

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЗЕРКАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ
НА ПОКРАЩЕННЯ ОСВІТЛЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ**

**В. М. Чебенко, В. П. Колосюк, Ю. М. Чебенко, О. І. Губачов,
Н. Н. Цибульник, К. С. Головенко**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна.

E-mail: bgd@kdu.edu.ua

Викладені результати досліджень впливу дзеркальних поверхонь на підвищення ефективності освітлення у виробничих приміщеннях. Приведені дані експериментального вимірювання освітленості на робочих місцях: від бічного природного освітлення через віконний проріз, від штучного загального освітлення електричними джерелами та індивідуального світильника робочого місця. Показано, що завдяки дзеркальним поверхням показники освітленості збільшуються завдяки відбиванню світла від дзеркальних поверхонь та випромінюванню світла від дійсних зображень джерел світла у дзеркальних поверхнях. Обґрунтована доцільність створення комбінованого світильника з дзеркалом.

Ключові слова: робочі місця, освітленість, коефіцієнт відбиття, зображення джерел світла.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗЕРКАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
НА УЛУЧШЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ПОМЕЩЕНИЙ**

**В. Н. Чебенко, В. П. Колосюк, Ю. Н. Чебенко, А. И. Губачов,
Н. Н. Цибульник, К. С. Головенко**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина.

E-mail: bgd@kdu.edu.ua

Изложены результаты исследований влияния зеркальных поверхностей на повышение эффективности освещения в производственных помещениях. Приведены данные экспериментального измерения освещенности на рабочих местах: от бокового природного освещения через оконные прорезы, от искусственного общего освещения электрическими источниками и индивидуального светильника рабочего места. Показано, что благодаря зеркальным поверхностям показатели освещенности увеличиваются следствии отражения света от зеркальных поверхностей и излучение света от действительных изображений источников света у зеркальных поверхностях. Обоснована целесообразность создания комбинированного светильника с зеркалом.

Ключевые слова: рабочие места, освещенность, коэффициент отражения, изображение источников света.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Освітлення робочих місць розглядається як фактор гігієни та охорони праці. Від якості освітлення залежить збереження зору

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

працюючих, якість роботи та забезпечення працездатності і продуктивності праці. Навпаки, при недостатньому освітленні можливий брак у роботі, стомлюються очі, виникає втрата зору та можливість травматизму. Більше 20 % травм на виробництві пов'язані з недостатнім освітленням [1–3].

Вдосконалення електричного освітлення приміщень пов'язане з можливістю зменшення витрат електроенергії у разі використання світла, відбитого дзеркальними поверхнями. Тому заходи з покращення освітлення на робочих місцях та можливість зменшення витрат електроенергії на освітлення є актуальними і пріоритетними у проблемі забезпечення охорони праці працівників різних професій.

Метою роботи є встановлення особливостей покращення освітленості у виробничих приміщеннях за рахунок ефективного використання дзеркальних поверхонь.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Методика експериментальних досліджень полягала у наступному. Експериментально визначали люксометром Ю-116 освітленість у центрі на передбачуваних робочих місцях без впливу дзеркальних поверхонь та з концентрованим впливом відбитого світла дзеркальними поверхнями у двох приміщеннях з площею підлоги $4 \times 5 \text{ м}^2$ і $1,5 \times 3,5 \text{ м}^2$. Як джерело світла, використовувалось природне освітлення через односторонній віконний проріз або штучне освітлення на основі електричних ламп. Ефективність покращення освітленості оцінювалась величиною, що показує у скільки разів збільшується освітленість у центрі робочої поверхні завдяки впливу дзеркальних поверхонь. У якості дзеркальних поверхонь використовували наявні у вказаних приміщеннях стаціонарні дзеркала та переносні (ручні) дзеркала з можливістю зміни положень останніх таким чином, щоб відбите від них світло потрапляло на поверхню робочого місця (стола).

Дослідження з штучним електричним освітленням здійснювалось у нічний час, щоб по можливості максимально усунути вплив природного освітлення через віконні та дверні прорізи на результати експериментів, пов'язаних з визначенням освітленості робочих місць джерелами штучного освітлення – електричними лампами.

1. Теоретичні основи корисного використання дзеркальних поверхонь для покращення освітлення виробничих приміщень.

Дзеркальним поверхням властива здібність не тільки відбивати ідеально промені світла, що попадають на дзеркальні поверхні, а і створювати зображення образів джерел світла в дзеркальних поверхнях: сонця як природного джерела і електричних ламп як штучних джерел світла.

Ефект відбиття світла характеризується коефіцієнтом відбиття, який показує, яку долю падаючого на поверхню світлового потоку відбиває поверхня. Завдяки відбитому світлу здійснюється підвищення світлового потоку природного освітлення та коефіцієнт природного освітлення (КПО), а також освітленість і коефіцієнт використання світлового потоку штучного освітлення (електричних ламп) [4–6].

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Якщо в дзеркалі виникає дійсне зображення джерела світла, тобто об'єкта що світиться, то такий дзеркальний об'єкт сам випромінює світло. Коли на робочу поверхню (на робоче місце) одночасно спрямувати промені світла від джерела (сонця або електричної лампи) та відбиті промені від дзеркальних поверхонь і від дзеркальних зображень джерел світла, то освітленість робочого місця буде збільшуватись і буде залежати не тільки від джерела світла, а від світла, відбитого дзеркальними поверхнями та випромінюваного дійсними дзеркальними зображеннями [7, 8]. Дійсне дзеркальне зображення подібно джерелу саме випромінює промені, що розходяться, які попадають на робоче місце і в очі людини [9]. Тому для отримання корисного ефекту від дзеркальних поверхонь необхідно створити умови, щоб на робочі поверхні у приміщеннях попадали одночасно прямі промені джерел світла та промені від дзеркальних поверхонь. При цьому необхідно враховувати закони відбиття світла [7–9]:

1. Кут падіння променя на поверхню ($-\varepsilon$) дорівнює куту відбиття (ε^1): $-\varepsilon = \varepsilon^1$.

