

**JUSTIFICATION OF APPROACHES TO A COMPREHENSIVE POINT-BASED ASSESSMENT OF THE FEATURES OF THE COURSE OF PROFESSIONAL ADAPTATION OF UNMANNED AERIAL SYSTEM OPERATORS TAKING INTO ACCOUNT THEIR AGE DETERMINATION**<sup>1</sup>National Pirogov Memorial Medical University (Vinnytsia, Ukraine)<sup>2</sup>Ukrainian Military Medical Academy (Kyiv, Ukraine)<sup>3</sup>Military Medical Clinical Center of the Central Region (Vinnytsia, Ukraine)

nata\_renkas@ukr.net

The combat use of UAS necessitates the development of accurate methods for assessing the adaptation of operators to extreme loads. The aim of the study is to scientifically substantiate approaches to a comprehensive point-based assessment of the course of professional adaptation in UAS operators and to verify its informativeness for forming professional suitability profiles, taking into account age. To achieve the stated objective, psychophysiological examinations were conducted at the MMCC of the CR involving 218 UAS operators. Psychophysiological examinations were carried out using the PFI-2 software-hardware complex for psychophysiological investigation. A three-level model of professional adaptation profiles for UAS operators has been identified and substantiated: stable professional adaptation, strained professional adaptation, and professional maladaptation. It was found that the organizational structure of professional adaptation radically changes depending on age: operators aged <40 years rely on neurodynamic reserve and sensorimotor stability, while operators aged ≥40 years use cognitive compensatory strategies. Highly accurate predictive models (98.4-100%) have been developed, optimized by the number of predictors for different age groups (13 and 9, respectively). A direct correlation between maladaptation and health status has been proven: in older operators, prolonged "remote stress" triggers a critical increase in cardiovascular diseases. The results obtained allow us to objectify expert decisions and implement a differentiated approach to assessing the professional reliability of UAS operators.

**Key words:** unmanned aerial system operators, professionally important psychophysiological qualities, professional adaptation profiles, prognostic point-based assessment models, stress-associated diseases.

**Connection of the publication with planned research work.**

The study is a part of the research project conducted at the Department of General Hygiene and Ecology of National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia, entitled "Features of the Impact of Stress-Related Diseases on the Psychophysiological State of Servicemen of the Armed Forces of Ukraine and a Comprehensive Assessment of the Effectiveness of Rehabilitation Care", state registration number 0124U000652.

**Introduction.**

The current stage in the development of modern warfare is characterised by a profound transformation in the paradigm of combat operations, where technological dominance plays a decisive role. Unmanned aerial systems (UAS) and robotic technologies occupy a central place in this transformation, and their operational effectiveness largely depends on the professional training of operators as well as on the integration of intelligent technological solutions into command and control processes [1]. The establishment of the regulatory framework for the world's first separate branch of unmanned systems within the Armed Forces of Ukraine has not only legitimized the ongoing technological transformation but has also laid the foundation for a transition from the ad hoc use of autonomous systems to a comprehensive military strategy aimed at the large-scale deployment of robotic technologies in combat operations and the minimisation of risks to military personnel [2].

The unprecedented expansion in the deployment of unmanned aerial systems (UAS) has become an important catalyst for addressing the human factor in modern

combat operations. A UAS operator today performs duties at the limits of psychophysiological capacity, where critical errors may lead not only to the loss of high-value equipment but also to consequences affecting the success of combat operations and the safety of military personnel [3].

Professional fitness is traditionally considered through the prism of an individual's adaptive potential [4]. However, the nature of the professional activity of UAS operators differs substantially from that of pilots. Research indicates the emergence of a specific type of "remote stress" among this category of specialists, characterised by the combination of static or dynamic workload with pronounced psycho-emotional strain [5]. Under conditions of prolonged exposure to combat stress, stress-related diseases become particularly relevant, as they may serve as a pathogenetic basis for the impairment of professionally important psychophysiological functions [6].

Despite the substantial body of research devoted to the psychological support of military personnel, the objective assessment of the course of professional adaptation among UAS operators remains a matter of debate. Existing methodologies often rely on qualitative indicators of performance which, as practical experience shows, may be temporarily compensated for through excessive volitional effort and therefore do not adequately reflect the actual state of the body's functional reserves [7-9]. Therefore, there is an urgent need to develop and scientifically substantiate a comprehensive scoring system capable of integrating disparate indicators of psychophysiological status into a unified prognostic model.

Particular importance is attached to identifying sensitive markers that can differentiate levels of adaptation at early stages, prior to the development of clinically manifest forms of professional deterioration or psychosomatic disorders [10].

#### **The aim of the study.**

To provide a scientific justification for approaches to a comprehensive scoring assessment of the characteristics of professional adaptation among UAS operators and to evaluate its informativeness for the development of profiles of high professional fitness, taking into account age-related characteristics.

#### **Object and research methods.**

To achieve the stated objective, psychophysiological examinations were conducted at the Department of Psychophysiology and Psychology of the Military Medical Clinical Center of the Central Region (MMCC CR). The study involved 218 UAS operators, including 184 operators aged <40 years and 34 operators aged ≥40 years, who were examined during inpatient medical and flight expertise with consideration of their health status. The examinations were carried out using the *PFI-2* software and hardware complex for psychophysiological testing [11], registered in the State Register of persons responsible for placing medical devices, active implantable medical devices, and in vitro diagnostic medical devices on the market (No. 5850) of the Ministry of Health of Ukraine. The organization and methodological framework of the examinations were developed on the basis of established theoretical and practical approaches described in previous studies [12]. During the comprehensive psychophysiological examinations, the following indicators were recorded: critical flicker fusion frequency (CFFF) for green light; latency period of the simple visual-motor reaction (SVMR) and its standard deviation; latency period of the complex visual-motor reaction (CVMR) and its standard deviation; functional mobility of nervous processes (FMNP), strength of nervous processes (SNP), and the number of tasks completed in the assessment of nervous process functional mobility; temporal parameters of the reaction to a moving object (RMO); as well as performance indicators in tests assessing attention concentration (ACT), spatial orientation (SO), and short-term visual memory (VM). These included the advance and delay time of the reaction to a moving object, the time required to complete the attention concentration task, the time of correct and incorrect responses in the spatial orientation task, and the time of correct and incorrect responses in the short-term visual memory test, among others.

Statistical analysis was performed using cluster analysis, discriminant analysis, and one-way analysis of variance, as well as methods of descriptive and non-parametric statistics (Mann–Whitney U test) implemented in the STATISTICA 13.3 software package (license AXA905I-924220FAACD-N).

#### **Research results and their discussion.**

The development and scientific substantiation of a comprehensive scoring approach to assessing the professional adaptation of UAS operators is an essential step toward improving the reliability of the “human-machine” system. The specific nature of the professional activity of UAS operators requires the stability of psychophysiological responses under conditions of pronounced neuro-emotional strain [13]. Therefore, the introduction

of an integrated indicator of professional adaptation makes it possible to move beyond the analysis of individual, often fragmented parameters toward a holistic profile of a specialist, thereby significantly improving the accuracy of predicting professional fitness. Such a comprehensive assessment can serve as an effective tool for objectifying the processes of selection and monitoring of operators’ functional status, ultimately contributing to the reduction of risks of emergency situations associated with the human factor. The application of a differentiated approach also ensures the standardization of psychophysiological assessment results, making them clearer for practical use in expert decision-making regarding the admission of specialists to perform operational duties.

The use of an integrated indicator makes it possible to overcome the limitations associated with inconsistent individual indicators by taking into account the compensatory capacities of the organism and ensuring high prognostic accuracy regarding the reliability of UAS operators’ performance under extreme conditions. For this purpose, it is advisable to apply an approach to the development of an integrated indicator that is both informative and practical for real-world application. Therefore, the identification of three distinct profiles of professional adaptation represents a scientifically substantiated approach based on the principle of optimal differentiation. Moreover, the use of a three-level structure is methodologically more appropriate than more detailed classifications (5–10 profiles), as the latter tend to blur the boundaries between categories and reduce the statistical reliability of the observed differences. From a pragmatic perspective, a three-component profile model is also the most appropriate for expert decision-making, as it clearly distinguishes UAS operators with “stable professional adaptation,” “strained professional adaptation” requiring corrective measures, and a profile of “professional maladaptation,” in which excluding a candidate from performing assigned tasks helps minimize the likelihood of accidents caused by the human factor.

Thus, cluster analysis using the k-means method identified three profiles of professional adaptation among UAS operators: a profile of stable professional adaptation (“1”), a profile of strained professional adaptation (“2”), and a profile of professional maladaptation (“3”). The results are presented in **table 1**.

Analysis of the study results made it possible to identify specific characteristics of each of the three distinct profiles of professional adaptation among UAS operators aged <40 years, as confirmed by statistically significant inter-profile differences in psychophysiological parameters. It was established that the parameters of SVMR, SD-SVMR, CVMR, SD-CVMR, number of tasks in the FMNP test (FMNP-N), and time of correct responses in the short-term visual memory task (VM-CR) demonstrate a consistent deterioration in functional status from the profile of stable professional adaptation to the profile of professional maladaptation. This pattern is manifested by an increase in information processing time and a decrease in reaction stability, while the success rate of task performance correspondingly declines. At the same time, the remaining psychophysiological parameters demonstrate heterogeneous patterns of change, indicating the multiplicity of adaptation mechanisms and the

involvement of various compensatory resources of the organism depending on the operator's level of professional fitness.

A comparative analysis of the profiles of stable and strained professional adaptation among UAS operators revealed a statistically significant advantage of operators in Profile 1 in terms of the FMNP, SNP, and FMNP-N parameters ( $p < 0.001$ ). Operators in Profile 1 demonstrate higher levels of sensorimotor integration, whereas operators in Profile 2 exhibit slower central information processing mechanisms and reduced mobility of the nervous system involved in the psychophysiological regulation of operator performance. In addition, operators in Profile 2 showed a tendency toward an improvement in the CFFF index ( $p = 0.055$ ). Such an increase in the lability of neural processes may be interpreted as a manifestation of compensatory activation of the central nervous system aimed at maintaining an adequate level of performance under conditions of progressive functional strain.

When comparing the profiles of strained professional adaptation and professional maladaptation among UAS operators, a pronounced deterioration in the psychophysiological state of the latter was observed. Statistically significant differences were identified for the following parameters: SVMR, CVMR, standard deviation of complex visual-motor reaction time (SD-CVMR), FMNP, SNP, advance reaction time to a moving object (RMO-A), ACT, correct response time in the spatial orientation task (SO-CR) ( $p < 0.001$ ), delay reaction time to a moving object (RMO-D) ( $p < 0.01$ ), and critical flicker fusion frequency (CFFF) ( $p < 0.05$ ). Such dynamics indicate a marked decrease in the speed and stability of sensorimotor reactions, as well as slower decision-making under conditions of maladaptation. At the same time, 30% of the analysed parameters in Profile 3 were significantly better than those observed in Profile 2 (FMNP, SNP, and RMO-A). This paradoxical finding may indicate a transition of the organism to a stage of inadequate hypermobilization, in which the operator performs operational tasks at the limit of exhaustion. Under such conditions, inhibitory control decreases, and behaviour becomes more impulsive, preventing the operator from adequately assessing the situation. This finding confirms the critical instability of the functional state and the high probability of a sudden deterioration in the quality of professional performance when the workload changes. Under such conditions, task execution by such an operator becomes potentially hazardous and economically risky due to the increased likelihood of erroneous actions in non-standard situations. In addition, operators in Profile 2 showed a tendency toward an improvement in the SD-SVMR parameter ( $p = 0.071$ ) and a deterioration in VM-CR ( $p = 0.054$ ) and VM-IR ( $p = 0.079$ ), indicating signs of cognitive resource depletion while maintaining the pace of sensorimotor reactions. In contrast, in Profile 3, such changes appear to result from compensatory disinhibition of neural processes.

