дифузним та дзеркальним). Виявлено, що світлові шахти з дзеркальним відбиванням світла приблизно в три рази ефективніші за світлові шахти з дифузним відбиванням. Серед світлових шахт у вигляді паралелепіпеда з дзеркальним відбиванням світла найбільш ефективними є шахти квадратного перерізу. Циліндричні світлові шахти, в свою чергу, ефективніші за шахти квадратного перерізу. Проте вибір тієї чи іншої форми світлової шахти і характеру відбивання світла залежить не тільки від її ефективності, але і від світлового рішення інтер'єру, та залишається за архітектором.
4. Розроблено спосіб визначення раціональних пропорцій циліндричних світлових шахт і шахт у вигляді паралелепіпеда квадратного перерізу з дифузним та дзеркальним відбиванням світла, що дозволяє підбирати такі шахти, в яких частина вихідного світлового потоку, створена відбитим від стінок шахти світлом, є найбільшою.
5. Розроблено в середовищі MathCAD програмне забезпечення моделювання освітленості та світлового вектора для циліндричних світлових шахт і світлових шахт у вигляді паралелепіпеда з дзеркальним відбиванням світла, а також візуалізувано поверхні освітленості, проєкції світлового вектора та світлового поля під шахтами. Це дозволяє розраховувати освітленість та проєкції світлового вектора, визначати зони, де виконуються і не виконуються нормативні вимоги щодо освітленості, візуально оцінювати характер розподілу освітленості на розрахунковій площині під шахтою.
6. Впроваджено способи моделювання в архітектурно-будівельну практику у: товаристві з обмеженою відповідальністю «Тектон» м. Гродно, Білорусь при розрахунку ефективності та поверхонь освітленості в будинку ритуальних послуг та при реконструкції приміщень магазину «Сонячний» м. Гродно; приватному підприємстві «Творчо – виробнича фірма Тріада» м. Рівне.

Подальше дослідження доцільно спрямувати на моделювання ефективності похилих світлових шахт таких же форм і моделювання освітленості та світлового вектору від них, а також вертикальних і похилих світлових шахт з перерізом у вигляді правильного трикутника та шестикутника, якими без проміжків можна замостити простір навколо шахти.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Стаття у міжнародному виданні

1. Гарбарук Ю. В. Моделирование коэффициента полезного действия зеркально отражающих световых шахт, имеющих форму цилиндра и параллелепипеда [Текст] / Ю. В. Гарбарук, Е. В. Пугачев // Строительство и реконструкция. – Орел, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2015. – № 3(59). – С. 18–25. (включено до бази Російського індексу національного цитування (РІНЦ)).

Особисто здобувачем: розроблено спосіб, алгоритми, програмне забезпечення моделювання ефективності світлових шахт у вигляді паралелепіпеда, отримано числовий та графічний матеріал, виконано порівняння з існуючими способами.

Статті у наукових фахових виданнях

2. Гарбарук Ю. В. Вплив коефіцієнта світловідбивання на коефіцієнт корисної дії циліндричних світлових шахт [Текст] / Ю. В. Гарбарук, Є. В. Пугачов, Т. М. Кундрат // Энергозбереження в будівництві : міжвід. наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2011. – Вип. 1. – С. 62–66.

Особисто здобувачем: розраховано і візуалізовано залежності ефективності, створеної відбитим світлом, від коефіцієнта світловідбиття дзеркально відбиваючих шахт та проаналізовано отримані результати.

3. Гарбарук Ю. В. Моделювання освітленості від дзеркально відбиваючих циліндричних шахт [Текст] / Ю. В. Гарбарук, Є. В. Пугачов // Энергозбереження в будівництві та архітектурі. – К. : КНУБА, 2011. – Вип. 2. – С. 56–60.

Особисто здобувачем: розроблено програмне забезпечення в середовищі MathCad, візуалізовано поверхні освітленості, проєкції світлового вектора та світлового поля під шахтою.

4. Гарбарук Ю. В. Вплив коефіцієнта світловідбивання на коефіцієнт корисної дії світлових шахт квадратного перерізу [Текст] / Ю. В. Гарбарук, Є. В. Пугачов, Т. М. Кундрат // Энергозбереження в будівництві : міжвід. наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2011. – Вип. 3. – С. 57–61.

Особисто здобувачем: розроблено спосіб, алгоритми, програмне забезпечення моделювання ефективності світлових шахт у вигляді паралелепіпеда квадратного перерізу з дзеркальним відбиванням світла, отримано числовий та графічний матеріал.

5. Гарбарук Ю. В. Порівняння коефіцієнта корисної дії дзеркально відбиваючих світлових шахт у вигляді паралелепіпеда залежно від їх геометричних параметрів [Текст] / Ю. В. Гарбарук, Є. В. Пугачов // Будівельні конструкції : міжвід. наук.-техн. зб. – К. : ДП НДІБК, 2013. – Вип. 77. – С. 355–358.

