

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

УДК 331.45

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-32>

ЗАСТОСУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ДИДЖИТАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ЧИННИКІВ

Кружилко Олег Євгенович,

доктор технічних наук,
професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля
ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-8624-1515

Чеберячко Юрій Іванович,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля,
ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-7307-1553

Володченкова Наталія Валеріївна,

кандидат технічних наук, доцент,
декан гірничо-металургійного факультету,
завідувачка кафедри безпеки праці та охорони довкілля
ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка»
ORCID ID: 0000-0003-4617-7285

У статті розглянуто процес моделювання систем освітлення в програмному середовищі DIALux з акцентом на місцевому та загальному освітленні для робочих металообробних верстатів. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю забезпечення не тільки відповідності умов праці нормативним вимогам, а й підвищення продуктивності праці. Відзначено, що робота з фрезерним та токарним верстатами пов'язана з небезпеками, які можуть призвести до травмування працівника або пошкодження обладнання. Визначено та проаналізовано такі види небезпек: механічні (травмування фрезою або різцем, травмування заготовкою, травмування стружкою), електричні (ураження електричним струмом), підвищені рівні шуму та вібрації, вдихання шкідливих аерозолів, що виникають під час обробки матеріалів. Установлено, що недостатнє освітлення робочої зони істотно підвищує ризик травмування внаслідок насамперед механічних небезпек.

Створено дві цифрові моделі освітлення: одна з використанням точкового джерела світла, друга – зі світлодіодним світильником. Проведено порівняльний аналіз рівня освітленості в ділянці кріплення деталі на супорті верстата. У процесі дослідження дібрано типи світильників та їх основні параметри: потужність, світловий потік і колірну температуру. За результатами моделювання DIALux отримано дані щодо розподілу освітленості, світлових контурів та відповідності нормативним вимогам.

Використання сучасних цифрових технологій у процесі проектування систем штучного освітлення на виробництві забезпечує такі переваги: точність і наочність (цифрові системи DIALux, Relux та інші дають змогу візуалізувати розподіл освітленості в тривимірному просторі, це дає змогу побачити можливі проблеми в розподілі світла ще на етапі проектування); ефективність (завдяки автоматизації розрахунків цифрові технології забезпечують швидке визначення оптимальних параметрів систем освітлення); гнучкість (програмне забезпечення дає змогу швидко адаптувати проекти до змін у вимогах чи параметрах приміщення, що робить процес проектування більш динамічним).

Ключові слова: місцеве освітлення, загальне освітлення, DIALux, металообробний верстат, світлодіодний світильник, цифрова модель, симуляція освітлення.

Kruzhilko Oleg, Cheberyachko Yuriy, Volodchenkova Nataliia. Application of specialized digital systems for modeling production factors

The article considers the process of modeling lighting systems in the DIALux software environment with an emphasis on local and general lighting for working metalworking machines. The relevance of the study is due not only to the need to ensure compliance of working conditions with regulatory requirements, but also to ensure

increased labor productivity. It is noted that working with milling and turning machines is associated with hazards that can lead to injury to the worker or damage to equipment. The following types of hazards have been identified and analyzed: mechanical (injury by a milling cutter or cutter, injury by a workpiece, injury by chips), electrical (electric shock), increased noise and vibration levels, inhalation of harmful aerosols that arise during material processing. It has been established that insufficient lighting of the working area significantly increases the risk of injury due, primarily, to mechanical hazards.

Two digital lighting models have been created: one using a point light source, the other with an LED lamp. A comparative analysis of the level of illumination in the area of fixing the part on the machine tool support was carried out. During the study, the types of lamps and their main parameters were selected: power, luminous flux and color temperature. According to the results of DIALux modeling, data on the distribution of illumination, light contours and compliance with regulatory requirements were obtained.

