

УДК 378.176:51

СОСНИЦЬКА Наталя Леонідівна –
доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри вищої
математики і фізики Таврійського державного агротехнологічного

університету імені Дмитра Моторного
ORCID ID 0000-0001-6329-768X

e-mail: nsosnickaya19@gmail.com

ІЩЕНКО Ольга Анатоліївна –
старший викладач кафедри вищої математики і фізики Таврійського
державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

ORCID ID 0000-0001-6329-768X

e-mail: olgha.ishenko@gmail.com

СОКОТ Олександр Євгенович –
студент 2-го курсу Таврійського державного агротехнологічного

університету імені Дмитра Моторного

ORCID ID 0000-0003-0884-9917

e-mail: s1o9k9o9t@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНИХ ТА СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми.
Необхідність дослідження питання розрахунку параметрів освітлення навчальних аудиторій, лабораторій закладів вищої освіти зумовлена вимогами до організації освітнього процесу на якісному рівні, що впливає на кінцевий результат навчання. Робоче освітлення впливає на процес активізації, стимулювання розумової діяльності студента, не викликаючи негативних наслідків. Наприклад, нестача світла може приводити до стомлюваності і дратівливості, при тривалому знаходженні в погано освітленому приміщенні від надмірного напруження очей падає рівень

гостроти зору. Навпаки, занадто яскраве світло може привести до фотоопіків очей, надмірного збудження нервової системи. Тому питання раціонального освітлення навчальних аудиторій в цілому (загальне освітлення), кожного робочого місця (локальне освітлення) є важливим в умовах перебування студентів та викладачів в закритих приміщеннях, в яких дія природного світла обмежена або відсутня взагалі.

Отже дослідження і розрахунок параметрів світлокольорового середовища штучних джерел світла відповідно Державним санітарним правилам і нормам [1, 2], зокрема нормам штучного освітлення [3], є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Світло – природна умова життя людини та збереження його здоров'я. Збереження зору людини, стан його центральної нервової системи, а, отже, якість розумової діяльності, концентрація уваги і ступінь сприйняття нової інформації, здатність зосередитися значною мірою залежать від освітлення. Світло – це видимі оком електромагнітні хвилі оптичного діапазону довжиною 380–760 нм, які сприймаються сітчастою оболонкою зорового аналізатора людини.

Дослідження ефективної оцінки впливу штучного освітлення на організм людини умовно поділяють за трьома показниками: зоровий, біологічний і психофізіологічний. За останні роки вченими А. Серобабою, С. Овчинниковим розроблені експериментальні установки, які дозволяють отримувати функціональні залежності реакцій організму людини на світлові впливи з подальшою кількісною обробкою [5].

У працях В. Корнаги, В. Сорокіна, О. Олійника, О. Галинського, Г. Федюкіна, Л. Назаренка, І. Зеленкова, Ю. Мисюка, присвячених дослідженню штучного освітлення, обґрунтовано вплив світлового середовища на загальний стан людини, зокрема, на його зорові та розумові здібності; проведені розрахунки гігієнічних, санітарних норм. Але за кілька десятиліть експериментальних досліджень було виявлено невідповідність

нормованих характеристик світлового середовища при штучному освітленні реальним біологічним потребам людського організму [4]. Крім того, слід зазначити недостатність інформації щодо розрахунків оптимального поєднання розташування, кількості джерел світла та об'єктів освітлення при проектуванні приміщень. Зокрема у статті [6] розглядається питання застосування дисперсійного методу оцінки впливу рівня освітленості робочих зон навчальних аудиторій на тривалість виконання завдань різної складності, тобто на показники розумової діяльності в процесі навчання при природному та суміщеному освітленні.

Для розрахунку штучного освітлення використовують, в основному, три методи: світлового потоку (коефіцієнта використання), точковий та питомої потужності [7].

Тому актуальною є проблема виявлення найбільш точного методу розрахунку штучного освітлення та статистичних методів оцінки залежності його характеристик, що дозволить створити найсприятливіші умови праці.

Мета статті. Застосувати точковий метод розрахунку освітленості робочих зон навчальних аудиторій при штучному освітленні, за допомогою кореляційно-регресійного метода отримати кількісну оцінку зв'язку відстані розташування кожного робочого місця до джерела світла та показників освітленості, що дозволить визначити варіанти їх оптимального розташування в аудиторії.

