

МЕТРОЛОГИЯ НА ЗРЕНИЕТО ЗА ЛЕТЦИ

Васил Кавърджиков¹, Десислава Пашкулева¹, Иван Николов²

¹Институт по механика – Българска академия на науките

²Физически факултет – Софийски университет „Св. Кл. Охридски”
e-mail: kavarj@imbm.bas.bg; dessip@imbm.bas.bg; ivandn2@phys.uni-sofia.bg

Ключови думи: метрологични характеристики на очите, фотометрия

Резюме: Всички пилоти преминават задължителен контрол на очите от офталмолози преди старта на полетите. Окоето преобразува светлинната енергия в зрителни усещания, представляващи сложен физико-биологичен процес. Хората получават 86-90% от информацията за биосферата и Космоса с помощта на цветното и обемно зрение. Метрологичните характеристики на очите при критични светлинни условия и физични натоварвания за летците и пилотите на скоростни машини се измерват чрез комплексни офталмологични методи и уреди.

В работата са представени формули, числени данни и таблици за метрологичните характеристики на очите и зрението. Също така са представени офталмологичните методи за контрол на зрението. Докладът е илюстриран с фигури на оптико-електро-механични дисплеи, използвани от летците.

VISION METROLOGY FOR PILOTS

Vasil Kavardzhikov¹, Dessislava Pashkouleva¹, Ivan Nikolov²

¹Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Mechanics

²Sofia University, Faculty of Physics, Dept. of Optics and Spectroscopy
e-mail: kavarj@imbm.bas.bg; dessip@imbm.bas.bg; ivandn2@phys.uni-sofia.bg

Keywords: metrological characteristics of eyes, photometry

Abstract: All pilots should be subjected to mandatory eye checks by an ophthalmologist before flying. The eye converts light into visual sensations in a complex physical and biological process. People get 86-90% of the information from the biosphere and outer space using their perception of colour and volume. The metrological characteristics of eyes in critical lighting conditions and physical loads for pilots and pilots of speed machines are measured by complex ophthalmologic methods and devices.

The work presents formulas, numerical data and tables with metrological characteristics of eyes and vision. Ophthalmologic methods for vision control are also presented. The report is illustrated with figures on opto-electro-mechanical displays used by pilots.

Въведение

Зрението е изключително важна сетивна способност на човека. Човешкият зрителен апарат се състои от две очи, свързани чрез оптичните нервни пътища едновременно с двете полукълба на малкия мозък [1]. Зрението е мозъка изнесен отпред, с помощта на който хората получават 86-90% от цялата информация за биосферата и космическото пространство.

Зрението остарява и бързо се износва, особено при постоянната работа с компютри и дисплейни системи. След 50 години много хора развиват опасните болести като глаукома или макулна дегенерация, но нямат болестни оплаквания и незабелязано губят зрението си. Влошаването на зрението води до намаляване на работоспособността. Задачата на всеки и особено на очните лекари и оптици е окоето да се запази здраво и способно да функционира. Чрез носенето на очила по лекарско предписание и при страдащите от зрителни недостатъци може да се постигне добро зрение. Обикновено свързваме очите си с очилата, които носим, но не поддържаме ежедневна хигиена, профилактика и защита на зрението си. Наложителни са

ежегодни прегледи при лекари офталмолози, тъй като от глаукомата се губи периферното зрение, а макулната дегенерация ликвидира централната зрителна острота на пациентите.

За летците качествено зрение има решаваща роля, тъй като те получават 10^{12} бита данни във вид на цветни обемни картини. Строг контрол и измерване на зрението се изисква за всички летци. Нито един пилот с хронични заболявания или намалено зрение не може да премине тестовете, на които се подлага летателния състав. За летците характеристиките на зрението трябва да бъдат значително по-високи в сравнение с измерените данни за хората от другите професии.

Целта на работата е да се систематизира информацията за метрологичните характеристики на очите и зрението и за офталмо-метричните методи за техния контрол. Тази информация е предпоставка за повишаване на качеството на работата на летците и превенция за възможните зрителни увреждания.

Основни метрологични характеристики на очите

Човешкото око може да различи отделните детайли на предметите на основата на видими разлики в яркостта или цвета на тези структури. Едни от най-важните характеристики на окото са: разделителна способност, зрителна адаптация на светло и на тъмно, прагова яркост, контрастна чувствителност, стереоскопична острота. Техните дефиниции са дадени в [1, 2].

