

АНОТАЦІЯ

Журбенко В.М. Підвищення безпеки виконання робіт високої точності з урахуванням комплексної оцінки світлового середовища. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 – Цивільна безпека. – Навчально-науковий інститут «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій, Дніпро, 2025.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню безпеки праці під час виконання зорових робіт високої точності робітниками різних галузей виробництва за рахунок використання розробленої комплексної оцінки дії світлового середовища на працівників у робочих приміщеннях, і впровадження на її базі заходів та засобів, що сприяють підвищенню рівня безпеки на постійних робочих місцях.

Протягом останньої чверті сторіччя підвищення долі автоматизації виробництва та долі використання машин та приладів візуального дистанційного контролю як в Україні так і в світі викликало зростання долі набутих професійних захворювань і травм як безпосередньо зорового аналізатора так і пов'язаних із його перенапруженням систем організму в цілому. Одним із нагальних завдань для забезпечення захисту населення і обладнання під час воєнних дій є проєктування і реконструкція нових підприємств і громадських будівель з можливістю використання частини їх корисної площини як споруд подвійного призначення (СПП) із захисними властивостями сховищ або протирадіаційних укриттів. Це робить актуальним впровадження енергоефективних ОС (освітлювальних систем), з низьким тепловиділенням, захистом від перепадів напруги та можливістю переходу на автономні джерела живлення у разі аварійної ситуації. Робота таких систем має забезпечувати створення такого візуального середовища, яке б ураховувало складність зорових завдань, що виконуються у приміщенні, психологічні та фізіологічні вимоги працівників, що ці завдання виконують.

Водночас, проведений нами аналіз показав, що як в світі так і в Україні недостатньо уваги приділяється питанню впливу світлового середовища на виконання різних видів робіт з високим напруженням зорових систем. З урахування вищевикладеного підвищення рівня автоматизації виробництва, проведення дослідження умов праці з урахуванням впливу світлового середовища на працівників є **актуальною задачею**.

У **вступі** стисло викладені актуальність теми, мета, завдання дослідження та його наукова новизна. Наведені практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, зазначені апробація результатів та можливі подальші напрямки досліджень.

У **першому розділі** наведені результати аналізу статистики щодо нещасних випадків та набутих профзахворювань в Україні за 2015-2022 рр. Визначено, що вплив візуального чинника серед інших факторів виробничого середовища є найвизначнішим для цілого ряду професій у різних галузях, де діяльність працівників потребує тривалих та інтенсивних сенсорних навантажень, пов'язаних із виконанням зорових робіт високої точності. Встановлено, що значна роль автоматизації та комп'ютеризації технологічних процесів в Україні і світі останніми роками стала джерелом розширення групи професійно зумовлених хвороб, пов'язаних з виконанням зорових робіт високої точності, що вимагають значного напруження зорового аналізатора.

На основі проведеного аналізу даних літератури встановлено, що нормативна база України не дозволяє проводити комплексну оцінку якості світлового середовища на робочих місцях і оцінити ризики його впливу на здоров'я і працездатність робітників, які виконують зорові роботи високої точності. Обґрунтовано необхідність та доцільність оцінки світлового середовища у робочих зонах з урахуванням характеристики зорових робіт, вікових особливостей працюючих, фотометричних характеристик джерел світла та подальшим удосконаленням критеріїв оцінки, сформульовано мету та завдання дослідження. На основі аналізу досліджень в області гігієни і

психології праці, встановлено, що зміни показників безпеки, працездатності та функціонального стану людини залежать від джерела світла, колірної температури, рівня освітленості, візуальних характеристик оздоблення приміщення.

У **другому** розділі проведено аналіз умов праці в різних сферах виробництва та професій працівників за державним класифікатором професій ДК 003:2010. На основі проведеного аналізу сформульовані мета та задачі дослідження та вперше запропоновано виділити групу споріднених за критерієм характеристики зорових робіт високої точності професій: «проектувальники та конструктори». Аналіз також показав, що рекомендовані методики санітарно-гігієнічної оцінки класу шкідливості умов праці за критерієм світлового середовища на робочих місцях не дозволяють в повній мірі оцінити вплив візуальних факторів на психофізіологічний стан працівників, їх безпеку і працездатність з урахуванням індивідуальних особливостей та особливостей виробничого процесу. Проведено аналіз міжнародних та національних актів, що нормують параметри світлового середовища на робочих місцях та методики досліджень, що враховують якість світлового середовища і встановлено, що вони не в повній мірі враховують вимоги працівників, що виконують зорові роботи високої точності, до світлового середовища в робочій зоні та на робочих місцях.

