

## ОКУЛОГРАФСКИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ТЯХНОТО ИЗПОЛЗВАНЕ ЗА АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА ЧОВЕШКИЯ ФАКТОР В ДИСТАНЦИОННО-УПРАВЛЯЕМИТЕ ЛЕТАТЕЛНИ СИСТЕМИ

Петър Гецов<sup>1</sup>, Любомир Алексиев<sup>2</sup>, Константин Методиев<sup>1</sup>, Зоя Хубенова<sup>1</sup>,  
Светла Димитрова<sup>1</sup>, Димитър Недялков<sup>1</sup>, Димо Зафиров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

<sup>2</sup>Военномедицинска академия-НЦВМЕАММ – София

e-mail: getsovp@space.bas.bg

**Ключови думи:** БЛА, окулография, човек-оператор, визуално внимание

**Резюме:** Работната среда за управление на БЛА е силно динамична и поставя специфични предизвикателства и изисквания към операторите – да работят продължителни периоди от време при постоянно търсене на информация за ситуацията на полета, като от него се очаква бърза оценка на ситуациите, избор на стратегии за управление и вземане на оптимални решения в бързо променяща се среда. Проблемът за правилното разпределение на визуалното внимание върху отделните прибори се оказва основен при определяне ефективността и безопасността при експлоатация на БЛА. Основната цел на статията е да покаже проведените окулографски изследвания, свързани с изучаването на особеностите на правилното разпределение на зрителното внимание на оператори на БЛА върху отделните прибори за управление и зони на интерес на екрана на симулаторите в процеса на тяхното обучение.

## EYE TRACKING RESEARCH AND POSSIBILITIES OF USAGE FOR ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THE HUMAN FACTOR IN REMOTELY CONTROLLED AIRCRAFT SYSTEMS

Peter Getsov<sup>1</sup>, Liubomir Alexiev<sup>2</sup>, Konstantin Metodiev<sup>1</sup>, Zoya Hubenova<sup>1</sup>, Svetla Dimitrova<sup>1</sup>,  
Dimitar Nedyalkov<sup>1</sup>, Dimo Zafirov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

<sup>2</sup>Military Medical Academy– Sofia

e-mail: getsovp@space.bas.bg

**Keywords:** UAV, oculography, human operator, visual attention

**Abstract:** Working environment of UAV control is extensively dynamic and puts specific challenges and requirements for an operator to meet such as working on prolonged shifts while upgrading situational awareness at the same instant. The operator is expected to assess the situation quickly, choose an elaborate and systematic control plan, make the most favourable decisions within a rapidly changing environment. The issue of correct distribution of visual attention over the instruments panel appears to be fundamental in terms of assessment of both efficiency and safety during UAV operation. The paper main goal is to provide evidence for conducted eye tracking studies related to peculiarities of UAV operator's accurate visual attention distribution over instruments panel and zones of interest of simulator displays throughout course of training.

### Въведение

На настоящия етап използването на безпилотни летателни апарати е едно от най-перспективните направления в областта на новите технологии. Все повече се разширяват техните приложения в гражданската област: за наблюдение, прогнозиране, откриване и оценка на щетите при бедствия, аварии, техногенни катастрофи; патрулиране на държавната граница;

транспортни превози; наблюдение на високи сгради и съоръжения; охрана и контрол за състоянието на критична енергийна инфраструктура (електроцентрали, магистрални тръбопроводи, язовири и др.); контрол на пътният трафик; селско стопанство (контрол на посеви, горски масиви и др.); промишлен риболов; океанография; ретрансляция на сигнали; участие в системата за управление на въздушното движение, изпълнение на различни научни задачи и др.

От тези позиции обучението на операторите на БЛА с използването на виртуални тренажори е в основата на формиране на професионални навици за управление на самолета. Очевидно, че организацията на обучението и подготовката на персонала в безпилотните авиационни комплекси (БАК) – пилоти-оператори, оператори на полезен товар, обслужващи специалисти съществено влияе на безопасността и аварийността при експлоатацията им [1]. Това налага необходимостта от 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 (например, ICAO (UAS), STANAG 4670, CJCSI 3255.01, ASTM F 2635-07) [2, 3].

