

ПРИЛОЖЕНИЕ НА АЙТРЕКИНГА ЗА ОЦЕНКА НА ЧОВЕШКИЯ ФАКТОР ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА БЕЗПИЛОТНИ ЛЕТАТЕЛНИ СИСТЕМИ

Зоя Хубенова, Константин Методиев, Светла Димитрова

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: zhubenova@space.bas.bg, komet@space.bas.bg, svetla_stil@abv.bg*

Ключови думи: човек-оператор, окулография, безпилотни летателни системи, обучение

Резюме: Дистанционно управляемите летателни системи се използват все по-често в редица военни и граждански приложения. Ролята на човека-оператор, като част от тези системи, се различава от тази на пилота в пилотиран самолет. Тази нова роля създава необходимост от промяна на изискванията към подбора и подготовката на нов клас „пилоти“, които работят в командни пунктове на земята. В статията се разглеждат възможностите, които предлага окулографията (Eye Tracking) за изследване на разпределението на зрителното внимание на оператори на БЛА в процеса на обучение на полетен тренажор, включващо излитане и кацане.

APPLICATION OF EYE TRACKING TO HUMAN FACTOR ASSESSMENT DURING OPERATION OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS

Zoya Hubenova, Konstantin Metodiev, Svetla Dimitrova

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: zhubenova@space.bas.bg, komet@space.bas.bg, svetla_stil@abv.bg*

Keywords: Man – Operator, Eye Tracking, Unmanned Aerial Systems, Teaching

Abstract: Remotely controlled aerial systems are increasingly used in many military and civilian applications. Role of the human operator as part of these systems differs from that of the pilot in a piloted aircraft. This new role creates a need to alter the requirements for selection and training met by a new class of pilots operating at ground control stations. This article examines possibilities offered by the eye tracking technology to investigate distribution of UAV operators' visual attention during the training process including take-off and landing at a flight simulator.

Въведение

В настояще време в повечето страни в света се увеличава използването на разнообразни безпилотни летателни апарати (БЛА) поради относително ниската себестойност, многофункционалност и безопасност. Разнообразни са сферите на приложението им: мониторинг при бедствия и аварии, ликвидиране на последствията при извънредни ситуации наблюдение за обекти и нефтопроводи, патрулиране в горски масиви и др. Масовото използване на БЛА доказва високата им ефективност в най-различни условия, променяйки по такъв начин фундаменталните основи на провеждането на наблюдения на Земята от въздуха.

Независимо, че в масовото си приложение дистанционно управляемите летателни апарати (ДУЛА) по същество са малки по размери, то те си остават въздухоплавателното средство. Основната задача на нормативните документи в авиацията са свързани с осигуряването и поддържането на безопасността. Приложено към ДУЛА това означава осигуряване на безопасност за всички във въздушното пространство, както за хората на земята, така и за инфраструктурата. Необходимо е да се знаят и оценяват опасностите и риска за всеки конкретен БЛА, което налага тяхната регистрация и сертификация. Така на преден план възниква въпросът, свързан с подготовката и квалификацията на специалисти за тяхното

управление и експлоатация, което води до необходимостта за създаване на центрове и школи за тяхната подготовка. Нужни са специална апаратура, отделни авиобази за провеждане на обучение и полети и специални системи за управление на групи от БЛА. Въздушното пространство е едно за всички, а ръководството на въздушния трафик придобива нови измерения и нова философия [1].

Ефективността и безопасността на такива безпилотни комплекси в значителна степен зависи от професионалните качества и подготовката на операторите в наземните пунктове за управление. От тези позиции обучението на операторите на БЛА с използването на виртуални тренажори е в основата на формиране на професионални навици за управление на летателните апарати (ЛА). Очевидно, че организацията на обучението и подготовката на персонала в безпилотните авиационни системи – пилоти-оператори, оператори на полезен товар, обслужващи специалисти, съществено влияе на безопасността и аварийността при експлоатацията им. Наложително е разработването на единни изисквания и програми за обучение на операторите, единни изисквания към средствата за обучение и сертифицираното на централите за обучение в съответствие със международните стандарти за подготовка на оператори на БЛА. В такъв високотехнологичен отрасъл, какъвто е авиацията, основно внимание, при решаване на проблемите по безопасността, най-често се отделя на техническите средства. Но статистиката на авиационните произшествия показва, че в крайна сметка три от четири произшествия са следствие на грешки, допуснати от професионалисти с надеждна квалификация [2].

