



ОСОБЕНОСТИ И ЗАЩИТА НА ЗРЕНИЕТО ОТ ДИСПЛЕИ И ДРУГИ ТЕХНИЧЕСКИ ИЗТОЧНИЦИ НА СВЕТЛИНА

Петър БРЪНЗАЛОВ

ppb@vtu.bg

доцент д-р, ВТУ "Тодор Каблешков", София, ул. "Гео Милев" 158

БЪЛГАРИЯ

Резюме: Настоящата работа е посветена на особеностите на светлината излъчвана от съвременните източници на светлина като: компютърни монитори, промишлени дисплеи, телевизионни монитори, светодиодни осветителни източници и др., както и на влиянието на светлината от тези източници върху човешкото зрение. Предложени са методи за ефективна защита на зрението, намаляване на психологическото натоварване и умората при продължителна работа с такива източници на светлина.

Ключови думи: защита на човешкото зрение, безопасна работа с компютърни монитори и индустриални дисплеи, безопасна работа с светодиодни източници на светлина

1. ВЪВЕДЕНИЕ.

1.1. Съвременно състояние на проблема.

Свърхразвитието на редица научни, технически и технологични дисциплини е свързано с: (1). Пълна промяна на характера на светлинната обстановка в която съществува и прекарва голяма част от времето си човека, като основно място през повечето време в средата на човека заема светлината от различни видове електрически крушки, луминесцентни лампи, светодиодни осветителни тела и др. [1,2]; (2). Пълна промяна на характера на светлината пряко попадаща в очите на човека от близкото работно поле, като очите на съвременния човек са подложени ежедневно на многочасово въздействие на светлината излъчвана от заобикалящите го компютърни монитори, индустриални дисплеи, екраните на телевизионните приемници, информационните дисплеи и т.н. [3].

Повсеместната и продължителна употреба на тези нови източници на светлина често се съпровождат с характерни неблагоприятни оплаквания и последствия, изразяващи се с отслабване на зрението, затруднено фокусиране, появата на късогледство и

свързаната с това необходимост от използването на очила, замъгляване на зрителните изображения, повишено напрежение на централната нервна система, повишена уморемост и др.

1.2. Формулиране на задачата. Настоящата работа има за цел да определи характерните особености на въздействието на светлината от някои съвременни технически светлинни източници, да определи причините за тяхното неблагоприятно въздействие върху очите и други системи на човека, да формулира удачни методи за намаляването на вредното и нежеланото въздействие на светлината от тези източници върху човека.

2. ОСОБЕНОСТИ НА СВЕТЛИНАТА ОТ РАЗЛИЧНИ ИЗТОЧНИЦИ И ДИСПЛЕИ.

Въздействието на светлината върху очите на човека зависи от интензивността на осветяване, яркостта на наблюдаваните обекти, коефициента на отражение, характера на разсейването на светлината от осветените обекти, разстоянието до наблюдавания обект, спектралния състав на светлината и др. Всеки светлинен източник има своите особености и тези особености определят неговото

благоприятно или неблагоприятно въздействие. За съвременният човек най-голямо значение имат следните случаи:

2.1. Яркост на светлината във видимия диапазон на осветени повърхности. Типични случаи за яркостта на различни обекти, осветени от различни източници на светлина при пълно дифузно разсейване на светлината и за видимия за човешкото око спектрален диапазон $\Delta\lambda=380-680$ [nm], са дадени в таблица 1.

Таблица 1

осветено ст [W/m ²]	коэффициент на отражение R	отразена мощност [W/m ²]	яркост Y [W/(srad.m ²)] [cd/m ²]
*пряка слънчева светлина (максимална стойност)			
634,8	0,3	190,44	30,309 5108,9
*в помещение в ярък слънчев ден			
6,348	0,3	1,9044	0,30309 51,09
*работно място за фина работа			
1,270	0,3	0,3810	0,060638 10,22
*работно място за четене/писане			
0,3174	0,3	0,09522	0,0151547 2,555
*нощ при пълнолуние			
0,003174	0,3	0,0009522	0,0001516 0,0256

Човешкото око вижда нормално и най-комфортно в помещение в ярък слънчев ден и това означава, че нормалната максимално-допустима яркост на осветените обекти за човешкото око при произволно дълго наблюдение, съставлява величината 50 [cd/m²] (0,3 [W/(srad.m²)]), при това при спектрален състав на светлината, съвпадащ със спектъра на слънчевата светлина. Това е максималната стойност на осветеност на наблюдаваните обектите, за която осветеност човешкото око е приспособено за произволно дълго безопасно (неувреждащо) светлинно натоварване.