Методи дослідження: *теоретичні:* аналіз, синтез, узагальнення для виявлення проблеми дослідження та уточнення сутності основних наукових понять, істотних для її розробки; *спеціальні:* точковий метод розрахунку освітленості робочих зон навчальних аудиторій при штучному освітленні; *статистичні:* кореляційно-регресійний метод обробки експериментальних даних.

Виклад основного матеріалу дослідження. Загальну оцінку освітлення навчальних приміщень визначають на підставі комплексу певних показників згідно з нормативами [1, 2].

За нормами штучного освітлення [3] у навчальних приміщеннях передбачається переважно люмінесцентне освітлення з використанням ламп: ЛБ, ЛХБ, ЛЕЦ. Допускається використання ламп розжарювання (при цьому норми освітленості знижуються на 2 ступені шкали освітленості).

За способами розміщення світильників в навчальних приміщеннях розрізняють системи загального, місцевого і комбінованого освітлення. У навчальних приміщеннях слід застосовувати систему загального освітлення. Система загального освітлення застосовується для освітлення всього приміщення, в тому числі і робочих поверхонь. При рівномірному освітленні створюється рівномірна освітленість по всій площі аудиторії.

Для проведення дослідження нами було обрано навчальну аудиторію, штучне освітлення якої здійснюється за допомогою шести світильників у верхній зоні приміщення (на висоті 2,7 м над підлогою), які забезпечують загальне рівномірне освітлення. Світильники складаються з двох люмінесцентних ламп зі світловою віддачею 40 лм/Вт.

Для розрахунку освітленості на кожному робочому місці (за партою два студента) нами застосовано точковий метод, який дозволяє визначити освітленість будь-якої точки на робочій поверхні, яка може бути розташована у просторі горизонтально, вертикально або під нахилом. Також, цей метод застосовують у якості перевірочних розрахунків, коли необхідно оцінити фактичний розподіл освітлення на робочій поверхні. Розрахунки за точковим методом здійснюються за спеціальними формулами, номограмами, графіками і допоміжними таблицями [7].

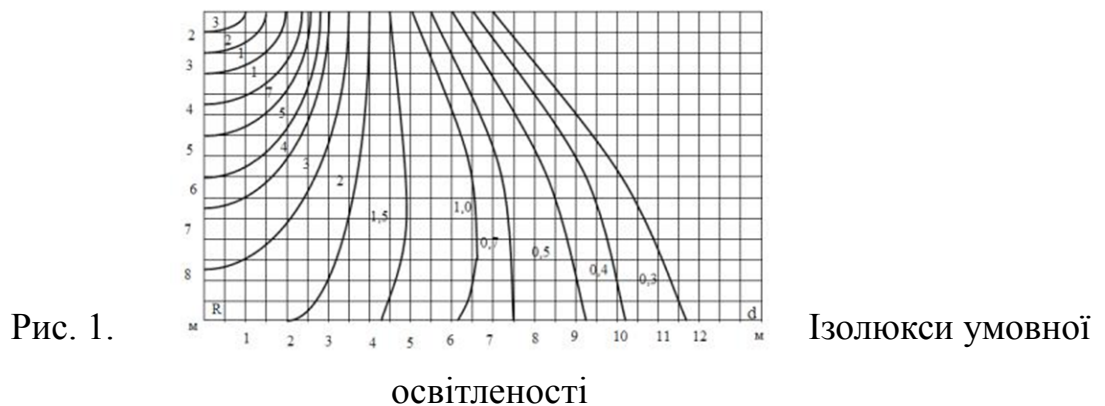
В основу точкового методу для горизонтальної поверхні покладено рівняння, що зв'язує освітленість і силу світла:

$$E = \frac{I_a \cdot \cos^3 \alpha \cdot \mu}{k \cdot h_p^2}$$

,

де I_α – сила світла в напрямку від джерела на задану точку робочої поверхні (визначають за кривими сили світла або за таблицями обраного типу світильника), α – кут між нормаллю до робочої поверхні і напрямком сили світла до розрахункової точки, μ – коефіцієнт, що враховує дію віддалених від розрахункової точки світильників і відбитого світлового потоку від стін, стелі, підлоги, обладнання, що падає на робочу поверхню в розрахунковій точці (приймають в межах $\mu = 1,05 \dots 1,2$), k – коефіцієнт запасу, h_p – висота підвісу світильника над робочою поверхнею.

