

УДК 331.434:628.98

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271118.54.366

ПРОБЛЕМА СТВОРЕННЯ БЕЗПЕЧНОГО ТА КОМФОРТНОГО СВІТЛОВОГО СЕРЕДОВИЩА НА РОБОЧОМУ МІСЦІ

РАБИЧ О. В.¹, канд. техн. наук, доц.,

ЧУМАК Л. О.², канд. техн. наук, доц.,

МЕЩЕРЯКОВА І. В.³, асп.

¹Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38(056) 756-34-57, e-mail: evrabich@gmail.com, ORCIDID: 0000-0001-5600-0470

²Кафедра вищої математики, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-98-53, e-mail: gurchum@gmail.com, ORCIDID: 0000-0002-3858-8028

³Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: m.v.iren@i.ua, ORCIDID: 0000-0002-1538-2932

Анотація. Постановка проблеми. Збереження здоров'я працівників і створення передумови для підтримання високого рівня працездатності неможливе без безпечного та комфортного світлового середовища за оптимальних умов праці. Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що за відсутності в приміщенні природного освітлення протягом 90% часу зміни, а також заходів із компенсації ультрафіолетової недостатності умови праці є шкідливими 1-го та 2-го ступеня. **Мета статті** - аналіз можливості та перспектив використання природного світла в нових сучасних проектах будівництва, а також під час реконструкції існуючих будівель та забудов. **Висновок.** Проаналізовано діючі нормативи світлового середовища, конструктивні рішення світлових отворів для потрапляння природного світла на робочі місця з урахуванням екокліматичних умов освітлення на прикладі м. Дніпро, проведено аналіз існуючих сучасних штучних та комбінованих систем освітлення, розглянуто вплив освітлення за рівнями, джерелами на стан здоров'я людини, її працездатність та безпеку.

Ключові слова: світлове середовище; умови праці; природне освітлення; штучне освітлення; енергоефективність світлових отворів

ПРОБЛЕМА СОЗДАНИЯ БЕЗОПАСНОЙ И КОМФОРТНОЙ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

РАБИЧ Е. В.¹, канд. техн. наук, доц.,

ЧУМАК Л. А.², канд. техн. наук, доц.,

МЕЩЕРЯКОВА И. В.³, асп.

¹Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38(056) 756-34-57, e-mail: evrabich@gmail.com, ORCIDID: 0000-0001-5600-0470

²Кафедра высшей математики, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-53, e-mail: gurchum@gmail.com, ORCIDID: 0000-0002-3858-8028

³Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднiпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днiпро, Украина, тел. +38(056) 756-34-57, e-mail: m.v.iren@i.ua, ORCIDID: 0000-0002-1538-2932

Аннотация. Постановка проблемы. Сохранность здоровья работников и создание условий для поддержания высокого уровня работоспособности невозможны без безопасной и комфортной световой среды в оптимальных условиях труда. Анализ последних исследований и публикаций свидетельствует, что при отсутствии в помещении естественного освещения в течение 90 % времени смены и мероприятий по компенсации ультрафиолетовой недостаточности условия труда являются вредными 1-й и 2-й степени. **Цель статьи** - анализ возможности и перспектив использования естественного света в новых современных проектах строительства, а также при реконструкции существующих зданий и строений. **Вывод.** Проанализированы действующие нормативы световой среды и попадание естественного света на рабочие места с учетом экоклиматических условий освещения на примере г. Днiпро, проведен анализ существующих современных систем искусственного и комбинированного освещения, рассмотрено влияние освещения по уровням, источникам на состояние здоровья работоспособность и безопасность человека.

Ключевые слова: световая среда; условия труда; естественное освещение; искусственное освещение; энергоэффективность световых проемов

THE PROBLEM OF CREATING A SAFE AND COMFORTABLE LIGHT ENVIRONMENT AT THE WORKPLACE

RABICH O. V.¹, *Cand. Sc. (Techn.) Assos.Prof.*,
CHUMAK L. O.², *Cand. Sc. (Techn.) Assos.Prof.*,
MESHCHERIAKOVA I. V.³, *Graduate student*

¹Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo st., Dnipro 49600, Ukraine, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: evrabich@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5600-0470

²Department of Higher Mathematics, State Higher Education Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo st., Dnipro 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 46-98-53, e-mail: gurchum@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3858-8028

³Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo st., Dnipro 49600, Ukraine, тел. +38 (056) 756-34-57, e-mail: m.v.iren@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-1538-2932