Ролята на Човешкия фактор при управление на БЛА

Независимо, че тази техника е „безпилотна“, то влиянието на човешкия фактор (ЧФ) остава в повечето случаи на катастрофи с БЛА. Взаимодействието „оператор–БЛА“ е различно за различните системи. При безпилотни системи с автоматичен полет по маршрут и кацане операторът само определя маршрута, по време на полета не се намесва в управлението и единствено контролира полета, като евентуално може да подаде команда за аварийно кацане. За безпилотни системи с възможност за ръчно управление операторът може да изменя маршрута по време на полета и да извършва различни маневри, например да излита и да каца. В първия случай безопасността зависи от надеждността на всички елементи на системата, а при втория – също от квалификацията на оператора.

Дистанционно управляемите летателни системи се отнасят към ергатичните системи (системи човек–машина). Те включват както технически елементи, така и хората, взаимодействащи с тези системи. За ефективното функциониране на такива системи е необходимо да се избират рационални начини за взаимодействие на хората с оборудването, основани на принципите на ергономията [3].

Въпросите за безопасността на БЛА във всички фази и очаквани условия на експлоатация представляват сериозен научно-технически проблем [4, 5]. Повишената в сравнение с пилотируемите ЛА вероятност от произшествия с БЛА се дължат основно на:

- ниска информативност и времева задръжка на постъпващата телеметрична информация и задръжка при предаване на командната информация от пункта за управление до борда на БЛА;
- ниско ниво на информативност на визуалната информация за въздушната и наземна обстановка;
- отсъствие на тактилна и друг вид информация, свързана с усещанията на оператора, които биха допринесли за предупреждение и своевременно ликвидиране на извънредни опасни ситуации;
- отсъствие на ефективни алгоритми за автоматично предотвратяване на извънредни ситуации;
- отсъствие за операторите на БЛА на пълна информация за обстановката във въздуха;
- отсъствие на сертифицирана система за предотвратяване сблъсък с други (пилотируеми и непилотируеми ЛА). Наличието на автоматизирана система за избягване на сблъсък с други ЛА, инженерни и други съоръжения, извисяващи се от земната повърхност, придобива особено голямо значение, понеже на отделни участъци от полета връзката с БЛА може напълно да липсва;
- операторът не рискува здравето и живота си по време на полет, а така също прави асоциации в процеса на управление на БЛА с компютърна игра;
- непредсказуеми последствия при загуба на връзка между БЛА и наземната станция за управление.

Особености на възприемане на информацията от човека в БАС

Ефективността на една ергатичната система в голяма степен зависи от индивидуалните когнитивни способности на ЧО при възприятие на информацията. Съвременните процеси на обучение се опират на понятието когнитивна образователна технология, свързана с целенасочено управление на когнитивните функции на обучаемия, такива като висшите мозъчни функции: *памет, внимание, психомоторна координация, реч, мислене, ориентация, планиране и контрол на висшата психическа дейност* [6]. Когнитивната функция характеризира способността на човека към възприятие и преработка на информация, а също използването ѝ за координация на неговите действия.

Характерна черта от дейността на оператора в БАС е, че той е лишен от възможността непосредствено да наблюдава управлението на обектите (ЛА) и е принуден да използва информация, която постъпва при него по каналите за връзка. В случая дейността на човека се извършва не с реални обекти, а с техни заместители или имитиращи ги образи.

Наземните информационни системи са тази част от оборудването, с което операторът на БЛА непосредствено взаимодейства. Въз основа на получената информация той си създава мисловен модел на процеса за управление, с който работи при своята дейност. За това, ефективната работа на такива системи е невъзможна без детайлен анализ на отношенията в разглеждания комплекс „човек–машина“ (в случая – „ЧО/пилот–летателен апарат“). Взаимодействието на пилота с информационната система може да се представи като взаимодействие на два мощни информационни процеса, на човека и компютъра, работейки или общувайки посредством интерфейс с тясна лена на пропускане и с множество други ограничения. Повишаването на ефективността и пропускателната способност на този интерфейс е особено важна задача. Понеже е трудно да се измени човешката компонента в системата „човек – информационна система“, за създаване на ефективен интерфейс е нужно да се приспособява и усъвършенства към ЧО втората компонента – информационната система (Electronic Flight Instrument System, EFIS [7]). При това е необходимо да се знаят възможностите и ограниченията на пилота, както и да се отчитат условията на неговата работа [8].