2. Падаючий промінь, нормаль (лінія перпендикулярна поверхні в точці падіння) і відбитий промінь лежать в одній і тій же площині (рис. 1).

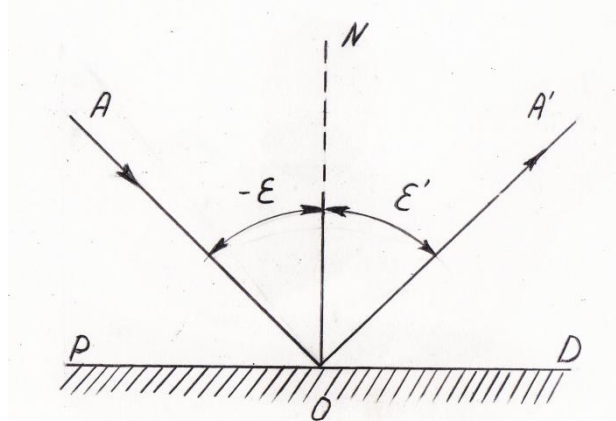


Рисунок 1 – Закон відбиття:

P – дзеркальна поверхня; A – падаючий промінь; A¹ – відбитий промінь;
N – нормаль; $-\varepsilon$ – кут падіння; ε^1 – кут відбиття

Крім того, необхідно враховувати інтерференцію світла, щоб прямий і відбитий промені зустрічались в одній і тій же фазі, а не в протилежних фазах тобто, щоб здійснювався ефект підсилення, а не послаблення променів [7], таким чином щоб промінь від джерела і відбитий від дзеркала промені були по можливості «паралельними», а не «протилежними» (протифазними). Тому доцільно, щоб була можливість регулювання фази променів, наприклад, зміненням положення дзеркальної поверхні, або місця розміщення джерела світла, або робочого місця виробничого персоналу.

Аналізуючи геометричний (рис. 2), можна зробити висновок, що забезпечення прямого світлового променю джерела світла і відбитого дзеркального променя на робочому місці є непростим завданням. Очевидно ця складність в свою чергу ускладнює досягнення оптимальних умов для корисного використання дзеркальних поверхонь, а також отримання оптимального результату від експе-

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

риментальних досліджень впливу дзеркальних поверхонь на освітлення виробничих приміщень. Це необхідно враховувати в процесі експериментальних досліджень шляхом застосування переносних дзеркал, щоб можна було змінювати їх положення.

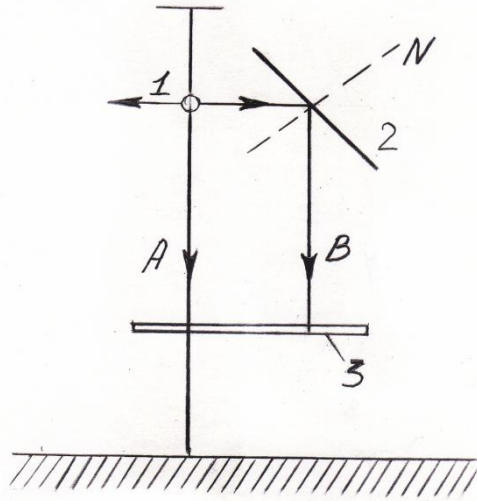


Рисунок 2 – Приклад ілюстрації прямого (А) і дзеркального (В) променів світла на робочому місці:

1 – джерело світла – електрична лампа; 2 – дзеркало;
3 – поверхня робочого місця; N – нормаль в точці дзеркального падіння і відбиття

2. Дослідження впливу дзеркальних поверхонь на природне освітлення приміщень.

Для оцінки впливу дзеркальних поверхонь на природного освітлення використані виміри освітленості у приміщенні (рис. 3) на стаціонарному робочому місці на різній його висоті від денного освітлення через віконний проріз площею $2 \times 1,2 \text{ м}^2$ з подвійним склопакетом. Датчик люксметра Ю-116 встановлювався у центрі робочого місця, а вимірювальний прилад на відстані 1 м. Як дзеркальна поверхня використовувалось плоске дзеркало площею 80 см^2 для можливості змінювати кут падіння світлових променів і кут їх відбиття таким чином, щоб можна було забезпечувати більшу ефективність відбитого світла на робочій поверхні. Експерименти здійснені у сонячний день протягом 13.00 - 14.00 годин. Штучне освітлення при експериментах не використовувалось.

Будівля, у приміщенні якої виконувались дослідження, не мала затінення іншими будівлями, але навкруги будівлі є дерева, що могли впливати на деяке затінення чи зменшення освітленості у продовж проведення експериментів. Це, імовірно, впливало на деяку нестабільність проникнення сонячного світла через віконний проріз у приміщення та на збільшення похибок вимірювання. Тому методично кожний вимір повторювався не менше 3-х разів і за результат приймалось середнє арифметичне здійснених вимірів.

**ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ
ПІДПРИЄМСТВАХ**

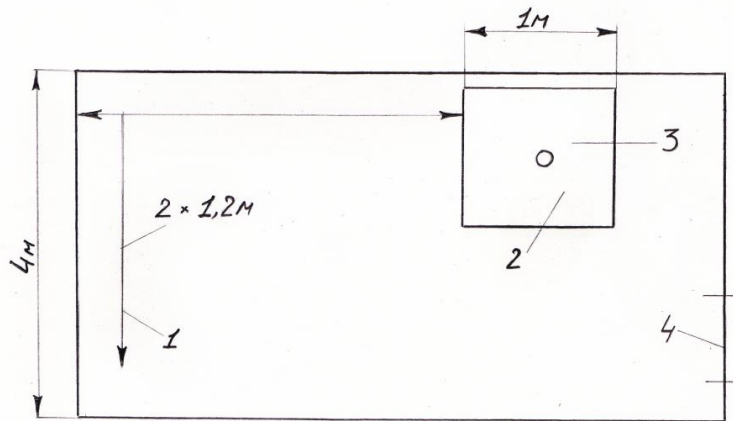


Рисунок 3 – План - схема приміщення:
1 – вікно; 2 – робоче місце; 3 – датчик Ю116; 4 – входні двері

Фіксувалось середнє значення освітленості робочого місця (середнє арифметичне з 3-х вимірів) без впливу відбитого світла від дзеркала (E_1) і при використанні відбитого дзеркального світла (E_2) (табл. 1).

Таблиця 1 – Вплив дзеркальної поверхні на природну освітленість

Висота робочого місця, м	0	42	80
Освітленість без дзеркального відбиття (E_1), лк	51	60	80
Освітленість з використанням відбитого світла від дзеркала (E_2), лк	80	97	>100
Відношення E_2/ E_1	1,6	1,61	>2,25
Освітленість Дз, лк	29	37	>20

За результатами експериментів підтверджена можливість збільшення освітленості робочої поверхні за рахунок світла, відбитого від дзеркальної поверхні більше ніж в 1,6 разів.

Відмічена можливість регулювання значення освітленості за рахунок зміни положення площини дзеркальної поверхні відносно променів природного освітлення та кута відбиття променів від дзеркальної поверхні.

Зафіксована максимальна освітленість, коли висота місця співпадає з висотою підвіконня (80 см).

Можна показати, що використання дзеркальної поверхні дозволяє збільшити коефіцієнт природної освітленості (КПО).

Як відомо, КПО визначається за формулою:

$$\text{КПО} = \frac{E_B}{E_3} \cdot 100, \% , \quad (1)$$

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

де E_b – освітленість в приміщенні, лк;

E_3 – освітленість зовні приміщення, лк.

Без дзеркального впливу

$$\text{КПО}_1 = \frac{E_1}{E_3} \cdot 100, \% \quad (2)$$

При використанні дзеркально відбитого світла

$$\text{КПО}' = \frac{E_2}{E_3} \cdot 100, \% \quad (3)$$

з формули (2):

$$E_3 = \frac{E_1}{\text{КПО}} \cdot 100, \%$$

тоді $\text{КПО}'$ буде:

$$\text{КПО}' = \frac{E_2}{E_1/\text{КПО}} = \text{КПО} \cdot \frac{E_2}{E_1} \quad (4)$$

Як підсумок: при використанні дзеркальної поверхні $\text{КПО}'$ збільшується пропорційно відношенню освітленості на робочому місці з використанням відбитого світла до освітленості без урахування відбитого світла дзеркальною поверхнею.

Освітленість E_2 можна представити як суму освітленостей від природного сонячного світла, що діє через віконний проріз (E_1), і освітленості відбитого світла від дзеркальної поверхні (E_d):

$$E_2 = E_1 + E_d \quad (5)$$

Формально за рахунок використання дзеркальних поверхонь можна обґрунтувати отримання економічного ефекту, запроваджуючи менші розміри віконних прорізів, тобто зменшуючи витрати на облаштування вікон меншого розміру. Але така пропозиція дуже дискусійна. Тому можна розраховувати на ефективність в покращенні освітленості на робочих місцях у приміщеннях як на соціальний ефект охорони праці.

3. Дослідження впливу дзеркальних поверхонь на загальне штучне освітлення приміщень.

Ці дослідження виконувались у тому ж приміщенні, що і дослідження впливу природного освітлення, план якого приведено на рис. 3.

Джерелом штучного освітлення був світильник (люстра) з двома енергозберігаючими електричними лампами потужність 13 Вт кожна, підвішений на висоті 2,7 м від підлоги. Для зменшення впливу природного освітлення експерименти виконувалися вночі з 18.00 до 19.00 годин вечора. Робоче місце розташовано приблизно по центру приміщення. Датчик люксметра встановлювався по центру Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 2/2016(18).

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

робочого місця, вимірювалась освітленість на робочому місці при різній його висоті без впливу відбитого світла від дзеркальної поверхні і з впливом від переносного дзеркала площею 80 м². Положення дзеркала регулювалось таким чином, щоб відбиті промені світла від дзеркала попадали на робоче місце з забезпеченням можливо більшої освітленості. В іншому використовувалась така ж методика, як і у попередніх експериментах.

Результати експериментів приведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Вплив дзеркальної поверхні на штучне освітлення

Висота робочого місця, см	0	42	84
Освітленість без дзеркального відбиття (E_1), лк	30	37	48
Освітленість з використанням відбитого світла від дзеркала (E_2), лк	42	60	70
Відношення E_2/E_1	1,4	1,62	1,46
Освітленість E_d , лк	12	23	22

Можна вважати, що $E_2 - E_1 = E_d$ – освітленість, що забезпечується дзеркальною поверхнею.