Abstract. Problem statement. The safety of employees' health and the support of the high level of efficiency is impossible without a safe and comfortable light environment under optimal working conditions. The analysis of last researches and publications shows that the absence of natural light in the rooms during 90% of the working time and in the measures for compensation of ultraviolet insufficiency the working conditions are harmful (the first and second degrees). **Purpose.** The analyze of the possibility for natural light wind in the new modern construction projects and in the existing buildings. **Conclusion.** The operating norms of the light environment were analyzed. The constructive solutions of light apertures for the penetration of natural light to workplaces with regard to the ecoclimatic lighting conditions on the example of the city of Dnipro are studied. The analysis of the existing modern systems of artificial and combined lighting was carried out, the influence of lighting by levels and sources on the state of human health, efficiency and safety was considered.

Keywords: *light-environment; working conditions; natural light; lamplight; energy efficiency of light openings*

Постановка проблеми. Головним принципом державної політики України в галузі охорони праці стало збереження життя і здоров'я людини в процесі трудової діяльності [1]. Реалізація цього принципу в основному полягає в ліквідації небезпечних та шкідливих чинників виробництва. Створенню безпечного та комфортного світлового середовища приділяється менше уваги.

Світло - один із найважливіших чинників, що впливають не тільки на функції зору працівника, а й на діяльність його організму та психоемоційний стан у цілому. Відомо, що через недостатній стан освітлення робочої зони працівник швидко стомлюється, знижується продуктивність його праці, зростає потенційна небезпека помилкових дій та нещасних випадків.

Важлива складова світлового середовища - це природна освітленість робочого місця. Вона має високу біологічну та гігієнічну цінність, впливає на психіку людини. Тому усі приміщення, призначені для тривалого перебування людей, повинні мати природне освітлення.

Аналіз публікацій. Фактор світлового середовища в нормовано ДБН В.2.5-28-2006

«Природне і штучне освітлення», в якому рівні освітленості приймаються залежно від зорової роботи та орієнтації в просторі. Гігієнічне оцінювання світлового середовища здійснюється за показниками природного та штучного освітлення.

Установлено, що недостатнє або нераціональне освітлення робочих місць спричиняє до 20 % травм. Умови праці вважаються шкідливими 1-го та 2-го ступеня за відсутності в приміщенні природного освітлення протягом 90 % часу зміни та заходів із компенсації ультрафіолетової недостатності.

Для інших факторів за оптимальні умовно приймаються такі умови праці, за яких несприятливі фактори виробничого середовища не перевищують рівнів, прийнятих за безпечні для населення [2].

Тривале перебування в умовах недостатньої інсоляції, а також у середовищі з обмеженим спектральним складом світла знижує інтенсивність обміну речовин. З іншого боку, зайве яскраве світло сліпить, знижує зорові функції, спричинює надмірне збудження нервової системи, зменшує працездатність, порушує механізм сутінкового зо-

ру. Надмірна яскравість може викликати фотоопіки очей та шкіри.

Природне освітлення також впливає на циркадні ритми людини. Біоритми людини регулюються гормонами. Найважливіше в цьому відношенні гормони - мелатонін і кортизол. Кортизол впливає на багато функцій, зокрема, на метаболізм і імунітет. Концентрація кортизолу максимальна вранці, в періоди найбільшої зайнятості і в стресових ситуаціях. Цей гормон часто називають гормоном стресу (stress hormone), що посилює напруженість праці.

Виділення гормонів «синхронізоване» зі світлом, яке щодня впливає на людину. Якщо в очі людини в потрібний момент не надходить необхідна кількість певного спектра світла, з'являється безсоння, втома і перепади настрою, а згодом можуть виникнути хронічні захворювання.

Саме центральна нервова система регулює добові цикли ендокринної системи. Відомо, що, крім іншого, мелатонін перешкоджає пошкодженню ДНК канцерогенними речовинами, зупиняючи дію механізму щодоутворення ракових пухлин [8].

Безпечно та комфортно світлове середовище повинне забезпечуватись не тільки високими рівнями штучної освітленості, яке має складати понад 1 000 лк [3], а й природною освітленістю, що забезпечує психофізіологічний комфорт та сприяє зниженню напруженості праці.

Збільшення освітленості зі 100 до 1 000 лк за напруженої зорової роботи підвищує продуктивність праці на 10-20 %, зменшує кількість браку на 20 % та знижує кількість нещасних випадків на 30 % [4].

