

## ФОТОБИОЛОГИЧНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА LED ОСВЕТЛЕНИЕТО ВЪРХУ ЧОВЕКА

**Веселина Стефанова**

*Технически университет – Габрово, ул. Хаджи Димитър 4, Габрово, България*

*\*кореспондиращ автор: veselinka98@abv.bg*

## PHOTOBIOLOGICAL IMPACT OF LED LIGHTING ON HUMANS

**Veselina Stefanova**

*Technical University of Gabrovo, 4 Hadzhi Dimitar str., Gabrovo, Bulgaria*

*\*Corresponding author: veselinka98@abv.bg*

### **Abstract**

*The publication discusses current standards and scientific research regarding the photobiological impact of LED lighting on humans. European and German standards related to photobiological safety and the melanopic effect of light are investigated. Despite its advantages, LED lighting may also cause negative effects, such as headaches and visual fatigue, due to the emission of blue light, which affects the circadian rhythm and melatonin synthesis. Blue light is beneficial for daytime alertness, but excessive exposure can damage photoreceptors and disrupt sleep. It is recommended to use LED lamps with a lower colour temperature to reduce the risk of negative effects. Further research is needed to assess the long-term risks of blue light exposure and to develop strategies for minimizing potential hazards to the eyes.*

**Keywords:** photobiological impact, LED lighting, visual fatigue, blue light, circadian rhythm.

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Фотобиологичното въздействие на светлината върху човека е важен фактор за неговото физическо и психическо здраве. Балансът между излагането на светлина през деня и нощта е от съществено значение за поддържане на здравословен биологичен ритъм, настроение и когнитивна функция. В съвременния свят, в който изкуствената светлина е част от ежедневието, е важна осведомеността за нейното влияние и предприемането на мерки за намаляване на негативните ѝ ефекти.

В последните години се задълбочават изследванията на фотобиологичното влияние на светлината върху човека.

Някои от най-съществените въздействия са доказани и включени като нормативни изисквания и препоръки в международни стандарти [1, 2, 3]

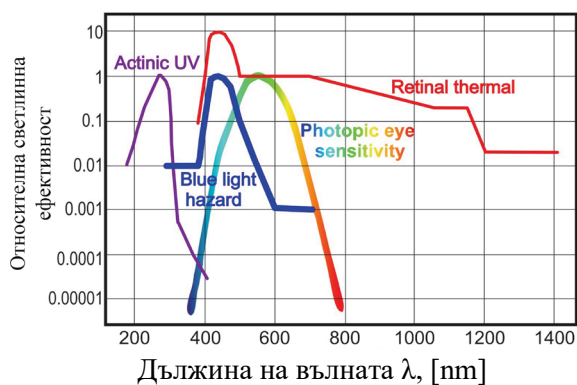
### **ИЗЛОЖЕНИЕ**

В настоящата публикация се прави проучване на актуални стандарти и научни изследвания за фотобиологичното въздействие на светлината върху човека, като се анализира влиянието на съвременните LED технологии за осветление.

В Европа е въведен стандарт БДС EN 62471 „Фотобиологична безопасност на лампи и системи от лампи“ (табл. 1). [2]

В Германия е въведен DIN/TS 5031-100:2021-11 - Част 100: Меланопичен ефект на светлина върху хора, медиран чрез окото - размери, символи и спектри на ефекта. [3]

Въздействието, което оказва светлината и осветлението върху човешкото тяло е изключително важно за много физиологични и психологически процеси при човека.



**Фиг. 1.** Функции Actinic UV, Blue light hazard, Retina thermal u Photopic eye sensitivity, използвани в IEC 62471 . [1]

**Табл. 1.** Вид на опасностите на светлината, посочени в IEC 62471 [1]

Опасност (вид на отрицателното въздействие)	Обхват на дължина на вълната, [nm]	Фотобиологично въздействие	
		Кожа	Очи
Actinic UV (предизвика фотохимични реакции)	200 - 400	Еритема; Еластоза	Фотокератит на роговицата; Катаракта на лещата
UV излъчване, близко до видимия спектър (UV-A)	315 - 400	-	Катаракта на лещата
Retinal Blue Light (увреждане на ретината със синя светлина)	300 - 700	-	Фотокератитна ретината
Retinal Thermal (топлинно въздействие на ретината)	380 - 1400	-	Изгаряне на ретината
IR излъчване	780 - 3000	-	Изгаряне на роговицата; Катаракта на лещата
Топлинно излъчване	380 - 3000	Изгаряне на кожата	-