Визначення освітленості на горизонтальній площині в залежності від розташування світильників проводилося за допомогою графіків просторових ізолюкс (рис. 1), які будуються для світильників кожного типу. Ізолюксою називається лінія, що з'єднує точки з однаковою освітленістю.



Для розрахунку освітлення точковим методом накреслимо схему розміщення світильників навчальної аудиторії для визначення геометричних співвідношень і кутів (рис 2).

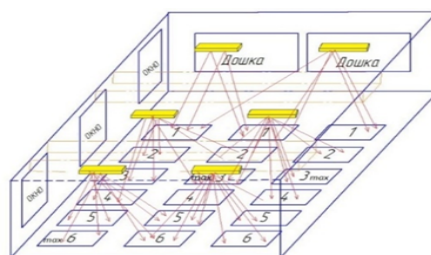


Рис 2. Схема штучного освітлення навчальної аудиторії

tg α	1,67	2,734	1,006	1,142	0,666	0,702
cos ² α	0,13	0,041	0,350	0,285	0,575	0,548
кут α (рад)	1,033	1,220	0,788	0,851	0,588	0,612
кут α (градуси)	59,24	69,94	45,20	48,83	33,71	35,09
Сила світла I α (1000), кд	198	300	288	284	270	228
сила світла I α , кд	633,6	960,2	921,6	908,8	864	729,6
Освітленість E, лк	16,33	7,475	62,01	49,88	95,62	76,84

За допомогою кореляційно-регресійного аналізу отримано апроксимуючі функції залежності освітленості E від відстані робочої зони до джерела світла; за допомогою яких можна визначати значення E для будь-якого робочого місця, а, значить, мати можливість визначати місця їх оптимального розташування згідно санітарним та гігієнічним нормам.

За результатами досліджень побудовано графіки освітленості при різних кутах падіння світла на робочих місцях трьох рядів (рис. 4). Для розрахунків застосовано програмний пакет Excel.

Аналіз графіків дозволяє зробити висновок, що найбільш освітленими є третя парта та п'ята парта (робочі місця ліворуч), де показники освітленості у 1,13 та 1,04 разів перевищують норму відповідно. Перша, третя, п'ята, парти першого та другого, третього рядів мають практично однаковий показник освітленості, що свідчить про відносну рівномірність освітлення по горизонталі. Найбільша різниця в показниках третьої парти складає 49,12 лк (19,6 %), найменша першої, другої парти – 2,2 лк (0,8 %). Друга, четверта, шоста парти першого та другого рядів мають невелику різницю (в межах 5-15 лк, тобто 2-6 %).

Освітленість		
1 ряд	2 ряд	3 ряд
237,890	238,376	228,792
235,410	242,943	284,469
242,632	256,284	233,783
237,810	242,798	259,250
283,240	288,905	247,287
234,120	232,272	264,619
234,360	249,842	216,627
220,660	235,763	243,322
259,320	272,566	249,151
234,570	233,295	251,488
232,040	237,573	220,974
200,840	215,451	245,532

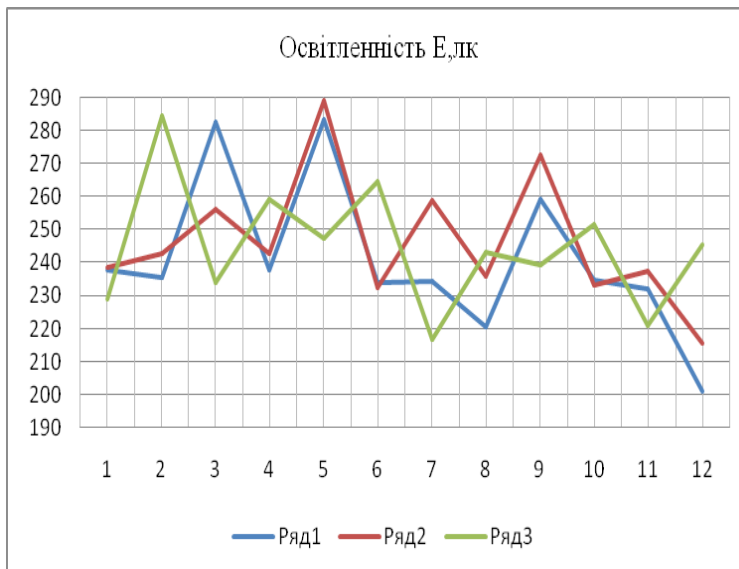


Рис.4. Показники освітленості на робочих місцях

Таким чином, нами отримані такі результати:

- середній показник освітленості робочих місць першого ряду найменший і складає 241,07 лк; другого ряду – найбільший 246,26 лк; третього ряду – 244,61 лк. Фактична максимальна освітленість на другій та

третьої парті першого ряду, на третій – другого ряду та першій парті третього ряду перевищує нормовану (250 лк) на 11,3 %, що є у допустимих межах;

- освітленість робочих місць зліва першого та другого рядів в напрямку дошки більша в 1,05...1,21 рази (2-35 лк) в порівнянні з правосторонніми, що пояснюється їх ближчим розташуванням до додаткового джерела світла (вікна). На партах третього ряду показники освітленості мають протилежну залежність, що пояснюється розташуванням в найменш освітленій частині (біля стіни, протилежної вікну), відстань до джерел світла однакова, але сила світла, визначена за допомогою ізолюкс, а також стіна між вікнами зменшують показники освітлення третього ряду;

- визначено коефіцієнт детермінації (80,6 %), який характеризує високу ступінь варіації показника освітленості. Це пояснюється різними рівнями освітленості робочих місць, що є негативним наслідком;

- для оптимального освітлення робочих місць потрібно зменшити відстань останніх парт до світильників.

Висновки з дослідження і перспективи подальших розробок. За результатами досліджень визначено мінімальний та максимальний кути між нормаллю до робочої поверхні та напрямком сили світла до робочого місця, показники освітлення при штучному освітленні; проаналізовано кількість робочих місць, які мають найбільші та найменші показники освітленості; зроблено порівняльну характеристику рівнів освітленості за розташуванням робочих місць та побудовано їх графіки. Застосування точкового методу дозволило визначити відповідність освітленості робочих місць державним санітарним правилам і нормам.

Метою подальших досліджень в цьому напрямку є визначення залежностей освітлення навчальних приміщень від однорідності освітлення, мерехтіння світла, яскравості тощо.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.2-3-97 Будинки та споруди навчальних закладів. URL: https://dnaop.com/html/34170/doc-ДБН_В.2.2.2-3-97 (дата звернення 05.03.2019)
2. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення. URL: <http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН-В.2.5-28-006.pdf> (дата звернення 05.03.2019).
3. ДСанПіН 5.5.2.008-01 Державні санітарні правила і норми влаштування, утримання загальноосвітніх навчальних закладів. URL: <https://pon.org.ua/novyny/5768-derzhavn-santarn-pravila-normi-dlya-zagalnoosvtnh-navchalnih-zakladv.html> file:///D:/Downloads/derz-stan.pdf (дата звернення 05.03.2019).
4. Зеленков І. А., Мисюк Ю. П. Динаміка зорової працездатності студентів в умовах динамічного штучного освітлення. *Електроніка та системи управління*. 2006. № 4(10). С.159–164.
5. Овчинников С. С., Серобаба А. А. Оценка эффективности влияния световой среды на организм человека. *Світлотехніка та електроенергетика*: міжнарод. наук.-тех. журнал. 2008. № 4. С.4–10.
6. Сокот О. Є., Сосницька Н. Л., Іщенко О. А. Аналіз показників освітлення при організації освітнього процесу. *Збірник наукових праць студентів і молодих науковців. Серія: Фізика. Технології. Навчання*. 2018. Вип. 16. С. 48–58.
7. Навчальні матеріали онлайн. URL: https://pidruchniki.com/2008120238289/bzhd/proektuvannya_sistem_shtuchnog_o_osvitlennya (дата звернення 05.03.2019).

REFERENCES

1. DBN V.2.2–3–97 Budynky ta sporudy navchalnykh zakladiv [Buildings and facilities of educational establishments], available at:

[https://dnaop.com/html/34170/doc- ДБН_В.2.2.2-3-97](https://dnaop.com/html/34170/doc-ДБН_В.2.2.2-3-97) (Accessed 5 March 2019).

2. DBN V.2.5–28–2006 Pryrodne i shtychne osvittennia [Natural and artificial lighting], available at: <http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН-В.2.5-28-2006.pdf> (Accessed 5 March 2019).