The most pronounced contrast was observed between the profiles of stable professional adaptation and professional maladaptation, where statistically significant differences were identified for almost all psychophysiological parameters at the level of  $p < 0.001$  (SVMR, CVMR, SD-CVMR, FMNP, SNP, FMNP-N, CAT, and SO-CR),  $p < 0.01$  (RMO-A), and  $p < 0.05$  (SD-SVMR, RMO-A,

**Table 1 – Profiles of Professional Adaptation in Unmanned Aerial System Operators Aged <40 Years (M ± m)**

Psychophysiological Parameters	Profiles of Professional Adaptation		
	"1" (n=93)	"2" (n=53)	"3" (n=38)
CFFF, Hz	46.4±0.4	45.2±0.5	47.0±0.6°
SVMR, ms	263.1±2.9 <sup>ooo</sup>	268.8±3.1	291.8±3.4 <sup>***</sup>
SD-SVMR, ms	21.1±0.9°	22.0±1.2	25.3±1.3
CVMR, ms	392.1±4.2 <sup>ooo</sup>	401.4±3.7	458.6±4.6 <sup>***</sup>
SD-CVMR, ms	63.1±1.8 <sup>ooo</sup>	65.9±2.4	86.3±4.0 <sup>***</sup>
FMNP, ms	303.9±2.1 <sup>ooo</sup>	370.4±3.3 <sup>***</sup>	329.8±5.2 <sup>***</sup>
SNP, ms	385.0±2.7 <sup>ooo</sup>	460.5±3.4 <sup>***</sup>	420.7±5.1 <sup>***</sup>
FMNP-N, count	210.2±1.5 <sup>ooo</sup>	193.7±3.6 <sup>***</sup>	190.9±2.2
RMO-A, ms	40.7±2.8°	45.2±2.7	28.6±3.6 <sup>***</sup>
RMO-D, ms	51.4±2.5°	49.1±3.4	72.1±7.6 <sup>**</sup>
ACT, s	310.2±7.7 <sup>ooo</sup>	308.7±11.2	390.8±11.5 <sup>***</sup>
SO-CR, s	9.8±0.5 <sup>ooo</sup>	8.9±0.5	14.8±1.2 <sup>***</sup>
SO-IR, s	7.9±0.9	6.7±0.7	8.2±1.2
VM-CR, s	10.6±0.3°	11.0±0.3	12.1±0.4
VM-IR, s	9.0±0.7	8.2±1.2	11.9±1.7

**Notes:** \*\*\* – statistically significant differences in the mean values of indicators between the profiles of stable professional adaptation ("1") and strained professional adaptation ("2") according to Student's *t*-test at  $p < 0.001$ ; °, °°, °°° – statistically significant differences in the mean values of indicators between the profiles of strained professional adaptation ("2") and professional maladaptation ("3") according to Student's *t*-test at  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ , and  $p < 0.001$ , respectively; °, °°, °°° – statistically significant differences in the mean values of indicators between the profiles of stable professional adaptation ("1") and professional maladaptation ("3") according to Student's *t*-test at  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ , and  $p < 0.001$ , respectively.

and VM-CR). Profile 1 represents a benchmark of high adaptation with minimal temporal variability, based on high sensorimotor stability and preserved cognitive reserve, whereas Profile 3 demonstrates pronounced signs of systemic deterioration. It should also be noted that 8.33% of the analysed parameters in operators in Profile 3 were significantly better than those observed in Profile 1 (RMO-A). This finding further confirms that, against the background of a general slowing of reactions, localized areas of abnormal ("mosaic") hypermobilization may occur. This pattern indicates exhaustion of the limits of psychophysiological regulation, whereby external stimulation no longer results in productive performance but instead provokes uncontrolled impulsive responses, thereby substantially increasing operational risk. In addition, operators in Profile 3 showed a tendency toward deterioration in the VM-IR parameter ( $p = 0.062$ ), indicating depletion of cognitive reserve and an inability to maintain effective self-control mechanisms.

In light of the obtained results, investigating the patterns underlying the formation of professional adaptation profiles from an age-related perspective is of considerable scientific interest. It is generally assumed that aging is accompanied by a restructuring of psychophysiological regulation mechanisms [14], manifested in decreased natural lability, a gradual slowing of sensorimotor responses, a reduction in working memory capacity, and increased variability in the temporal parameters of professional performance. In experienced specialists, however, these changes are often compensated by accu-

**Table 2 – Profiles of Professional Adaptation in Unmanned Aerial System Operators Aged ≥40 Years, Me (10th–90th percentiles)**

Psychophysiological Parameters	Profiles of Professional Adaptation		
	"1" (n=18)	"2" (n=11)	"3" (n=5)
CFFF, Hz	43.0 (40.3-54.3)	45.6 (41.3-49.5)	45.0 (42.5-46.8)
SVMR, ms	279.5 (249.0-328.0)	293.0 (261.0-311.0)	325.0 (253.0-367.0)
SD-SVMR, ms	17.3 (10.0-49.7) <sup>°</sup>	28.0 (17.6-37.2)	38.7 (18.0-60.0)
CVMR, ms	412.5 (354.0-476.0) <sup>°°</sup>	483.0 (458.0-496.0) <sup>***</sup>	488.0 (468.0-488.0)
SD-CVMR, ms	54.9 (35.8-93.5)	70.8 (60.3-121.6) <sup>*</sup>	38.3 (38.3-108.3)
FMNP, ms	291.5 (248.0-340.0) <sup>°</sup>	393.0 (157.0-417.0) <sup>***</sup>	351.0 (297.0-372.0) <sup>*</sup>
SNP, ms	377.3 (345.5-441.6) <sup>°</sup>	479.4 (453.1-531.2) <sup>***</sup>	432.0 (393.5-458.2) <sup>*</sup>
FMNP-N, count	207.5 (183.0-244.0) <sup>°°</sup>	173.0 (161.0-180.0) <sup>***</sup>	178.0 (149.0-198.0)
RMO-A, ms	32.5 (0.0-56.0) <sup>°°</sup>	29.0 (0.0-95.0)	81.0 (52.0-92.0)
RMO-D, ms	68.0 (49.0-94.0)	65.0 (42.0-89.0)	64.0 (8.0-100.0)
ACT, s	298.5 (237.0-407.0) <sup>°°°</sup>	337.0 (317.0-384.0)	521.0 (416.0-659.0) <sup>**</sup>
SO-CR, s	11.0 (4.0-17.0) <sup>°°</sup>	11.0 (8.0-21.0)	21.0 (19.0-27.0) <sup>*</sup>
SO-IR, s	0.5 (0.0-10.0) <sup>°</sup>	9.0 (0.0-24.0) <sup>*</sup>	32.0 (0.0-35.0)
VM-CR, s	11.5 (8.0-15.0)	10.0 (8.0-14.0)	11.0 (10.0-17.0)
VM-IR, s	6.0 (0.0-17.0)	6.0 (4.0-30.0)	0.0 (0.0-10.0)

**Notes:** \*, \*\* – statistically significant differences between the profiles of stable (1) and strained (2) professional adaptation according to the Mann–Whitney U test at p<0.05 and p<0.001, respectively; °, °° – statistically significant differences between the profiles of strained professional adaptation (2) and professional maladaptation (3) according to the Mann–Whitney U test at p<0.05 and p<0.01, respectively; °°, °°° – statistically significant differences between the profiles of stable professional adaptation (1) and professional maladaptation (3) according to the Mann–Whitney U test at p<0.05, p<0.01, and p<0.001, respectively.

mulated professional experience, strategic thinking, and optimization of operational strategies. Nevertheless, the question of whether a similar three-component structure of professional adaptation profiles is preserved among UAS operators aged ≥40 years remains open. The professional adaptation profiles of UAS operators aged ≥40 years are presented in **table 2**.

Analysis of the psychophysiological parameters of UAS operators aged ≥40 years also confirmed the presence of three similar profiles of professional adaptation, the specificity of which is objectively supported by the identified statistical heterogeneity of inter-profile indicators. As in the younger age group, operators aged ≥40 years demonstrate differentiated dynamics of the analysed parameters: some indicators show a consistent deterioration in the functional state from the profile of stable professional adaptation to the profile of professional maladaptation, whereas others exhibit heterogeneous patterns of change, indicating a more complex structure of compensatory mechanisms. The parameters reflecting the progressive deterioration of the operators' functional state include SVMR, SD-SVMR, CVMR, RMO-A, ACT, and SO-CR. These findings indicate a gradual slowing of cognitive information processing and a reduced speed of its execution which, combined with decreased accuracy of temporal prediction, leads to a substantial decline in the reliability of operator performance. At the same time, the heterogeneous dynamics of the remaining parameters indicate a complex restructuring of regulatory mechanisms, in which accumulated experience and professional skills attempt to compensate for physiological exhaustion, creating a heterogeneous pattern of psychophysiological regulation of professional performance.

A comparative analysis of the profiles of stable and strained professional adaptation revealed a significant advantage for operators in Profile 1 in terms of CVMR, FMNP, SNP, and FMNP-N (p<0.001), as well as SD-CVMR and SO-CR (p<0.05). Operators in Profile 1 demonstrate higher levels of sensorimotor integration, whereas operators in the strained adaptation profile exhibit a slowing of central information-processing mechanisms, reduced reaction stability, and decreased accuracy of spatial orientation, indicating signs of depletion of functional reserves. At the same time, a tendency toward deterioration was observed for the ACT parameter (p=0.056), indicating the onset of destabilization of cognitive control and confirming the compensatory nature of this state, in which performance is maintained through increased internal effort on the part of the operator.

When comparing the profiles of strained professional adaptation and professional maladaptation

among UAS operators, a specific transformation of their psychophysiological state was observed. Statistically significant differences were identified for the following parameters: ACT (p<0.01), FMNP, SNP, and RMO-A (p<0.05). Such dynamics indicate a selective decline in cognitive control and difficulties in maintaining attention under conditions of maladaptation. At the same time, 50% of the informative parameters (FMNP and SNP) show significantly worse values among operators in Profile 2, whereas in operators in Profile 3 these indicators paradoxically improve. This pattern suggests a transition of the organism to a stage of inadequate hypermobilization, in which the pace of activity, despite the depletion of functional reserves, is maintained through disinhibition of nervous processes. It may be assumed that this reflects a breakdown of compensatory mechanisms and a transition of the system to a lower, less effective level of regulation. As a result, actions become more impulsive and the risk of errors in non-standard situations increases, making the operator's performance potentially hazardous due to the loss of an adequate assessment of the situation. At the same time, operators in Profile 3 showed a tendency toward deterioration in the parameters of SVMR (p=0.099), SD-SVMR (p=0.061), and RMO-A (p=0.078). Unlike the pattern observed for endurance, in these parameters operators in the maladaptation group demonstrate consistently worse results compared with operators in Profile 2. This indicates a progressive depletion of the basic neurodynamic resource which, against the background of reduced cognitive self-control, increases the risk of emergency situations under conditions of prolonged operational workload.

