

Список використаних джерел

1. Yang, Z., et al. (2024). Context-Aware Street Lighting Control for Energy Efficiency: A Case Study in Urban Environment. *Sensors*, 24(18), 5942. <https://doi.org/10.3390/s24185942>
2. Al-Ali, A. R., et al. (2023). IoT-based Smart Lighting for Smart Cities: Architecture, Benefits, and Challenges. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. <https://doi.org/10.1007/s12652-023-04384-w>

УДК 628.97

ВПЛИВ ДИНАМІЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА КОНЦЕНТРАЦІЮ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛУ АЕС

Бровко Костянтин Юрійович,

кандидат технічних наук, доцент

Винокурова Наталія Дмитрівна,

асистент

Великогорський Олег Володимирович,

аспірант

Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна

E-mail: brovkokonstantin@gmail.com

Атомні електростанції (АЕС) є об'єктами підвищеної відповідальності, де оперативний персонал блочного щита керування (БЩК) енергоблоку працює у стресових умовах і виконує складні завдання, що вимагають високої концентрації уваги. Одним із факторів, що можуть впливати на їхню продуктивність та загальне самопочуття, є освітлення. Динамічне освітлення, яке змінює свої параметри залежно від часу доби та фізіологічних потреб людини, може значно покращити умови праці оперативного персоналу БЩК енергоблоком АЕС [1].

Світло відіграє важливу роль у регулюванні циркадних ритмів людини. Високоінтенсивне світло з високою колірною температурою (5000–6500 К) у денний час сприяє підвищенню уваги та зменшенню сонливості, тоді як тепле світло (2700–3500 К) ввечері сприяє розслабленню та зниженню рівня кортизолу. Використання динамічного освітлення дозволяє: підтримувати оптимальний рівень бадьорості впродовж зміни, тим самим зменшувати втому та запобігати виснаженню [2].

Графік рис. 1 демонструє взаємозв'язок між колірною температурою освітлення та рівнем концентрації уваги оперативного персоналу БЩК енергоблоку АЕС. Як видно, концентрація підвищується при збільшенні температури до 5500 К, а потім поступово знижується.

Аналіз даних показує, що найефективнішою для оперативного персоналу БЩК енергоблоку АЕС є зона колірної температури від 4500 К до 5500 К. При температурі 2700 К – 3500 К освітлення має теплий жовтуватий відтінок, що сприяє розслабленню, але водночас знижує рівень концентрації уваги до 50–60%. Це світло рекомендується використовувати в зонах відпочинку або під час переходу до сну після нічних змін. У середньому діапазоні (4500 К – 5500 К) рівень концентрації значно підвищується, досягаючи піку (90%) при 5500 К. Таке світло має білий або злегка блакитний відтінок і ідеально підходить для робочого середовища оперативного персоналу БЩК енергоблоку АЕС. Проте надмірно холодне освітлення (6500 К+) може спричинити втому та зорове напруження, що знижує рівень продуктивності.

Крім того, рівень освітленості та його спектральний склад безпосередньо впливають на когнітивні функції. Дослідження [3] показують, що оперативний персонал БЩК

енергоблоком АЕС, який працює при динамічному освітленні, демонструє: покращену швидкість реакції на критичні події, вищий рівень концентрації уваги та зниження рівня стресу та тривожності. Динамічне освітлення може зменшити ймовірність помилок та підвищити загальну безпеку експлуатації АЕС. Крім того, воно впливає на психоемоційний стан оперативного персоналу БЦК енергоблоку АЕС, підтримуючи їхню працездатність у довготривалій перспективі. Нижче представлена таблиця 1, що відображає вплив освітлення на когнітивні процеси операторів.

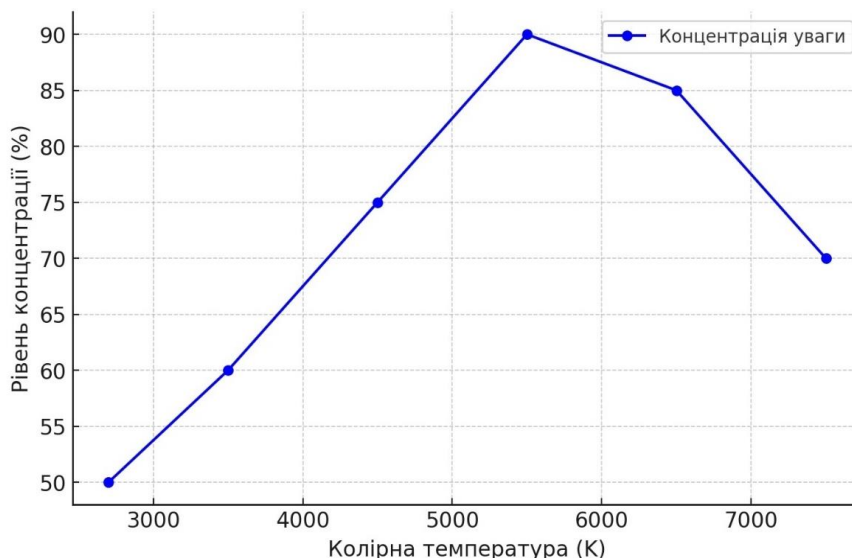


Рисунок 1 – Залежність концентрації уваги від колірної температури освітлення

Таблиця 1 враховує специфіку роботи оперативного персоналу БЦК енергоблоку АЕС, де критично важливе швидке й точне сприйняття інформації з панелей, екранів та індикаторів.