З урахуванням даних світового досвіду при оцінці умов праці за фактором світлового середовища нам було вперше запропоновано оцінку візуального середовища проводити за критеріями: забезпечення безпеки з урахуванням впливу світлового середовища на фізичний та психофізіологічний стан працівників; зорової працездатності; зорового комфорту. За результатами проведених досліджень вперше запропоновано алгоритм покрокової оцінки якості освітлення у робочому приміщенні для оцінки компонентів світлового середовища з урахуванням впливу природнього і штучного освітлення на працездатність, безпеку та

психофізіологічну діяльність з урахуванням психофізіологічного стану працюючих.

Розроблена та застосована структурна модель проведення досліджень впливу візуального середовища на психофізіологічний стан людини, проведено обґрунтування методики оцінки впливу світлового середовища у виробничих приміщеннях на безпеку праці, працездатність та психофізіологічний стан працівників, що виконують зорові роботи високої точності. Вперше запропонована схема покрокового циклу оцінки безпеки праці, працездатності та психофізіологічного стану працівників з урахуванням впливу освітлення на безпеку робіт високої зорової точності.

На основі проведених досліджень та наукового і практичного обґрунтування розроблена комплексна методика, яка враховує одночасну оцінку впливу на безпеку, працездатність та психофізіологічний стан людини.

У **третьому розділі** представлені результати інструментального вимірювання та математичного моделювання рівнів природнього та суміщеного освітлення у експериментальних приміщеннях, де проводяться роботи високої зорової точності у різні пори року. Встановлено закономірності, які з високим (86-98%) рівнем достовірності дозволяють прогнозувати характеристики світлового середовища у робочих приміщеннях в залежності від пори року, планування та облаштування приміщень. Наведено рекомендації для приведення значень рівня горизонтальної освітленості до нормативних, з урахуванням як економічних вимог, так і підвищених вимог до зорового комфорту робітників, що виконують роботи високої точності, по засліпленню прямим та відбитим освітленням.

На основі порівняльного аналізу результатів інструментальних вимірювань і математичного моделювання освітленості у експериментальних приміщеннях, встановлено, що для досягнення високого (похибка менше 10 %) ступеню точності інструментальних вимірювань потребується велика кількість контрольних точок вимірювання. З урахуванням мінливого

характеру природного освітлення, інструментальні вимірювання потрібно проводити у стислий час. Названі фактори, у поєднанні з нормативними вимогами до природного освітлення під час вимірювань (похмура погода) значно зменшують можливості оцінки основних якостей світлового середовища у робочих приміщеннях за допомогою інструментальних методів вимірювання.

Математичне моделювання освітлення робочих приміщень дозволяє визначити цілу низку факторів візуального середовища на робочих місцях. При цьому похибка не перевищує 10 %. Однак високий ступінь точності визначення характеристик світлового середовища за допомогою математичного моделювання може бути досягнутий при наявності повних вхідних даних про експериментальне приміщення, об'єкт, у якому воно знаходиться і навколишню забудову.

Визначено, що математичне моделювання освітлення приміщення дозволяє провести оцінку основних кількісних параметрів світлового середовища приміщення. При цьому час обробки даних і розрахунку менший, ніж при інструментальному методі вимірювання, є можливість здійснити моделювання світлового середовища за допомогою різних освітлювальних установок у приміщенні, що моделюється; є можливість розрахунку для приміщень, що проєктуються або реконструюються, або до яких відсутній фізичний доступ. Порівняння результатів, отриманих за допомогою математичного моделювання, з об'єктивними результатами інструментальних вимірювань (розбіжність менше за 12%) дозволяє зробити висновок про доцільність його використання і впровадження для визначення основних характеристик освітлення у виробничих приміщеннях, що проєктуються, реконструюються, або до яких відсутній доступ.

Встановлено, що висока достовірність математичної моделі у програмному середовищі DIALux може бути досягнута за рахунок моделювання на основі максимальної доступної кількості параметрів, доступних програмі.

У четвертому розділі проведено обґрунтування складу досліджуваної групи та умов проведення експерименту для оцінки впливу світлового середовища на безпеку праці, працездатність та зоровий комфорт працівників (студентів, викладачів та персоналу) при виконанні зорових робіт високої точності в експериментальному приміщенні. Визначено, що реальний середньомісячний рівень природньої освітленості у приміщенні суттєво залежить від географічної широти та пори року. Тому, при неможливості провести інструментальні фотометричні вимірювання, запропоновано метод математичного моделювання.