2.2. Яркост на светлината във видимия диапазон на CRT дисплеи. Типичните стойности на яркостта на дисплеите с електронно-лъчеви тръби (CRT) са дадени в таблица 2.

Таблица 2

яркост [cd/m ²]	Яркост [W/(srad.m ²)]	светл. мощност на екрана [W]
*TV CRT екрани		
900	5,130	3,2216
*PC CRT дисплеи		
600	3,420	1,0739

2.3. Яркост на светлината във видимия диапазон на плазмени дисплеи. Плазмените (Plasma) TV и PC дисплей имат много висока яркост на излъчваната светлина, достигаща до около 1500 [cd/m²].

Таблица 3

яркост [cd/m ²]	яркост [W/(srad.m ²)]	светл. мощност на екрана [W]
*PLASMA TV екрани		
1500	8,5504	5,3697
*PLASMA PC дисплеи: няма		

2.4. Яркост на светлината във видимия диапазон на течнокристални дисплеи (LCD). Течнокристалните (LCD) TV и PC дисплей имат яркост на излъчвана светлина в диапазона 300-550 [cd/m²]. По-ниската им яркост се дължи на използването на пасивно осветление идващо от задната страна на панела, което осветление е от допълнителен лампов или светодиоден (LED) източник на светлина.

Таблица 4

яркост [cd/m ²]	яркост [W/(srad.m ²)]	светл. мощност на екрана [W]
*TV LCD екрани		
550	3,1352	1,9689
*PC LCD дисплеи		
300	1,7101	0,5370

2.5. Яркост на светлината във видимия диапазон на OLED дисплеи. Полимерните (OLED) TV и PC дисплей се характеризират с уникалните свойства, че могат да огъват, евтени са и многофункционални. Тези дисплеи вече имат параметри близки до течнокристалните дисплеи и яркост от 300 [cd/m²].

Таблица 5

яркост [cd/m ²]	яркост [W/(srad.m ²)]	светл. мощност на екрана [W]
*OLED дисплеи		
300	1,7101	0,5370

2.6. Яркост на светлината във видимия диапазон на светодиодни дисплеи (пана). Този вид дисплеи са изградени от голям брой светодиоди (LED) разпределени по дадена повърхност и така се изграждат пикселите на представяното изображение. Светодиодните дисплеи са толкова ярки, че запазват висока видимост дори при дневно слънчево осветление.

Таблица 6

яркост [cd/m ²]	яркост [W/(srad.m ²)]	светл. мощност на екрана [W]
*LED екран (1 [m ²], 10000 LED(3 цвята) x0.001 [W])		
2981,47	16,9952	10

2.7. Спектър на слънчевата светлина. Естествените и нормални режими на работа на човешкото око са тези свързани с възприемането на слънчевата светлина. От цялата енергия която носи слънчевата светлина, само 46 [%] се намира в видимия за човешкото око спектрален диапазон [4]. Основна особеност на слънчевата светлина е нейният непрекъснат спектър в целият диапазон на виждане на човешкото око [5] и затова тази светлина се възприема като "мека". Характерният спектър на слънчевата светлина определя и вида на светлината за която човешкото око е най-приспособено и при която се чувства най-комфортно.

3. ГРАНИЧНИ СТОЙНОСТИ НА НАТОВАРВАНЕ НА ОКОТО.

3.1. Спектър на възприеманата светлина от човешкото око. Човешкото око регистрира светлинните вълни с дължина на вълната в диапазона 380-680 [nm]. При дневна светлина (дневно виждане), човешкото око е най-чувствително в диапазона на жълто-зелената светлина (550-570 [nm]) и има максимум при 555 [nm]. При нощна светлина (нощно виждане), човешкото око е най-чувствително за светлина с дължина на вълната 510 [nm].