The use of modern digital technologies in the process of designing artificial lighting systems in production provides the following advantages: accuracy and clarity (digital systems DIALux, Relux and others allow you to visualize the distribution of illumination in three-dimensional space, which makes it possible to see possible problems in light distribution at the design stage); efficiency (thanks to the automation of calculations, digital technologies provide quick determination of the optimal parameters of lighting systems); flexibility (software allows you to quickly adapt projects to changes in requirements or room parameters, which makes the design process more dynamic).

Key words: local lighting, general lighting, DIALux, metalworking machine, LED lamp, digital model, lighting simulation.

Вступ. Дослідження виробничих факторів на виробництвах зі шкідливими умовами праці в умовах сьогодення залишається актуальною проблемою. Підвищення рівня безпеки та покращення умов праці є одними з ключових завдань сучасного виробництва, зокрема на підприємствах, де застосовується металообробка. Серед шкідливих виробничих факторів можна виокремити такі: підвищені рівні шуму та вібрації, запиленість, недостатня освітленість, а також фізичне навантаження, пов'язане з виконанням складних і точних механічних операцій. Актуальність дослідження впливу цих факторів зумовлюється не тільки необхідністю забезпечення відповідності умов праці нормативним вимогам, а і їх впливом на продуктивність праці, якість продукції та загальний стан здоров'я працівників. Як свідчать результати численних наукових досліджень, несприятливі умови праці можуть стати причиною зниження продуктивності праці, втрати працездатності та професійних захворювань [1–4].

Одним із ключових аспектів проблеми є недостатня інтеграція сучасних підходів до оцінки та управління професійними ризиками, зокрема: недостатній рівень застосування сучасних диджитальних систем та інструментів для моделювання виробничих факторів. Водночас слід зазначити, що для обґрунтування заходів з поліпшення умов праці використовують результати математичного та комп'ютерного моделювання таких факторів, як запиленість, виробничий шум, підвищена температура [5–8].

Так, актуальність дослідження впливу виробничих чинників на умови праці на підприємствах полягає в необхідності створити системний підхід до зниження професійних ризиків, забезпечити здорові умови праці та підвищити

ефективність виробничих процесів. Результати таких досліджень можуть стати основою для розроблення інноваційних рішень у сфері охорони праці, що матиме значний соціально-економічний ефект.

Результати аналізу наукових праць та публікацій дають змогу зробити висновок, що значна увага приділяється оптимізації умов праці. Одним із ключових факторів, що визначають якість робочого середовища, є система освітлення виробничих приміщень. Недостатній рівень освітленості або неправильно обрана схема розподілу світлових потоків призводить до зниження продуктивності праці, підвищення рівня стомлюваності працівників, а також збільшення ризику виробничих травм та професійних захворювань.

Мета статті – обґрунтувати доцільність впровадження сучасних цифрових технологій для моделювання та оптимізації систем освітлення на робочих місцях.

Матеріали та методи досліджень. Для моделювання освітленості у виробничих умовах обрано систему DIALux, а як об'єкт дослідження – робоче місце, оснащене верстатом обробки металу. Фрезерні та токарні верстати є одним із найбільш поширених типів металообробного обладнання, що використовується для обробки деталей шляхом зняття шару матеріалу за допомогою обертового ріжучого інструмента – фрези (у фрезерному верстаті), заготовки, що обертається, та різця (у токарному верстаті).

Робота з фрезерним та токарним верстатами пов'язана з небезпеками, які можуть призвести до травмування працівника або пошкодження обладнання. Є такі види небезпек: механічні (травмування фрезою або різцем, травмування

заготовкою, травмування стружкою), електричні (ураження електричним струмом), підвищені рівні шуму та вібрації, вдихання шкідливих аерозолів, що виникають під час обробки матеріалів.

Установлено, що недостатнє освітлення робочої зони значно підвищує ризик травмування внаслідок насамперед механічних небезпек.

Можливість травмуватися різальним інструментом. Під час обробки заготовки оберти фрези металообробного верстата можуть доходити до 10 000 за секунду. Очевидно, що в разі аварійної ситуації під час обробки фреза може становити серйозну небезпеку.