Сучасні системи освітлення БЦК енергоблоку АЕС включають: LED-освітлення з регульованою колірною температурою (2700K-6500K), яке адаптується до часу доби; автоматичні системи керування освітленням, що враховують рівень природного освітлення; індивідуальні освітлювальні сценарії, що налаштовуються відповідно до потреб персоналу (обирати комфортний рівень освітлення для різних режимів роботи – штатного моніторингу, підвищеної готовності або аварійного реагування); зонування освітлення, при якому основне та допоміжне освітлення розподіляється на різні рівні: загальне, локальне (робочі місця операторів) та акцентне (підсвічування важливих панелей і приладів); антивідблискові технології, що зменшують ефект засліплення та полегшують зчитування інформації з моніторів і панельних індикаторів [4].

Після оновлення систем освітлення в операторських пунктах однієї з провідних АЕС у Франції було зафіксовано зниження кількості операторських помилок на 18% та зменшення рівня втоми персоналу на 25% у нічні зміни.

На одній з американських АЕС тестували систему з адаптивним освітленням, яке змінювало інтенсивність та колірну температуру відповідно до часу доби. Це дозволило зменшити кількість пропущених сигналів тривоги на 12% та покращити когнітивну реакцію операторів БЦК енергоблоку АЕС.

На Українських АЕС проведено оновлення освітлення в БЦК, де впроваджено енергоефективні LED-лампи з можливістю димерування. У результаті оперативний персонал відзначив зниження навантаження на очі та покращення загального комфорту роботи у тривалих змінах. Такі технологічні рішення не лише підвищують рівень безпеки, а й створюють комфортніші умови праці для оперативного персоналу БЦК енергоблоку, що є критично важливим у високонавантажених системах управління АЕС.

Таблиця 1 – Вплив освітлення на когнітивні процеси оперативного персоналу блочного щита керування енергоблоком АЕС

Рівень освітлення (лк)	Вплив на увагу	Вплив на швидкість реакції	Вплив на втому	Рекомендації щодо застосування
< 200	Зниження концентрації, підвищений ризик помилок	Сповільнення реакції на сигнали та тривоги	Швидке стомлення, підвищена напруга очей	Уникати, можливе використання в резервних зонах та в нічний час з додатковим точковим освітленням
200-300	Помірна увага, прийнятний рівень сприйняття інформації	Середня швидкість реакції	Помірна втома при тривалих змінах	Мінімально допустимий рівень освітлення для нічних змін
300-500	Оптимальна концентрація, ефективне сприйняття панельних індикаторів	Висока швидкість реакції на зміну технологічних параметрів	Низька втома, комфортні умови роботи	Рекомендований стандарт для більшості операцій у штатному режимі
500-750	Висока концентрація, чітке розпізнавання кольорової сигналізації	Максимальна швидкість реакції	Мінімальна втома, підтримка працездатності у тривалих змінах	Оптимальне освітлення для роботи в аварійних та нештатних ситуаціях
> 750	Перевантаження зору, можливі відблиски на панелях	Можливе погіршення швидкості реакції через зоровий дискомфорт	Підвищена стомлюваність, напруга очей	Уникати, застосовувати лише у специфічних випадках із захистом від відблисків

Висновки

Динамічне освітлення є важливим елементом ергономічного середовища операторських пунктів АЕС. Його впровадження сприяє покращенню концентрації, зниженню рівня стресу, підвищенню продуктивності та загального самопочуття операторів. Подальші дослідження та впровадження адаптивних систем освітлення можуть суттєво підвищити безпеку та ефективність роботи атомних електростанцій.

Список використаних джерел

1. Бровко К. Ю., Великогорський О. В. (2024). Вплив систем освітлення на роботу оперативного персоналу АЕС. Інноваційні технології в світлотехніці та електроенергетиці : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 16–17 трав. 2024 р., с. 53-54.
2. Шевяков О. В. (2022). Психофізіологічні характеристики операторів АЕС як фактор готовності до діяльності. *Наукові праці Міжрегіональної Академії управління персоналом. Психологія*, 1 (13). с. 117-123.
3. Singh H. V. P., Mahmoud Q. H. (2017). EYE-on-HMI: A Framework for monitoring human machine interfaces in control rooms. IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Windsor, ON, Canada. p. 1-5. doi: <https://doi.org/10.1109/CCECE.2017.7946695>
4. Vicente, K. J., Mumaw, R. J., Roth, E. M. (2004). Operator monitoring in a complex dynamic work environment: a qualitative cognitive model based on field observations. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 5(5), 359–384. doi: <https://doi.org/10.1080/14039220412331298929>