

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЧОВЕШКИЯ ФАКТОР В БЕЗПИЛОТНИТЕ АВИАЦИОННИ СИСТЕМИ ЗА МОНИТОРИНГ В КРИТИЧНИ СИТУАЦИИ

Зоя Хубенова<sup>1</sup>, Константин Методиев<sup>1</sup>, Георги Сотиров<sup>1</sup>, Любомир Алексиев<sup>2</sup>

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

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

e-mail: zhubenova@space.bas.bg

**Ключови думи:** БАС, човек-оператор, БЛА, критични ситуации

**Резюме:** Статията е свързана с провеждане на фундаментални изследвания за дейността на човека в сложна информационна среда като елемент от безпилотните авиационни системи (БАС) за мониторинг и управление на бедствия и аварии в критични ситуации. Изследването касае оптимизиране на човешкия фактор при управление на безпилотни летателни апарати (БЛА) за мониторинг на критична инфраструктура с използването на иновативни методи за оценка на когнитивното и психо-емоционалното състояние на човека-оператор. Предлага се създаването на мултимодална биосензорна лабораторна станция към „Лаборатория за подбор, обучение и контрол на оператори“, която да обединява комбинираното използване на няколко неинвазивни физиологични и психологични методи на изследване.

## HUMAN FACTOR RESEARCH IN UNMANNED AIRCRAFT MONITORING SYSTEMS OF CRITICAL SITUATIONS

Zoya Hubenova<sup>1</sup>, Konstantin Metodiev<sup>1</sup>, Georgi Sotirov<sup>1</sup>, Liubomir Alexiev<sup>2</sup>

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

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

e-mail: zhubenova@space.bas.bg

**Keywords:** UAS, human operator, UAV, critical situations

**Abstract:** The article is related to carrying out fundamental research on human activity in a complex information environment as an element of unmanned aviation systems (UAS) for monitoring and managing disasters and accidents and critical situations. The research is related to the human factor optimization in terms of unmanned aerial vehicles (UAVs) control for monitoring critical infrastructure by means of innovative methods for assessing the human operator's cognitive and psycho-emotional state. A multimodal biosensor station at the "Laboratory for Selection, Training and Control of Operators" is proposed which would unify simultaneous usage of several non-invasive physiological and psychological research methods.

### Въведение

В настояще време в болшинството страни на света се разширява 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 фундаменталните основи на провеждането на такъв род наблюдение на Земята и въздуха. Ефективността и безопасността на такива безпилотни комплекси в значителна степен зависи от професионалните качества и подготовката на операторите в наземните пунктове за управление.

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 в ограничено въздушно пространство или близо до земята, като застрашава други самолети, инфраструктура или хора.

През последните 30-40 години се наблюдава тенденция за постепенно намаляване на общия брой авиационни злополуки (включително и в безпилотната авиация), свързани с технически проблеми – в резултат на технически откази, отказ на двигателните системи със загуба на скорост и височина, като относителният дял на инцидентите, свързани с човешкия фактор и човешка грешка, остава сравнително постоянен, дори нараства.

С развитието на БЛА започват да възникват важни въпроси по отношение на човешкия фактор (ЧФ) в безпилотната авиация – неговите възможности и ограничения. Управлението на безпилотните летателни апарати изисква интегрирането на различни умствени ресурси като знания, внимание и вземане на решения. Тези ресурси са ограничени и лесно могат да бъдат повлияни в условия на стрес и работно натоварване каквито са наблюдението и контрола на множество БЛА едновременно, прехвърлянето на контрол от един оператор на друг по време на активно изпълнение на мисия и др. Също така, в безпилотната авиация няма строго определени стандарти по отношение дизайна на работното място; липсват предварително определени изисквания за подбор на оператори на БЛА, както и много други фактори, които биха оказали негативно влияние върху представянето на оператора. Прекомерното изразходване на умствени активи може да предизвика състояние на претоварване с изчерпване на когнитивните ресурси, което да причини разсейване, да генерира грешки в перцепцията и обработката на информацията, да предизвика стрес и фрустрация (чувство на неудовлетвореност), а като резултат - да намали способностите на индивида за планиране и вземане на решения за действие, което неминуемо води до грешки в изпълнението, [1].