Известно е, че 90 % от цялата информация, необходима на екипажа за професионално изпълнение на задачите, се възприема чрез очите [9]. При това е необходимо по време на полет ЧО (операторът–пилот) непрекъснато да наблюдава индикацията за различни пилотажни параметри, която е съсредоточена на екраните, даващи информация за траекторията на движение на ЛА и състоянието на апаратурата на борда. Възможното частично или пълно изменение на тази информация, предизвикана от нарушения в режима на полета или откази на техниката, изисква постоянен зрителен контрол на тези параметри, отнесени към техните зададени и пределни стойности.

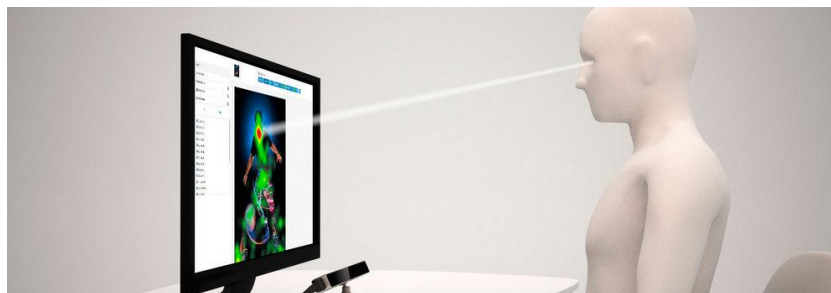
Проблемът за правилното разпределение на визуалното внимание върху отделните прибори се оказва основен при осигуряване безопасността на полета на БЛА. Разпределеното внимание е способността мозъкът да реагира адекватно на различни стимули или задачи едновременно, а също и на различните ситуации, възникващи в обкръжаващата среда. Тази когнитивна способност позволява да се обработват различни източници на информация, като успешно се изпълняват повече от една задача едновременно.

Особено важна е ролята на експерименталните изследвания при оценка зрителните характеристики на ЧО (пилот) в процеса на неговото взаимодействие с визуалните дисплеи. От точността на фиксация на приборите, както и от точността на идентификация на мястото към което е насочен погледът, могат да се направят изводи за качеството на взаимодействие със системата за изобразяване на информацията, както и за ефективността на работата на оператора.

Окулографските изследвания и техните възможности за изследване на визуалното внимание на оператори

Една от новите технологии за изследване на зрителното внимание е окулографията или айтрекинг (*Eye Tracking*) – група от методи, които събират данни за движението на човешкото око и ги анализират (проследяване на окото, проследяване на погледа, окулография). Това направление се появява в края на миналия век и в момента се прилага широко, най-вече поради напредъка в развитието на технологиите, с което значително се подобрява точността на получаваните данни. Окулографията е интердисциплинарна област, включваща иновативната работата на инженери, физиолози, лекари, психолози и биолози. Това е видно и днес, когато тя непрекъснато разширява своята област на приложение като физика, антропология, психиатрия, информатика, мениджмънт, маркетинг, дизайн, картография, архитектура, неврология и др.

Трекинг (или проследяване) на очите е процес на определяне на координатите на погледа („точката на пресичане на оптичната ос на очната ябълка и равнината на наблюдавания обект или екран, на който е представен някакъв визуален стимул“). Към тази технология се отнася процесът на проследяване на позицията на окото по отношение на представеното изображение, текст или друг обект. Използването ѝ е насочено към различни изследвания в областта на психофизиологията, лингвистиката, медицината, психологията и други области на науката, технологиите и дори в спорта.

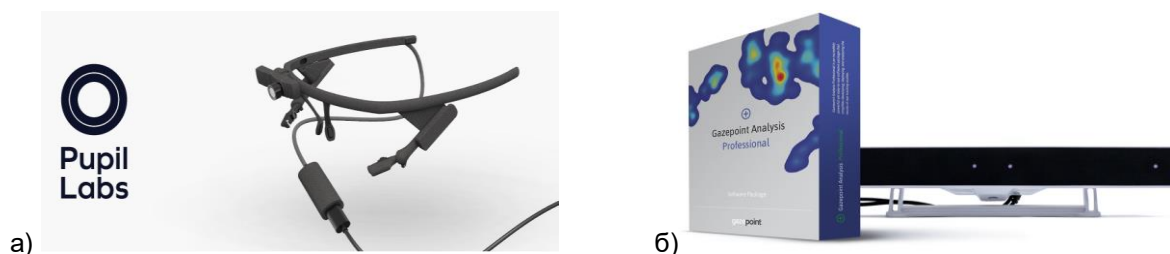


Фиг. 1. Основни комуникационни канали на човешката дейност и движения на очите [10]