Работната среда за управление на БЛА е силно динамична и поставя специфични изисквания към оператора, което е свързано с възприемането и обработката на голямо количество информация. От него се очаква бързо да оценява тази информация и да реагира по съответния начин в зависимост от решаваните мисии и задачи. В същото време той 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.

### **Зрителното внимание на оператори**

Проблемът за правилното *разпределение на визуалното внимание* върху отделните прибори се оказва основен при определяне ефективността и безопасността при експлоатация на БЛА. Разпределянето на вниманието е важен елемент в когнитивните функции на операторите за изграждане на мисловни модели за окръжаващата среда и отразява способността на мозъка да реагира адекватно на различни стимули или задачи в наложен темп, дефицит от време и под въздействие на редица фактори от средата, в която се извършва определена дейност, а също така и на различни ситуации, възникващи в окръжаващата среда. Тази когнитивна способност позволява да се обработват различни по вид източници на информация, което дава възможност да се изпълняват повече от една задача едновременно.

Вниманието се дефинира официално като механизъм, който се осъществява в мозъка, за да се гарантира, че предпочитаната входяща сензорна информация получава незабавна когнитивна обработка преди всички останали входни данни [4, 5]. Това определение предполага някаква предварителна когнитивна обработка, със или без внимание. Вниманието може да бъде разбрано по-добре, ако се счита за процес, който осигурява непрекъсната когнитивна обработка на избран сензорен вход. Човек трябва активно и непрекъснато да поддържа вниманието, за да поддържа високо ниво на когнитивна обработка на желания вход. Следователно, ако вниманието се прехвърли от един вход към друг, умишлено или по невнимание, когнитивната обработка на първия вход значително се намалява, а може и да се прекрати напълно.

Движението на очите е сложен процес, отразяващ възприемането на средата и е определящ фактор за качествата на зрителното внимание. Чрез измерими величини на зрителните движения и фиксации на зрението в голяма степен може да се интерпретира качеството на възприятие и адекватността на операторите на БЛА към ситуацията в момента, вземане на решения и изграждане на перспектива в бъдещо време за полета на безпилотния апарат.

Операторът на БЛА до голяма степен е лишен от редица сетивни стимули, необходими за възприемане на летателния апарат във въздушното пространство. При повечето апарати особено от по-високите класове е налице сензорен визуален глад, поради липсата на пряка визуална връзка, няма данни от органите за пространствена ориентация и положение на летателното средство в триизмерното пространство, липсват звукови и други стимули даващи информация за състоянието на БЛА [1].

Информацията за състоянието на БЛА се получава по сложен интерфейсен път изобразена върху плосък екран, което само по себе си е неестествена и не достатъчна информация за движението на тяло в пространството, изискващо специализирана подготовка на оператора, специфични качества на невропсихологичното възприятие на заобикалящата среда.

Изхождайки от разбирането за предимно визуалната информация от дисплей за състоянието и дейността на БЛА се поставя въпроса за обучението на операторите за възприемане и обработка на информацията от дисплеите съобразена с неврофизиологията на очния анализатор.

### Методика на изследването

Окулографските изследвания се провеждат в Лаборатория за подготовка, обучение и контрол на оператори на БЛА към секция „Аерокосмически системи за управление“ в ИКИТ-БАН. Лабораторията е оборудвана с тренажор C-Star, разработен от израелската фирма SimLat, [6]. Симулаторът C-STAR на израелската фирма SimLat дава възможност за обучение на екипаж от оператор и пилот в реално време. Тренажорният комплекс C-STAR симулира полет на БЛА с висока точност и същевременно дава възможност на инструктор да изменя полетната задача и работата на бордовите системи (например авария на агрегат по време на полет). Тези възможности създават динамична среда за работа на екипажа. Тренажорът C-STAR може да се конфигурира за всяка летателна платформа, полезен товар или мисия.