Таким чином, якщо встановити дзеркало так, щоб відбиті від нього промені світла попадали на робоче місце в приміщенні, то забезпечується збільшення освітленості робочого місця не менше ніж в 1,4 рази, що еквівалентно підсиленню штучного освітлення за рахунок впливу дзеркальної поверхні.

Завдяки покращенню освітлення, забезпечуються більш комфортні умови праці, зменшується можливість виникнення помилок в роботі та травматизму, що сприяє також збільшенню продуктивності праці.

Крім того, можна показати, що завдяки збільшенню освітленості на робочих місцях при використанні світла, відбитого дзеркальними поверхнями, виникає принципова можливість економії електроенергії при штучному освітленні приміщень.

Як відомо, необхідну кількість ламп для штучного освітлення (N) можна визначити за методом використання коефіцієнта світлового потоку:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{UF}, \quad (6)$$

де E – потрібна горизонтальна освітленість робочого місця, що регламентується санітарно-гігієнічними нормами в залежності від умов праці, лк;

S – площа приміщення, м²;

K – коефіцієнт запасу, який враховує старіння ламп, запиленість та забрудненість світильників і визначається за таблицею довідкових даних в діапазоні $K_3 = 1,3 \div 2,0$;

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

U – коефіцієнт використання світлового потоку, що залежить від індексу приміщення (i), типу світильника, коефіцієнтів відбиття стелі і стін та визначається за таблицями довідкових даних;

F – світловий потік прийнятого типу ламп, визначається за технічними даними виробника, лм.

З урахуванням впливу дзеркальної поверхні фактичну освітленість у формулі (6) для розрахунку кількості ламп можна представити виразом:

$$E = E_n - E_d, \quad (7)$$

де E_n – нормативне значення освітленості без урахування впливу дзеркальної поверхні;

E_d – освітленість, що забезпечується відбитим світлом від дзеркальної поверхні.

Тоді необхідна кількість ламп буде

$$N^1 = \frac{(E_n - E_d) \cdot S \cdot K_3}{u \cdot F}. \quad (8)$$

З цієї формули видно, що необхідну освітленість на робочому місці можна отримати при меншій кількості електричних ламп:

$$N^1 = \frac{(E_n - E_d) \cdot S \cdot K_3}{u \cdot F} < N = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3}{u \cdot F}.$$

Це є основою зменшення потужності джерел штучного освітлення приміщень, тобто зменшення витрат електроенергії при застосуванні дзеркальних поверхонь.

Відношення $N^1/N = m$, показує, яку частку величини N складає N^1 :

$$m = \frac{(E_n - E_d) \cdot \delta^1 \cdot K_3}{u \cdot F} : \frac{E_n \cdot S \cdot K_3}{u \cdot F} = 1 - \frac{E_d}{E_n}. \quad (7)$$

Тому з урахуванням збільшення освітленості на робочих місцях за рахунок дзеркальних поверхонь необхідна кількість електричних ламп буде:

$$N^1 = Nm, \quad (8)$$

де N – кількість електричних ламп, що необхідна для забезпечення нормованої освітленості на робочому місці без урахування впливу дзеркальних поверхонь

$$m = 1 - E_d/E_n = 1 - K \quad (9)$$

$K = E_d/E_n$ – коефіцієнт, що показує, на яку долю можна зменшити кількість електричних ламп, якщо для покращення освітлення робочих місць використовувати світло, що відбивається дзеркальною поверхнею.

Наприклад, використовуючи експериментальні дані табл. 2, маємо:

$$E_n = E_1 = 48 \text{ лк}; \quad E_d = E_2 - E_1 = 70 - 48 = 22 \text{ лк}; \quad K = \frac{22}{48} = 0,46$$

$$m = 0,54; \quad N^1 = 0,54 \text{ N}$$

Зменшення необхідної кількості ламп пропорційно зниженню потужності і витратам енергії штучної освітлювальної установки, що може визначатись у зменшенні плати за електроенергію, якщо у приміщенні використовувати дзеркальні поверхні для збільшення освітленості робочих місць.

Але необхідно відмітити, що це положення можна використати, якщо загальне освітлення здійснюється одним концентрованим світильником, наприклад, люстрою, у якій встановлено декілька ламп. Якщо у приміщенні штучне освітлення здійснюється декількома світильниками, то для подібного висновку потрібні додаткові дослідження.

4. Дослідження впливу стаціонарної дзеркальної поверхні на загальне штучне освітлення приміщення

Для дослідження використовувалось приміщення (коридор) з параметрами: довжина – 400 мм, ширина – 130 см, висота – 245 см, у якому немає вікон і є можливість попередити проникнення природного освітлення при закритих дверях (рис. 4). У приміщенні стаціонарно встановлено дзеркало площею $S_d = 1,5 \text{ м}^2$. Штучне освітлення здійснювалось електричною лампою розжарювання потужністю 60 Вт, яка встановлена на боковій стіні приміщення на висоті 195 см від підлоги приміщення. Робоче місце імітувалось темною площиною 40x40 см, що встановлювалась з протилежної відносно лампи стіни приміщення, на відстані від стіни з дзеркалом: 82, 85, і 140 см з висотою: 48 і 84 см. Визначалась освітленість в центрі робочої поверхні люксометром Ю-116 (датчик люкметра – у центрі робочої поверхні) при закритому дзеркалі світлою обоею (E_1) і при відкритому дзеркалі (E_2) (табл. 3).