Показателите за проследяване на очните движения могат да се прилагат към различни аспекти на окуломоторното поведение в зависимост от типа на анализа. Най-често срещаните показатели се основават на фиксации и/или сакади. Фиксациите се представят като дискретни участъци от почти стабилни точки, където се вижда окото. Сакадите се определят като спонтанни движения на очите между фиксациите. Сред най-широко прилаганите показатели на базата на фиксация са: брой фиксации; брой фиксации върху всяка област, представяваща интерес; общ брой фиксации; продължителност на фиксирането; обща продължителност на фиксирането; време до първото фиксиране на целта; плътност на фиксиране, повторение на фиксирането. Установено е, че тези видове показатели могат да бъдат използвани за определяне на ангажираността на наблюдателя [11].

Човек не само получава и обработва визуална информация, но по различни начини се отнася към нея. Активно познавателно отношение към възприеманото намира израз в явлението поглед – визуалната ориентация на субекта към определен елемент или съотношението на настоящата ситуация, което се проявява в съответната ориентация на оптичните оси на очите. В зависимост от степента на участие на човек в ситуацията, погледът може да бъде „смислен“ или „отсъстващ“; в зависимост от зоната на обекта на зрителното възприятие – „притъпен“ или „остър“; в зависимост от степента на натоваване на информацията – „затваряне“ или „движение“; и при невербална комуникация той може да изпълнява функцията на знак: посочва на партньора посоката на движение или предмет, чиито свойства трябва да се вземат предвид. Във всеки случай това е показател за някаква вътрешна работа на човек, за неговото текущо състояние или намерение.

В ИКИТ-БАН са доставени два вида окулографи – мобилен и стационарен (фиг. 2). Специализираните изследвания се провеждат в „Лаборатория за подбор, обучение и контрол на оператори на безпилотни летателни апарати“ към секция АКСУ, като се осъществява и сътрудничество с други външни специализирани лаборатории и консултанти.



Фиг. 2. а) Окулограф Pupil Labs Core и б) окулограф Gaze Point GP3 HD

Таблица 1. Параметри на наличните окулографи в секция АКСУ, ИКИТ-БАН

Параметри на окулограф Gaze Point GP3 HD	Параметри на окулограф Pupil Labs Core
0.5 – 1.0 градуса точност на ъгъла на обзорното поле 150 Hz честота на заснемане Калибриране с 5 или 9 точки Позволява 35 cm хоризонтално, 22 cm вертикално движение и ± 15 cm движение в дълбочина Съвместим с екрани 24" или по-малки Съпровождащ софтуер: Gaze Point Control / Analysis / Assistant и безплатно API	Два инфрачервени светодиода SFH4050IR дължина на вълната 850 nm Две инфрачервени камери с максимална резолюция 800 x 600 пиксела и честота 30 Hz Една обзорна камера с максимална резолюция 1920 x 1080 пиксела и честота 30 Hz Безплатни съпровождащ софтуер и API: Pupil Capture / Player / Service

Процес на айтрекинг-анализа: Изследваният човек седи пред монитора, който показва визуален стимул (анализираният обект може да е сайт, книга, реклама и пр., в случая флайтсимулатор). Оборудването започва процеса на калибриране за фина настройка и премахване на възможни грешки: определя се положението на лицето спрямо камерата и сензорите, изчисляват се коефициентите на отклонение. В случай на мобилен тракер, ЧО може да се движи свободно.

Движението на очите директно отразява мисловния процес на човека. Очите с известно изоставане следват точките на концентрация на вниманието на човек. Резултатите от графичните изследвания ясно показват кои точки от екрана са привлекли вниманието на оператора и кои са останали незабелязани. Регистрацията на реакцията на зеницата позволява да се определи какви емоции изпитва ЧО в момента на фиксиране (интерес, раздразнение, страх, притеснение и др.).

Алгоритъмът, използван в Pupil Player, открива зеницата в изображение, осветено от инфрачервена светлина. Алгоритъмът не зависи от отражението в роговицата и работи с потребители, носещи очила или контактни лещи.