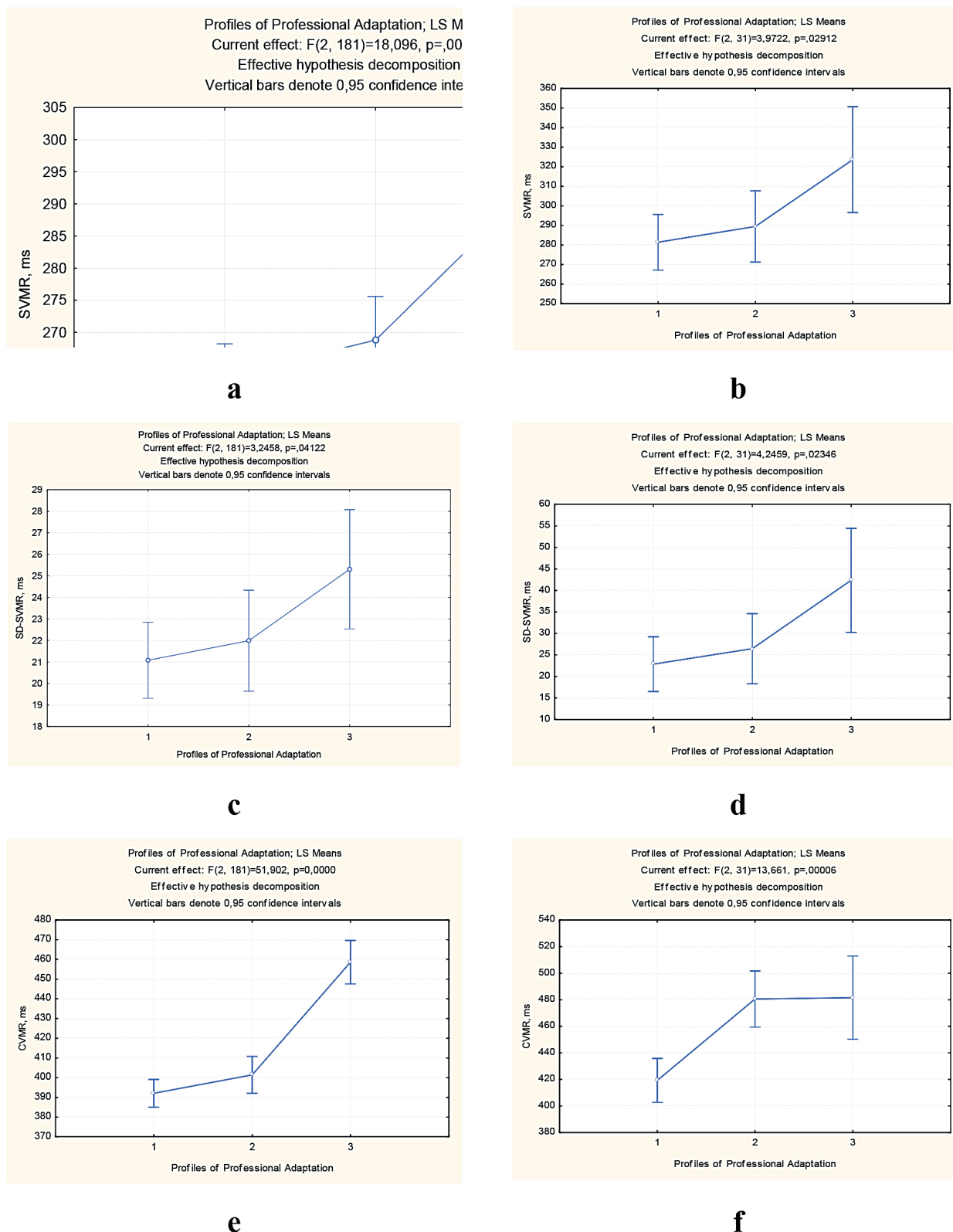


Figure 1 – Universal psychophysiological parameters of professional adaptation in unmanned aerial system (UAS) operators (a, c, e – age <40 years; b, d, f – age ≥40 years).

The most pronounced contrast was observed between the profiles of stable professional adaptation and professional maladaptation, where statistically significant deterioration was identified for most psychophysiological parameters at the level of  $p < 0.001$  (ACT),  $p < 0.01$  (CVMR, FMNP-N, RMO-A, and SO-CR), and  $p < 0.05$  (SD-SVMR, FMNP, SNP, and SO-IR). Profile 1 represents

a benchmark of functional stability, whereas Profile 3 demonstrates signs of systemic deterioration. The majority of these parameters in operators in Profile 3 show significantly worse values compared with operators in Profile 1, indicating an extreme depletion of psychophysiological limits. This pattern indicates the inability of the organism to provide effective compensatory respons-

es, transforming operator performance into a state of persistent risk of emergency situations due to a critical reduction in response speed and accuracy. At the same time, a tendency toward deterioration in the SVMR parameter was observed ( $p = 0.068$ ), which further confirms the depletion of basic neurodynamic properties and the inability to maintain effective self-control under conditions of maladaptation.

Thus, the three-level model of professional adaptation profiles for UAS operators aged  $<40$  and  $\geq 40$  years can be considered robust, as it integrates markers of progressive deterioration in the functional state with heterogeneous effects of compensatory mobilization. The identified inter-profile differences in psychophysiological status make it possible not only to differentiate the current performance of operators but also to objectively assess their professional reliability and the risk of erroneous actions under critical operational conditions of unmanned systems. Despite the similarity of the identified profiles, their internal structural organization demonstrates fundamental differences determined by age-related factors. Among UAS operators aged  $<40$  years, adaptation is primarily based on neurodynamic resources, whereas the shift in functional state toward the profile of professional maladaptation exhibits a pronounced character, driven by the depletion of the speed-related and energetic capacities of the central nervous system while the cognitive domain remains relatively stable. In contrast, among UAS operators aged  $\geq 40$  years, the emphasis shifts toward cognitive strategies and sensory control, where the deficit of natural neurodynamic resources characteristic of this age group is compensated by the mobilization of accumulated experience. Such a divergence of adaptive strategies substantiates the implementation of differentiated scoring models for assessing the professional suitability of UAS operators depending on age.

Subsequently, a one-way analysis of variance (ANOVA) was applied to determine the statistical significance of each psychophysiological parameter reflecting the level of professional adaptation of operators. The universal psychophysiological parameters of professional adaptation in UAS operators are presented in **figure 1**.

A comparative analysis of universal psychophysiological parameters of professional adaptation confirms the preservation of a three-level structure in both age categories. A common pattern is the nearly linear deterioration of key sensorimotor indicators from the profile of stable professional adaptation to the profile of professional maladaptation. Statistically significant changes in both age groups were observed for the parameters SVMR, SD-SVMR, and CVMR, which allowed these indicators to be identified as universal markers of the functional state of UAS operators regardless of age.

Analysis of the dynamics of SVMR reaction time revealed a gradual increase in reaction latency in both age categories of UAS operators. The pattern of changes in SVMR latency indicates that age-related factors represent a key determinant of the decline in sensorimotor response speed, which is reflected in an overall increase in the parameter values even under conditions of stable adaptation (**fig. 1b**). In the younger age group (**fig. 1a**), the differentiation of profiles is

highly significant ( $p=0.000001$ ) and demonstrates a near-linear increase in SVMR from Profile 1 ( $263.1\pm 2.9$  ms) to Profile 3 ( $291.8\pm 3.4$  ms). A similar transformation is observed among operators in the older age group, but with a characteristic prolongation of sensorimotor reaction time: from  $281.4\pm 7.1$  ms in operators in Profile 1 to  $323.6\pm 19.3$  ms in operators in Profile 3 ( $p=0.02912$ ). The high sensitivity of the SVMR parameter among operators in the younger age group makes it a strong marker of professional adaptation.

The analysis of the stability of nervous processes using the SD-SVMR parameter confirmed its role as a key marker of operator mobilization readiness. In both age categories, a clear differentiation was observed: minimal instability among operators in Profile 1 and a substantial increase among operators in Profile 3. In the younger age group (**fig. 1c**), this indicator demonstrates a moderate increase from Profile 1 ( $21.1\pm 0.9$  ms) to Profile 3 ( $25.3\pm 1.3$  ms;  $p=0.04122$ ). However, among operators in the older age group (**fig. 1d**), a pronounced inter-profile divergence in values was observed: from  $22.9\pm 3.2$  ms in operators in Profile 1 to  $42.4\pm 2.9$  ms in the state of professional maladaptation ( $p=0.02346$ ). Such a sharp increase in the SD-SVMR parameter among operators in Profile 3 indicates a profound disorganization of neurodynamic processes, which critically reduces operator reliability during task performance.

Analysis of the dynamics of CVMR latency revealed a specific age-related transformation of the multimodal speed-related mechanisms underlying operator performance. Among operators in the younger age group, the parameters of Profile 1 ( $392.1\pm 4.2$  ms) and Profile 2 ( $401.4\pm 3.7$  ms) remain relatively stable and close in value, indicating a preserved ability for rapid signal differentiation even under conditions of strained professional adaptation (**fig. 1e**). Operators in Profile 3 are characterized by a pronounced deterioration of the CVMR parameter to  $458.6\pm 4.6$  ms ( $p=0.00001$ ), indicating a state of profound maladaptation. In contrast, among operators in the older age group (**fig. 1f**), a substantial shift in functional balance is observed: the values for Profile 2 ( $480.5\pm 7.0$  ms) show a marked deviation from those of Profile 1 ( $419.2\pm 10.2$  ms) and progressively approach the critical values characteristic of Profile 3 ( $481.6\pm 14.1$  ms). This change in the pattern of inter-profile differences ( $p=0.00006$ ) indicates gradual shifts in neurodynamic mechanisms, whereby maintaining a high speed of decision-making becomes increasingly difficult with age, leading to a gradual blurring of the boundary between strained adaptation and maladaptation.