От гледна точка на метрологията за летците много важна характеристика на окото е неговата разделителна способност (РС). За светло адаптирано око с диаметър на входната зеница $D_0 = 2$ mm дифракционната ъглова РС се изчислява по физическия критерия на Рейли от [3]:

$$(1) \quad \psi_0 = \frac{120''}{D_0},$$

като дифракционната РС е равна на $\psi_0 = 60''$. Физиологичната РС е

$$(2) \quad \psi_0 = \frac{\Delta y'}{f_0'},$$

където $\Delta y' = 0,005$ mm е минималното разстояние между разделените образи на две светещи точки (по Рейли) върху фоторецепторите на централната ямка, f_0' – задното фокусно разстояние на окото, при което физиологичната РС е равна на една ъглова минута – $\psi_0 = 1'$.

Физиологически човешкото око може да раздели образите на две светли точки, ако между тях има едно нераздразнено конусче [3]. *Линейната РС* в равнината на измервания обект се определя от

$$(3) \quad \Delta y = L_0 \psi_0,$$

като разстоянието на най-ясно виждане е стандартизирано за $L_0 = 250$ mm, при което $\Delta y = 0,1$ mm за виждане наблизо. При работа с линейни скали и микрометрични уреди нониусната чувствителност на окото е в пределите на 0,05 – 0,1 mm. За виждане на далеч е *стереоскопичната (паралаксна) РС* на окото се изчислява от израза

$$(4) \quad \varphi_0 = \frac{b \Delta R}{R^2},$$

където b е базовото разстояние между очите, R – дистанцията до отдалечения обект, ΔR – стереоскопичният паралакс. За радиуса на стереоскопичното виждане $R_s = 1320$ m паралаксната чувствителност на окото е $\varphi_0 = 10''$ като паралаксната острота достига 5 – 10'' при работа със стерео-далекомер (4).

За летците друга важна характеристика на окото е *скоростта на зрителното възприемане*. Времето за възникване на зрително усещане t_v зависи от *яркостта* на светлинния източник и от дължината на вълната λ , като то се определя от 0,1 s до 0,025 s. Това време зависи и от *контраста* на обекта и фона. *Скоростта на зрителното възприемане* се

определя чрез времето като $S_v = 1/t_v$. Зрителното усещане не възниква веднага при попадане на светлина върху ретината и не изчезва веднага при прекратяване на светлинното дразнение, т.е. *окоото има инерция*. За различаване на конфигурацията на наблюдаваните обекти е нужно време t_v , в течение на което се извършват фотохимичните реакции в ретината, нервите и малкия мозък на главата. Бързината на зрителните реакции се ограничава от скоростта за получаване на последователните образи. *Устойчивостта на ясно виждане* се характеризира с отношението на времето за ясно виждане към времето на неясно виждане при продължително наблюдение на дребни обекти (напр. отчетни скали и монитори). При *яркост* на фона около 50 lx се получава оптимална стойност на устойчивото виждане за около 3 min: Това е важно за точните визуални измервания, ограничавани от честотно-контрастната характеристика на окоото.

Основните метрологични характеристики на зрението са систематизирани в Таблица 1. Особеностите на визуалните наблюдения от космическите кораби и аерокосмическите методи са разгледани в [4] и [5]. Задължителните изисквания към летците са: а) да бъдат със зрителна острота 1,2 – 1,3 (25% над приетата норма) без корекции за всяко око и без смущения в цветното и обемно зрение; да притежават скорост на зрителни реакции около 0,025 s (4 пъти по-високо от стандартизираните показатели за водачите на автомобили).