Урахування розглянутих гігієнічних чинників умов праці та санітарних вимог освітлення внутрішнього середовища має забезпечувати як рівномірність освітленості, так і наблизений до природного спектральний склад світла та мінімальну втому зору, а також виключати можливість осліплювання та блискучості робочої поверхні.

Мета статті - аналіз можливостей та перспектив використання природного

освітлення в нових сучасних проектах будівництва, а також під час реконструкції існуючих приміщень та забудов.

Виклад матеріалу. Сучасна система світлового середовища не повинна бути джерелом шкідливого виробничого чинника. Тому дослідження щодо розроблення безпечної та комфортної системи освітлення мають базуватися на створенні багатофакторної моделі потрапляння світла різного походження на робоче місце з обов'язковим урахуванням впливу на стан здоров'я людини в процесі трудової діяльності, а також визначенням енергоефективності системи освітлення робочих місць.

Основа створення безпечного енергоефективного світлового середовища - використання природного світла. Рівні природної освітленості залежать від конструктивних рішень приміщень забудови, де розташовані робочі місця (орієнтація за сторонами світу), а також екокліматичних умов (зовнішньої освітленості регіону, часу доби, кількості хмарних днів, забруднення приземного повітря).

Широтне розташування України (від 33°11' до 52°22' п. ш.) зумовлює великі рівні зовнішньої природної освітленості. Влітку, наприклад, середньомісячна освітленість у Придніпровському регіоні досягає 58-63 клк, а щорічна кількість годин у м. Дніпро, коли освітленість перевищує 500лк, становить близько 4 500 годин.

Сонячна інсоляція – це кількість сонячної радіації, що надходить на 1 м² поверхні, розташованої перпендикулярно до сонячних променів, за один світловий день. Сонячна інсоляція, яка надходить на поверхню, змінюється і залежить від висоти сонця, хмарності та інших природних явищ, кута падіння сонячних променів (ранок, полудень, вечір). У зв'язку з такими відмінностями зручніше користуватися усередненими показниками залежно від пори року і місця розташування.

Для кожного міста України інсоляція різна і залежить від регіону та пори року. На карті (рис.) позначено (за даними супутників NASA період з 1985 по 2005 р.) кількість

сонячної енергії (кВт*год/м²), яка падає сумарно за рік на горизонтальну поверхню площею 1 м². Поверхня має нахил у бік екватора під кутом, який дорівнює географічній широті місця проведення виміру. Цифра в кожній області на карті має на увазі вимір інсоляції у відповідному обласному центрі.



Рис. Сумарна інсоляція регіонів України

Розподіл сонячної енергії узгоджується з проектом нового ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [5]. Сумарна сонячна інсоляція дає можливість розрахувати, яку кількість сонячної радіації отримає, наприклад, сонячний колектор або сонячна батарея в той чи інший місяць року. Але для оцінювання ефективності використання природного освітлення потрібно створити модель потрапляння сонячного світла в приміщення та мати можливість кількісного оцінювання параметрів інсоляції.

Ми провели математичне моделювання сонячного опромінення Q на базі моделі зовнішньої середньомісячної освітленості E для Дніпровського регіону, оскільки між цими параметрами існує кореляційний зв'язок.

На першому етапі були отримані та статистично оброблені дані про стан атмосфери залежно від місяця року, що дало можливість отримання середньорічних характеристик для регіону, таких як, наприклад, середня кількість сонячних або похмурих днів.

Крім того, були отримані експериментальні дані по місяцях залежності сонячної освітленості від висоти Сонця над горизон-

том (тобто від часу доби). Ці дані були також згруповані й оброблені, що дозволило оцінити динаміку параметрів, підібрати з прийнятною похибкою лінії тренду, отримати середні показники освітленості, які в подальшому лягли в основу прогнозування опромінення.

Нижче наведено отриману формулу для розрахунку середньомісячного дифузійного опромінення (Вт/м²) залежно від висоти Сонця над горизонтом:

$$Q = -2674h^5 + 7255,3h^4 - 7002,9h^3 + 2706,3h^2 + 106,51h + 1,3938, \quad (1)$$

де h – висота Сонця над горизонтом, рад,
 Q – середньомісячне опромінення, Вт/м².