В умовах лабораторного експерименту при моделюванні параметрів світлового середовища (тип джерела світла, рівень освітленості, колірна температура, т.п.) були проведені дослідження зміни фізіологічних показників працівників (пульс, рівень артеріального тиску) та визначені показники точності виконання робіт, розумової працездатності на основі коректурної проби «Кільця Ландольта». Дослідження довели закономірність залежності зміни фізіологічних показників від періоду робочого часу, що впливає на розумові функції. Вказаний ефект викликає зниження рівня показників точності виконання робіт, розумової працездатності у період з 13:00 по 15:00, що показує підвищення у цей період ризику травмування внаслідок неправильної візуальної оцінки робочого середовища, збільшення кількості помилок і зниження ефективності робіт високої зорової точності, а також підвищення ризику виникнення професійно зумовлених хвороб внаслідок перенапруження систем зорового аналізатора.

Порівняльний аналіз результатів виконання коректурної проби показав більш високий рівень показників точності виконання робіт, розумової працездатності та швидкості обробки інформації за умов змішаного освітлення холодної температури (> 5300 K), порівняно із суміщеним колірної температури 4100-5300 K. Вказаний ефект найбільш значуще проявлявся у період 9:00-13:00 для вікової групи 41-60 рр., що підтверджує необхідність при теоретичних дослідженнях та при впровадженні систем ОС на

підприємствах приділити увагу демографічному складу робітників та графіку їх роботи.

Аналіз візуальних вподобань показали, що більший рівень задоволеності досягається при суміщеному освітленні колірною температурою 4100-5300 К, порівняно із суміщеним освітленням холодної колірної температури (>5300 К).

Самооцінювання рівня працездатності показало, що працівники оцінюють свій рівень працездатності як більш високий, при суміщеному холодному освітленні.

Одержані результати та рекомендації дисертаційної роботи впроваджені:

- в Енерго-інноваційному Хабі (м. Дніпро) у рамках комплексної оцінки безпеки заходів енергоефективного напрямку;
- на підприємстві ТОВ «УКРСІТІСТРОЙ» при оцінці робочих місць проєктувальників з урахуванням вимог до систем освітлення в робочому приміщенні;
- в роботі кафедри архітектури ННІ ПДАБА УДУНТ;
- в навчальному процесі кафедри екології та охорони навколишнього середовища ННІ ПДАБА УДУНТ.

Основні результати досліджень опубліковано у 1 статті в міжнародному фаховому виданні із списку Scopus, 5 фахових виданнях категорії «Б» України, 2 статтях закордонних періодичних видань, 1 колективній монографії. Додатково результати досліджень представлено в матеріалах 13 міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій.

Ключові слова: санітарно-гігієнічні умови праці, безпека праці, охорона праці, світлове середовище, зір, енергоефективність, освітлення робочих приміщень, оцінка ризику, порушення функціонального стану

організму, зорова працездатність, працеспроможність, показники працеспроможності, ризик орієнтований підхід, зорові роботи високої точності, вимірювальні прилади, природнє, суміщене, штучне освітлення, лабораторний експеримент, функціональний стан, психічна діяльність, напруженість праці, заходи підвищення рівня безпеки.

ABSTRACT

Zhurbenko, V. Improving Safety of High-Performance of Works Taking Into Account the Comprehensive Assessment of Light Environment – Qualifying scientific paper as a manuscript.

The thesis for PhD degree in specialty 263 «Civil Security» (26 – «Civil Security») – Educational Scientific Institute «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture» of the Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, 2025.

The dissertation is devoted to improving labour safety during the performance of high-precision visual work by workers in various industries through the use of a developed comprehensive assessment of the effects of the light environment on workers in workplaces, and the introduction of measures and means on its basis to improve the level of safety in permanent workplaces.