Моделирането и изследването на човека в безпилотните авиационни системи (БАС) е актуален интердисциплинарен научен проблем, изискващ използването на теорията и методите на различни клонове от науката: кибернетика, психология, инженерна психология, физиология, ергономия, математика, системен анализ и др. Отчитайки казаното, в последните години приоритет за авиацията в световен план се явява изследователската и експериментална работа по създаване и използване на безпилотни летателни апарати, както и изучаването, разбирането и подобряването на човешките възможности в такъв род комплексни системи „човек – машина“ [2]. Разглеждането и анализирането на инцидентите с БЛА, могат да бъдат от помощ при определянето на проблемите свързани с човешкия фактор в безпилотната авиация.

### **Актуалност на проблема**

Понастоящем БЛА за наблюдение и контрол на земната повърхност са получили широко разпространение и се използват при разнообразни задачи и мисии на полета: изследване на замърсявания в почвата, водите и атмосферата; проследяване на състоянието на растителността; определяне на енергийната ефективност; аерофотограмметрия; управление на трафика и т.н. Мониторингът на природните и техногенните бедствия и явления, е важен елемент от националната сигурност [3]. Това предполага разработката и използването на национална система за мониторинг позволяваща оперативното решаване на задачите свързани с превенцията и действията по време на кризите, както и предотвратяване на последствията от тях. Изхождайки от направения анализ и съществуващия опит, концепцията за екологичен мониторинг и управление на кризи се заключава в комплексното използване на космическите, авиационните и наземните методи за наблюдение [4]. В тази връзка важен компонент е критичната инфраструктура, свързана със състоянието в енергетиката и транспорта, телекомуникациите, химическа промишленост и други свързани с нея технически енергийни и комуникационни съоръжения.

През последните години намаляването на риска от бедствия се превърна в световен приоритет. Доказателство са документите, приети от страните членки на Европейския съюз (ЕС), както и Рамката за действие Хиого 2005- 2015 на ООН за устойчивост на нациите и обществата към бедствия, която приканва всяка страна да създаде Национална платформа и стратегия за намаляване на риска от бедствия. Съгласно Европейска директива 2008/114/ЕО се препоръчва да бъдат разработени общи методологии за определяне и класифициране на уязвими места, заплахи и рискове по отношение на инфраструктурните елементи, както и значителен обмен на информация между съответните секторни и национални оператори на

страните-членки, и с органите на Европейската комисия [5]. Освен това, Европейската комисия организира създаването на обоевропейски системи за мониторинг и оповестяване, като: „Global Monitoring for Environment and Security (GMES)”, „Critical Infrastructure Warning Information Network (CIWIN)” и „European Information Sharing and Alert System (EISAS)”.

Статистиката на най-големите авиокатастрофи в света за периода (01.01.1950 – 30.06.2019). показва, че основна причина за трагедиите във въздуха си остава човешкия фактор (грешките на екипажа или диспечера) [6]. Данните от статистиката, показват, че около 70% от катастрофите се дължат на «човешкия фактор», при което, примерно 50 % от тях са от грешки на пилотирането (табл. 1).

Таблица 1. Причини за възникване на катастрофи с фатален край по десетилетия (в проценти)

CAUSES OF FATAL ACCIDENTS BY DECADE								
DECADE	1950s	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s	2010s	All
Pilot Error	50%	53%	49%	42%	49%	50%	57%	49%
Mechanical	26%	27%	19%	22%	22%	23%	21%	23%
Weather	15%	7%	10%	14%	7%	8%	10%	10%
Sabotage	4%	4%	9%	12%	8%	9%	8%	8%
Other	5%	9%	13%	10%	14%	10%	4%	10%

Източник: PlaneCrashInfo.com (<http://www.planecrashinfo.com>)

Растящият брой от най-разнообразни БЛА – от най-миниатюрните до най-големите, задължават обществото и съответните оторизирани органи в редица страни да отделят все по-голямо внимание на подготовката на пилоти от нова класа, които работят в командни пунктове на земята. Имайки предвид насочеността и обема на многобройните съвременни научни публикации, посветени на човешкия фактор в безпилотната авиация, има основание да се мисли за ново качествено ниво на световната авиационна наука, свързана със спецификата и начините за оптимизиране на включването на ЧФ в безпилотна авиационни системи.