Резултати от проведени айтрекинг-изследвания

Резултатите от изследванията могат да бъдат разделени в две категории: визуални и статистически данни. Визуализацията е от типа:

- ▶ **Топлина карта (Heat map)** - пространствена характеристика на външния вид. В зависимост от цвета, тя отразява честотата на продължителност на гледане или броя на фиксации (от синьо към червено). Червените зони отразяват области, в които вниманието е съсредоточено повече от другите.
- ▶ **Карта на мъглата (Fog map)** – разновидност на топлинната карта. Вместо цвят, тук има прозрачност на сиво-черен фон, който покрива стимулното изображение. Много ясно отразява елементите, върху които е насочено/ фокусирано вниманието.
- ▶ **Карта за преместване на погледа (Scan Path)** – външно тя се състои от кръгове (фиксиращи точки), свързани с линии (сакади) в последователност, съответстваща на движенията на очите. Тя позволява да се отчетат времевите характеристики на погледа, както реда на поглеждане на елементите, така и продължителността на гледане - диаметърът на фиксиращия кръг зависи от времето.
- ▶ **Пчелен рояк (Bee Swarm)** – рядко се използва и се прилага при създаване на видеозапис. Представлява точки във времето, които са за всеки изпитван. Когато се съберат много от тях, наподобяват „пчелен рояк“.

На фиг. 3 са показани мобилен окулограф Pupil Labs Core (ляво) и стационарен окулограф Gaze Point GP3 HD, налични в секция Аерокосмически системи за управление. На екрана на лявата снимка се вижда регистрирана от софтуерен пакет Pupil Capture сакада, получена по време на сеанс на тренажор C-Star, SimLat, Израел [12]. На екрана на дясната снимка е показана т. нар. „Fixation Map“, получена от софтуерен пакет Analysis UX, по време на сеанс на симулатор Lock On Flaming Cliffs 2, Eagle Dynamics, САЩ.



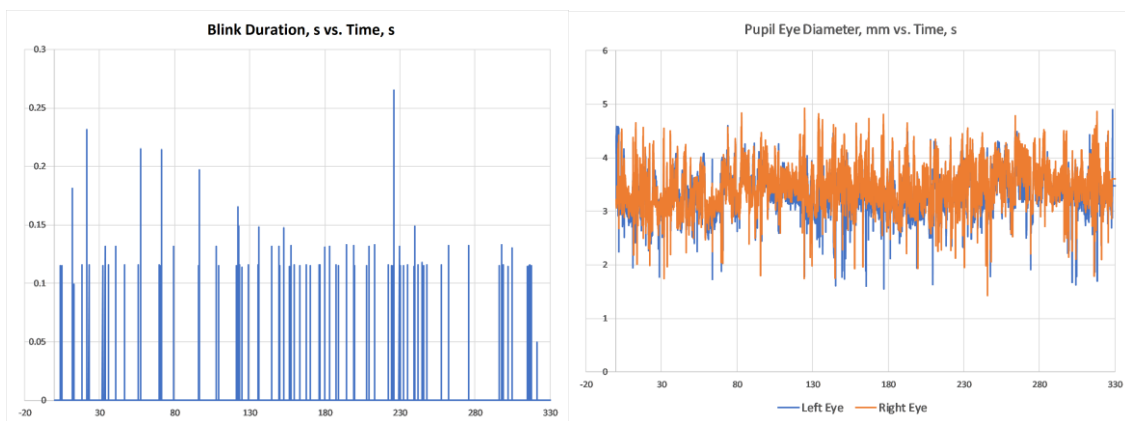
Фиг. 3. Мобилен окулограф Pupil Labs Core (а) и стационарен окулограф Gaze Point GP 3HD (б), инсталирани на компютърна станция в секция АКСУ

На фиг. 4 е показана т. нар. „Heat Map“ или „Топлинна карта“, получена чрез окулограф Gaze Point GP3 HD по време на сеанс на симулатор Lock On Flaming Cliffs 2. Вижда се как „пилотът“ задържа погледа върху многофункционален дисплей (долу вдясно) в кабината на самолет Су-27. Топлинната карта се построява автоматично от софтуерния пакет Analysis UX.



Фиг. 4. „Heat Map“, получена с окулограф Gaze Point GP3 HD на симулатор Lock On Flaming Cliffs 2

На фиг. 5 са показани примерни физиологични данни, събрани от окулограф GP3 HD и софтуер Analysis UX, по време на полетен сеанс на симулатор Lock On FC 2. На фиг. 5а) са показани моментите на премигванията на оператора във времето и тяхната продължителност. На фиг. 5б) е показано изменението на диаметъра на зеницата за двете очи на оператора.