3.2. Спектър на прозрачност на човешкото око. Независимо, че човешкото око е

способно да регистрира светлина само в диапазона 380-680 [nm], тъканите на окото са прозрачни за светлината в по-широк диапазон, който обхваща интервала 380-1400 [nm]. Тази особеност на човешкото око показва, че част от невидимата за нас светлина, може да преминава през тъканите на окото и да формира изображение върху ретината. Засега не е известна ролята на тази невидима светлина върху зрението и светлинното претоварване на окото.

3.3. Ъгъл на зрение на окото. Ъгълът на зрение представлява ъгълът между светлинните лъчи от най-отдалечените точки на обекта, които лъчи попадат в човешкото око [6]. В сравнителния модел по въздействието на светлината от дисплеи върху човешкото око, който се разглежда в тази работа се приема, че имаме наблюдение на РС дисплей с площ 0,1 [m²], който е разположен на разстояние 0,5 [m] от наблюдателя и следователно на същото разстояние от очите на човека. В този случай, РС дисплея се вижда от човешкото око под зрителен ъгъл от около 39,27 [°]=0,6854 [rad].

3.4. Размер на фокалното петно върху ретината на окото. Човешкото око по същество представлява фокусираща оптична система, състояща се от една леща с променливо фокусно разстояние. Нормалното зрително възприятие изисква да имаме фокусирано изображение върху ретината на окото. Разстоянието между оптичния център на лещата (лещовидното тяло) и ретината за нормално око е около 17 [mm]=0,017 [m]. Размерът на изображението върху ретината може да се построи чрез светлинните лъчи изхождащи от най-отдалечените точки на възприемания РС дисплей. При РС дисплей с площ 0,1 [m²] разположен на разстояние 0,5 [m] от наблюдателя (човешкото око), върху ретината на окото се формира изображение с площ от около 1,156 [cm²].

3.5. Гранична стойност на допустимото натоварване на ретината на окото (I_{RET,MAX}). Ретината на окото е най-важният, най-чувствителният и най-уязвимият елемент от зрението. Изключително важно значение има въпросът, коя степен на светлинно натоварване на ретината на окото можем да приемем за допустима. По този въпрос литературните източници изобилстват с противоречива информация и недобре обосновани критерии [7], свързани най-често

с посочването на някаква гранична стойност на интензивността на светлинното излъчване падащо върху роговицата на окото. Такъв критерий е много опасен, понеже при една и съща интензивност на излъчването върху роговицата, интензивността на светлината върху ретината може да се различава на много порядъци като величина. В това разглеждане се изхожда от една страна от виждането, че основно значение за въздействието на светлината върху човешкото око има интензивността на светлината в изображението формиращо се върху ретината на окото (I_{RET} [W/cm^2]). Това е най-важният параметър и фактор, понеже определя натоварването на най-важният и най-чувствителният елемент на зрението. От друга страна в това изследване се изхожда от виждането, че граничната стойност на допустимото натоварване на ретината на окото, може да се определи само от такъв режим на работа на окото, при който окото може безопасно да се натоварва произволно дълго време, без това да има съществени последици за него и за зрението на човека. Всеки друг критерий би бил опасен и необоснован. Произволно дълго време окото може да се натоварва при осветеност, съответстваща на осветеността на обектите в помещение в ярък слънчев ден. Това е и максимално-допустимата стойност на натоварване на окото, за която можем да твърдим, че е безопасна. Не може да се твърди, че окото може да се натоварва произволно дълго време от светлината отразена от пряко огрети от интензивна слънчева светлина обекти. При продължително натоварване с такава светлина се препоръчва използването на слънчеви очила и следователно, такава осветеност не може да се приеме за нормална за окото. В това изследване, за определянето на максималната допустима гранична стойност за едно произволно дълго във времето натоварване на окото, се приема, че имаме наблюдение на осветена повърхност с площ $S_{MON}=0,1$ [m^2], разположена на разстояние $L=0,5$ [m] от наблюдателя (очите на човека) и която площ се намира в помещение в ярък слънчев ден. При тези условия и пълно дифузно отражение, яркостта на наблюдавания обект съставлява величина около $Y=50$ [cd/m^2]. При нормалния за помещение диаметър на зеницата $D_{ZEN}=4$