Има четири тегловни функции, използвани в IEC 62471 – три, свързани със специфични фотобиологични опасности и четвърта, фотопична реакция на очите, използвана при оценката на светлинната

ефективност (светлоудването) на определен светлинен източник – фиг. 1. [1]

В зависимост от потенциалните фотобиологични рискове и въз основа на допустимото време на въздействие, светлинните източници се класифицират в четири групи, дадени в табл. 2. [1]

**Табл. 2.** Рискови групи на светлинни източници, посочени в IEC 62471, в зависимост от фотобиологичната опасност. [1]

Рискова група	Описание
Без риск (Exempt)	Няма фотобиологична опасност
RG1	Няма фотобиологична опасност при нормални ограничения на обкръжението
RG2	Не представлява опасност от негативна реакция към ярка светлина или топлинен дискомфорт
RG3	Опасност дори при моментно излагане на светлина

Специализираните фоторецептори на клетките на ретината, конуси и пръчици, отговорни за част от формирането на изображения, реагират на различни дължини на вълната. [4]

Фоторецепторите, съдържащи меланопсин в човешкото око са особено отзивчиви към синята светлина. Тяхната чувствителност е най-голяма при дължини на вълните около 480 nm.

Излагането на синя светлина провокира фотохимични реакции в повечето очни тъкани, по-специално в роговицата, лещата и ретината. [5]

Проучванията показват, че определени експозиции на синя светлина (в зависимост от дължината на вълната или интензитета) могат да причинят временно или постоянно увреждане на някои структури на окото, особено на ретината. Понастоящем обаче няма доказателства, че използването на екрана и светодиодите при нормална употреба са вредни за човешката ретина. [5]

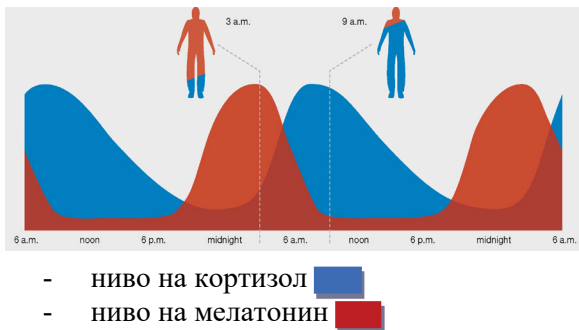
Биологичният ритъм (циркаден ритъм) се контролира от интензитета на

светлината и нейния спектрален състав – особено на синята компонента на светлината.

Без дневна светлина производството на мелатонин и кортизол, хормоните – които основно регулират циркадния ритъм (фиг. 2), се нарушава. [1]

През деня синята светлина е полезна за повишаване на бдителността и концентрацията, защото поддържа мозъка в състояние на бодрост.

Затова естествената слънчева светлина, която съдържа значителен дял синя светлина, играе важна роля за поддържането на циркадния ритъм.



**Фиг. 2.** Влияние на дневната светлина върху нивата на хормоните в човешкото тяло. [6]

Облъчването с къси дължини на вълните, включително синя светлина, отслабва и намалява освобождаването на мелатонин през вечерните часове. [7]

Натрупващите се експериментални доказателства показват, че излагането на синя светлина може да повлияе на много физиологични функции и може да се използва за лечение на циркадни дисфункции и нарушения на съня.