Таблица 1. Основни метрологични характеристики на окоото и зрението

Измервани зрителни характеристики	Стойност (от)	Стойност (до)
Фокусно разстояние (ФР) на окоото (без акомодация)	$f = -17,055 \text{ mm}$ (предно ФР)	$f'_0 = 22,785 \text{ mm}$ (задно ФР)
Диаметър на зеницата	$D_0 = 2,0 \text{ mm}$ (за дневно зрение)	$D_0 = 8,0 \text{ mm}$ (за сумрачно зрение)
Относителен отвор	$D_0 / f'_0 = 1:20$	$D_0 / f'_0 = 1:2,8$
Разделителна способност (РС)		при:
- дифракционна РС	60"	$D_0 = 2 \text{ mm}$
- физиологична РС	1'	$f'_0 = 22,8 \text{ mm}$
- линейна РС	0,1 mm	$l_0 = 250 \text{ mm}$
- стереоскопична РС	10"	$R_S = 1320 \text{ m}$
Оптическа сила (в диоптри, dpt)	58,64 dpt (без акомодация)	70,57 dpt (при максимална акомодация)
Радиуси на очната леща	$R_1 = 10 \text{ mm}$ (в покой)	$R_2 = -6 \text{ mm}$ (без акомодация)
Кривина на роговицата	$R_1 = 7,7 \text{ mm}$ (за въздуха)	$R_2 = 6,8 \text{ mm}$ (в слъза)
Показатели на пречупване	$n_c = 1,376$ (за роговицата)	$n_0 = 1,386$ (за лещата)
Разстояние между зениците на очите	$b_e = 58 - 72 \text{ mm}$	$b = 65 \text{ mm}$ (средно статистическо разстояние)
Спектрална чувствителност	$\lambda_{max} = 555 \text{ nm}$ (за дневно зрение)	$\lambda'_{max} = 505 \text{ nm}$ (при сумрачно зрение)
Видим диапазон	$\lambda_1 = 380 \text{ nm}$	$\lambda_2 = 780 \text{ nm}$
Динамичен диапазон	$1 - 10^5 \text{ cd/m}^2$ (за светло адаптирано око)	$1 - 10^{-7} \text{ cd/m}^2$ (за тъмно адаптирано око)
Скорост на зрителното възприемане	$S_v = 1 / t_v$; критична честота 16 – 25 Hz	$t_v = 0,1 - 0,05 \text{ s}$ (време за устойчиво виждане)
Информационен обем на цветното зрение	10^{12} bits (при работа с две очи)	86 – 90 % (от цялата информация)
Контрастна (прагова) чувствителност	$K_t = 0,002$	2 – 5 % (праг на контраста)
Зрително поле (моно и бинокулярно)	$2\omega_h = 160^\circ$ (хоризонтално), $2\omega_s = 180 - 200^\circ$ (с две очи)	$2\omega_v = 130^\circ$ (вертикално)
Дефекти на зрението		
- късогледство	-0,25 dpt	-20 dpt
- далекогледо	+0,50 dpt	+10 dpt

Офталмо-метрични методи за метрология на очите

Биомедицинската метрология на зрението се разделя на няколко направления, които са систематизирани в Таблица 2.

Метрологичните характеристики на очите за летци, при различни светлинни условия и физични натоварвания, се определят чрез адаптометрия, честотно-контрастна офталмометрия, фузометрия, талболтометрия и други медицински техники. Особено важна е фузиметрията, която определя сливателната способност на мозъка при работа с две очи (когато летецът е надолу с главата или е под голямо натоварване не трябва да се появява раздвояване на

образите на командното табло). *РС*, която както беше споменато по-горе е важна за метрологията на летците, се измерва с методите на визометрията: за всяко око поотделно, при гледане надалеко и наблизо. Допълнително се измерва оптичната предавателна функция или честотно-контрастната характеристика в бяла светлина и монохромно с филтри (зелен, червен и син). За двете очи едновременно се измерва *обемната РС* с методите на стереоскопията, след което стереометрично се изследва цветното зрение и с помощта на оптофизици се проверява разпознаването на основните цветове от летците. При работа с оптични уреди се измерва *дифракционната РС* съвместно с окото, монокулярно и бинокулярно. *Линейната РС* се изследва чрез четене на дребен текст, при работа с монитор или измерване на обекти със сложна микроструктура, при което се използват очила и измервателни устройства (микрометри, нониуси и др.).