Thus, the identified features indicate a fundamental change in age-dependent mechanisms of performance maintenance. Among operators in the younger age group, the state of strained professional adaptation is based on an active compensatory strategy that allows the maintenance of high speed and stability of reactions. In contrast, among operators in the older age group, a similar state is associated with a passive strategy – namely, a strategy of exhaustion – in which the reliability of operator performance is maintained through excessive functional strain and destabilization of neurodynamic processes. This divergence of compensatory mechanisms indicates that behind the apparently stable external performance of experienced operators lies a critical

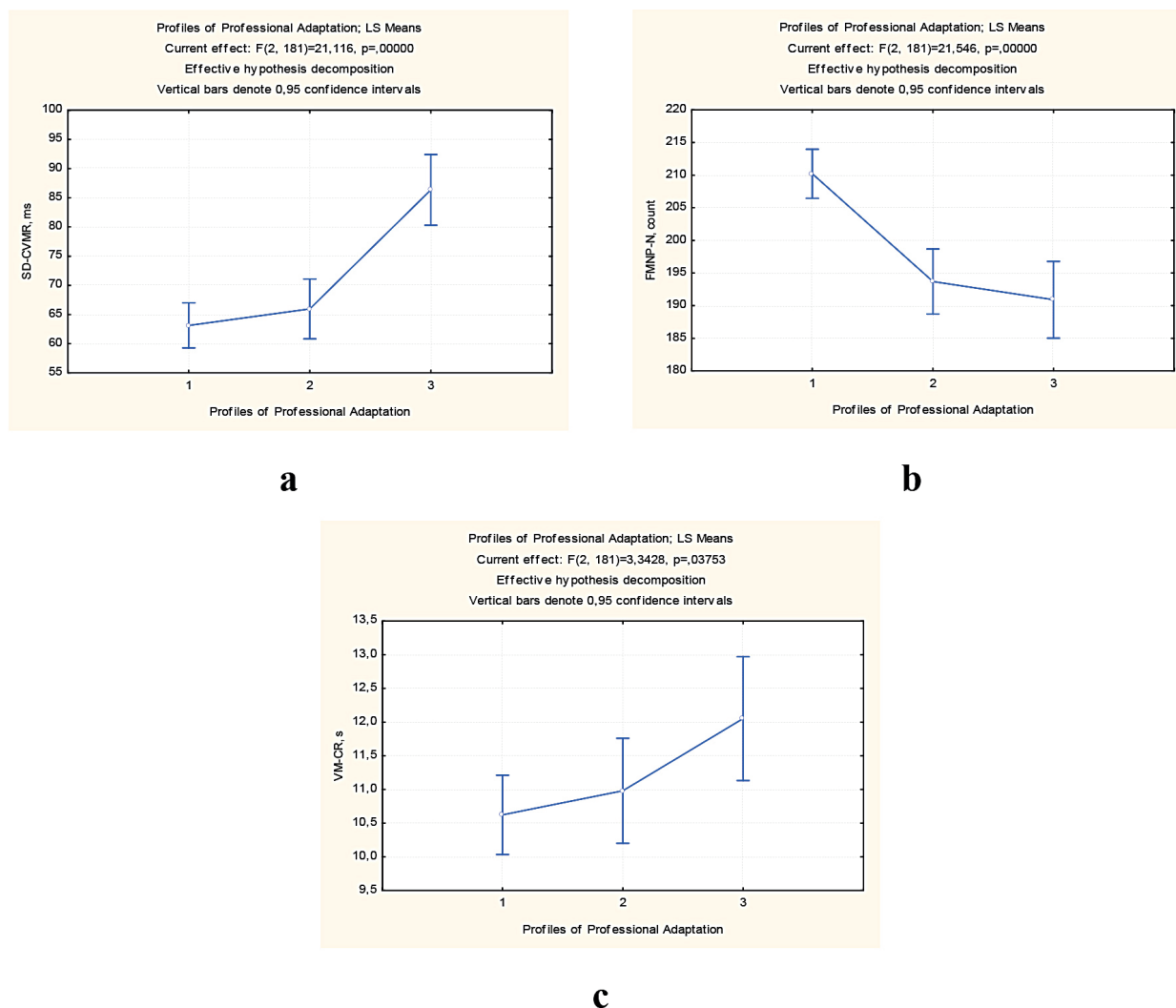


Figure 2 – Unique psychophysiological parameters of professional adaptation of unmanned aerial system operators aged <40 years.

depletion of reserve capacities, which significantly increases the risk of sudden performance failure under demanding operational conditions.

Along with the identification of universal markers demonstrating near-linear dynamics in both age groups, unique markers specific to each group were also identified. The presence of such markers confirms the divergence of individual strategies of professional adaptation among operators depending on age. The unique psychophysiological parameters of professional adaptation in UAS operators aged <40 years are presented in figure 2.

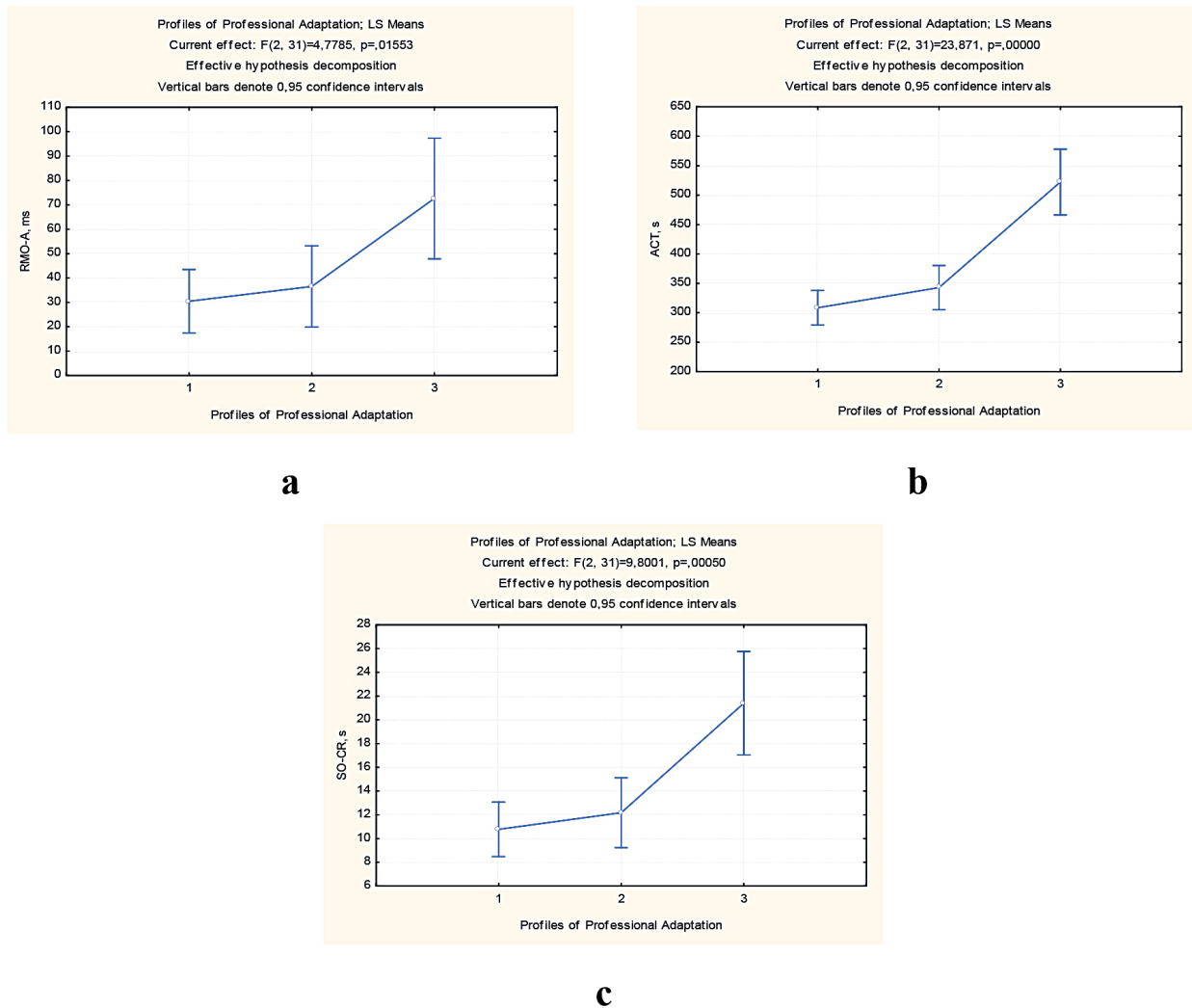
Further analysis revealed a number of unique markers specific to operators in the younger age group. The parameters SD-CVMR, FMNP-N, and VM-CR demonstrated a statistically significant pattern close to linear. The identification of these indicators suggests that adaptation processes in operators aged <40 years are largely based on high stability of the sensorimotor system and rapid information processing.

The variability of the SD-CVMR parameter in the younger age group of operators is characterized by a highly significant increase ( $p=0.000001$ ) from Profile 1 ( $63.1\pm 1.8$  ms) and Profile 2 ( $65.9\pm 2.4$  ms) to Profile 3 ( $86.3\pm 4.0$  ms), indicating a sharp destabilization of neurodynamic processes under conditions of maladaptation

(fig. 2a). A similarly highly significant trend ( $p=0.000001$ ) was observed for the amount of processed information (FMNP-N parameter), where a marked decrease in the number of completed tasks was recorded from Profile 1 ( $210.2\pm 1.5$ ) to Profile 2 ( $193.7\pm 3.6$ ) and Profile 3 ( $190.9\pm 2.2$ ), indicating exhaustion of the speed-related reserves of the activity-support system (fig. 2b). The pattern of the VM-CR parameter (fig. 2c) also confirms a gradual decline in the efficiency of cognitive processes in the younger age group ( $p=0.03753$ ), which is reflected in a linear increase in response time from Profile 1 ( $10.6\pm 0.3$  s) and Profile 2 ( $11.0\pm 0.3$  s) to Profile 3 ( $12.1\pm 0.4$  s).

The unique psychophysiological parameters of professional adaptation in UAS operators aged  $\geq 40$  years are presented in figure 3.

The next stage of the analysis made it possible to identify a range of unique markers specific to the older age group. The following parameters demonstrated statistically significant dynamics close to a linear pattern: RMO-A, ACT, and SO-CR. The identification of these parameters indicates that adaptation processes in experienced operators are largely based on cognitive compensatory strategies and the ability to predict operational outcomes.



**Figure 3 – Unique psychophysiological parameters of professional adaptation in unmanned aerial system operators aged ≥40 years.**

The dynamics of the RMO-A parameter in representatives of the older age group indicate a gradual decrease in the accuracy of reaction prediction from Profile 1 (30.4±5.0 ms) and Profile 2 (36.5±11.2 ms) to Profile 3 (72.6±7.7 ms), indicating a significant deterioration in predictive functions in a state of maladaptation ( $p=0.01553$ ) (**fig. 3a**).

A highly significant change ( $p=0.000001$ ) was observed in the ACT parameter (**fig. 3b**), where a pronounced slowdown in cognitive information processing was recorded from Profile 1 (308.7±14.5 s) and Profile 2 (342.8±14.0 s) to Profile 3 (522.0±39.2 s). A similar pattern of changes with high statistical significance ( $p=0.0005$ ) was also observed for the SO-CR parameter (**fig. 3c**), where a pronounced slowdown in response time was recorded from Profile 1 (10.8±1.2 s) and Profile 2 (12.2±1.5 s) to Profile 3 (21.4±1.5 s).