[mm], върху ретината ще се формира интензивност от около:

$$I_{RET,MAX}=0,08867 \cdot 10^{-5} \approx 0,1 \cdot 10^{-5} \quad [W/cm^2]. \quad (1)$$

Така определяме стойността:

МАСИМАЛНА ДОПУСТИМА ИНТЕНЗИВНОСТ ВЪРХУ РЕТИНАТА:

$$I_{RET,MAX}=0,1 \cdot 10^{-5} \quad [W/cm^2]. \quad (2)$$

Така определената стойност ни дава възможността да направим следните важни изводи: (А). интензивността $0,1 \cdot 10^{-5}$ [W/cm^2] се явява пределно-допустимата стойност за произволно дълго във времето светлинно натоварване на ретината на окото; (В). интензивността $0,1 \cdot 10^{-5}$ [W/cm^2] се достига в указаните по-горе условия, ако наблюдаваме от разстояние $L=0,5$ [m], осветен обект с площ $S_{MON}=0,1$ [m^2] и яркост около $Y=50$ [cd/m^2]; (С). всяко светлинно натоварване с интензивност на светлината върху ретината на окото над стойността $0,1 \cdot 10^{-5}$ [W/cm^2] натоварва окото и за да е безопасна, може да бъде само темпорална (ограничена във времето) или трябва да се използват защитни средства.

4. ОСНОВНИ МЕХАНИЗМИ НА УВРЕЖДАНЕ НА ОКОТО.

4.1. Интензивност на светлината върху ретината. Интензивността на светлината върху ретината е най-главният фактор определящ въздействието на светлината върху зрението и човешкото око. Ретината често се разглежда като биологична система, която е продължение на централната нервна система и мозъка на човека, дори се разглежда и като част от него. Това е така, понеже ретината е пряко и директно свързана с главния мозък на човека чрез зрителния нерв. Така, всяко отклонение от нормалните стойности на светлинния поток падащ върху ретината, пряко въздейства и на централната нервна система и следователно, това въздействие трябва да се оценява и овладява. Трябва да се отбележи, че основният фактор определящ интензивността на светлината върху ретината е яркостта на наблюдаваните обекти и разстоянието от което се наблюдават тези обекти. Съвременната трудова и лична дейтелност за много хора се характеризира с това, че най-продължителното светлинно облъчване на очите се дължи и получава от

дългото време прекарвано пред компютърните монитори (PC дисплеи). Степента на натоварване на очите при работа с PC дисплеи, при различна яркост на светлинното им излъчване, са определени в таблица 7. Стойностите се отнасят за следните условия на наблюдение: площ на монитора $S_{MON}=0,1 [m^2]$, разстояние до наблюдателя $L=0,5 [m]$, диаметър на зеницата $D_{ZEN}=4 [mm]$.

Таблица 7

яркост [cd/m ²]	интензивност в/у ретината [W/cm ²]	пъти спрямо max. допустимото
50	0,089.10 ⁻⁵	1
300	0,532.10 ⁻⁵	6
600	1,064.10 ⁻⁵	12
900	1,596.10 ⁻⁵	18
1200	2,128.10 ⁻⁵	24
1500	2,660.10 ⁻⁵	30

КОМЕНТАРИИ:

-съвременните PC монитори обикновено имат яркост до около 600 [cd/m²], което води до претоварване на ретината на очите 12 пъти над допустимото за произволно дълго светлинно натоварване. По големите стойности на яркостта са характерни за съвременните TV плазмени и TV CRT дисплеи.

-светлинното облъчване на очите и на ретината на очите, при работа с PC монитори не може да се счита за нормално за окото, не може да се счита за въздействие което окото може да компенсира или към което да може да се приспособи.