Для визначення кількості сонячної енергії, що припадає на одиницю площі протягом дня, ми використали такий вираз:

$$2 \int_{h_1}^{h_2} Q(h) \cdot (21,93h^2 - 24,78h + 12,323) dh, \quad (2)$$

де h_1 – висота Сонця, за якої спостерігається освітленість, що перевищує 500 лк;
 h_2 – висота Сонця, за якої спостерігається максимальна освітленість.

Розрахунки зазначеного параметра сонячної радіації показали, що в період найбільшої річної інтенсивності випромінювання на 1 м² площі припадає близько 2,5-3,2 кВт-годин енергії на добу. Оскільки для визначення сонячної енергії ми використали кілька апроксимацій, точність отриманого результату перебуває в межах 95-97 %.

Отримані залежності між горизонтальним дифузійним опроміненням і горизонтальним дифузійним освітленням Міжнародної служби спостереження денного світла (IDMP) [6] дають можливість прогнозування надходження природного освітлення і його енергетичної складової – сонячного опромінення. Для розрахунку генерування теплової енергії вітчизняні фірми використовують статистичні дані для кожного міста, а також створений програмний комплекс

NeoHeatingPro. Оцінювання потенціалу сонячної енергії для певного регіону проводиться на основі моделювання кількості сонячної енергії, а також розрахунків продуктивності сонячної системи.

Втілення концепції сталого розвитку як збалансованого раціонального будівництва із комфортним світловим середовищем передбачає гармонійне поєднання використання ресурсів та аспектів технологічного розвитку з потребами теперішнього і майбутніх поколінь. Це пов'язано з розвитком «зеленого» будівництва, технології якого спрямовані на екологічність, енергоефективність та економність в експлуатації будівель (витрати на опалення, водопостачання, освітлення, кондиціювання приміщень).

У контексті «зеленого» будівництва європейські країни широко використовують ідеологію «пасивного будинку», що частково пояснюється реалізацією відповідної директиви щодо енергетичних показників у будівництві (Energy Performance of Buildings Directive),

прийнятої країнами ЄС, яка передбачає наближення усіх нових будівель до енергетичної нейтральності – за оцінками експертів саме будівлі мають першість зі споживання енергії. Так, 85 % енергоспоживання припадає на обігрів і охолодження, а 15 % – на електроенергію (в основному на освітлення) [7].

Висновок. Урахування розглянутих гігієнічних чинників умов праці та санітарних вимог освітлення внутрішнього середовища повинне забезпечувати як рівномірність освітленості, так і наближений до природного спектральний склад світла та мінімальну втому зору, а також виключати можливість осліплювання та блискучості робочої поверхні.

Безпечна та комфортна освітленість має базуватися на створенні багатofакторної моделі потрапляння світла різного походження на робоче місце з обов'язковим урахуванням впливу на стан здоров'я людини в процесі трудової діяльності, а також визначенням енергоефективності системи освітлення робочих місць.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про охорону праці : Закон України від 14 жовтня 1992 р. № 2694-ХІІ : за станом на 20 січня 2018 р. / Верховна Рада України // Законодавство України. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>. – Перевірено 04.05.2019.
2. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 08.04.2014 № 248 // Законодавство України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>. – Перевірено 04.05.2019.
3. Ронки Л. Р. О суточной изменчивости зрительных функциональных возможностей / Л. Р. Ронки // Светотехника. – 2009. – № 6 – С. 21–27.
4. Основи охорони праці : навч. посіб. / В. В. Березуцький, Т. С. Бондаренко, Г. Г. Валенко, Л. А. Васьковець ; за заг. ред. В. В. Березуцького. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Харків : Факт, 2007. – 480 с.
5. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28:2018. – [Чинні від 2019-02-28 ; на заміну ДБН В.2.5-28:2006]. – Вид. офіц. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 132 с. – Режим доступу: https://okna.ua/img_all/oknaua/dbn-V-2-5-28-2018-ed.pdf. – Перевірено 04.05.2019.
6. Игава Н. Простая модель световой эффективности естественного освещения / Н. Игава, Н. Накамура // Светотехника. – 2002. – № 4. – С. 12–19.
7. Винник Т. «Зелене» будівництво: тренд чи необхідність? / Т. Винник // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Формування механізму зміцнення конкурентних позицій національних економічних систем у глобальному, регіональному та локальному вимірах», 22-24 вересня 2016 р. / Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Тернопіль, 2016. - С. 202-204. - (Соціальна відповідальність як фактор забезпечення системності розвитку економічних систем). - Режим доступу: http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/18119/2/ConfFMNES_2016_Vynnyk_T-Green_building_trend_or_202-204.pdf. – Перевірено 04.05.2019.
8. Мещерякова І. В. Вплив світлового середовища на зорову працеспроможність оператора / І. В. Мещерякова, О. В. Рабіч, Л. О. Чумак // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Придн. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепр, 2017. – Вып. 101 : Серия : Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. – С. 160–164.