Фиг. 5. а) Продължителност на премигванията, s

б) Диаметър на зеницата, mm

Използваните софтуерни пакети за събиране и анализ на данни провеждат задължителна калибровка преди провеждане на сеанс с всеки един от двата представени окулографа. Данните от калибровката са субективни и могат да се съхраняват. Видеозапис с използване на топлинна карта може да се наблюдава на линк [13].

Заклучение

Работната среда за управление на БЛА е силно динамична и поставя специфични предизвикателства и изисквания към операторите. Например, операторите трябва да работят продължителни периоди от време при постоянно търсене на информация за ситуацията на полета. През това време, операторът „абсорбира“ и обработва големи количества информация. От него се очаква бързо да оценява тази информация и да реагира по съответния начин. В същото време ЧО трябва да комуникира и общува с други членове на екипажа. Допълнително усложняване на ролята на оператора е високото ниво на отговорност и изискванията за безопасност, тъй като БЛА може да лети във въздушното пространство или близо до земята, като застрашава други самолети или хора.

Много от грешките, които допускат екипажите, възникват от неправилното разпределение и пренасочване на зрителното внимание при управление на ЛА дистанционно и по прибори. В статията се предлага използването на окулографията за изучаване моделите за разпределение на зрителното внимание на оператори-пилоти на БЛА в процеса на обучение на тренажор при симулация на управление на ДПЛА. Движенията на очите носят полезна информация за процесите на централната нервна система, методите за регулиране на движенията, организацията на когнитивните процеси, състоянието на човек и неговите дейности.

Предвидените експерименти ще позволят да се потвърдят изводите:

1. Предлаганото експериментално оборудване ще позволи с необходимата точност и достоверност да се изследва разпределението на зрителното внимание на оператора на БЛА в процеса на тяхната тренажорна подготовка.

2. Очевидна е взаимовръзката между предлаганите методи за оценка на разпределението на зрителното внимание и качеството на пилотиране. Това ще даде възможност да се сравнят резултатите на групи от обучавани например на такива, които имат опит в управлението на ЛА и на начинаещи.

3. Изучаването на методите за изследване разпределението на вниманието на основа използването на ай-трекер, както и анкетиране на обучаемите, ще позволи да се направят изводи за необходимостта от разработване в бъдеще на научно обоснована методика за обучение за оптимално разпределение на зрителното внимание в различни условия и режими на полет.

Благодарности

Представеното изследване е финансирано по договор КП-06/H27 от 11.12.2018, сключен между Фонд „Научни изследвания“ и ИКИТ – БАН.

Литература:

1. Гецов, П., Т. Начев, Ванг Бо, Д. Зафиров, Высокоточные беспилотные летательные аппараты, сп. Исследование Земли из Космоса, 2019, № 1, с. 84–91.
2. Wiegmann, D. A., & Shappell, S. A. (2003). A human error approach to aviation accident analysis: The human factors analysis and classification system. England: Ashgate Publishing Ltd, 2003.
3. ICAO: Human Factors documents, <http://aviationknowledge.wikidot.com/aviation:icao-human-factors>
4. Unmanned Aircraft Systems (UAS), ICAO, Cir 328, AN/190, 2011.
5. SMS за AviAtion - Ръководство за PrActicAl Човешки фактори, 2012 разрешение за безопасност на гражданската авиация.
6. Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods, CRC PRESS, edited by Neville Stanton et al., 2015 www.cpe.ku.ac.th/~jan/ergonomics/HumanFactors.pdf
7. Electronic Flight Instrument System (EFIS); <https://www.theairlinepilots.com/>
8. Salvendy Gavriel (Editor), Handbook of Human Factors and Ergonomics, Purdue University, Canada, 2006.
9. Wiener, E.L., & Nagel, D.C. (Eds). (1988). Human factors in aviation. California: Academic Press Inc, 1988.
10. <https://svetsova.com/blogi/oculografia/>
11. Bylinskii, Z, Borkin MA. Eye fixation metrics for large scale analysis of information visualizations. ETVIS Work. Eye Track. Vis., 2015.
12. <https://www.simlat.com/products>
13. <https://www.youtube.com/watch?v=PI9iyPSQpGk>