На тренажора са провеждани курсове за обучение на кандидати за оператори на БЛА от различни ведомства в страната (МО, МВР, ДА „Технически операции и др.). Тренажорът предлага виртуална среда за симулиране на полета, която до голяма степен наподобява реалната. Той регистрира и съхранява данни за динамиката на взаимодействие между членовете на екипажа.

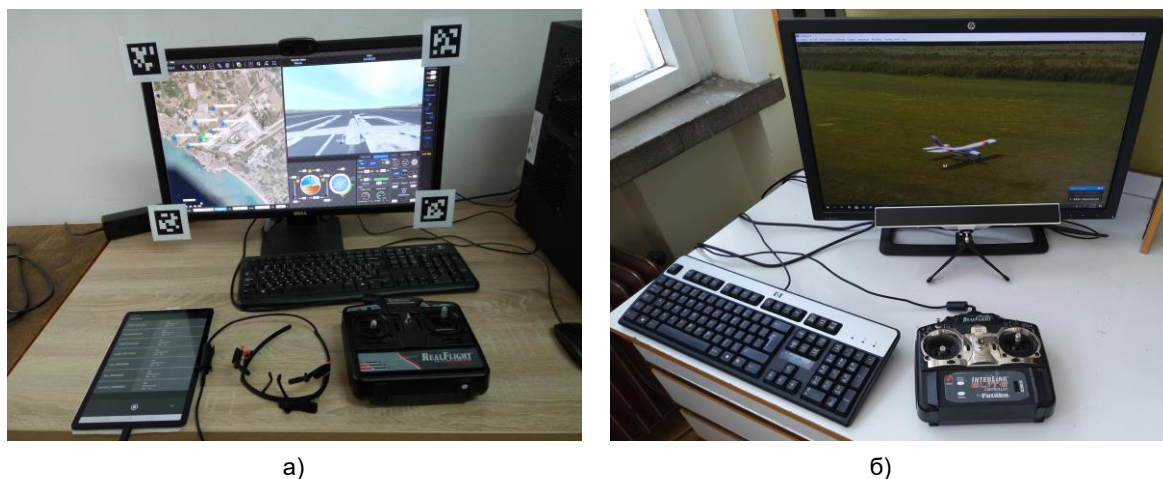
За да се изучи разпределението на вниманието на оператора по време на полет, изследователският екип използва окулограф за регистриране и оценка на движението на очите. Главната задача на окулографското изследване е записване и предаване на данни за окуломоторната активност в реално време. Окулографията е изследователски метод, в който се използва устройство за проследяване на координатите на точката на гледане. Най-популярните окулографи използват метод, базиран на видео заснемане, за неинвазивно и безконтактно измерване на движението на очите.

Лабораторията разполага с два окулографа: мобилен окулограф Pupil Labs Core, Pupil Labs (Германия) и стационарен – GazePoint GP3HD (Канада).



а) б)  
Фиг. 1. Налични окулографи: а) мобилен; б) стационарен

Беше проведено пилотно изследване, което се състоеше от две части, съответно с двата окулографа, на две работни места.



а) б)  
Фиг. 2. Работни места: а) с мобилен окулограф; б) със стационарен окулограф

### *Експерименталната установка*

I. Работно място. Експерименталната установка включва компонентите: тренажор C-Star (SimLat) с работна станция на пилота с компютър Intel® Core™ i7-4770K @ 3.5 GHz; мобилен окулограф Pupil Labs Core; таблет Samsung Galaxy Tab S5e. Данните да се събират посредством независимо мобилно устройство – таблет.

II. Работно място – включва управление на БЛА тип E-flite Apprentice STS на симулатор за радиоуправляеми летателни апарати RealFlight® 9, както и компонентите: Компютър Intel® Core™ i7-3770 @ 3.4GHz с видеокарта Nvidia® Quadro® 600, HD монитор 24 инча; RealFlight® 9 RC Flight Simulator, InterLink Elite Transmitter; Стационарен окулограф GazePoint GP3 HD.