-най-опасни за очите са плазмените и CRT дисплеи, поради своята висока яркост.

-най-толерантни към окото са течнокристалните PC дисплеи и такива трябва да се предпочитат при по-продължителна работа.

-всеки PC дисплей с яркост над 600 [cd/m²] със сигурност натоварва сериозно окото, понеже се достига светлинна мощност от 10⁻⁵ [W] и с такива дисплеи трябва да се работи ограничени време и с защитни средства.

ПОСЛЕДСТВИЯ: претоварване на ретината на очите; увреждане на ретината; отслабване на централното зрение; трудно фокусиране; появата на късогледство; повишена уморяемост и нервно напрежение.

4.2. Възникване на "горещи" точки в

изображението. Изображенията от съвременните PC монитори се характеризират с наличието на много "горещи" точки, т.е. локални области с много висока яркост, които се предават в изображението върху ретината на окото. Тези "горещи" точки се дължат както на значително по-високата яркост на дисплеите, така и на тяхната по-висока монохроматичност на цветовете, в сравнение със светлината от обекти осветени със слънчева светлина. По-високо монохроматичните източници създават по-малки по площ фокални петна. Това води до претоварване и/или "изгаряне" на ретината в "горещите" точки на изображението.

4.3. Изтощаване на фотохимичните реакции в ретината. Друго неблагоприятно въздействие на светлината от съвременните дисплеи е изтощаването на фотохимичните реакции в светлочувствителните клетки на ретината на окото. Окото възприема цветовете в изображенията чрез три вида светлочувствителни клетки, като по-високата яркост на светлината дисплеите, води до свръхстимулация, а от там до претоварването на фотобиохимичните процеси и последващото тяхно изтощаване. Последствията са общо отслабване на зрението и особено на централното зрение, появата на "мъгла" в зрителната картина.

5. ОСНОВНИ МЕТОДИ ЗА ЗАЩИТА.

Съществуващите методи и средства за защитата на зрението и очите от светлинни излъчвания с различен произход, са свързани главно с професионалната защита на лица работещи с лазери, заваръчни апарати, източници на UV излъчване и др. Тези професионални средства и методи са скъпи и неприложими за широка употреба в ежедневието. Така, от изключителна важност е да се препоръчат общодостъпни и евтини средства, за надеждна защита на зрението от светлината на съвременните PC и други дисплеи. В това отношение могат да се посочат следните защитни средства и методи:

5.1. Очила с потъмнени стъкла. Съвременните PC дисплеи се характеризират с висока яркост и висок контраст на изображението, които са извън нормалните параметри на работа на човешкото око. Следователно, основна цел на едно защитно средство е да се ограничи светлинния поток попадащ в очите и така да нормализира в някаква степен интензивността на светлината

в изображението върху ретината. Такова широкодостъпно защитно средство се явяват слънчевите очила и очилата с потъмнени стъкла. Предимствата на тези очила се заключават в тяхната способност да защитават цялостно всички тъкани на окото, от роговицата, до ретината, а също така и в това, че са налични в много широк диапазон на прозрачност - от много тъмни, до много светли. Последното гарантира, че винаги ще можем да отслабим светлинния поток, до степен, че да е комфортен за очите. Очилата с потъмнени стъкла са задължителното общодостъпно средство при продължителна работа с РС дисплеи. Те позволяват също така да се погасяват ефективно "горещите" точки в изображението, да се намали напрежението в очите, в нервната система и др.

5.2. Очила с диоптър. Интерес представлява въпросът, дали очилата с диоптър, но с прозрачни стъкла, понижават или повишават светлинното натоварване на очите при работа с дисплеи? Трябва да се отбележи, че човешкото око е много качествена оптична система с една леща и има много ниски сферични и хроматични аберации, така че, може да се оприличи на съвременните двойни ахроматни лещи. Характерна особеност на качествените оптични системи е тяхната способност да фокусират светлинното излъчване в много малки по размер фокални петна [8]. От друга страна, очилата с диоптър са проста и по-нискокачествена оптична система и вследствие на това има значително по-лоши фокусиращи свойства. Това означава, че очилата с диоптър ще предизвикат разфокусиране на по-интензивните "горещи" точки в изображението върху ретината. Така, несъвършенствата на по-простата оптична система (очилата с диоптър), ще увеличи площта на фокалните петна на интензивните точки от изображението. Ако сравним свойствата на двойните ахроматни лещи и на обикновените лещи, за бяла светлина от видимия диапазон ($\Delta\lambda=380-680$ [nm]) [8], увеличението на площта на фокалното петно при простите лещи може да достигне 74 пъти. Следователно, очилата с диоптър могат да бъдат съществена защита на очите при работа със съвременните РС и други дисплеи.