Особисто здобувачем: розроблено спосіб, алгоритми, програмне забезпечення моделювання ефективності світлових шахт у вигляді паралелепіпеда, побудовано графіки залежності ефективності світлової шахти від її геометричних параметрів.

6. Гарбарук Ю. В. Порівняння коефіцієнта корисної дії дзеркально відбиваючих циліндричних світлових шахт та шахт у вигляді паралелепіпеда квадратного перерізу [Текст] / Ю. В. Гарбарук // Сучасні проблеми геометричного моделювання, 16-та міжнарод. науково-практ. конф. – Мелітополь, 2014. – С. 41–46.

7. Гарбарук Ю. В. Порівняння коефіцієнта корисної дії циліндричних світлових шахт з дифузним і дзеркальним відбиванням світла [Текст] / Ю. В. Гарбарук, Т. М. Кундрат, Є. В. Пугачов // Технічна естетика і дизайн: науково-технічний збірник. – К. : КНУБА, 2010. – Вип. 8. – С. 75–79.

Особисто здобувачем: візуалізовано залежності ефективності, створеної відбитим світлом, від індексу шахти з дзеркальним відбиванням світла та проаналізовано характер зміни кривих освітленості вздовж діаметру шахти.

8. Гарбарук Ю. В. Порівняння методів розрахунку ефективності світлових шахт квадратного перерізу з дзеркальним відбиванням світла [Текст] / Є. В. Пугачов, Ю. В. Гарбарук // Праці Тавр. держ. агротех. акад. – Мелітополь : ТДАТА, 2012. – Вип. 4 : прикл. геометрія та інж. графіка. – Т. 54. – С. 145–149.

Особисто здобувачем: виконані всі розрахунки за авторським способом та існуючими способами, отримано графічний матеріал та на його основі виконано порівняння.

Статті у інших виданнях

9. Гарбарук Ю. В. Световые шахты [Текст] / Ю. В. Гарбарук, Є. В. Пугачов, Т. М. Кундрат // Всеукраинский научно-технический журнал «Энергосбережение» – Днепропетровск, 2011, № 7. – С. 15–17.

Особисто здобувачем: розроблено спосіб визначення раціональних пропорцій циліндричних світлових шахт з дифузним та дзеркальним відбиванням світла, що дозволяє підбирати такі шахти, в яких частина вихідного світлового потоку, створена відбитим від стінок шахти світлом, є найбільшою.

Матеріали і тези конференцій

10. Гарбарук Ю. В. Моделювання світлового вектора від циліндричної дзеркально відбиваючої світлової шахти [Текст] / Ю. В. Гарбарук, Є. В. Пугачов // Науковий журнал : міжвуз. зб. «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» – Луцьк : ЛДТУ, 2011. – Вип. 6. – С. 68–72.

11. Гарбарук Ю. В. Ефективність світлових шахт квадратного перерізу з дзеркальним відбиванням світла [Текст] / Ю. В. Гарбарук, Є. В. Пугачов // Прикладна геометрія та інженерна графіка : міжвід. наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2012. – Вип. 89. – С. 130–134.

12. Гарбарук Ю. В. Порівняння методів розрахунку ефективності циліндричних дзеркально відбиваючих світлових шахт [Текст] / Ю. В. Гарбарук, Є. В. Пугачов // Прикладна геометрія та інженерна графіка : міжвід. наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2012. – Вип. 90. – С. 79–83.

13. Гарбарук Ю. В. Моделирование светового вектора и освещенности от световой шахты в виде параллелепипеда прямоугольного сечения с зеркальным отражением [Текст] / Ю. В. Гарбарук, Е. В. Пугачев // Вестник ХНТУ. – Херсон: ХНТУ, 2014. – Вип. 3 (50). – С. 239–244.

14. Гарбарук Ю. В. Моделирование рациональных параметров световых шахт с зеркальным отражением света [Текст] / Ю. В. Гарбарук, Е. В. Пугачев // 3rd International Scientific Conference «Theoretical and Applied Sciences in the USA». – New York, ORT Publishing, 2015. – № 3. – P. 94–100.

АНОТАЦІЯ

Гарбарук Ю.В. Геометричне моделювання природної освітленості від дзеркально відбиваючих світлових шахт. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.01 – прикладна геометрія, інженерна графіка. – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2016.

Дисертація присвячена геометричному моделюванню ефективності циліндричних світлових шахт та шахт у вигляді паралелепіпеда з дзеркальним відбиванням світла, а також – моделюванню освітленості від циліндричних світлових шахт та шахт у вигляді паралелепіпеда з дзеркальним відбиванням світла для умов хмарного небозводу.