Можливість травмуватися заготовкою. Великі й масивні заготовки, як правило, не становлять великої небезпеки, натомість малі заготовки можуть бути дуже небезпечними. Це відбувається через те, що їх якісне та надійне кріплення іноді є складним чи навіть неможливим завданням, а звільняючись із фіксувальних пристроїв, фреза може відкинути їх із зони обробки.

Можливість травмуватися стружкою та/або пилом. Під час обробки матеріалів різальний інструмент зрізає шар матеріалу та формує стружку (рис. 1). Є різні види стружки, серед яких зливна (неперервна), рис. 1, а; стружка сколювання (елементна), рис. 1, б; стружка надлому, рис. 1, в.

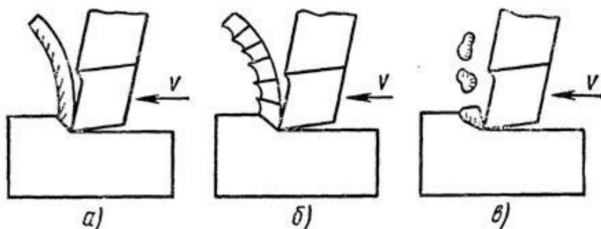


Рис. 1. Види стружки, що утворюється під час обробки металів

Небезпека від кожного виду стружки полягає в тому, що вона виходить з великою швидкістю та високою температурою, може потрапляти на незахищені частини тіла працівника. Також небезпечним є те, що зливна стружка може залишатися в зоні різання, намотуватися на фрезу, що потенційно призведе до травмування працівника.

Отже, враховуючи потенційно небезпечні ситуації під час виконання різних технологічних операцій на металообробному верстаті, серед основних вимог до забезпечення безпеки праці слід виокремити забезпечення належного рівня освітленості (500–750 лк) залежно

від виконуваних робіт. Використання сучасних диджитальних систем для роботи з освітленістю (DIALux, Relux, Autodesk Revit) дає змогу [9–10] розробляти освітлювальні проекти з урахуванням енергозбереження та стандартів освітлення [11], моделювати освітленість з урахуванням фізичних параметрів приміщення, автоматизувати розрахунки та отримувати результати в наочному вигляді.

Результати. Моделювання в системі DIALux починається зі створення цифрової моделі приміщення, включно з його геометричними параметрами, розташуванням робочих зон й особливостями поверхонь (відбивна здатність стін, стелі, підлоги). Оскільки під час роботи на токарних верстатах використовують місцеве освітлення у вигляді токового джерела світла або лед-світильника, побудуємо дві моделі для порівняння та оцінимо освітленість в ділянці кріплення деталі на супорті токарного станка. Загальний вигляд моделей наведено на рис. 2.

На наступному етапі вибирають типи світильників і їх параметри, як-от потужність, світловий потік та колірна температура. Для проведення симуляції визначимо зони дослідження.

Після запуску симуляції система надає дані про рівень освітленості в різних точках приміщення, візуалізацію світлових контурів і розраховує показники для визначення їх відповідності встановленим нормам. DIALux також дає змогу порівнювати різні сценарії освітлення для вибору найбільш ефективного.

Практична реалізація полягала у створенні цифрової моделі виробничого приміщення, де розташовано металообробні верстати, проведенні комп'ютерного моделювання освітлення для робочих зон вказаного обладнання. Використання DIALux допомогло визначити необхідну кількість й оптимальне розташування світильників, що забезпечило рівномірний розподіл світла (без тіней і перевищення яскравості).

Урахування результатів моделювання при переоснащенні наявної системи штучного освітлення у виробничому приміщенні сприятиме підвищенню продуктивності праці, зменшенню кількості помилкових дій під час роботи і, відповідно, зниженню ризику травмування працівників.

Також як перспективний напрям моделювання в системі DIALux варто відзначити можливість інтегрувати дані про природне освітлення, що особливо корисно для проектів, які передбачають комбіновані системи освітлення та сприяють економії коштів.