Over the last quarter of a century, the increase in the share of production automation and the use of machines and visual remote control devices both in Ukraine and globally has caused an increase in the proportion of acquired occupational diseases and injuries both directly to the visual analyser and to the body systems in general associated with its overstrain. One of the most urgent tasks to ensure the protection of the population and equipment during military operations is the design and reconstruction of new enterprises and public buildings with the possibility of using part of their usable area as dual-purpose structures (DPS) with protective properties of shelters or radiation shelters. This makes it important to introduce energy-efficient lighting systems with low heat generation, protection against voltage surges and the ability to switch to autonomous power sources in case of an emergency. The operation of such systems should ensure the

creation of a visual environment that takes into account the complexity of visual tasks performed in the room, as well as the psychological and physiological requirements of the employees performing these tasks. At the same time, our analysis has shown that both in the world and in Ukraine, insufficient attention is paid to the impact of the light environment on the performance of various types of work with high visual system strain. In view of the above, as the level of production automation increases, it is important to conduct a study of working conditions, taking into account the impact of the light environment on workers.

The **introduction** briefly describes the relevance of the topic, the purpose, objectives of the study and its scientific novelty. The practical significance of the results obtained, the personal contribution of the applicant, the results of the testing and possible further research directions are presented.

The **first section** presents the results of the analysis of statistics on accidents and acquired occupational diseases in Ukraine for 2015-2022. It is determined that the impact of the visual factor among other factors of the production environment is the most significant for a number of professions in various industries where the activities of employees require prolonged and intense sensory loads associated with the performance of high-precision visual work. It has been established that the significant role of automation and computerisation of technological processes in Ukraine and the world in recent years has become a source of expansion of the group of occupationally related diseases associated with the performance of high-precision visual work requiring significant strain on the visual analyser.

Based on the analysis of literature data, it is found that the regulatory framework of Ukraine does not allow for a comprehensive assessment of the quality of the light environment in the workplace and to assess the risks of its impact on the health and performance of workers performing high-precision visual work. The necessity and expediency of assessing the light environment in work areas, taking into account the characteristics of visual work, age characteristics of workers, photometric characteristics of light sources and further improvement of the assessment criteria, are substantiated, the aim and objectives of the study are

formulated. Based on the analysis of studies in the field of occupational health and psychology, it has been established that changes in the indicators of safety, performance and functional state of a person depend on the light source, colour temperature, illumination level, visual characteristics of the room decoration.

The **second section** analyses working conditions in various areas of production and occupations of employees according to the State Classifier of Occupations DK 003:2010. Based on this analysis, the purpose and objectives of the study are formulated and it is proposed for the first time to identify a group of professions simplified by the criterion of the characteristics of high-precision visual work: ‘designers and constructors’. The analysis also showed that the recommended methods of sanitary and hygienic assessment of the hazard class of working conditions based on the criterion of the light environment at workplaces do not allow to fully assess the impact of visual factors on the psychophysiological state of workers, their safety and performance, taking into account individual characteristics and features of the production process. The analysis of international and national acts regulating the parameters of the light environment at workplaces and research methods that take into account the quality of the light environment and establishes that they do not fully take into account the requirements of workers performing high-precision visual work to the light environment in the working area and at workplaces.

Taking into account the data of world experience in assessing working conditions by the factor of the light environment, we first proposed to assess the visual environment according to the following criteria: ensuring safety, taking into account the impact of the light environment on the physical and psychophysiological state of workers; visual performance; visual comfort. Based on the results of our research, we first proposed an algorithm for a step-by-step assessment of the quality of lighting in the workplace to evaluate the components of the light environment, taking into account the impact of natural and artificial lighting on performance, safety and psychophysiological activity, taking into account the psychophysiological state of workers.

A structural model for conducting studies of the impact of the visual environment on the psychophysiological state of a person has been developed and applied, and a methodology for assessing the impact of the light environment in production facilities on occupational safety, performance and psychophysiological state of workers performing high-precision visual work has been substantiated. For the first time, a scheme of a step-by-step cycle for assessing labour safety, performance and psychophysiological state of employees, taking into account the impact of lighting on the safety of high-precision work, is proposed.

Based on the research, scientific and practical justification, a comprehensive methodology has been developed that takes into account the simultaneous assessment of the impact on safety, performance and psychophysiological state of a person.

The **third section** presents the results of instrumental measurement and mathematical modelling of the levels of natural and combined lighting in experimental premises where high visual accuracy work is carried out at different times of the year. Regularities have been established that, with a high (86-98%) level of reliability, allow predicting the characteristics of the light environment in workspaces depending on the time of year, layout and arrangement of the premises. Recommendations are given for bringing the horizontal illumination level to the normative values, taking into account both economic requirements and increased requirements for the visual comfort of workers performing high-precision work, in terms of dazzle by direct and reflected light.