Thus, the generalization of the obtained data indicates a pronounced divergence of marker parameters depending on age. While maladaptation in operators of the younger age group leads to the disruption of basic neurodynamic stability, in representatives of the older age group it primarily affects complex cognitive strategies. This specificity reflects a shift in the compensatory mechanisms of operators – from reliance on the natural psychophysiological reserve in individuals aged <40 years to the use of accumulated professional experience

and predictive strategies in specialists aged ≥40 years. The mosaic nature of the changes reflects different levels of physiological stress on the body, where the depletion of specific resources becomes a critical indicator of the manifestation of professional maladjustment.

The identification of a system of universal and unique markers made it possible to move from a descriptive model to the development of predictive tools. The use of stepwise discriminant analysis allowed the most informative parameters to be transformed into a mathematically grounded system of comprehensive scoring. This approach ensures high accuracy in differentiating the professional suitability of UAS operators through ranking: the minimum total score corresponds to Profile 1 (stable professional adaptation), while its increase indicates a functional shift toward Profile 2 (tense professional adaptation) and Profile 3 (professional maladaptation). The proposed system transforms the research results into a differentiated scoring matrix for expert decision-making, taking into account age-related characteristics of UAS operators.

A comprehensive assessment of professional adaptation in UAS operators aged <40 years was performed using discriminant models, which are represented by the following score profile equations:

$$\text{Profile 1 (<40)} = -327.71 + 3.66 \cdot \text{CFFF} - 0.18 \cdot \text{SD-SVMR} - 0.02 \cdot \text{RMO-D} + 1.78 \cdot \text{VM-CR} - 0.03 \cdot \text{VM-IR} + 0.45 \cdot \text{SVMR} +$$

$$0.04 \cdot SD-CVMR + 0.06 \cdot RMO-A + 0.05 \cdot FMNP + 0.05 \cdot ACT + 0.73 \cdot SO-CR + 0.31 \cdot CVMR + 0.49 \cdot SNP;$$

$$\text{Profile 2 (<40)} = -374.86 + 3.52 \cdot CFFF - 0.23 \cdot SD-SVMR - 0.03 \cdot RMO-D + 1.70 \cdot VM-CR - 0.12 \cdot VM-IR + 0.45 \cdot SVMR + 0.02 \cdot SD-CVMR + 0.08 \cdot RMO-A + 0.12 \cdot FMNP + 0.05 \cdot ACT + 0.66 \cdot SO-CR + 0.32 \cdot CVMR + 0.56 \cdot SNP;$$

$$\text{Profile 3 (<40)} = -398.47 + 3.68 \cdot CFFF - 0.13 \cdot SD-SVMR + 0.005 \cdot RMO-D + 2.07 \cdot VM-CR + 0.04 \cdot VM-IR + 0.49 \cdot SVMR + 0.10 \cdot SD-CVMR + 0.02 \cdot RMO-A + 0.05 \cdot FMNP + 0.07 \cdot ACT + 1.04 \cdot SO-CR + 0.37 \cdot CVMR + 0.52 \cdot SNP.$$

A comprehensive assessment of professional adaptation in UAS operators aged  $\geq 40$  years was performed using similar discriminant models represented by score profile equations.

$$\text{Profile 1 (\geq 40)} = -417.64 - 0.02 \cdot SD-CVMR - 0.46 \cdot VM-IR + 1.62 \cdot FMNP-N - 0.31 \cdot RMO-A + 0.30 \cdot SO-CR - 0.17 \cdot SO-IR + 0.67 \cdot CVMR - 0.04 \cdot ACT + 0.81 \cdot FMNP;$$

$$\text{Profile 2 (\geq 40)} = -477.84 + 0.03 \cdot SD-CVMR - 0.40 \cdot VM-IR + 1.55 \cdot FMNP-N - 0.32 \cdot RMO-A + 0.19 \cdot SO-CR - 0.19 \cdot SO-IR + 0.74 \cdot CVMR - 0.04 \cdot ACT + 0.92 \cdot FMNP;$$

$$\text{Profile 3 (\geq 40)} = -461.25 - 0.07 \cdot SD-CVMR - 0.84 \cdot VM-IR + 1.45 \cdot FMNP-N - 0.18 \cdot RMO-A + 1.06 \cdot SO-CR + 0.24 \cdot SO-IR + 0.76 \cdot CVMR + 0.05 \cdot ACT + 0.75 \cdot FMNP.$$

To identify the operator's professional adaptation profile, individual values of psychophysiological parameters should be substituted into the corresponding models, taking into account the operator's age. The final classification is determined by the highest value obtained among all score profiles. Verification of the proposed approach confirmed its high diagnostic efficiency: the proportion of correctly classified cases when applying the discriminant scoring rules for operators aged  $< 40$  years reached 98.4%, whereas for operators aged  $\geq 40$  years the method demonstrated absolute diagnostic accuracy (100%).

A parallel analysis of the architecture of the resulting models revealed a clear selectivity of markers depending on age-related factors. Among the 15 proposed parameters, the scoring system for operators aged  $< 40$  years is more extensive and includes 13 predictors (86.7%), whereas for operators aged  $\geq 40$  years it focuses on only the nine most significant indicators (60.0%). The logic underlying the formation of the diagnostic complex for operators aged  $< 40$  years is characterized by the preservation of all universal markers, indicating their leading role in ensuring adaptation at a younger age. In contrast, in operators aged  $\geq 40$  years, unique markers predominate, suggesting a qualitative restructuring of the functional system. In addition, a distinct pattern is observed in the process of mathematical elimination of the scoring models: among operators aged  $< 40$  years,

one unique indicator, FMNP-N, was excluded from the calculation due to its excessive correlation with FMNP, whereas in operators aged  $\geq 40$  years the basic universal indicators (SVMR and SD-SVMR) lose their diagnostic significance. This can be logically explained by the dominance of established cognitive strategies, which reduce the dependence of performance success on elementary reaction speed, thus confirming a change in the internal structure of the adaptation process.

A separate aspect reflected in the professionally important psychophysiological qualities of UAS operators is the constant influence of a specific "remote stress", which becomes a significant trigger for the development of somatic disorders. Systematic psychoemotional strain characteristic of this type of activity leads to the emergence and progression of stress-related diseases, primarily affecting the digestive and circulatory systems [13]. Therefore, to identify the relationship between the level of professional adaptation and the health status of UAS operators, the structure of the prevalence of major pathological conditions was analysed across the identified profiles in both age categories. These data are presented in **table 3**.

The data presented in the **table 3** allow for the assessment of the level of psychophysiological strain and the identification of clinical markers accompanying the transformation of functioning from a profile of stable professional adaptation to a profile of professional maladaptation. The verification performed indicates a significant decrease in the proportion of practically healthy operators as the professional adaptation profile deteriorates in both age categories. In particular, among representatives of the younger age group, the proportion of healthy operators significantly decreases from 23.7% in profile 1 to 7.9% in profile 3 ( $p=0.0369$ ). In contrast, among representatives of the older age group, the health reserve is almost completely depleted: the proportion of healthy individuals in profile 1 is only 5.6%, while in the state of maladaptation it reaches zero. A sharp change in the prevalence of stress-related diseases of the circulatory system among operators of the older age group is noteworthy: while this pathology is absent among representatives of profile 1, its prevalence increases to 60.0% among representatives of profile 3 ( $p=0.0004$ ). This indicates a decrease in the adaptive potential of the cardiovascular system and represents a direct consequence of remote stress in experienced operators.

Thus, the results of the study confirm that maintaining the effectiveness of UAS operators under

**Table 3 – Characteristics of the health status of UAS operators across professional adaptation profiles, taking into account age-related differences, %**

State of health	<40 years old			$\geq 40$ years old		
	«1» (n=93)	«2» (n=53)	«3» (n=38)	«1» (n=18)	«2» (n=11)	«3» (n=5)
Healthy	23.7	26.4	7.9*	5.6	0.0	0.0
Stress-related diseases of the digestive system	7.5	11.3	13.1	44.4	45.4	20.0
Stress-related diseases of the circulatory system	25.8	20.8	31.6	0.0	18.2	60.0***
Degenerative-dystrophic diseases	43.0	41.5	47.4	50.0	36.4	20.0

**Notes:** \*, \*\*\* – statistical significance of the difference in percentages between the profiles of stable professional adaptation "1" and professional maladaptation "3", according to Student's t-test, at the levels of  $p < 0.05$  and  $p < 0.001$ , respectively.

conditions of strained professional adaptation and professional maladaptation is achieved through different compensatory mechanisms determined by age-specific factors. The obtained results regarding the decisive role of self-control functions and information processing speed are consistent with findings reported in previous studies [15]. The authors have established that cognitive psychophysiological indicators enable inexperienced operators to acquire piloting skills in the shortest possible time, demonstrating a level of performance approaching that of experienced professionals. An additional factor facilitating rapid adaptation to the demands of the modern digital environment is prior experience interacting with virtual gaming environments. In particular, studies [16] demonstrate that cognitive skills acquired through video games can be successfully integrated into the field of UAS operation, significantly improving decision-making speed compared with individuals without such experience.

The research results described above justify the need for a differentiated approach to supporting the professional activities of UAS operators. For specialists with a stable professional adaptation profile, the priority is the implementation of measures aimed at preserving functional reserves, including regular monitoring and psychophysiological recovery sessions to prevent occupational burnout. For representatives of the strained professional adaptation profile, medical efforts should be focused on correcting functional limitations through the implementation of biofeedback methods to stabilise reactions and optimise work schedules. For operators with a professional maladaptation profile, temporary suspension from flight duties, intensive medical and psychological rehabilitation, and pharmacological treatment are required. The implementation of such a system of preventive measures has a significant economic impact, as it substantially reduces the risk of losing costly equipment due to the human factor and minimises the costs associated with long-term treatment and retraining of scarce personnel. The preservation of human capital and technical resources through timely forecasting of professional adaptation states is a key factor in enhancing the overall combat readiness of the Defence Forces of Ukraine.

#### Conclusions.

1. A three-level model of professional adaptation profiles for UAS operators has been developed and substantiated, integrating neurodynamic and cognitive

markers of work capacity. Fundamental differences in the architecture of adaptation processes depending on age category were identified, which necessitates a differentiated approach to assessing operators' professional reliability.

2. A number of universal and unique markers of professional adaptation were identified, demonstrating a shift in strategies for maintaining the performance of UAS operators across different age categories: from reliance on neurodynamic reserves in operators aged <40 years to the predominance of cognitive compensatory strategies in operators aged ≥40 years. It was established that the state of maladaptation in younger operators is associated with the disruption of sensorimotor stability, whereas in experienced specialists it is related to the depletion of complex predictive mechanisms and cognitive control.

3. Equations for scoring profiles were developed as a prognostic tool with high diagnostic classification accuracy (98.4-100%). The selectivity of diagnostic parameters depending on age was established: the scoring model for operators aged <40 years is based on an extended system of 13 predictors, whereas for operators aged ≥40 years the model is optimised to the 9 most significant indicators, which allows for a more objective expert decision-making process.

4. A direct relationship between the level of professional adaptation and the health status of operators was established. It was found that among specialists of the older age group, the main clinical indicator of professional maladaptation is a critical increase in the prevalence of stress-related diseases of the circulatory system (up to 60.0%), which confirms the depletion of the adaptive potential of the cardiovascular system as a result of prolonged remote stress.