### Иновативни методи за изследване на оператори на БЛА

Правилното разбиране на възможностите и ограниченията на човека и предсказуемите аспекти на поведението му в експлоатационна /работна среда са главните проблеми на човешкия фактор. Оптимизиране ролята на човека, в сложна високотехнологична работна среда обхваща всички аспекти на човешката дейност като: вземане на решения и други познавателни процеси, подбор на дисплеи и различни органи за управление, ергономичност на работно място, връзки и програмно осигуряване, документация, инструкции, стандартни процедури и пр. При това познаването на различните аспекти на ЧФ играе важна роля при подбора на персонала, при подготовката и обучението му, а също при предотвратяване и разследване на авиационни произшествия. Съществуват разнообразни модели за изследване на човешкия фактор, прилагани при обучение на авиационни специалисти и при разследване на авиационни произшествия. Като основна концепция за описание на ЧФ и представяне на взаимовръзките между различните компоненти в авиационните системи се използват модела SHELL, модела на Reason J., значимост на човешките грешки и др. [7, 8].

Основният психологически проблем на управлението на БЛА е пространствената отдалеченост на оператора от управляваното устройство. Поради това операторът е лишен от значително количество сензорна информация, която обикновено придружава полета, а това е предпоставка за грешки при вземането на решения. Основният източник на информация е видеокамера с ограничено зрително поле, а при такива условия грешките при пилотиране са честа причина за аварии при БЛА.

Особено внимание се отделя на проблема за взаимодействието между човека и машината (компютърно-информационна система) в процеса на ориентация на човека в сложна пространствено-времева обстановка, вземане на решения и действие. Такъв проблем исторически за първи път е бил поставен в авиацията, а по-късно се разпространява в наземния транспорт, в управлението на въздушното движение, ядрената енергетика, медицината, в изследването на космоса и системите за ситуационен анализ и поддръжка на вземането на решения. Проблемът е получил название ситуационната осведоменост (Situational awareness, SA) и се дефинира като способност на потребителите напълно да възприемат, разбират и вземат решения в дадена ситуация [9, 10]. Възприятие (Ниво 1 SA) е най-основното ниво и включва разпознаване и наблюдение на елементи като хора, обекти и

фактори на околната среда, както и тяхното текущо състояние. Разбиране (Ниво 2 SA) се основава на възприятието и включва способността за разработване на картина на текущата ситуация чрез използване на разпознаване на модели, оценка и интерпретация за синтезиране на информация. И накрая, най-високото ниво на SA, Проекция (Ниво 3 SA), включва разбиране на динамиката на околната среда и прогнозиране на бъдещи състояния. Ефективният дизайн на потребителския интерфейс трябва да поддържа и трите нива на SA.

В когнитивната психология се използва понятието концептуален модел, чрез който операторът в определен момент отразява обекта за управление и управляващата ситуация в тяхната цялост. Концептуалният модел се разглежда като основно вътрешно средство за дейност, създадено в процеса на обучение и тренировка. Този модел включва житейския опит и знанията на човека, получени по време на специализирано обучение, както и информацията, получена в процеса на управление.