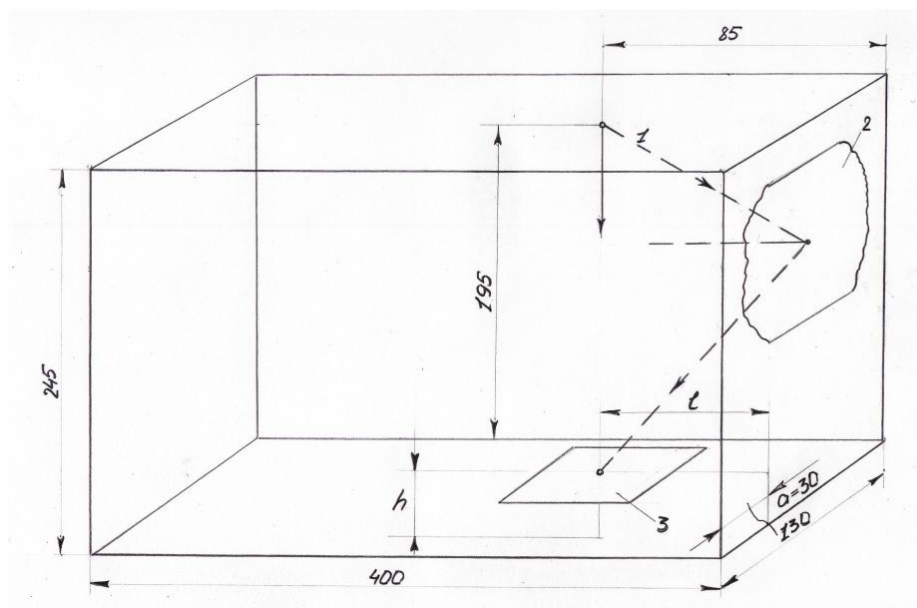


Рисунок 4 – Схема досліджень впливу стаціонарної дзеркальної поверхні на освітленість робочого місця в приміщенні

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Таблиця 3 – Вплив дзеркальної поверхні на загальне штучне освітлення

Положення робочого місця (i) від дзеркала, см	82		85		140	
Висота робочого місця (h), см	42	84	42	84	42	84
Освітленість на робочому місці (E ₁) дзеркало закрите, лк	64	65,5	68	83	49	56
Освітленість на робочому місці (E ₂) дзеркало відкрите, лк	76	86	81,5	92,5	54	62,5
Відношення E ₂ /E ₁	1,19	1,31	1,2	1,1	1,1	1,2
Розраховане значення освітленості за рахунок відбитого світла (D ₃), лк	8	20,5	13,5	9,5	5	7,5

Аналіз свідчить, що освітленість при закритому дзеркалі залежить від відстані робочої поверхні від джерела світла (ламп) і природно, що максимальне значення освітленості співпадає з мінімальною відстанню від джерела. При відкритому дзеркалі освітленість на робочому місці збільшується, що пояснюється тим, що в цьому випадку освітленість створюється як джерелом (лампю) - E₁, так і відбитим світлом від дзеркальної поверхні - E_д, тобто загальну освітленість -E₂, можна представити як суму освітленостей E₁ і E_д:

$$E_2 = E_1 + E_d, \quad (10)$$

де $E_d = E_2 - E_1$.

За отриманими експериментальними даними видно, що за рахунок відбитого світла стаціонарним дзеркалом максимальне збільшення загальної освітленості робочого місця в 1,31 рази більше освітленості, що створюється джерелом світла (без впливу дзеркальної поверхні). Це свідчить про те, що ефективність використання впливу дзеркальних поверхонь у приміщеннях залежить від правильного вибору робочого місця відносно стаціонарного джерела світла та стаціонарно встановленого дзеркала.

За теоретичними даними [1, 4] при виборі місця розташування робочого місця доцільно керуватись такими положеннями: 1) кут падіння променя світла на дзеркало рівний куту відбиття від дзеркала (кути відносно лінії, перпендикулярної у точці падіння); 2) падаючий на дзеркало промінь, відбитий промінь і лінія, перпендикулярна точці падіння знаходяться на одній площині, тобто центр джерела світла, точка падіння променя світла на дзеркало і точка (центр) робочого місця знаходяться на одній площині; 3) за умов 1) і 2) доцільно встановити робоче місце (робочий стіл) на мінімально можливій відстані від джерела світла (електричної лампи).

Необхідно відмітити, що ці положення можна вважати обґрунтованими, якщо джерело світла локальне (одна лампа) і більш підходить до категорії точкового джерела світла, та при оцінці освітленості тільки на одному локальному робочому місці.

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

В інших випадках для розробки рекомендацій щодо ефективного використання освітлення виробничих приміщень необхідно проведення більш широких експериментальних досліджень.

Хоча за рахунок дзеркальної поверхні можна забезпечити необхідну освітленість при меншій потужності електричних ламп, але практично можна очікувати корисний ефект тільки у поліпшенні якості освітлення приміщення, тобто розраховувати на гігієнічну ефективність, що буде сприяти збереженню нормального стану органів зору, зменшенню їх захворюваності, а також створенню умов забезпечення комфортності та нормальної продуктивності праці персоналу, що працює у приміщенні.

5. Дослідження впливу дзеркальної поверхні на місцеве освітлення робочого місця у приміщенні з настільним електричним світильником.

Експериментальні дослідження виконувались у приміщенні розмірами: довжина – 5 м, ширина – 4 м, висота – 3,2 м (рис. 5) зі світлими обоями стін та стелі сірою підлогою в нічний час, щоб зменшити вплив на результати експериментів природного освітлення. Місцеве освітлення здійснювалось настільним світильником з електричною енергозберігаючою лампою потужністю 11 Вт. У якості дзеркальної поверхні використовувалось переносне кругле двостороннє дзеркало діаметром 170 см.