REFERENCES

1. *Verkhovna Rada Ukrainy. Pro okhoronu pratsi. Zakon Ukrainy vid 14 zhovtnia, 1992 № 2694-XII* [Verkhovna Rada Ukrainy. On labour protection. The law dated on 14 October, 1992 № 2694-XII]. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (in Ukrainian).
2. *Kabinet Ministrov* [The Cabinet of Ministers]. *Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm ta pravil: Hihienichna klasyfikatsiia pratsi za pokaznykamy shkidlyvosti ta nebezpechnosti faktoriv vyrobnychoho seredovyshcha, vazhkosti ta napruzhenosti trudovoho protsesu* [On approval State sanitary rules and regulations: Hygienic classification work on indicators of hazards and hazard environment factors, severity and intensity of the work process]. *Nakaz Ministertva okhorony zdorovia Ukrainy vid 08.04.2014*. [Decree of the Ministry of Health of Ukraine dated on 08.04.2014 №248]. Available at: <https://www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14> (in Ukraine).
3. Ronky L.R. *O ezhednevnoi izmenchivosti zrytelnykh funktsyonalnykh vozmozhnostei* [Concerning of every day change of dwelling functional possibilities]. *Svetotekhnika* [Light engineering]. Moskva, 2009, no. 6, pp. 21–27. (in Russian).
4. Berezutskyi V.V., T. S. Bondarenko T.V., Valenko G.G., Vaskovets L.A. and Berezutskyi V.V. Ed. *Osnovy okhorony pratsi* [The basis of labour protection]. Kharkiv: Fakt, 2007, 480 p. (in Ukrainian).
5. *Pryrodne i shtuchne osvittleniia: DBN V.2.5-28:2018* [Natural and artificial lightning: the State Building Regulations V.2.5-28:2018]. Dated on 02.28.2018. Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2018, 132 p. Available at: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5.../1-1-0-1188 (in Ukrainian).
6. Igava N. and Nakamura N. *Prostaya model svetovoy effektivnosti estestvennogo osveshcheniya* [The simple pattern of light efficient of natural lightning]. *Svetotekhnika* [Light engineering]. 2002, no. 4, pp. 12–17. (in Russian).
7. *Vynnyk T «Zelene» budivnytstvo: trend chy neobkhidnist?* [Green building: is it trend or necessity?] *Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Formuvannia mekhanizmu zmitsnennya konkurentnykh pozytsiy natsionalnykh ekonomichnykh system u hlobalnomu, rehionalnomu ta lokalnomu vymirakh», 22-24 veresnia 2016 r. (Sotsialna vidpovidal'nist' yak faktor zabezpechennya systemnosti rozvytku ekonomichnykh system)*. [Materials of the International Scientific and Practical Conference "Formation of a Mechanism for Strengthening the Competitive Position of National Economic Systems in Global, Regional and Local Dimensions", September 22-24, 2016 (Social responsibility as a factor for ensuring the systematic development of economic systems)]. *Ternop. nats. tekhn. un-t im. Ivana Piliuia. Ternopil* [Ternople nation. tekhn. univers. named after Ivan Piliuia]. 2016, pp. 202-204. Available at: http://elartu.tntu.edu.ua/.../ConfFMNES_2016_Vynnyk_T-Green_building_trend_or_202-204 (in Ukraine).
8. Meshcheriakova I. V., Rabich O. V. and Chumak L. O. *Vplyv svitloвого seredovyshcha na zorovu pratsespromozhnist operatora* [Stroitelstvo, materyalovedenye, mashynostroenye] [Construction, material science, mechanical engineering]. *Seriya: Kompiuternye systemy y ynformatsyonnye tekhnolohyy v obrazovanny, nauke y upravlenyy* [Series: Computer systems and information technology in education, science and management]. *PDABA* [PSACEA]. Dnepr, 2017, iss. 1, pp. 160–165. (in Ukrainian).

Рецензент: Бєліков А. С., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 22.10.2018 р.