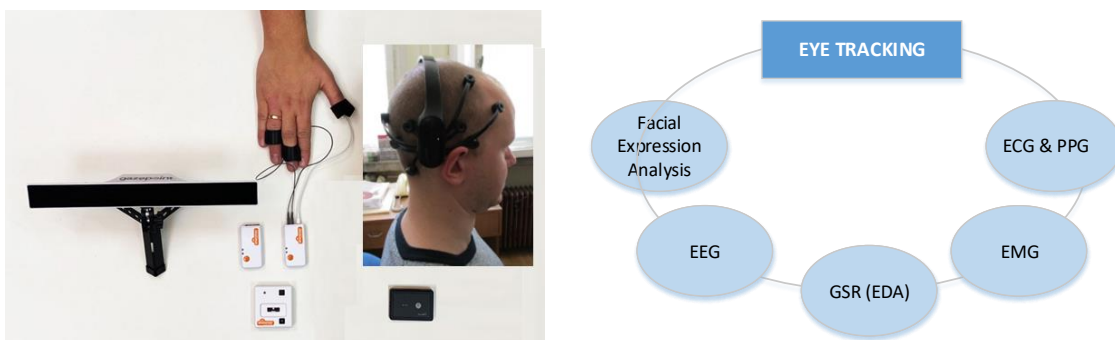
В тази връзка използването на физиологични мерки и биосензори в изследванията на човешкия фактор и човешкото поведение непрекъснато расте. Мултимодалните изследвания се извършват с няколко биосензора или модула, като всеки отделен хардуер е свързан към един компютър или в лабораторна станция чрез специален софтуер. Такива инструменти са проследяване на очите, анализ на изражението на лицето, ЕЕГ (Електроенцефалография), ЕМГ (Електромиография), ЕДА (Електродермалната активност (EDA/GSR) и ЕКГ (Електрокардиограма), които допълнят традиционните изследователски подходи. В момента производителите на софтуер и хардуер все повече разработват инструменти, които позволяват на потребителите да провеждат изследвания на човешкото поведение, използвайки повече модалности наведнъж, например чрез комбиниране на проследяване на очите с анализ на изражението на лицето или ЕЕГ, [11]. В резултат на това изследванията стават не само по-удобни, но и по-ефективни и прецизни. Мониторингът на такъв род физиологични сигнали помага за разбиране на процесите на вземане на решения от човешкия фактор в критични задачи и среди.

При възможност от финансиране ще се проведат пилотни експерименти за физиологични измервания в „Лабораторията за подбор, обучение и контрол на оператори на безпилотни летателни апарати“ в ИКИТ-БАН, като се използва наличния специфичен инструментариум: за Eye tracking – мобилен окулограф Pupil Labs Core и настолен окулограф GazePoint GP3 HD (за проследяване движенията на очите), с комплект прибори за събиране на биометрични данни: сърдечен ритъм (heart rate), електродермална активност (galvanic skin response) и аналогов потенциометър (analog self-reported user engagement), както и системата Emotiv (ЕЕГ технология за количествено измерване на мозъчната дейност), [12, 13].

Предлага се създаването на *мултимодална биосензорна лабораторна станция* към Лабораторията, която да обединява комбинираното използване на няколко неинвазивни физиологични и психологични метода на изследване:

**А. Физиологични изследвания.** Използването на обективни физиологични измервания и биосензори за мултимодално изследване на човешкия фактор дава възможност да се направи оценка на физиологичното състояние на оператора и неговото поведение при управление на БЛА чрез използване на специфични инструменти като:

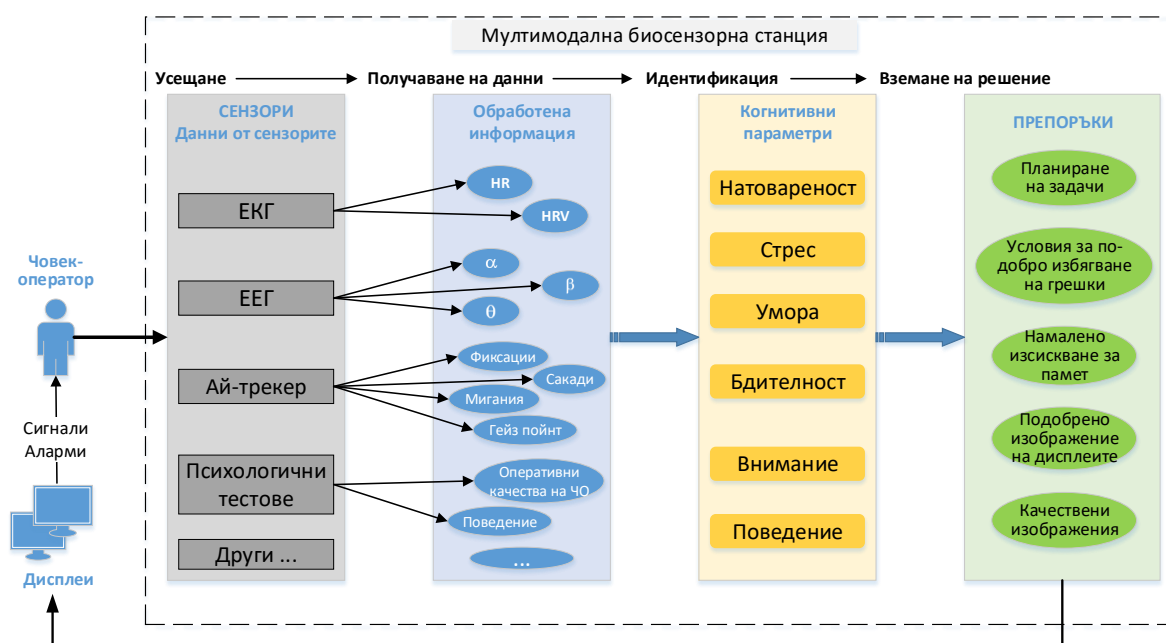
- Eye tracking – окулографски метод за регистриране движенията на очите, измерване на диаметъра на зениците и честота на миганията за изследване на когнитивното натоварване и зрителното внимание на ЧО;
- ЕЕГ метод (иновативна безжична система Emotiv), който позволява софтуерна обработка на ЕЕГ данните с изчисляване на показатели за ефективност (Performance metrics) и анализ на изражението на лицето (facial expression analysis)?;
- ЕМГ за регистриране на моторния отговор и измерване време на реакция;
- HRV (Heart rate variability) - ЕКГ с изчисляване на вариабилитет на сърдечната честота.



Фиг. 1 . Неинвазивни психо-физиологични методи за изследване

**Б. Психометрични изследвания.** Използване на батерия от Психометрични тестове ще предостави на операторите персонализирана обратна връзка за техните нива на стрес, внимание и фокус, поносимост към умствено натоварване, стрес и умора, как тези фактори повлияват изпълнението на летателната дейност и повишават риска от човешка грешка, и как операторите могат активно да работят за подобряване на своите умения и представяне. Психологичните тестове предлагани от Vienna Test System (VTS) на д-р Шуфрид [14] са подходящ метод за изследване на оперативните качества на участниците, включително и на тяхното поведение в ситуации на голямо работно натоварване и стрес.

Чрез горе посочената тестова система предвиждаме да се направи оценка на: 1) Тримеренсиналната пространствена ориентация (пространствена ориентация и мислене), необходима за ефективното и безопасно управлението на БЛА; 2) Стресоустойчивост (неговата реакция към бързо променящите се стимули и възможностите му да се справи с изпълнението на задачата при сложни условия); 3) Бдителност - тестът се използва за оценка на вниманието на оператора на БЛА при изпълнение на продължителни и монотонни задачи, при които може да настъпи умора и влошаване в представянето, което крие риск да компрометира безопасността на полета. Психологичните изследвания ще бъдат провеждани преди и след изпълнението на полетите с БЛА.



Фиг. 2. Блокова схема, илюстрираща параметрите на мултимодална биосензорна станция

Резултатите от психометричните тестове ще бъдат използвани като предиктор за индивидуалните умения, възможности и качество/ниво на изпълнение на задачите. Получените резултати и установени зависимости от психологичните и физиологични изследвания, и тези от представянето на всеки един оператор при управлението на БЛА, ще дадат възможност за установяване критерии за подбор на оператори на БЛА.

Целта на изследването е създаване на концепция и методики за оценка на качеството на функциониране на авиационна система за мониторинг и управление при кризи с отчитане на човешкият фактор в този процес, включвайки следните основни дейности

- Симулация на кризисна ситуация във флайт симулатор; Изпълнение на полетна задача за ранно откриване, наблюдение и оповестяване на извънредната ситуация (напр. горски пожар) от участниците в експериментите;
- Създаване на експериментална безпилотната авиационна система с дрон с наземен пункт за мониторинг с дистанционен пилот;
- Провеждане на пилотни експерименти с оператори (контингент от доброволци) на тренажори на БЛА и коптери в „Лабораторията за подбор, обучение и контрол на оператори на БЛА“ в ИКИТ-БАН.