Визначення освітленості здійснювалось люксометром Ю-116, датчик якого встановлювався на робочому столі, як показано на рис. 5. Одна з сторін дзеркала виконана зі збільшенням дзеркального зображення в 1,5 рази. На робочому місці визначалась освітленість без дзеркала та з застосуванням дзеркала, площа якого встановлювалась під таким кутом, щоб отримати по можливості максимальне значення відбитого світла від дзеркальної поверхні як від сторони без збільшення зображення, так і від сторони зі збільшенням дзеркального зображення у 1,5 рази (табл. 4).

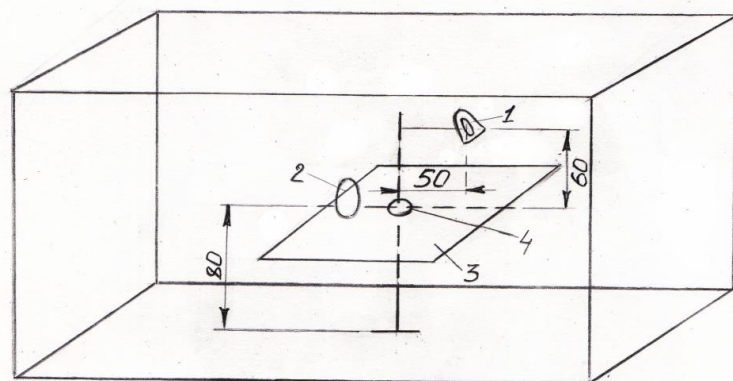


Рисунок 5 – Схема дослідження впливу дзеркальної поверхні на місцеве освітлення:

- 1 – настільна електрична лампа потужністю 11 Вт;
- 2 – переносне дзеркало діаметром 0,17 м;
- 3 – робоче місце (комп'ютерний стіл);
- 4 – датчик люксометра Ю-116

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Таблиця 4 – Вплив дзеркальної поверхні на місцеве штучне освітлення

Положення датчика Ю116	1	2
Освітленість на робочому столі без дзеркала (E_1), лк	44	46,5
Освітленість з дзеркалом (E_2), лк без збільшення (E_2')	70	63
Освітленість з дзеркалом (E_2), лк зі збільшенням (E_2'')	76	76
Відношення освітленості з дзеркалом до освітленості без дзеркала E_2'/E_1	1,59	1,35
Відношення освітленості з дзеркалом до освітленості без дзеркала E_2''/E_1	1,73	1,63
Розрахункове значення освітленості: відбитої дзеркальною поверхнею (E_d), лк $E_d' = E_2' - E_1$	26	16,5
Розрахункове значення освітленості: відбитої дзеркальною поверхнею (E_d), лк $E_d'' = E_2'' - E_1$	32	29,5

Визначення освітленості здійснено при 2-х положеннях датчика Ю-116: 1 - в центрі робочого стола на відстані 0,5 м (рис. 4) і 2 - на відстані 0,3 від світлової осі джерела світла.

Отримані результати свідчать, що завдяки відбитому світлу від дзеркальної поверхні, можна суттєво покращити місцеве штучне освітлення приміщення. При такій властивості впливу дзеркальної поверхні на місцеве освітлення в приміщенні створюється можливість енергозбереження шляхом застосування для місцевого освітлення електричних ламп меншої потужності і при цьому зменшення витрат електроенергії на освітлення. Отримані результати також показують на доцільність створення комбінованого місцевого світильника з дзеркалом в комбінації з електричною лампою.

6. Дослідження впливу дзеркальних поверхонь для обґрунтування створення комбінованого з дзеркалом світильника місцевого освітлення.

Дослідження виконувались шляхом моделювання конструкції настільного світильника та здійснення його пробного функціонування з визначенням освітленості на робочому місці за схемою (рис. 5). В якості робочого місця використовувався комп'ютерний стіл висотою від підлоги 80 см.

Використовувався настільний світильник з енергозберігаючою лампою потужністю 11 Вт, встановлений на висоті 64 см відносно площини комп'ютерного стола, та кругле двостороннє дзеркало діаметром 170 см. Лампа регулювалась таким чином, щоб забезпечувалось ефективне освітлення площини робочого стола, а дзеркало орієнтувалось з таким зрушенням, щоб кут падіння на його поверхню світлових променів лампи і кут відбивання променів з дзеркала забезпечували попадання відбитого світла на робочий стіл по можливості з більшою освітленістю, підсилюючи освітленість від світильника. Датчик люксметра Ю-116 встановлювався безпосередньо на площині робочого стола на відстані від світлової осі 40, 60 і 80 см. Світильник з дзеркалом встановлювався на полиці комп'ютерного стола на висоті 64 см відносно робочої площини стола. Як і у ра-

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

ніше описаних експериментах визначалась освітленість на робочому столі без дзеркала, з дзеркалом, коли відбите від нього світло попадало на поверхню робочого стола (табл. 5).