Розроблено геометричний спосіб моделювання ефективності шахт у вигляді паралелепіпеда та удосконалено геометричний спосіб моделювання ефективності циліндричних світлових шахт стосовно візуалізації залежності ефективності, створеної відбитим світлом, від індексу шахти та аналізу характеру зміни кривої освітленості вздовж діаметру шахти Побудовано графіки ефективності світлової шахти залежно від їх індексу.

Розроблено спосіб визначення раціональних пропорцій світлових шахт з дифузним та дзеркальним відбиванням світла, що дозволяє підібрати такі шахти, в яких частина вихідного світлового потоку, створена відбитим від стінок шахти світлом, є найбільшою.

Виконано порівняння ефективності світлових шахт однакових та різних форм.

Удосконалено спосіб моделювання освітленості і світлового вектора для циліндричних світлових шахт та шахт у вигляді паралелепіпеда з дзеркальним відбиванням світла, стосовно розробки відповідного програмного забезпечення. Візуалізовано поверхні освітленості, проєкцій світлового вектора та світлового поля під шахтою, що дозволило оцінити освітленість під світловою шахтою.

Ключові слова: світлова шахта, дзеркальне відбивання, світлове поле, ефективність світлової шахти, коефіцієнт природної освітленості, модель хмарного небозводу, світловий вектор.

АННОТАЦИЯ

Гарбарук Ю.В. Геометрическое моделирование естественной освещенности от зеркально отражающих световых шахт. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.01 – прикладная геометрия, инженерная графика. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, 2016.

Диссертация посвящена геометрическому моделированию эффективности цилиндрических световых шахт и шахт в виде параллелепипеда с зеркальным отражением света, а также – моделированию освещенности от цилиндрических световых шахт и шахт в виде параллелепипеда с зеркальным отражением света для условий облачного небосвода.

Разработан геометрический способ моделирования эффективности шахт в виде параллелепипеда и получил дальнейшее развитие геометрический способ моделиро-

вания эффективности цилиндрических световых шахт в части визуализации зависимости эффективности, созданной отраженным светом, от индекса шахты и анализа характера изменения кривой освещенности вдоль диаметра шахты. Усовершенствованы способы моделирования освещенности и светового вектора для цилиндрических световых шахт в виде параллелепипеда с зеркальным отражением света в части разработки соответствующего программного обеспечения, визуализации поверхностей освещенности, проекций светового вектора и светового поля под шахтой. Построены графики зависимости эффективности световой шахты от её индекса.

Разработан способ определения рациональных пропорций световых шахт с диффузным и зеркальным отражением света, что позволяет подбирать такие шахты, в которых часть выходящего светового потока, созданная отраженным от стенок шахты светом, является наибольшей.

Выполнено сравнение эффективности световых шахт с зеркальным отражением разных форм, а также одинаковых форм, но с разным характером отражения (диффузным и зеркальным).

Усовершенствован способ моделирования освещенности и светового вектора для цилиндрических световых шахт и шахт в виде параллелепипеда с зеркальным отражением света в части разработки соответствующего программного обеспечения, визуализации поверхностей освещенности, проекций светового вектора и светового поля под шахтой, что позволяет оценивать световую среду на предмет соответствия нормативным требованиям.

Результаты исследований внедрены в проектную практику.

Ключевые слова: световая шахта, зеркальное отражение, световое поле, эффективность световой шахты, коэффициент естественной освещенности, модель облачного небосвода, световой вектор.

ABSTRACT

Garbaruk Yu.V. Geometrical modeling of natural illumination from specularly reflecting light wells. – Manuscript.

The thesis for the Candidate's Degree in engineering science at speciality 05.01.01 – Applied geometry, engineering graphics. – Kiev national university of construction and architecture, Kiev, 2016.

The dissertation is devoted to geometrical modeling the efficiency of light wells and wells in the form of a parallelepiped with a specular reflection of light, and modeling of illumination from cylindrical light wells and wells in the form of a parallelepiped with a specular reflection of light for cloudy model of a firmament.

A geometrical way of modeling of efficiency of wells in the form of a parallelepiped is developed and improved a geometrical way of modeling of efficiency of cylindrical light wells concerning visualization of dependence of the efficiency created by the reflected light from an index of well and the analysis of nature of change of curve illumination along diameter of well. Graphs of dependence of efficiency of light well on its index are constructed.

Developed a way for definition of rational proportions of light wells with a diffusion and specular reflection of light that allows to picking up such wells in which the part of an initial light stream, created by light reflected from walls of well, is the greatest.

Comparison of efficiency of light wells of identical and different forms executed.

Developed a way of modeling of illumination and a light vector for cylindrical light wells and wells in the form of a parallelepiped with a specular reflection of light, concerning development of the corresponding software. Visualized the surfaces of illumination, projections of a light vector and light field under the shaft that allowed estimating illumination under light well.

Keywords: *light well, specular reflection, light field, efficiency of light well, daylight factor, model of a cloudy firmament, light vector.*