#### *Задачи на симулаторите за управление на БЛА*

ЗАДАЧА-1. Полет с общо назначение на дистанционно управляеми летателни апарати (ДУЛА) в условен район (летище Палма де Майорка PMI, LEPA, полоса 06L) – излитане, полет в зоната на видимост, заход за кацане, кацане. Полетът с общо назначение е опознавателен полет за добиване на начална представа за действието с органите за управление на ДУЛС. Независимо от това той започва с излитане и спазване на изискванията за безопасно изпълнение на процедурите по излитането. Същото се отнася и за кацането, което задължително трябва да се извърши в посоката на излитането, предвид метеорологичните условия, задължаващи подобно действие.

ЗАДАЧА-2. Изпълнение на усложнена полетна задача по обозначен летищен кръг – полет по кръга на ДУЛА в същия район. Преди започването на самия полет се излиза на полосата за излитане и кацане, като разпределението на вниманието на оператора е насочено основно за заемане на означената централна ос на полосата, така че при начало на разбега той да започне в права посока. Преди самото простартиране трябва да проконтролира курса на ДУЛА, който трябва да съответства на този на летището.

На този етап на изследването препоръчителното разстояние до монитора е 70-80 cm, за монитор с размер 27" (68.58 cm), осигуряващ ъгъл на обзор 26° x 20°. Инструкторът извършва калибровка на апаратурата [7]

Въз основа на получените резултати се оценява качеството на пилотиране на участника в експеримента. Изискванията са зададени в „Матрица за оценка на изпълнение на полета”.

След приключване на експеримента избрани данни за движението на очите се извличат от записа на окулографа. Данните се спрягат по време със записа от обективния контрол и се обработват. За изследване разпределението на зрителното внимание се снемат следните параметри: координати на точките на взирание, брой и средна продължителност на фиксации в отделни области на интерес, брой премигвания, сакади, диаметър на зеницата, топлинна карта.

ЗАДАЧА-3. Управление на БЛА – излитане, полет в зоната на видимост, заход за кацане, кацане на RealFlight® 9 RC Flight Simulator с безпилотен самолет E-Flight Apprentice 15s. След анализ бяха избрани и ДУЛС за симулационните и летателни изследвания: самолет E-Flight Apprentice 15s и квадрокоптер DJI Phantom 3 Advance.

Участникът се настанява удобно и стабилно на работното място. Препоръчително е разстоянието на очите му до монитора да е на 70–80 cm. Предварително се провежда обучение, за начина за изпълнение на задачата и целта на изследването. Обучението се провежда от инструктора и се повтаря индивидуално до придобиване на увереност от страна на участника. Инструкторът извършва калибровка на апаратурата [7]. Оценката на качеството на пилотиране се извършва по правоъгълен маршрут със зададени изисквания за оценка.

След приключване на експеримента данните от окулографското изследване се записват на компютъра. За последваща обработка се извличат избрани данни от съответните параметри. За изследване разпределението на зрителното внимание се снемат и анализират следните параметри: Точка на фиксация; Общия брой фиксации; Брой фиксации в секунда; Средно време за фиксация на погледа на екрана на тренажора; Общия брой мигания; Брой мигания в секунда; Общ брой сакади; Топлинна карта

*Пилотен експеримент с мобилният окулограф Pupil Labs Core, проведен във външни условия.* В хода на работа по задачите беше проведен експериментален полет за определяне на възможностите на мобилния окулограф Pupil Labs Core при работа във външни условия. Поставената полетна задача се състоеше от следните етапи: излитане, произволен кратък полет в зоната на видимост, заход за кацане и кацане. При измерването с окулографа интересът беше насочен към последните два етапа. От оператора се изискваше да приземи дрона в предварително набелязана цел. По време на полета окулографът регистрира точката на взирание, фиксации, премигванията и диаметъра на зениците на оператора.

След направените няколко експеримента бе установено, че окулографът не може да измерва в условията на силна светлина и висока температура на въздуха, тъй като в този случай инфрачервените камери не регистрират движенията на зениците. По тази причина

експериментите на открито се провеждаха привечер, когато естествената светлина е слаба, а температурата на въздуха по-ниска.