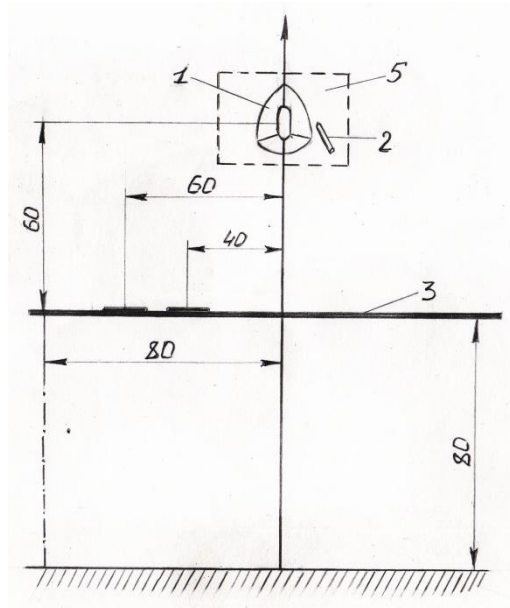


Рисунок 6 – Схема моделювання комбінованого настільного світильника:
1 – світильник; 2 – дзеркало; 3 – робочий стіл; 4 – датчик люксметра Ю-116;
5 – зрушення положення площини дзеркала

Таблиця 5 – Результати моделювання комбінованого світильника

Положення датчика Ю-116, см	80	60	40
Освітленість на робочому столі без дзеркала (E_1), лк	33	56	99
Освітленість з дзеркалом (E_2), лк без збільшення (E_2')	48	81	>100 (достовірність сумнівна)
Освітленість з дзеркалом (E_2), лк зі збільшенням (E_2'')	58	98	>100 (достовірність сумнівна)
Відношення освітленості з дзеркалом до освітленості без дзеркала E_2'/E_1	1,45	1,44	>1 (достовірність сумнівна)
Відношення освітленості з дзеркалом до освітленості без дзеркала E_2''/E_1	1,76	1,75	>1 (достовірність сумнівна)
Розрахункове значення освітленості відбитого дзеркала (E_d), лк $E_d' = E_2' - E_1$	15	25	-
Розрахункове значення освітленості відбитого дзеркала (E_d), лк $E_d'' = E_2'' - E_1$	25	17	-

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Як і у попередньому розділі результати експериментів свідчать, що завдяки використанню відбитого світла дзеркальною поверхнею освітленість на робочому місці суттєво збільшується. При використанні звичайної дзеркальної поверхні - в 1,44 і більше раз, а при використанні дзеркальної поверхні зі збільшенням зображення – не менше ніж в 1,75 раз. Тому, крім соціального ефекту в поліпшенні гігієнічних умов праці, використання позитивного впливу дзеркальної поверхні створює умови отримання економічного ефекту. Цей ефект обумовлюється можливістю забезпечення нормального освітлення при меншій потужності електричної лампи світильника, якщо збільшується освітленість за рахунок використання відбитого дзеркалом світла. При цьому зменшуються витрати електроенергії на освітлення приміщення тому, що ці витрати пропорційні зменшенню потужності споживачів. Як приклад, у такому світильнику замість лампи в 11 Вт достатньо застосувати лампу потужністю 9 Вт, тобто зменшити потужність в 1,2 рази. Це приведе до пропорційного зменшення витрат електроенергії і відповідно до зменшення плати за електроенергію.

Результати моделювання показують, що електрична лампа і дзеркало повинні складати загальний комплекс. Для цього необхідно, щоб дзеркало було закріплено на конструкції світильника таким чином, щоб при мінімальному зрушенні дзеркала відносно ламп воно не заважало проникненню променів світла від ламп до освітлювальної поверхні і разом з тим кут падіння променів лампи на дзеркальну поверхню був рівний куту відбиття променів від дзеркальної поверхні до освітлювальної поверхні робочого місця. Встановити дзеркало в конструкції світильника необхідно так, щоб промінь падіння на дзеркальну поверхню, відбитий від неї промінь до робочої поверхні і перпендикуляр до дзеркальної поверхні в точці падіння світлового променя знаходились в одній площині. Для більш детальних рекомендацій щодо конструкції комбінованого з дзеркалом світильника необхідно проведення спеціальних більш широких досліджень.

ВИСНОВКИ:

1. Дзеркальні поверхні в приміщеннях дозволяють збільшити освітленість на робочих місцях завдяки використанню 2-х факторів:

- світла, відбитого від дзеркальних поверхонь;
- світла, випромінюваного дійсними відображеннями джерел (сонця, ламп)

у дзеркалах.

2. Для ефективного використання випромінювань дзеркальних відображень необхідно дзеркала встановлювати та орієнтувати так, щоб світлові промені від джерела світла і відбиті промені від дзеркальної поверхні падали на робоче місце одночасно синфазно та щоб забезпечувалась рівність кута падіння променя від джерела до дзеркала і кута відбиття від дзеркала, причому щоб падаючий промінь на дзеркало, відбитий промінь від дзеркала і перпендикуляр до дзеркальної точки падіння знаходились у одній площині.

3. Експериментами підтверджено збільшення освітленості на робочих місцях за рахунок дзеркальних поверхонь не менше ніж: в 1,6 рази для природного

Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 2/2016(18).

ОХОРОНА ПРАЦІ Й БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА НА ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

освітлення сонячною енергією, в 1,1-1,31 рази для штучного електричного освітлення з стаціонарним нерегулюємим дзеркалом; в 1,4 рази штучного загального освітлення приміщення електричними лампами з регулюємим дзеркалом; в 1,35 рази штучного місцевого освітлення індивідуальним світильником з регулюємим дзеркалом.

4. Ефективність корисного використання дзеркальних поверхонь в приміщеннях полягає у забезпеченні покращення освітлення на робочих місцях та гігієнічних умов праці для зменшення захворюваності органів зору, а також в створенні перспектив зменшення витрат за спожиту електроенергію як основи економічного ефекту.