3. DSANiP 5.5.2.008-01 Derzhavni sanitarni pravyla i normy vlashtuvannia, utrymannia zahalnoosvitnikh navchalnykh zakladiv [State sanitary rules and norms of placement, maintenance of general educational institutions], available at: <https://pon.org.ua/novyny/5768-derzhavn-santarn-pravila-normi-dlya-zagalnoosvtnh-navchalnih-zakladv.html>
file:///D:/Downloads/derz-stan.pdf (Accessed 5 March 2019).

4. Zelenkov I. A. and Mysiuk Yu. P., (2006), Dynamika zorovoi pratsezdatsnosti studentiv v umovakh dynamichnoho shtuchnoho osvittennia. [Dynamics of visual efficiency of students in conditions of dynamic artificial lighting]. *Elektronika ta systemy upravlinnia*, № 4(10), 159–164.

5. Ovchinnikov, S. S. and Serobaba A. A. (2010), Otsenka effektivnosti vliannii svetovoi sredy na organism cheloveka [Evaluation of the effectiveness of the impact of the light environment on the human body]. *Mizhnarodnyi naukovo – tekhnichniy zhurnal «Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka»*, № 4-10, 21–29.

6. Sokot, O. Ye., Sosnytska, N. L. and Ishchenko, O. A. (2018), Analiz pokaznykiv osvittennia pry organizatsii robochoho protsesy [Analysis of indicators of lighting in the organization of educational process]. *Zbirnyk naukovykh prats studentiv I molodykh naukovtsiv Fyzyka. Tekhnolohii. Navchannia*. №16, 48–58.

7. Navchalni material online [Online teaching materials]. URL: https://pidruchniki.com/2008120238289/bzhd/proektuvannya_sistem_shtuchnog_o_osvittennya (Accessed 5 March 2019).

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

СОСНИЦЬКА Наталя Леонідівна – доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри вищої математики і фізики Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Наукові інтереси: моделювання змісту фізико-математичної освіти вищої та середньої школи, актуальні проблеми професійної освіти.

ИЩЕНКО Ольга Анатоліївна – старший викладач кафедри вищої математики і фізики Таврійського державного агротехнологічного університету імені Д. Моторного.

Наукові інтереси: дослідження та математичне моделювання технічних та технологічних процесів аграрної сфери діяльності

СОКОТ Олександр Євгенович – студент 2 курсу факультету агротехнологій та екології Таврійського державного агротехнологічного університету імені Д. Моторного

Наукові інтереси: математичне моделювання технологічних процесів.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

СОСНИЦКАЯ Наталья Леонидовна – доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой высшей математики и физики Таврического государственного агротехнологического университета имени Дмитрия Моторного.

Научные интересы: моделирование содержания физико-математического образования высшей и средней школы, актуальные проблемы профессионального образования.

ИЩЕНКО Ольга Анатольевна – старший преподаватель кафедры высшей математики и физики Таврического государственного агротехнологического университета имени Д. Моторного.

Научные интересы: исследования и математическое моделирование технических и технологических процессов аграрной сферы деятельности

СОКОТ Александр Евгеньевич – студент 2 курса факультета агротехнологий и экологии Таврического государственного агротехнологического университета имени Д. Моторного.

Научные интересы: математическое моделирование технологических процессов.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

SOSNYTSKA Natalya Leonidovna – doctor of pedagogical sciences, professor, manager of department of higher mathematics and physics of the Dmitry Motorny Tavria State Agrotechnological University.

Circle of research interests: modeling of the content of physical and mathematical education of higher and secondary schools, modern problems of professional education.

ISHCHENKO Olga Anatolievna – Senior Lecturer of department of higher mathematics and physics of the Dmitry Motorny Tavria State Agrotechnological University.

Circle of research interests: research and mathematical modeling of technical and technological processes in the agricultural sector.

SOKOT Alexander Evgenievich – 2nd year student of the agricultural technologies and ecology faculty of the Dmitry Motorny Tavria State Agrotechnological University.

Circle of research interests: mathematical modeling of technological processes.

СОСНИЦЬКА Наталя Леонідівна, ІЩЕНКО Ольга Анатоліївна, СОКОТ Олександр Євгенович. ДОСЛІДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНИХ ТА СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ.