## Заклучение

За операторите, управляващи БАС, работещи в пилотски кабинни, контролни зали и други критични среди, информираността за ситуацията е жизненоважна в процесите на пилотиране. Ситуационната осъзнатост на човека-оператор – правилното възприятие, обработка и интерпретация на полетната информация, и прогнозиране състоянието/ поведението на летателния апарат в близко бъдеще, има ключово значение при вземане на правилните решения при пилотиране. Безпилотните авиационни системи не могат да бъдат лишени от човешкото звено за управление (с изключение на някои случаи на пълна автоматизация), като се създава възможност БЛА да се управлява дистанционно, а същевременно да се изпълнява и целия набор от задачи, типични за пилота или полетния екипаж.

Комбинираното използване на горепосочените съвременни физиологични методи на изследване допълва традиционните изследователски подходи, давайки възможност да се направи оценка именно на ситуационната осъзнатост, която повлиява доброто представяне на човека-оператор и би помогнало за разбиране в дълбочина на процесите на вземане на решения от ЧФ в критични ситуации, неговите реакции и поведение в контекста на ефективно и безопасно изпълнение на летателната задача. В проучванията за вземане на решения проследяването на очите ще помогне на да се оценят процесите на вземане на решения, като предоставя допълнителна представа за основните когнитивни механизми. Мониторингът на тези физиологични сигнали може също да се използва в програми за обучение оператори и дистанционни пилоти. Като се предоставят на операторите персонализирана обратна връзка за техните нива на стрес, внимание и фокус, те могат активно да работят за подобряване на своите умения, което води до безопасността и ефективността на полетите. Оценката на човешките когнитивни състояния въз основа на измерване на ключови психофизиологични наблюдаеми параметри се използват за прогнозиране и подобряване на работата на оператора при изпълнението на авиационни задачи.

## Литература:

1. Valavanis, K. P., G. J. Vachtsevanos, Editors. Handbook of Unmanned Aerial Vehicles, Springerq 2015
2. Getsov, P., G. Sotirov, Z. Hubenova, Human Factor Problems in Unmanned Aerial Systems, Aerospace Research in Bulgaria, Volume 35, 2022
3. Националната система за мониторинг на околната среда (НСМОС), <https://eea.government.bg/bg/nsmos>
4. Пенев, П., Космос и сигурност, и-во „Витал“, София, 2014
5. ДИРЕКТИВА 2008/114/ЕО НА СЪВЕТА, относно установяването и означаването на европейски критични инфраструктури и оценката на необходимостта от подобряване на тяхната защита <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0114&from=HR>
6. PlaneCrashInfo.com (<http://www.planecrashinfo.com>)
7. Reason, J: Human error: models and management. BMJ 2000, 320:768-70
8. Safety Management Manual (SMM) Doc 9859; AN/474 [https://www.icao.int/SAM/Documents/RST-SMSSSP-13/SMM\\_3rd\\_Ed\\_Advance.pdf](https://www.icao.int/SAM/Documents/RST-SMSSSP-13/SMM_3rd_Ed_Advance.pdf)
9. Situational Awareness, Edited By Eduardo Salas, Aaron S. Dietz, 2011 by Routledge, SBN 9780754629733
10. Mica, R. Endsley, Designing for Situation, Awareness: an Approach to User-Centered Design, Second Edition (2nd ed.). CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, 2011, USA
11. NeuroSky. EEG & ECG Biosensor Solutions; <http://neurosky.com/>
12. Хубенова, Системно-информационен анализ на човешкия фактор в сложни технически системи, УИ „Св. Климент Охридски“, София, 2021
13. Sotirov, G., K. Metodiev, L. Aleksiev, Z. Hubenova, P. Getsov, D. Zafirov, D. Aleksandrova, D. Ivanova, Investigating the Cognitive Characteristics of UAV Operators During the Training Process Using Eye Tracking Methods, Aerospace Research in Bulgaria, Volume 35, 2022
14. Vienna Test System, SCHUHFRIED, <https://www.schuhfried.com/vienna-test-system/>