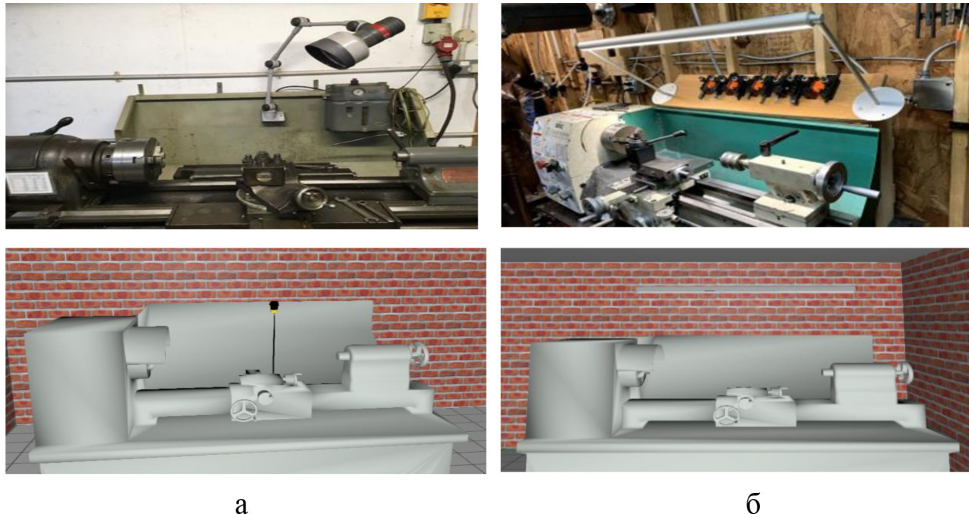


Рис. 2. Загальний вигляд моделей дослідження: а — освітлення точковим джерелом; б – освітлення світильником

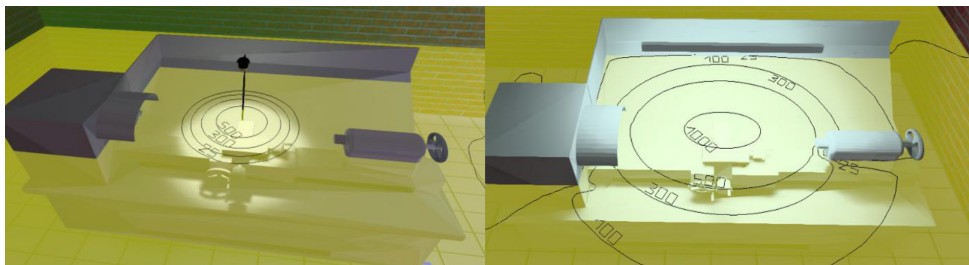


Рис. 3. Результати моделювання зон освітлення

Рекомендації для впровадження. Перед упровадженням цифрових технологій необхідно детально проаналізувати потреби й специфіку виробничих процесів, для яких планується поліпшення системи освітлення.

Залежно від масштабів і складності проєктів варто обирати диджитальні системи, які забезпечують необхідну функціональність і відповідають вимогам підприємства. Необхідно організувати навчання інженерів та проєктувальників для ефективного використання обраного програмного забезпечення. Перед упровадженням нових систем доцільно провести пілотні проєкти, які допоможуть оцінити їх ефективність і зробити необхідні коригування. Після впровадження системи варто регулярно моніторити її ефективність та (за потреби) оновлювати програмне забезпечення.

Висновки. Використання цифрових технологій для комп'ютерного моделювання стану освітленості виробничих приміщень є важливим кроком на шляху до створення безпечних, ефективних та енергоощадних робочих місць. Завдяки широким можливостям сучасного програмного забезпечення підприємства можуть оптимізувати свої системи освітлення, що сприятиме підвищенню продуктивності праці та зниженню експлуатаційних витрат.