Синята светлина може също да предизвика увреждане на фоторецепторите. Поради това е важно да се вземе предвид спектралният състав на светодиодните източници на светлина, за да се сведе до минимум опасността, която може да бъде свързана с излагането на синя светлина. [8]

Цветната температура на светлината и осветеността имат важни функции при

проектирането на биологично въздействащо осветление на закрито. Съдържанието на синя (късовълнова) светлина с цветна температура над 5 000K увеличава значително активността на човек през деня. [1]

Излъчването на синя светлина се счита за потенциал за фотобиологично индуцирано увреждане на ретината в резултат на излагане на радиация при дължини на вълните главно между 400 nm и 500 nm. [9]

Доказано е, че радиацията с къса дължина на вълната (спектр на родопсин) и опасността от синята светлина (пик на възбуждане 440 nm) оказват голямо влияние върху фоторецепторите и функцията на RPE, предизвиквайки фотохимично увреждане и апоптотична клетъчна смърт. [10, 11]

Този механизъм на увреждане доминира в така наречения механизъм на термично увреждане на ретината. [9]

В резултат на това са определени изисквания за стандартизация за оценка на въздействие на синята светлина. [9]

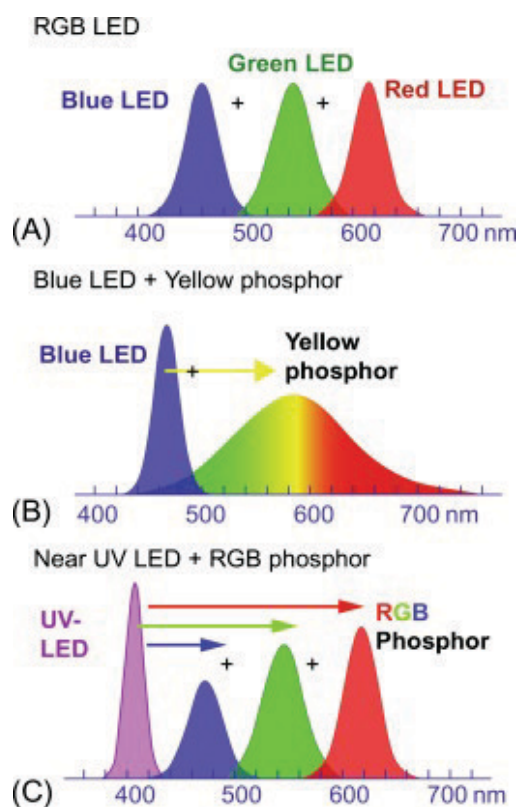
При оценка на фотобиологичното въздействие на опасност, произтичаща от оптично лъчение, се прави разлика между различни диапазони на дължини на вълните (UV, видими и UV лъчение). Основният аспект е дълбочината на проникване в тъканите. Кожата и очите са засегнати по-специално, като оптичното излъчване не прониква дълбоко в тъканта. [11]

Към настоящия момент в практиката се прилагат следните три основни конструктивни решения за получаване на бяла светлина чрез светодиодна технология (фиг. 3):

(A) RGB LED – смесване на светлината от червени, зелени и сини светодиоди;

(B) Blue LED+Yellow phosphor - син LED чип, покрит с жълт луминофор;

(C) UV LED+RGB phosphor - ултравиолетов светодиод покрит с луминофори излъчващи червен зелен и син/жълт цвят. [1]



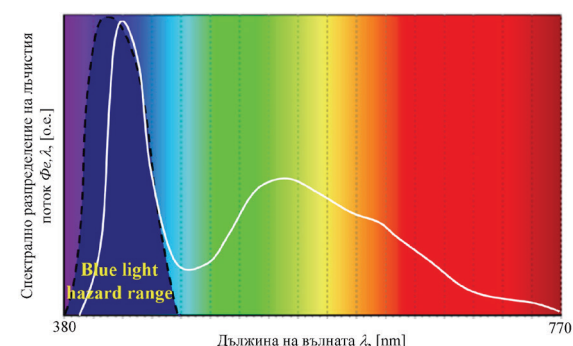
Фиг. 3. Основни LED технологии. [1]

В почти всички съвременни светлинни източници наличието на по-голяма интензивност на излъчване в опасния диапазон на синята светлина се характеризира с по-висока цветна температура. Анализът на спектралните разпределения на излъчването на най-широко използваната LED технология от вида син LED + жълт фосфор с различна корелирана цветна температура  $T_{cp}$  показва, че светодиодите със студено бяла светлина имат значително по-високи емисии в диапазона на опасната синя светлина в сравнение с тези с топло бяла светлина. [1]