Таблица 2. Офталмо-метрични методи за метрология на очите

Вид измерване	Измерване	Стандартни единици	Точност
Офталмометрия	Пълен преглед на очите	D	$\pm 0,1 D$
Визометрия	Зрителната острота	дневно виждане	0,1 – 1,2
Гониометрия	Централното и периферно зрително поле	0 – 360°	$\pm 0,5^\circ$
Рефрактометрия	Оптичната сила	20 – 100 D	$\pm 0,1 D$
Кератометрия	Параметрите на роговицата	0,5 – 50 D	$\pm 0,1 D$
Стереометрия	Стереоскопична разделителна способност, обемно цветно зрение	50" – 5"	$\pm 1"$
Фузометрия	Устойчивост на зрението	0,1 – 5 min	$\pm 0,05 min$
Тонотометрия	Вътрешно очно налягане	10 – 50 torr	$\pm 0,5 torr$
Адаптометрия	Адаптация на очите	1 – 30 min	$\pm 1 min$
Талботометрия	Скорост на зрителното възприятие	10 – 100 Hz	$\pm 1 Hz$
Диоптометрия	Оптичната сила на офталмологичните лещи	-50 D – +50 D	$\pm 0,1 D$

Очите на летците са "обучени" и измерванията на зрението се изпълняват в "динамични условия" на различни тренажори. В България летец с очила не се допуска, т.к. той е непригоден. Обучението на летците е едно от най-скъпите образования за държавата и тя не може да си позволи заради физиологични промени във възрастта да се лишава от подготвените кадри с опит. Например в Япония, монтират коригираща оптика в шлемовите-дисплеи на летците. На фиг.1. и фиг.2 са показани шлемови-дисплеи, които представляват прецизни оптико-електро-механични (ОЕМ) системи за разширяване на зрителните възможности на пилотите.



Фиг. 1. ОЕМ система повишаваща точността на измерванията и насочването на летеца-бомбардировач



Фиг. 2. Прецизна ОЕМ система разширяваща зрителните възможности при измерване и прицелване на летеца-изстребител

Видеотерминалите и дисплеите се използват като масови средства за приемане и предаване на информация при летците. При работа с такива средства най-натоварена е зрителната система. Пилотите са подложени на по-високо напрежение за постигане на ясни образи поради влошения яркостен контраст в зрителното поле и появяването на нестабилност на очната акомодация. Зрението представлява адаптивна и динамична система, която постоянно сканира широки зрителни полета с променливо осветление. Работоспособността на летците зависи и от ефективната защита на очите от вредни светлинни. Освен острите и хронични слънчеви увреждания на ретината, в медицинската практика се регистрира голям брой увреждания на зрението от индустриални и транспортни светлинни източници. Заслепяването не винаги се предизвиква от силна светлина. И при слабо осветление могат да

се появяват отблясъци вследствие на отражението от плоски повърхнини. Отразяването на светлината от снежни площи и от водни повърхности може да заслепи очите на летците до непоносимост. Шлемовите-дисплеи на летците трябва да филтрират лъчеви въздействия: синята светлина с УВ-А и УВ-В, заслепяващите слънчеви лъчи, ярките лазерни снопове, силните ИЧ лъчения и др. Някои приложения на оптичните полимери в бинокулярни дисплеи, предназначени за летци и космонавти, са дадени в [6].

Заклучение

Всички пилоти преминават задължителен контрол на очите от офталмолози преди старта на полетите. Окоето преобразува светлинната енергия в зрителни усещания, представляващи сложен физико-биологичен процес. Хората получават 86-90% от информацията за биосферата и Космоса с помощта на цветното и обемно зрение. Метрологичните характеристики на очите при критични светлинни условия и физични натоварвания за летците и пилотите на скоростни машини се измерват чрез комплексни офталмологични методи и уреди.

Литература:

1. M a r r, D. Vision. W. H. Freeman&Co. 1982
2. P a s h k o u l e v a, D., V. K a v a r d z h i k o v, I. N i k o l o v. Metrological characteristics of the eyes by light measurements. Proc. of the Science and Education 2014, Kardzhali, Bulgaria, pp. 146-150, 2014.
3. S m i t h, W. Modern Optical Engineering. McGraw-Hill. 2000
4. M a r d i r o s s i a n, G. Natural ecocatastrophes and aerospace techniques and instrumentations for their study. Prof. Marin Drinov Acad. Publ. House. 2000 (in Bulgarian)
5. M a r d i r o s s i a n, G. Aerospace methods in ecology and environment studying. Prof. Marin Drinov Acad. Publ. House. 2003 (in Bulgarian)
6. N i k o l o v, I.D., N. S u l t a n o v a, S. K a s a r o v a. Some aerospace applications of optical polymers. Aerospace Research in Bulgaria, 26, 2014