Використання сучасних цифрових технологій у процесі проєктування систем штучного освітлення на виробництві дає змогу досягти високої точності розрахунків і врахувати специфіку кожного виробничого приміщення. Основними перевагами таких технологій є:

- точність і наочність (цифрові системи, зокрема DIALux, Relux та інші, дають змогу візуалізувати розподіл освітленості в тривимірному просторі; це допомагає побачити можливі проблеми в розподілі світла ще на етапі проєктування);
- ефективність (завдяки автоматизації розрахунків цифрові технології забезпечують швидке визначення оптимальних параметрів систем освітлення; це дає змогу зекономити час і ресурси);
- гнучкість (програмне забезпечення дає змогу швидко адаптувати проєкти до змін у вимогах чи параметрах приміщення, що робить процес проєктування більш динамічним).

Для досягнення максимального ефекту рекомендовано інтегрувати систему моделювання освітлення з іншими диджитальними системами підприємства, наприклад енергомоніторингу, автоматизації виробництва.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Голінько В. І., Чеберячко Ю. І., Дерюгін О. В., Архирей М. М. Удосконалення процедури оцінки професійного ризику на промисловому підприємстві. *Проблеми охорони праці в Україні*. 38(1-2), 2022. С. 3–14. URL: <https://journal-nndipbop.com/index.php/journal/article/view/53>.
2. Kruzhilko O., Volodchenkova N., Maystrenko V., Bolibrukh B., Kalinchyk V., Zakora A., Feshchenko A., Yeremenko S. Mathematical modelling of professional risk at Ukrainian metallurgical industry enterprises. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2021. 108 (1). 35–41. URL: <https://journalamme.org/resources/html/article/details?id=224392>
3. Rieznik D., Sukach S., Chencheva O., Lashko Y., Kozlovskaya T., Volkov O., Petrenko I., Mukha O., Hryniuk V., Sapa S., Devising measures to reduce multifrequency noise load on employees in machining area, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024 3/10 (129) P. 59–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306725>
4. Kruzhilko O., Polukarov O., Vambol S., Vambol V., Khan N.A., Maystrenko V., Kalinchyk V.P., Khan A. H. Control of the workplace environment by physical factors and SMART monitoring. *Archives of Materials Science and Engineering*, 2020. 1 (103). 18–29. URL: <https://archivesmse.org/resources/html/article/details?id=204681>
5. Lashko Y., Chencheva O., Laktionov I., Rieznik D., Halchenko N., Mathematical and Computer Simulation of the Process of Movement of Respirable Dust Particles in the Working Area, *Baltic J. Modern Computing*, 2024, 12 (3), P. 270–285. <https://doi.org/10.22364/bjmc.2024.12.3.04>
6. Ченчева О. О., Сукач С. В., Петренко І. С., Караєва Н. Н. Принцип побудови бально-модифікованої діаграми Ісікави як сучасного інструментарію аналізу ризиків видобувних та механообробних підприємств, *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. ПНТУ*, 2023. Т. 1 (71). С. 163–166. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.1.163>
7. Ragimov, S., Sobyna, V., Vambol, S., Vambol, V., Feshchenko, A., Zakora, A., Strejekurov, E., Shalomov, V. Physical modelling of changes in the energy impact on a worker taking into account high-temperature radiation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 91(1). 2018. 27–33, DOI: 10.5604/01.3001.0012.9654
8. Кружилко О. Є., Володченкова Н. В., Токар О. О., Майстренко В. В. Удосконалення оцінки професійного ризику на основі експертних методів. *Проблеми охорони праці в Україні*, 37(2), 2021. С. 3–8. <https://doi.org/10.36804/nndipbop.37-2.2021.3-8>
9. Офіційний сайт DIALux. URL: <https://www.dialux.com/en-GB/> (дата звернення: 25.12.2024).
10. Офіційний сайт Relux. URL: <https://www.relux.com> (дата звернення: 25.12.2024).
11. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 03.10.2018 року № 264 Про затвердження ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» ДБН В.2.5-28:2018.