#### Prospects for further research.

A detailed investigation of the impact of stress-related diseases on the professionally important psychophysiological qualities of UAS operators within the framework of professional adaptation profiles will enable the development of individualized preventive programmes and psychophysiological training schemes aimed at stabilising the somatic state and preserving the functional reserves of these specialists. The implementation of such approaches will contribute to extending the professional longevity of operators and will provide additional economic benefits by minimising the loss of human and technical resources.

DOI 10.29254/2077-4214-2026-1-180-343-364

УДК 613.693:159.944.4:159.922.6

<sup>1</sup>Сергета І. В., <sup>2</sup>Кальниш В. В., <sup>3</sup>Пашковський С. М., <sup>1,3</sup>Коваль Н. В., <sup>1,3</sup>Назаренко О. П.

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДХОДІВ ДО КОМПЛЕКСНОЇ БАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЕРЕБІГУ ПРОФЕСІЙНОЇ АДАПТАЦІЇ ОПЕРАТОРІВ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ВІКОВОЇ ДЕТЕРМІНАЦІЇ

<sup>1</sup>Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова (м. Вінниця, Україна)

<sup>2</sup>Українська військово-медична академія (м. Київ, Україна)

<sup>3</sup>Військово-медичний клінічний центр Центрального регіону (м. Вінниця, Україна)

nata\_renkas@ukr.net

*Бойове застосування БАС обумовлює необхідність розробки точних методів оцінки адаптації операторів до екстремальних навантажень. Мета дослідження полягає в науковому обґрунтуванні підходів до комплексної бальної оцінки перебігу професійної адаптації операторів БАС та перевірка її*

інформативності для формування профілів професійної придатності з урахуванням віку. Для досягнення поставленої мети на базі ВМКЦ ЦР були проведені психофізіологічні обстеження 218 операторів БАС. Обстеження виконувались за допомогою програмно-апаратного комплексу для проведення психофізіологічних досліджень «ПФИ-2». Обґрунтовано трирівневу модель профілів професійної адаптації операторів БАС: стійкої професійної адаптації, напруженої професійної адаптації та професійної дезадаптації. Встановлено, що організаційна структура професійної адаптації докорінно змінюється залежно від віку: оператори віком <40 років покладаються на нейродинамічний резерв та сенсомоторну стабільність, тоді як оператори віком ≥40 років використовують когнітивні компенсаторні стратегії. Розроблено високоточні прогностичні моделі (98,4-100%), оптимізовані за кількістю предикторів для різних вікових груп (13 та 9 відповідно). Доведено прямий зв'язок між дезадаптацією та станом здоров'я: у операторів старшої вікової категорії тривалий «дистанційний стрес» провокує критичне зростання захворювань органів кровообігу. Отримані результати дозволяють об'єктивізувати експертні рішення та впровадити диференційований підхід до оцінки професійної надійності операторів БАС.

**Ключові слова:** оператори безпілотних авіаційних систем, професійно важливі психофізіологічні якості, профілі професійної адаптації, прогностичні моделі бальної оцінки, асоційовані зі стресом захворювання.

### **Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.**

Робота є фрагментом НДР кафедри загальної гігієни та екології Вінницького національного медичного університету ім. М.І. Пирогова «Особливості впливу асоційованих зі стресом захворювань на психофізіологічний стан організму військовослужбовців Збройних Сил України та комплексна оцінка ефективності надання реабілітаційної допомоги», номер державної реєстрації 0124U000652.

#### **Вступ.**

Сучасний етап розвитку воєнного мистецтва характеризується докорінною зміною парадигми ведення бойових дій, де ключову роль відіграє технологічне домінування. Особливе місце у цій трансформації посідають безпілотні авіаційні комплекси та роботизовані системи, ефективність застосування яких безпосередньо залежить від професійної підготовки операторів та інтеграції інтелектуальних рішень у процеси управління [1]. Створене нормативне поле першого у світі окремого роду сил у складі Збройних Сил України не лише легітимізувало здійснену технологічну трансформацію, але й заклало фундамент для переходу від ситуативного застосування автономних засобів до цілісної воєнної стратегії, спрямованої на масштабну роботизацію бойових процесів та мінімізацію ризиків для особового складу [2].

Безпрецедентне масштабування використання безпілотних авіаційних систем (БАС) є каталізатором вирішення проблеми «людського фактора» в даному контексті. Оператор БАС сьогодні – це фахівець, який працює на межі психофізіологічних можливостей, де хибні рішення вимірюються не лише втратою дорожньої техніки, а й успіхом бойових операцій та життям особового складу [3].

Проблема професійної придатності традиційно розглядається через призму адаптаційного потенціалу особистості [4]. Проте специфіка професійної діяльності операторів БАС суттєво відрізняється від характерних особливостей роботи льотчика. Дослідження вказують на формування у цієї категорії фахівців особливого типу «дистанційного стресу», що характеризується специфічністю, де статичне або динамічне навантаження поєднується з психоемоційним перенапруженням [5]. У контексті тривалого впливу бойового стресу особливої гостроти набуває питання асоційованих зі стресом захворювань, які стають патогенетичним підґрунтям для декомпенса-

ції професійно важливих психофізіологічних якостей [6].

Попри значну кількість робіт, присвячених психологічному супроводу військовослужбовців, питання об'єктивізації перебігу професійної адаптації операторів БАС залишається дискусійним. Існуючі методики часто спираються на якісні показники результативності діяльності, котрі, як свідчить практика, можуть бути тимчасово компенсовані за рахунок надмірного вольового зусилля, що не відображає реальний стан функціональних резервів організму [7-9]. Тому сьогодні існує гостра потреба у розробці та науковому обґрунтуванні комплексної бальної оцінки, яка б дозволила інтегрувати розрізнені показники психофізіологічного стану в єдину прогностичну модель. Особливого значення набуває пошук чутливих маркерів, що здатні диференціювати рівні адаптації на різних етапах, до моменту розвитку клінічно виражених форм професійної деградації або психосоматичних розладів [10].

#### **Мета дослідження.**

Наукове обґрунтування підходів до комплексної бальної оцінки особливостей перебігу професійної адаптації операторів БАС та перевірка її інформативності для формування профілів високої професійної придатності з урахуванням вікових особливостей.

#### **Об'єкт і методи дослідження.**

Для досягнення поставленої мети на базі відділення психофізіології та психології Військово-медичного клінічного центру Центрального регіону (ВМКЦ ЦР) були проведені психофізіологічні обстеження 218 операторів БАС, в тому числі 184 оператори віком <40 років та 34 оператори віком ≥40 років, протягом періоду проходження стаціонарної лікарсько-льотної експертизи з урахуванням їх стану здоров'я. Обстеження виконувались за допомогою програмно-апаратного комплексу для проведення психофізіологічних досліджень «ПФИ-2» [11], зареєстрованого в реєстрі осіб, відповідальних за введення медичних виробів, активних медичних виробів, які імплантують, та медичних виробів для діагностики in vitro в обіг № 5850 Міністерства охорони здоров'я України. Організація та методи обстежень були розроблені на основі теоретичних та практичних підходів [12]. Під час проведення комплексних психофізіологічних обстежень реєструвались наступні показники: критична частота злиття мерехтіння (КЧЗМ) на зеленому колір; латентний період простої зорово-моторної ре-

акції (ПЗМР), середнє квадратичне відхилення ПЗМР (сквПЗМР); латентний період складної зорово-моторної реакції (СЗМР), середнє квадратичне відхилення СЗМР (сквСЗМР); функціональна рухливість нервових процесів (ФРНП), сила нервових процесів (СНП), кількість завдань при дослідженні ФНП (кзФНП); часові параметри реакції на рухомий об'єкт (РРО), виконання завдання на концентрацію уваги (КУ), просторового орієнтування (ПО) та короткочасної зорової пам'яті (КЗП) – час випередження (чвРРО) та запізнення (чзРРО) РРО; затрачений час на виконання завдання на КУ (зчКУ); час вірної (чввПО) та помилкової вказівки (чпвПО) в ПО; час вірної (чввКЗП) та помилкової відповіді (чпвКЗП) при дослідженні КЗП тощо.

Статистичний аналіз даних було проведено за допомогою кластерного, дискримінантного та однофакторного дисперсійного аналізу, а також методів варіаційної та непараметричної (критерій U Манна-Уїтні) статистики пакету програм STATISTICA 13.3 (ліцензія АХА9051924220FAACD-N).

**Результати дослідження та їх обговорення.**

Розробка та наукове обґрунтування методики комплексної бальної оцінки професійної адаптації операторів БАС є необхідним кроком для підвищення надійності функціонування системи «людина – техніка». Специфіка професійної діяльності операторів БАС вимагає стабільності психофізіологічних реакцій в умовах нервово-емоційного перенапруження [13]. Тому впровадження інтегрального показника професійної адаптації дозволяє відійти від аналізу окремих, часто розрізнених параметрів, на користь цілісного портрета фахівця, що значно підвищує точність прогнозу його професійної придатності. Така комплексна оцінка покликана стати дієвим інструментом для об'єктивізації процесу відбору та моніторингу функціонального стану операторів, що в кінцевому результаті сприяє мінімізації ризиків виникнення аварійних ситуацій, зумовлених людським фактором. Використання диференційованого підходу забезпечує уніфікацію результатів психофізіологічного обстеження, роблячи їх зрозумілими для практичного застосування під час прийняття експертних рішень щодо допуску фахівців до виконання завдань за призначенням.

Використання інтегрального показника надає можливість нівелювати проблему суперечливості поодиноких індикаторів з врахуванням компенсаторних можливостей організму та забезпечити високу прогностичну точність щодо надійності роботи оператора БАС в екстремальних умовах. Для цього варто застосувати такий підхід до формування інтегрального показника, що буде цінним та зручним в практичному застосуванні. Тому виокремлення саме трьох профілів професійної адаптації є науково обґрунтованим кроком, що базується на принципі оптимальної диференціації. Причому вибір саме тривірневої структури є методологічно доцільнішим за більш дрібні класифікації (5-10 профілів), оскільки останні призводять до розмивання меж між категоріями та зниження статистичної достовірності відмінностей. З прагматичного погляду, трикомпонентна модель профілів є найбільш доцільною і для прийняття експертних рішень, оскільки чітко розмежовує операторів БАС зі «стійкою професійною адаптацією», «напруженою професійною адаптацією», що потребує

корекційних заходів, та профіль «професійної дезадаптації», де відхилення кандидатури від виконання завдань за призначенням мінімізує ймовірність аварійних ситуацій, спричинених людським фактором.

Таким чином, шляхом застосування кластерного аналізу методом *k*-середніх було виділено 3 профілі професійної адаптації операторів БАС: профіль стійкої професійної адаптації – «1», профіль напруженої професійної адаптації – «2» та профіль професійної дезадаптації – «3». Дана інформація знайшла відображення в таблиці 1.