Based on a comparative analysis of the results of instrumental measurements and mathematical modelling of illumination in experimental rooms, it was found that a large number of control points are required to achieve a high degree of accuracy (error less than 10 %) of instrumental measurements. Taking into account the changing nature of natural light, instrumental measurements need to be carried out in a short time. These factors, combined with the regulatory requirements for natural light during measurements (cloudy weather), significantly reduce the

ability to assess the main qualities of the light environment in workplaces using instrumental measurement methods.

Mathematical modelling of workplace lighting makes it possible to determine a number of factors in the visual environment at workplaces. The error does not exceed 10%. However, a high degree of accuracy in determining the characteristics of the light environment using mathematical modelling can be achieved if there is complete input data on the experimental room, the object in which it is located and the surrounding buildings.

It has been determined that mathematical modelling of room lighting allows an assessment of the main quantitative parameters of the light environment of a room. At the same time, data processing and calculation time is less than with the instrumental measurement method; it is possible to simulate the light environment using different lighting installations in the modelled room; it is possible to calculate for rooms that are being designed or reconstructed, or to which there is no physical access. Comparison of the results obtained by mathematical modelling with the objective results of instrumental measurements (discrepancy of less than 12%) allows us to conclude that it is advisable to use and implement it to determine the main characteristics of lighting in industrial premises that are being designed, reconstructed, or to which there is no access.

It has been established that high reliability of the mathematical model in the DIALux software environment can be achieved by modelling on the basis of the maximum number of parameters available to the program.

In **fourth section** we substantiates the composition of the study group and the conditions of the experiment to assess the impact of the light environment on occupational safety, performance and visual comfort of workers (students, teachers and staff) when performing high-precision visual work in the experimental room. It has been determined that the actual average monthly level of natural illumination in a room significantly depends on the geographical latitude and season. Therefore, if it is impossible to carry out instrumental photometric measurements, a method of mathematical modelling is proposed.

In a laboratory experiment, when modelling the parameters of the light environment (type of light source, illumination level, colour temperature, etc.), we studied changes in the physiological parameters of workers (pulse, blood pressure) and determined the indicators of work accuracy and mental performance based on the Landolt's Ring proofreading test. The research proved the regularity of the dependence of changes in physiological indicators on the period of working time, which affects mental functions. This effect causes a decrease in the level of accuracy of work performance and mental performance in the period from 13:00 to 15:00, which shows an increase in the risk of injury during this period due to incorrect visual assessment of the working environment, an increase in the number of errors and a decrease in the efficiency of high visual accuracy robots, as well as an increase in the risk of occupational diseases due to overstrain of the visual analyser systems.

A comparative analysis of the results of the proofreading test showed a higher level of indicators of work accuracy, mental performance and information processing speed under conditions of mixed cold temperature lighting (> 5300 K), compared to the combined colour temperature of 4100-5300 K. This effect was most significantly manifested in the period 9:00-13:00 for the age group 41-60 years, which confirms the need to pay attention to the demographic composition of workers and their work schedule in theoretical research and when implementing OS systems at enterprises.

The analysis of visual preferences has shown that a higher level of satisfaction is achieved with combined lighting with a colour temperature of 4100-5300 K, compared to combined lighting with a cold colour temperature (> 5300 K).

Self-assessment of the level of performance showed that workers assess their level of performance as higher under combined cold lighting.

The results and recommendations of the dissertation have been implemented:

- in the Energy Innovation Hub (Dnipro) as part of a comprehensive safety assessment of energy efficiency measures;

- at the enterprise LLC «UKRSITISTROI» in the assessment of engineers' workplaces, taking into account the requirements for lighting systems in the workplace;

- in the work of the Department of Architecture of the Educational Scientific Institute «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture» of the Ukrainian State University of Science and Technology;

- in the educational process of the Department of Ecology and Environmental Protection of the Educational Scientific Institute «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture» of the Ukrainian State University of Science and Technology.

The main research results have been published in 1 article in an international peer-reviewed journal from the Scopus list, and 5 peer-reviewed journals of category "B" in Ukraine, 2 articles in international periodicals and in 1 collective monograph. In addition, the research results are presented in the proceedings of 13 international and all-Ukrainian scientific and practical conferences.

Key words: sanitary and hygienic working conditions, labour safety, labour protection, light environment, vision, energy efficiency, lighting of workspaces, risk assessment, impaired functional state of the body, visual performance, performance, performance indicators, risk-based approach, high-precision visual work, measuring instruments, natural, combined, artificial lighting, laboratory experiment, functional state, mental activity, work intensity, safety measures.