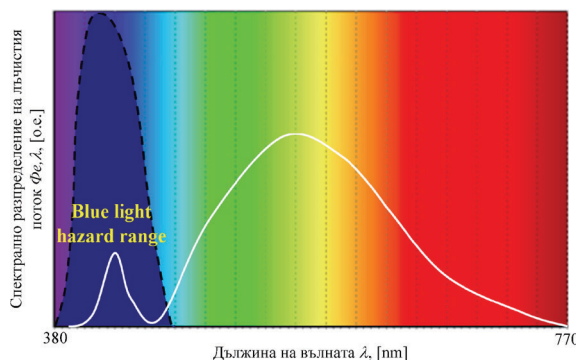
През последните години изключително много се разви LED осветлението, но въпреки напредъка, който е постигнат – дълъг живот, голяма енергийна ефективност, по-добро цвето предаване, то те могат да окажат и отрицателното въздействие върху човека, да причинят главоболие, напрежение в очите и зрителна умора. LED технологиите, използват изкуствено синьо лъчение, което може да бъде потенциално вредно за ретината в

човешкото око. Поради близостта на ултравиолетовия спектър, дължините на вълните са с по-висока енергия и висок потенциал за промяна на очните тъкани [12]. Светлината се открива от човешкото око, което изпраща информацията, получена от мозъка през зрителните пътища. [4]

В почти всички съвременни светлинни източници наличието на по-голяма интензивност на излъчване в опасния диапазон на синята светлина се характеризира с по-висока цветна температура. [1]



а) LED осветител с  $T_{cp} = 6500 K$



б) LED осветител  $T_{cp} = 2700 K$

Фиг. 4. Спектрални разпределения на LED осветители със студено бяла и топло бяла светлина с различни емисии на опасната синя светлина. [1]

Може да се направи препоръка за най-разпространената в днешно време технология от вида син LED + жълт фосфор, за да се намали опасността от синя светлина на вътрешното осветление в помещения с непрекъснато присъствие на хора, трябва да са LED лампи с корелирана цветна температура  $T_{cp} \leq 4500 K$ . [1, 13]

Синята светлина, излъчвана от LED светлините, може да попречи на циркадния ритъм на човек. Излагането на синя светлина потиска синтеза на мелатонин, което може да наруши процеса на заспиване и качеството на съня.

Развитието и популяризирането на LED технологията до голяма степен задоволява стремежа на хората към визуални ефекти и енергийна ефективност, но съпътстващото голямо количество светлинно излъчване и неговия спектър предизвиква загриженост на хората относно безопасността на светлинната биология. [14]

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените проучвания се правят изводи за въздействието на LED осветлението върху човека по конкретни показатели, като наличието на опасна синя светлина, нивото на изменение на хормоните и др.

Синята светлина е от съществено значение за биологичния ни часовник, но контролът върху нейното въздействие е ключов за доброто здраве и качествения сън.

Понастоящем вредата от излъчването на синя светлина е една от най-важните опасности за хората от светлинното излъчване. [14]

Необходими са по-нататъшни проучвания, за да се разберат по-добре механизмите на фотохимичните увреждания, свързани с излагането на синя светлина, и да се определи дали дългосрочното, ниско ниво на излагане на изкуствена синя светлина е рисков фактор за AMD или други очни заболявания. [5, 15, 16, 17]

Междувременно, за да се предотвратят потенциални опасности за очите от синята светлина, може да се препоръча да се ограничи времето на излагане на синя светлина. [5]

*Благодарности:* Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „На-

*учни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., Проект BG16RFPR002-1.014-0005 Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.*