Предвидени експерименти с участници-доброволци за обучение за оператори на БЛА. Обучението се осъществява на тренажора при изпълнение на определени задачи за управление на БЛА и при отчитане на дадени параметри на полета. В една от сериите експерименти беше изследвано разпределението на вниманието на оператор-пилот при управление на БЛА на тренажора C-Star. Участие **взеха 9-ма доброволци**, като едната група *от 6-ма участника имаха опит при управление на БЛА (т. нар. обучени), а другите 3-ма бяха без никакъв или почти никакъв опит в тази сфера*. Всички бяха инструктирани на място и след придобиване на увереност в управлението, техните резултати бяха записвани с окулографите.

### Резултати от изследването

От получените резултати и наблюдения може да се направят следните заключения, които поради ограничения брой изследвани, не могат да бъдат представени като изводи с определена обективност и достоверност.

- ✓ Методиката на този етап за изследване на когнитивни функции на оператори на БЛА чрез използване на окулографски методи и разработване на експериментален модел на полет, включващ както визуално управление по външни ориентири така и определени параметри за поддържане на полета по наличните прибори, т.е. обективно изпълнение на поставената задача, е разработена и може да бъде усъвършенствана за целите на проучването.

- ✓ Налице е първоначален доказателствен материал за възможностите на окулографските изследвания в изучаването на ефективността на разпределение на зрителното внимание в процеса на обучение и усъвършенстване на операторските умения на операторите на БЛА.

- ✓ Прави впечатление от данните за фиксацията, че най-труден за изпълнение е етапът на кацане, където трябва да се съсредоточат усилията при подготовката и развитие на рефлексии, допринасящи за бързо и точно възприемане и качествени когнитивни функции, като предпоставка за безопасна и ефективна операторска работа.

- ✓ От регистрираните записи на неопитните доброволци на полет без маршрут се вижда, че тяхната честота на фиксации е съизмерима с тази на опитните доброволци. Фиксациите на неопитните доброволци са с увеличена продължителност при излитане и кацане. В сравнение с опитните оператори техните фиксации и на този етап са по-кратки и по-голям брой – опитните имат ситуационната осъзнатост в кой момент къде да концентрират своето зрително внимание, без да е нужно да покриват цялата зона на интерес с по-голям брой фиксации.

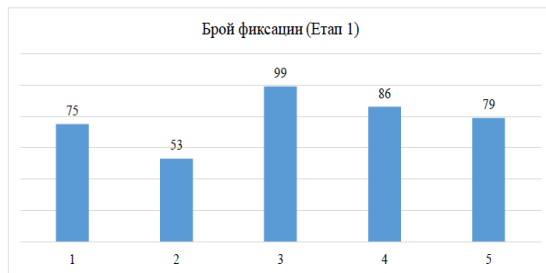
- ✓ От разпределението на сакадите на опитните оператори прави впечатление, че при повечето е налице в етапа на кацане намаляване на тяхната честота, което съответства на по-малкия брой и по-продължителни фиксации.

- ✓ При необучените се установяват по-чести и по-големи (дълги) сакади, както и по-голяма скорост на сакадите спрямо тези на опитните доброволци. Това е в резон с по-големия брой и по-краткотрайни фиксации на неопитните потребители. Опитните имат интуитивен опит кога къде да насочат своето внимание, докато неопитните нямат увереност кога къде да гледат и се стараят с цел по-добро изпълнение на задачата да покриват по-големи региони на интерес с по-висока честота.