5.3. Очила с диоптър и потъмнени стъкла. Тези очила съчетават предимствата на очилата с потъмнени стъкла и на очилата с

диоптър и следователно се явяват най-добрият вариант за работа с РС дисплеи, разбира се ако зрението на човека налага носенето на очила с диоптър.

5.4. Използването на течнокристални дисплеи (LCD). Важен метод за защита на зрението е правилният избор на вида на дисплея с който се налага да работим продължително време. В това отношение най-добрият избор са течнокристалните дисплеи. Те са най-толерантните към зрението и очите дисплеи и винаги трябва да се предпочитат, особено когато се налага продължителна работа пред компютъра. Тези РС дисплеи имат яркост около $300-350$ [cd/m^2] и са единствените дисплеи с пасивно осветление, което ги прави по-толерантни за очите.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Основните резултати на настоящата работа могат да се обобщят в следното:

*Определяно е максималното допустимо ниво на интензивност на светлината върху ретината на окото ($I_{\text{RET,MAX}}=0,1 \cdot 10^{-5}$ [W/cm^2]), което ниво е допустимо за произволно дълго във времето натоварване на окото.

*Оценена е степента на превишаване на това допустимо ниво при различните видове РС дисплеи.

*Определени са основните фактори от които се определя светлинното облъчване на тъканите на окото - яркостта на наблюдавания обект и разстоянието до него.

*Предложени са достъпни и евтини методи за намаляването на светлинното натоварване на окото и е изказана тезата, че дори прозрачни очила с диоптър могат да намалят светлинното натоварване в отделни точки от изображението върху ретината до 74 пъти.

*Формулирана е тезата, че всички натоварвания на окото над интензивности на светлината от $0,1 \cdot 10^{-5}$ [W/cm^2] за ретината на окото, могат да бъдат само темпорални (ограничени във времето) и трябва да се извършват със защитни средства.

ЛИТЕРАТУРА.

- [1]. Брилл Т., Свет и въздействие на произведения искусства, изд."Мир", 1983.
- [2]. McClear M., Solid-State Lighting on the Fast Track, Photonics Spectra, No.4, 2008, pp. 54-55.
- [3]. Sony, Каталог на продуктите есен/зима 2007-2008.

- [4]. Матвеев Л., Курс общей метеорологии, Москва, изд."Просвещение", 1976.
изд."Гидрометеиздат", Ленинград 1976.
- [5]. Robertson N., Sunlight, Dyes and Inexpensive Semiconductors, Photonics Spectra, No.4, 2008, pp.48-51.
- [6]. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Физика, Москва, изд."Просвещение", 1976.
- [7]. Довгий Я., Оптические квантовые генераторы, изд."Вища школа", Киев, 1977.
- [8]. TorLabs Inc., Tools of the Trade (Catalog), v.17, 2005.

PECULIARITIES AND PROTECTION OF HUMAN VISION FROM DISPLAYS AND OTHERS LIGHT SOURCES

Peter Branzalov

VTU "Todor Kableschkov", Sofia, 158 Geo Milev str.,
BULGARIA

***Abstract:** In the present work, the influences on the human vision of the light emitted from the contemporary light sources like: computer displays, industrial displays, TV screens, LED light sources, etc., are studied. They are proposed effective and simple methods for the protection of the human vision, for decreases of the psychic stress and tiredness, when they are have a long time of working with such kind of light sources.*

***Key words:** protection of human vision, computer and industrial displays, LED light sources*