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tsankov, P., M. Yovchev. Textbook on Lighting and installation technology (in Bulgarian). Vasil Aprilov University Publishing House, Gabrovo, 2024, ISBN: 978-954-683-701-1.
- [2] BDS EN IEC 62471-7:2023 Photobiological safety of lamps and lamp systems - Part 7: Light sources and luminaires primarily emitting visible radiation.
- [3] DIN/TS 5031-100:2021-11 Radiation physics in the optical field and lighting technology - Part 100: Melanopic effect of light on humans mediated through the eye - dimensions, symbols and spectra of the effect.
- [4] Vladimiro Hipólito, João M. P. Coelho, 2023, Blue Light and Eye Damage: A Review on the Impact of Digital Device Emissions, Photonics 2023, 10(5), 560, <https://www.mdpi.com/2304-6732/10/5/560>
- [5] Audrey Cougnard-Gregoire, Bénédicte M. J. Merle, Tariq Aslam, Johanna M. Seddon, Isabelle Aknin, Caroline C. W. Klaver, Gerhard Garhöfer, Alfredo Garcia Layana, Angelo Maria Minnella, Rufino Silva & Cécile Delcourt, 2023, Blue Light Exposure: Ocular Hazards and Prevention—A Narrative Review, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40123-023-00675-3>
- [6] licht.wissen 19 Impact of Light on Human Beings, [https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1409\\_LW19\\_E\\_Impact-of-Light-on-Human-Beings\\_web.pdf](https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1409_LW19_E_Impact-of-Light-on-Human-Beings_web.pdf)
- [7] Masao Ishizawa, Takuya Uchiumi, Miki Takahata, Michiyasu Yamaki, Toshiaki Sato, 2021, Effects of pre-bedtime blue-light exposure on ratio of deep sleep in healthy young men, Sleep Medicine, Volume 84, August 2021, Pages 303-307, <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2021.05.046>
- [8] Gianluca Tosini, Ian Ferguson, Kazuo Tsubota. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology, Mol Vis. 2016

- Jan 24;22:61-72. PMID: 26900325; PMCID: PMC4734149.  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4734149/>
- [9] V. Gyurov and T. Dimitrov, Analysis of the Photobiological Impact of LED Light Sources in the Context of Standardization Requirements for Reduction of Blue Light Emission, 2023 18th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), Varna, Bulgaria, 2023, pp. 1-4, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10202372>
- [10] Peep V. Algvere, John Marshall, Stefan Seregard, 2006, Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard, Acta Ophthalmologica Scandinavica, Volume84, Issue1, February 2006, Pages 4-15 <https://doi.org/10.1111/j.1600-0420.2005.00627.x>
- [11] licht.wissen 17 LEDs: Basics - Applications – Effects, [https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1807\\_lw17\\_E\\_LEDs-Basics-Applications-Effects\\_web.pdf](https://www.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1807_lw17_E_LEDs-Basics-Applications-Effects_web.pdf)
- [12] Sanchez-Ramos, C.; Bonnin-Arias, C.; Blázquez-Sánchez, V.; Aguirre-Vilacoro, V.; Cobo, T.; García-Suarez, O.; Perez-Carrasco, M.J.; Alvarez-Peregrina, C.; Vega, J.A. Retinal Protection from LED-Backlit Screen Lights by Short Wavelength Absorption Filters. Cells 2021, 10, 3248.
- [13] Tsankov, P.T. (2020). Lighting Technologies. In: Pavlovic T. (eds). The Sun and Photovoltaic Technologies. Green Energy and Technology. Springer, Cham, pp 213-270. ISBN 978-3-030-22402-8
- [14] XIAO Zhiyu; LIN Kairong; LIU Xiaoke; XIONG Ke; ZHUANG Zhengfei; QIU Xuejun, 2022, A Review on the Current Situation of Research on Biosafety Hazards of Blue Light., Journal of Laser Biology / Acta Laser Biology Sinica, 2022, Vol 31, Issue 5, p385, ISSN 1007-7146 <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aagd%3A2%3A27401282/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Aagd%3A161333412&crl=c>
- [15] Behar-Cohen F, Martinsons C, Viénot F, Zissis G, Barlier-Salsi A, Cesarini JP, et al. Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? Prog Retin Eye Res. 2011;30(4):239–57.
- [16] Hatori M, Gronfier C, Van Gelder RN, Bernstein PS, Carreras J, Panda S, et al. Global rise of potential health hazards caused by blue light-induced circadian disruption in modern aging societies. NPJ Aging Mech Dis. 2017;3:9.
- [17] Tosini G, Ferguson I, Tsubota K. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. Mol Vis. 2016;22:61–72.