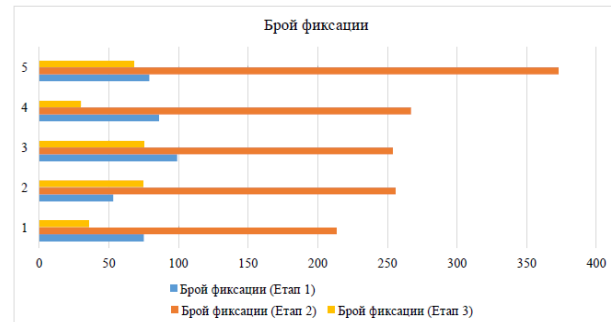
N = 5	Средна аритметична стойност	Медиана	Мода	Стандартно отклонение	Минимална стойност	Максимална стойност
Брой фиксации (Етап 1)	78,40	79,00	53	16,876	53	99
Брой фиксации в една секунда, sec (Етап 1)	1,80	2,00	2	0,447	1	2
Средна продължителност, ms (Етап 1)	546,20	479,00	477	119,665	477	754
Стандартна грешка, ms (Етап 1)	70,80	60,00	48	31,220	48	125
Брой фиксации (Етап 2)	272,80	256,00	214	59,512	214	373
Брой фиксации в една секунда, sec (Етап 2)	2,40	2,00	2	0,548	2	3
Средна продължителност, ms (Етап 2)	394,00	393,00	312	64,881	312	485

Стандартна грешка, ms (Етап 2)	23,00	22,00	13	8,246	13	34
Брой фиксации (Етап 3)	57,00	68,00	30	22,226	30	76
Брой фиксации в една секунда, sec (Етап 3)	1,60	2,00	2	0,548	1	2
Средна продължителност, ms (Етап 3)	819,40	621,00	406	412,676	406	1436
Стандартна грешка, ms (Етап 3)	136,80	90,00	57	87,345	57	245

Забележка: **Медиана** – средата на разпределението с данни; **Мода** – най-често срещаната стойност в разпределението; **Стандартно отклонение** – отклонение на стойностите спрямо груповата средна аритметична



Фиг. 3. Брой фиксации (N=5)



Фиг. 4. Брой фиксации по етапи (N=5)

### Изводи

Проведените до тук изследвания показаха, че използването на методите на окулографията могат да се използват в различни перспективни области на развитие на БЛА като:

- Проектиране и дизайн на дисплеите за управление на БЛА. Особено внимание трябва да се отделя на информационните канали от приборите за управление;
- При изработване на модели на еталонни полети за прилагане на методически указания за обучение на оператори и оценка на придобити умения от обучението;
- Оценка при периодичен контрол на знанията и уменията на операторите;
- Подготовка и противодействие на екстремни въздействия при полет с БЛА;
- Установяване на неблагоприятни здравословни и психологични процеси при операторите;
- Въвеждане на други сензорни възприятия облекчаващи зрителното внимание при управление на БЛА;
- За целите на подбора при установяване на психологични индивидуални качества на бъдещи оператори на БЛА и изработване на селекционни стандарти.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Представеното изследване е финансирано по договор КП-06/H27-10/11.12.2018, сключен между Фонд „Научни изследвания“ и ИКИТ – БАН.

### Литература:

1. Dismukes, K., Young, G.; Sumwalt, C. R. "Cockpit Interruptions and Distractions", ASRS Directline Issue 10. December 1998
2. ICAO: Human Factors documents, <http://aviationknowledge.wikidot.com/aviation:icao-human-factors>
3. ICAO: Unmanned Aircraft Systems (UAS), Cir 328, AN/190, 2011
4. Goldstein, E. B. Cognitive Psychology: Connecting Mind, Research, and Everyday Experience, Belmont, California, U.S.: Thompson Wadsworth. 2005
5. Strayer, D. L.; Drews, F. A. "Attention." In Handbook of Applied Cognition", Druso, F.T. (editor). West Sussex, U.K.: John Wiley and Sons. 2007
6. Full Crew Training Systems (C-STAR); <http://www.simlat.com/#!full-crew-solution/cnu3>, 20.08.2020
7. Hubenova, Z., K. Metodiev, S. Dimitrova, L. Alexiev, Usage of Eye Tracker Technology in Examining Attention Distribution of Operators of Unmanned Aerial Vehicles, Aerospace Research in Bulgaria, Vol. 33 / 2020