5. Доведена доцільність та практична можливість створення і застосування місцевого індивідуального світильника з електричною лампою в конструктивній комбінації з локальним дзеркалом таким чином, щоб робоче місце освітлювалось безпосередньо світлом джерела електроенергії та одночасно світлом, відбитим від локального дзеркала, що дозволяє збільшити освітленість робочого місця не менш ніж у 1,4 рази у порівнянні з освітленням тільки електричним джерелом.

6. Виходячи з корисного ефекту впливу дзеркальних поверхонь на освітленість приміщень доцільним та обґрунтованим вважається рекомендація щодо застосування дзеркальної мебліровки приміщень, а також підвісної стелі з дзеркальної плівки для виробничих кабінетів і жилих приміщень.

7. Слід вважати доцільним і своєчасним розробку рекомендацій до змін нормативних положень щодо розрахунків та здійснення освітлення на виробництві та в побуті з урахуванням корисного застосування дзеркальних поверхонь для покращення освітлення приміщень і будівель.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основи охорони праці; Підручник. 3-є видання доповнене та перероблене / К. Н.Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Л. В. Зерцалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Козяков, Л. О. Мітюк, Ю. О. Полукаров, За ред. К. Н.Ткачука. – К.; Основа, 2011. – 480 с.
2. Червиловский Ф.М. Освещение промышленных предприятий и его гигиеническое значение. Л.: «Медицина», 1971. – 288 с.
3. Энциклопедия безопасности и гигиена труда: Перев. с англ. / Под ред. Бирюкова А.П. – М.: Профиздат, Т.1, 1983. – 694 с.
4. Д.Б.Н.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення.
5. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под.ред. Г.М. Кноринга. – Л.: Энергия, 1976. – 384 с.
6. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Анзенберга Ю.В. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.
7. Л. Эллиот, У. Уилкокс. Физика. – М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1975. – 736 с.

8. Прикладная оптика / Дубовик Ф.С., Апенко М.И., Дурейко Г.В. и др.: Учебное пособие для вузов. М.: Недра, 1982. – 612 с.

9. Бегунов Б.Н., Заказнов Н.П., Кирюшкин С.Н., Кузичев В.Н. Теория оптических систем. М.: Машиностроение, 1981. – 425 с.

THEORETICAL BASIS OF BLASTING PARAMETERS OF ROCK MASS WITHOUT SPREAD

V. Chebenko, V. Kolosyuk, Yu. Chebenko, A. Hubachov,
N. Tsybulnik, K. Golovenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine.

E-mail: bgd@kdu.edu.ua

Purpose. Establishment of features to improve illumination in production facilities through the effective use of mirrored surfaces. **Methodology.** It was used luxmeter S-116 for experimental determination of illumination in the center on anticipated workplaces without the influence of mirror surfaces and with a concentrated influence of reflected light by mirrored surfaces. **Results.** It is shown that due to the mirror surface illumination indexes increases due to the reflection of light from mirror surfaces and light emission from the actual images of light sources in the mirror surfaces. Experiments confirmed increase of illumination at workplaces through the mirror surfaces at least: to 1,6 times for natural lighting with solar energy, to 1,1-1,31 times for artificial electric lighting with stationary not adjustable mirror; to 1,4 times of total artificial illumination of the room with electric lamps with adjustable mirror; to 1,35 times of local artificial illumination with individual lamp with adjustable mirror. Mirror surfaces indoors can increase the illumination at workplaces thanks to such factors: light reflected from the mirror surfaces; light emitted by valid reflections of sources (sun, lamps) in the mirrors. **Originality.** For the first time, it is given the recommendations on application of mirror furnishing of housings and false ceiling from mirror films for production offices and residential premises. **Practical value.** Is proposed a creation of a lamp combined with a mirror. Experimental studies of which indicate the possibility of its application in real conditions. References 9, tables 5, figures 6.

Key words: workplaces, illumination, reflection coefficient, image light sources.

REFERENCES

1. Tkatchuk, K.N., Khalimovskyi, M.O., Zatsarnyi, V.V., Zertsalov, L.V., Sabarno, R.V., Polukarov, O.I., Kozyakov, V.S., Mytyuk, L.O., Polukarov, Yu.O. (2011), *Osnovy okhorony pratsi; Pidruchnyk* [Basics of labor protection; Textbook], Osnova, Kyiv, Ukraine.

2. Chervylovskyi, F.M. (1971), *Osvescheniye promyshlennykh predpriyatiy i ego gigiyenicheskoe znacheniye* [Illumination industrial enterprises and its hygienic value], Medytsyna, Leningrad, USSR.

3. Biryukov, A.P. (1983), *Encyclopediya bezopasnosti I gigiyena truda* [Encyclopedia of safety and health at work], Profizdat, Moscow, Russia.
4. D.B.N. 2.5-28-2006 Natural and artificial lighting.
5. Knoring, G.M. (1976), *Spravochnaya kniga dlya proektyrovaniya elektrycheskogo osvescheniya* [Handbook for the design of electric lighting], Energiya, Leningrad, USSR.
6. Anzenberg, Yu.V. (1983), *Spravochnaya kniga po svetotekhnike* [Handbook of Illumination], Energoatomizdat, Moscow, Russia.
7. Elliot, L., Willcocks, W. (1975), *Fizika* [Physics], Nauka, Moscow, Russia.
8. Dubovyk, F.S., Apenko, M.I., Dureyko, G.V. and others (1982), *Prykladnaya optika* [Applied optics], Nedra, Moscow, Russia.
9. Begunov, B.N., Zakaznov, N.P., Kiryushkin, S.N., Kuzychev, V.N. (1981), *Teoriya optycheskyh system* [Theory of optical systems], Mashynostroeniye, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 15.12.2016.