REFERENCES:

1. Holinko, V.I., Cheberiachko, Y.I., Deryuhin, O.V., & Arkhirei, M.M. (2022). Udoskonalennia protsedury otsinky profesiinoho ryzyku na promyslovomu pidpriemstvi [Improvement of the professional risk assessment procedure at an industrial enterprise]. *Problems of Occupational Safety in Ukraine*, 38(1-2), 3–14. Retrieved from: <https://journal-nndipbop.com/index.php/journal/article/view/53>. [in Ukrainian].
2. Kruzhilko, O., Volodchenkova, N., Maystrenko, V., Bolibrukh, B., Kalinchyk, V., Zakora, A., Feshchenko, A., & Yeremenko, S. (2021). Mathematical modelling of professional risk at Ukrainian metallurgical industry enterprises. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 108(1), 35–41. Retrieved from: <https://journalamme.org/resources/html/article/details?id=224392>
3. Rieznik, D., Sukach, S., Chencheva, O., Lashko, Y., Kozlovskaya, T., Volkov, O., Petrenko, I., Mukha, O., Hryniuk, V., & Sapa, S. (2024). Devising measures to reduce multifrequency noise load on employees in machining area. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/10(129), 59–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.306725>
4. Kruzhilko, O., Polukarov, O., Vambol, S., Vambol, V., Khan, N.A., Maystrenko, V., Kalinchyk, V.P., & Khan, A. H. (2020). Control of the workplace environment by physical factors and SMART monitoring. *Archives of Materials Science and Engineering*, 1(103), 18–29. Retrieved from: <https://archivesmse.org/resources/html/article/details?id=204681>
5. Lashko, Y., Chencheva, O., Laktionov, I., Rieznik, D., & Halchenko, N. (2024). Mathematical and computer simulation of the process of movement of respirable dust particles in the working area. *Baltic Journal of Modern Computing*, 12(3), 270–285. <https://doi.org/10.22364/bjmc.2024.12.3.04>

6. Chencheva, O.O., Sukach, S.V., Petrenko, I.S., & Karaieva, N.N. (2023). Pryntsyp pobudovy balno-modyfikovanoi diahramy Isikavy yak suchasnoho instrumentarii analizu ryzykiv vydobuvnykh ta mekhanoobrobnykh pidpriemstv [The principle of constructing a point-modified Ishikawa diagram as a modern tool for risk analysis of mining and machining enterprises]. *Control, Navigation and Communication Systems*, 1(71), 163–166. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.1.163>. [in Ukrainian].
7. Ragimov, S., Sobyna, V., Vambol, S., Vambol, V., Feshchenko, A., Zakora, A., Strejekurov, E., & Shalomov, V. (2018). Physical modelling of changes in the energy impact on a worker taking into account high-temperature radiation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 91(1), 27–33. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.9654>
8. Kruzhilko, O.E., Volodchenkova, N.V., Tokar, O.O., & Maystrenko, V.V. (2021). Udoskonalennia otsinky profesiinoho ryzyku na osnovi ekspertnykh metodiv [Improvement of professional risk assessment based on expert methods]. *Problems of Occupational Safety in Ukraine*, 37(2), 3–8. <https://doi.org/10.36804/nndipbop.37-2.2021.3-8> [in Ukrainian].
9. DIALux Official Website. (2024). Retrieved from: <https://www.dialux.com/en-GB/> (Accessed: 25.12.2024).
10. Relux Official Website. (2024). Retrieved from: <https://www.relux.com> (Accessed: 25.12.2024).
11. Nakaz Ministerstva rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy vid 03.10.2018 roku № 264 Pro zatverdzhennia DBN V.2.5-28:2018 «Pryrodne i shtuchne osvittlennia» DBN V.2.5-28:2018 [Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine No. 264 dated October 3, 2018, on the approval of DBN V.2.5-28:2018 “Natural and Artificial Lighting”]. [in Ukrainian].