Анотація. Стаття присвячена дослідженню штучного освітлення учбових приміщень за допомогою кореляційно-регресійного методу, розрахунку та аналізу показників освітленості, що впливають на якість засвоєння навчального матеріалу. Вивчено динаміку зміни параметрів процесу освітлення. Виявлено статистичні закономірності зв'язку рівня освітленості робочого місця з відстанню від джерел

світла. Побудовано апроксимуючу функцію, яка дає можливість аналізувати зв'язок показників освітлення з розташуванням робочих місць навчальних аудиторій; отримувати порівняльні характеристики; перевіряти гігієнічні та санітарні норми та розраховувати оптимальне їх поєднання. Алгоритм розрахунку значень освітленості для кожного робочого місця передбачає урахування величин світлових потоків, які випромінюються кількома джерелами. Для спрощення обчислень застосовано пакет Excel. Результати дослідження на прикладі математичного моделювання процесу освітлення, демонструють необхідність отримання для фахівця будь-якої професійної направленості базових математичних знань, вміння використовувати їх при розв'язанні практичних завдань

Ключові слова: штучне освітлення, освітленість, точковий метод, показники штучного освітлення, кореляційно - регресійний аналіз.

SOSNIЦКАЯ Наталья Леонидовна, ИЩЕНКО Ольга Анатольевна, СОКОТ Александр Евгеньевич. ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНЫХ И СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ.

Аннотация. Статья посвящена исследованию искусственного освещения учебных помещений с помощью корреляционно - регрессионного метода, расчета и анализа показателей освещенности, влияющих на качество усвоения учебного материала. Изучена динамика изменения параметров процесса освещения. Выявлено статистические закономерности связи уровня освещенности рабочего места с расстоянием от источников света. Построено аппроксимирующую функцию, которая дает возможность анализировать связь показателей освещения с расположением рабочих мест учебных аудиторий; получать сравнительные характеристики; проверять гигиенические и санитарные нормы и рассчитывать оптимальное их сочетание. Алгоритм расчета значений освещенности для каждого рабочего места предполагает учета величин световых потоков, излучаемых несколькими источниками. Для упрощения вычислений применен пакет Excel. Результаты исследования на примере математического моделирования процесса освещения, демонстрируют необходимость получения для специалиста любой профессиональной направленности базовых математических знаний, умение использовать их при решении практических задач

Ключевые слова: искусственное освещение, освещенность, показатели искусственного освещения, точечный метод, корреляционно - регрессионный анализ.

SOSNYTSKA Natalya Leonidovna, ISHCENKO Olga Anatolievna, SOKOT Alexander Evgenievich. THE RESEARCH OF ARTIFICIAL ILLUMINATION BY MEANS OF SPECIAL AND STATISTICAL METHODS.

Abstract. The article is devoted to research of artificial illumination in educational premises by means of the correlation method, calculation and analysis of illuminance indicators (illumination environment), which influence on the productivity of the educational process. The necessity of studying the issue of calculating the illuminance indicators of classrooms, laboratories of higher educational institutions is due to the requirements for organization educational. It is necessary to provide high quality lighting to ensure the normal level of activity, labor productivity in the workplace. Therefore, the study and calculation of the illuminance indicators (illumination environment), which formed by artificial light sources, is an important task. The algorithm for calculating the illumination

indicators for each workplace was developed to solve this problem. It is taking into account the values of light fluxes, which are emitted by several sources (lighting devices). The distances of workplaces from light sources are determined with this algorithm, also angles between the surface normal and the direction of light to the target point and [directional luminous intensity](#) from the source to the target point on the workplace surface. The horizontal illumination of each lamp is determined according to the principal formula (1), then calculate the total illumination produced by all fixtures at each point. The point method is the most accurate for solving such problem compared to [specific power method](#) and [coefficient of utilization](#). Excel package is applied to simplify the calculations. Mathematical and computer modeling were combined. The statistical regularities of the connection between the level of illumination of the workplace and the distance from the light sources are revealed. The approximating function is constructed. The function makes it possible to analyze the correlation between the illumination indicators and the locations of the jobs in the classroom. Also it makes possible to get comparative characteristics, check hygienic and sanitary standards and calculate the optimal combination of them. The determination coefficient, which characterizes the high degree of variation of the illumination index, is determined. This is due to different levels of workplace illumination. The results of the research show the necessity the basic mathematical knowledge for a specialist of any professional, and the ability to use them for solving practical problems.

Keywords: **artificial:** illumination, [light intensity](#), point method, [artificial illumination index](#), correlation and regression analysis