Аналіз результатів дослідження дозволив ідентифікувати специфічні особливості кожного з трьох виокремлених профілів професійної адаптації операторів БАС віком <40 років, які підтверджуються наявністю міжпрофільних статистичних відмінностей психофізіологічних параметрів. Встановлено, що параметри ПЗМР, сквПЗМР, СЗМР, сквСЗМР, кзФРНП та чввКЗП демонструють послідовне погіршення функціонального стану від профілю стійкої професійної адаптації до профілю професійної дезадаптації: спостерігається зростання часових витрат на обробку інформації та зниження стабільності реакцій, тоді як успішність виконання завдань за призначенням значно зменшується. Водночас решта психофізіологічних параметрів демонструє «строкатість» змін, що вказує на множинність механізмів адаптації та залучення різних компенсаторних ресурсів організму залежно від рівня професійної придатності оператора.

Порівняльний аналіз профілів стійкої та напруженої професійної адаптації операторів БАС виявив ста-

**Таблиця 1 – Профілі професійної адаптації операторів безпілотних авіаційних систем віком <40 років, M±m**

Психофізіологічні параметри	Профілі професійної адаптації		
	«1» (n=93)	«2» (n=53)	«3» (n=38)
кЧЗМ, Гц	46.4±0.4	45.2±0.5	47.0±0.6*
ПЗМР, мс	263.1±2.9 <sup>ooo</sup>	268.8±3.1	291.8±3.4 <sup>***</sup>
сквПЗМР, мс	21.1±0.9°	22.0±1.2	25.3±1.3
СЗМР, мс	392.1±4.2 <sup>ooo</sup>	401.4±3.7	458.6±4.6 <sup>***</sup>
сквСЗМР, мс	63.1±1.8 <sup>ooo</sup>	65.9±2.4	86.3±4.0 <sup>***</sup>
ФРНП, мс	303.9±2.1 <sup>ooo</sup>	370.4±3.3 <sup>***</sup>	329.8±5.2 <sup>***</sup>
СНП, мс	385.0±2.7 <sup>ooo</sup>	460.5±3.4 <sup>***</sup>	420.7±5.1 <sup>***</sup>
кзФРНП, кількість	210.2±1.5 <sup>ooo</sup>	193.7±3.6 <sup>***</sup>	190.9±2.2
чвРРО, мс	40.7±2.8°	45.2±2.7	28.6±3.6 <sup>***</sup>
чзРРО, мс	51.4±2.5 <sup>oo</sup>	49.1±3.4	72.1±7.6 <sup>**</sup>
зчКУ, с	310.2±7.7 <sup>ooo</sup>	308.7±11.2	390.8±11.5 <sup>***</sup>
чввПО, с	9.8±0.5 <sup>ooo</sup>	8.9±0.5	14.8±1.2 <sup>***</sup>
чпвПО, с	7.9±0.9	6.7±0.7	8.2±1.2
чввКЗП, с	10.6±0.3°	11.0±0.3	12.1±0.4
чпвКЗП, с	9.0±0.7	8.2±1.2	11.9±1.7

**Примітки:** \*\*\* – достовірність різниці середніх значень показників між профілями стійкої «1» та напруженої «2» професійної адаптації за критерієм t-Стюдента визначається на рівні  $p < 0,001$ ; \*, \*\*, \*\*\* – достовірність різниці середніх значень показників між профілями напруженої професійної адаптації «2» та професійної дезадаптації «3» за критерієм t-Стюдента відповідно визначається на рівні  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  та  $p < 0,001$ ; °, °°, °°° – достовірність різниці середніх значень показників між профілями стійкої професійної адаптації «1» та професійної дезадаптації «3» за критерієм t-Стюдента відповідно визначається на рівні  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  та  $p < 0,001$ .

тистично значущу перевагу представників профілю «1» за параметрами ФРНП, СНП та кзФРНП ( $p < 0,001$ ). Так, оператори профілю «1» демонструють вищу сенсомоторну інтеграцію, тоді як серед представників профілю «2» спостерігається сповільнення центральних механізмів переробки інформації та зниження мобільності нервової системи в організації психофізіологічного забезпечення операторської діяльності. Крім того, у операторів профілю «2» зафіксовано тенденцію до покращення показника КЧЗМ ( $p = 0,055$ ). Таке підвищення лабільності нервових процесів може розглядатися як прояв компенсаторної активації центральної нервової системи, спрямованої на підтримання належного рівня працездатності в умовах прогресуючого функціонального напруження.

При зіставленні профілів напруженої професійної адаптації та професійної дезадаптації операторів БАС виявлено глибоку деструкцію психофізіологічного стану останніх. Статистично значущі відмінності зафіксовано за наступними параметрами: ПЗМР, СЗМР, сквСЗМР, ФРНП, СНП, чвРРО, зчКУ, чввПО ( $p < 0,001$ ), чзРРО ( $p < 0,01$ ), КЧЗМ ( $p < 0,05$ ). Подібна динаміка вказує на виражене зниження швидкості та стабільності сенсомоторних реакцій, а також уповільненням прийняття рішень у стані дезадаптації. Водночас 30% із зазначених параметрів у представників профілю «3» є достовірно кращими порівняно з операторами профілю «2» (ФРНП, СНП, чвРРО). Такий парадоксальний результат може свідчити про перехід організму до стадії неадекватної гіпермобілізації, коли оператор виконує службові завдання на граничному виснаженні, де втрачається контроль над гальмуванням, та починає діяти імпульсивно, не встигаючи реально оцінити ситуацію. Зазначене підтверджує критичну нестабільність функціонального стану та високу ймовірність раптового погіршення якості професійної діяльності при зміні робочого навантаження, що робить виконання поставленого завдання таким оператором потенційно аварійним та економічно ризикованим через високу ймовірність помилкових дій у позаштатних ситуаціях. Крім того, у операторів профілю «2» зафіксовано тенденцію до покращення параметра свкПЗМР ( $p = 0,071$ ) та погіршення чввКЗП ( $p = 0,054$ ) і чпвКЗП ( $p = 0,079$ ), вказуючи на ознаки виснаження когнітивного ресурсу при утриманні темпу сенсомоторних реакцій, тоді як у профілі «3» такі зміни є наслідком компенсаторного розгальмування нервових процесів.

Найбільш виражений природний контраст спостерігається між профілями стійкої професійної адаптації та професійної дезадаптації, де майже за всіма психофізіологічними параметрами зафіксовано достовірні відмінності на рівні  $p < 0,001$  (ПЗМР, СЗМР,

сквСЗМР, ФРНП, СНП, кзФРНП, зчКУ, чввПО),  $p < 0,01$  (чзРРО) та  $p < 0,05$  (сквПЗМР, чвРРО, чввКЗП). Профіль «1» виступає еталоном високої адаптованості з мінімальною часовою варіативністю, що базується на високій сенсомоторній стабільності та збереженому когнітивному резерві, тоді як профіль «3» демонструє виражені ознаки системної деструкції. Варто зазначити, що 8,33% із зазначених параметрів у представників профілю «3» є достовірно кращими порівняно з операторами профілю «1» (чвРРО). Така особливість лише підтверджує той факт, що на тлі загального уповільнення реакцій виникають осередки аномальної (мозаїчної) гіпермобілізації. Це свідчить про вичерпання лімітів психофізіологічного забезпечення, де будь-яка зовнішня стимуляція призводить не до продуктивної праці, а до неконтрольованого імпульсивного реагування, що критично підвищує аварійні ризики. Крім того, у операторів профілю «3» зафіксовано тенденцію до погіршення параметру чпвКЗП ( $p = 0,062$ ), що вказує на виснаження когнітивного резерву та неспроможність підтримувати ефективні механізми самоконтролю.

З огляду на отримані результати, вагомим науковим інтересом набуває дослідження закономірностей формування профілів професійної адаптації у віковому аспекті. Вважається, що з віком відбувається перебудова механізмів психофізіологічної регуляції [14] зі зниженням природної лабільності, поступовим уповільненням швидкості сенсомоторного реагування, звуженням об'єму оперативної пам'яті та зростанням варіативності часових параметрів професійної діяльності. У досвідчених фахівців такі зміни часто

**Таблиця 2 – Профілі професійної адаптації операторів безпілотних авіаційних систем віком  $\geq 40$  років, Ме (перцентильні межі – 10-90%)**

Психофізіологічні параметри	Профілі професійної адаптації		
	«1» (n=18)	«2» (n=11)	«3» (n=5)
КЧЗМ, Гц	43.0 (40.3-54.3)	45.6 (41.3-49.5)	45.0 (42.5-46.8)
ПЗМР, мс	279.5 (249.0-328.0)	293.0 (261.0-311.0)	325.0 (253.0-367.0)
сквПЗМР, мс	17.3 (10.0-49.7)°	28.0 (17.6-37.2)	38.7 (18.0-60.0)
СЗМР, мс	412.5 (354.0-476.0)°°	483.0 (458.0-496.0)***	488.0 (468.0-488.0)
сквСЗМР, мс	54.9 (35.8-93.5)	70.8 (60.3-121.6)*	38.3 (38.3-108.3)
ФРНП, мс	291.5 (248.0-340.0)°	393.0 (157.0-417.0)***	351.0 (297.0-372.0)*
СНП, мс	377.3 (345.5-441.6)°	479.4 (453.1-531.2)***	432.0 (393.5-458.2)*
кзФРНП, кількість	207.5 (183.0-244.0)°°	173.0 (161.0-180.0)***	178.0 (149.0-198.0)
чвРРО, мс	32.5 (0.0-56.0)°°	29.0 (0.0-95.0)	81.0 (52.0-92.0)
чзРРО, мс	68.0 (49.0-94.0)	65.0 (42.0-89.0)	64.0 (8.0-100.0)
зчКУ, с	298.5 (237.0-407.0)°°°	337.0 (317.0-384.0)	521.0 (416.0-659.0)**
чввПО, с	11.0 (4.0-17.0)°°	11.0 (8.0-21.0)	21.0 (19.0-27.0)*
чпвПО, с	0.5 (0.0-10.0)°	9.0 (0.0-24.0)*	32.0 (0.0-35.0)
чввКЗП, с	11.5 (8.0-15.0)	10.0 (8.0-14.0)	11.0 (10.0-17.0)
чпвКЗП, с	6.0 (0.0-17.0)	6.0 (4.0-30.0)	0.0 (0.0-10.0)

**Примітки:** \*, \*\*\* – достовірність різниці середніх значень показників між профілями стійкої «1» та напруженої «2» професійної адаптації за критерієм У Манна-Уїтні відповідно визначається на рівні  $p < 0,05$  та  $p < 0,001$ ; °, °° – достовірність різниці середніх значень показників між профілями напруженої професійної адаптації «2» та професійної дезадаптації «3» за критерієм У Манна-Уїтні відповідно визначається на рівні  $p < 0,05$  та  $p < 0,01$ ; °, °°, °°° – достовірність різниці середніх значень показників між профілями стійкої професійної адаптації «1» та професійної дезадаптації «3» за критерієм У Манна-Уїтні відповідно визначається на рівні  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  та  $p < 0,001$ .

нівельюються за рахунок професійної досвідченості, стратегічного мислення та оптимізації алгоритмів роботи. Проте, питання збереження аналогічної трикомпонентної структури профілів професійної адаптації операторів БАС віком  $\geq 40$  років, залишається відкритим. Профілі професійної адаптації операторів безпілотних авіаційних систем віком  $\geq 40$  років наведені в таблиці 2.

Аналіз психофізіологічних параметрів операторів БАС віком  $\geq 40$  років дозволив також верифікувати три аналогічні профілі професійної адаптації, специфічність яких об'єктивно підтверджується виявленою статистичною неоднорідністю міжпрофільних індикаторів. Як і в попередній віковій категорії, у операторів віком  $\geq 40$  років спостерігається диференційована динаміка показників: частина параметрів демонструє послідовне погіршення функціонального стану від профілю стійкої професійної адаптації до профілю професійної дезадаптації, тоді як решта виявляє «строкатість» змін, що вказує на іншу, більш складну структуру компенсаторних механізмів. До переліку параметрів, які відображають послідовну деградацію функціонального стану операторів належать: ПЗМР, сквПЗМР, СЗМР, чвРРО, зчКУ та чввПО. Це свідчить про закономірне уповільнення когнітивної інформації та втрату швидкості її переробки, що на фоні зниження точності часового прогнозування призводить до суттєвого падіння надійності операторської діяльності. Водночас мозаїчна динаміка решти параметрів свідчить про складну перебудову регуляторних механізмів, де віковий досвід та професійні навички намагаються компенсувати фізіологічне виснаження, створюючи неоднорідну картину психофізіологічного забезпечення професійної діяльності.

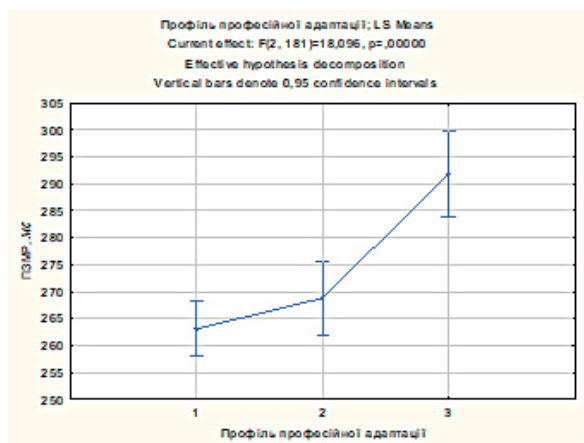
Порівняльний аналіз профілів стійкої та напруженої професійної адаптації операторів виявив достовірну перевагу представників профілю «1» за параметрами СЗМР, ФРНП, СНП, кзФРНП ( $p < 0,001$ ), сквСЗМР та чввПО ( $p < 0,05$ ). Оператори профілю «1» демонструють вищу сенсомоторну інтеграцію, тоді як у представників профілю напруженої адаптації зафіксовано уповільнення центральних механізмів обробки інформації, зниження стабільності реакцій та погіршення точності просторового орієнтування, що свідчить про ознаки виснаження функціональних резервів. Разом з тим, за показником зчКУ зафіксовано тенденцію до погіршення ( $p = 0,056$ ), що вказує на початок дестабілізації когнітивного контролю та підтверджує компенсаторну природу цього стану, де ефективність діяльності підтримується за рахунок інтенсифікації внутрішніх зусиль оператора.

При зіставленні профілів напруженої професійної адаптації та професійної дезадаптації операторів БАС виявлено специфічну трансформацію їх психофізіологічного стану. Статистично значущі відмінності зафіксовано за параметрами: зчКУ ( $p < 0,01$ ), ФРНП, СНП та чввРРО ( $p < 0,05$ ). Подібна динаміка вказує на вибіркове зниження когнітивного контролю та труднощі з утриманням уваги в стані дезадаптації. Водночас 50% із зазначених інформативних параметрів (ФРНП, СНП) мають достовірно гірші значення серед операторів профілю «2», тоді як у представників профілю «3» вони парадоксально покращуються. Такий результат свідчить про перехід організму до стадії неадекватної гіпермобілізації, коли підтримка темпу діяльності,

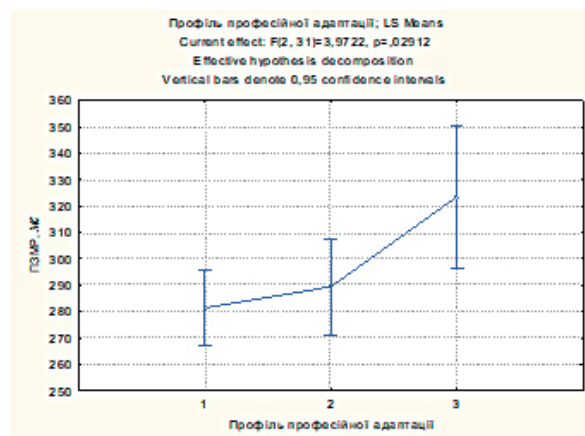
на фоні виснаження функціональних резервів, відбувається через розгальмовування нервових процесів. Можна сказати, що відбувається остаточний розрив компенсаторних зв'язків та перехід системи на нижчий, менш ефективний рівень регуляції. Це зумовлює імпульсивність дій та підвищує ризик помилок у позаштатних ситуаціях, роблячи роботу такого фахівця потенційно аварійною через втрату реальної оцінки ситуації. Разом з тим, для операторів профілю «3» встановлено тенденцію до статистичної значущості погіршення параметрів ПЗМР ( $p = 0,099$ ), сквПЗМР ( $p = 0,061$ ) та чвРРО ( $p = 0,078$ ). На відміну від ситуації з витривалістю, за даними параметрами представники групи дезадаптації демонструють стабільно гірші результати порівняно з операторами профілю «2». Це вказує на прогресуюче виснаження базового нейродинамічного ресурсу, що на фоні зниження когнітивного самоконтролю створює передумови для ризику виникнення аварійних ситуацій в умовах тривалого робочого навантаження.

Найбільш виражений природний контраст спостерігається між профілями стійкої професійної адаптації та професійної дезадаптації, де за більшістю психофізіологічних параметрів зафіксовано достовірне погіршення на рівні  $p < 0,001$  (зчКУ),  $p < 0,01$  (СЗМР, кзФРНП, чвРРО, чввПО) та  $p < 0,05$  (сквПЗМР, ФРНП, СНП, чввПО). Профіль «1» виступає еталоном функціональної стабільності, тоді як профіль «3» демонструє ознаки системної деградації. Абсолютна кількість зазначених параметрів у представників профілю «3» є достовірно гіршою порівняно з операторами профілю «1», що свідчить про граничне вичерпання психофізіологічних лімітів. Така динаміка вказує на неспроможність організму до будь-якої продуктивної компенсації, що трансформує діяльність у стан перманентного аварійного ризику через критичне зниження швидкості та точності реагування. Разом з тим, зафіксована тенденція до погіршення параметра ПЗМР ( $p = 0,068$ ), що додатково підтверджує виснаження базових нейродинамічних властивостей та неспроможність підтримувати ефективний самоконтроль у стані дезадаптації.

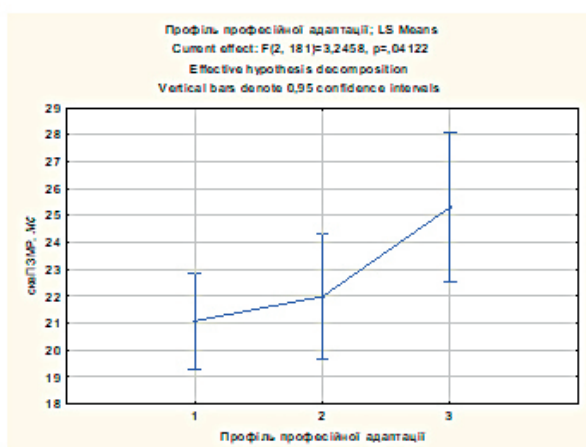
Таким чином, створена трирівнева модель профілів професійної адаптації операторів БАС віком  $< 40$  років та віком  $\geq 40$  років є репрезентативною, оскільки інтегрує маркери послідовного погіршення функціонального стану зі «строкатими» ефектами компенсаторної мобілізації. Виявлені міжпрофільні відмінності психофізіологічного статусу дозволяють не лише диференціювати поточну працездатність операторів, а й об'єктивно оцінювати їх професійну надійність та ризики помилкових дій у критичних умовах експлуатації безпілотних систем. Попри ідентичність виокремлених профілів, внутрішня архітектура їх формування має принципові розбіжності, зумовлені віковою детермінацією. Серед операторів БАС віком  $< 40$  років адаптація базується на нейродинамічному ресурсі, де зміщення функціонального стану до профілю професійної дезадаптації демонструє виражений характер, зумовлений вичерпанням швидкісних та енергетичних можливостей центральної нервової системи при відносній стабільності когнітивної сфери. Натомість у операторів БАС віком  $\geq 40$  років акцент зміщується у площину когнітивних стратегій та сенсорного контролю, де дефіцит природної



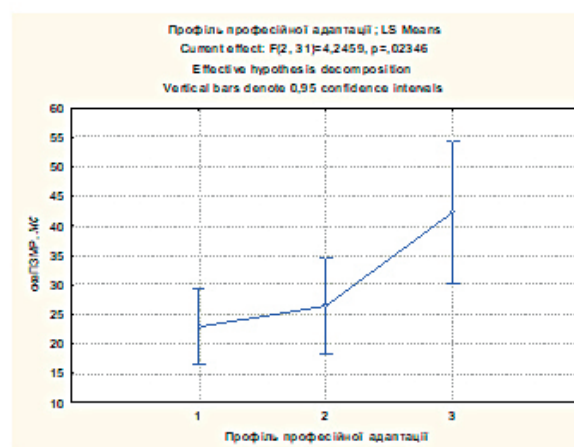
а



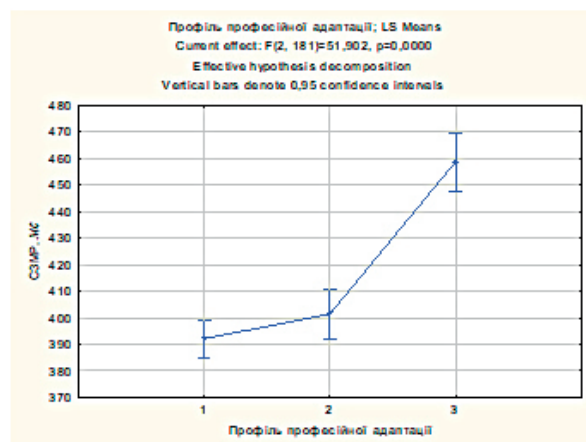
б



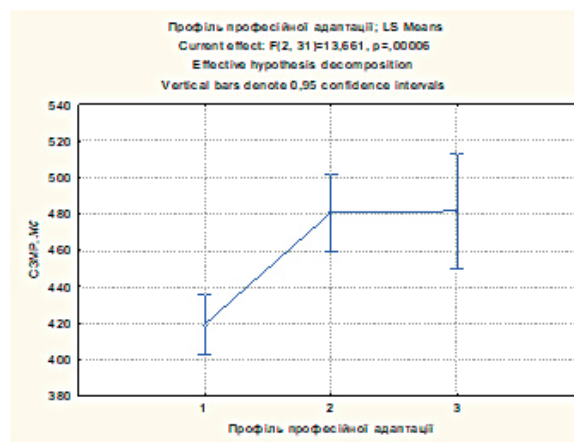
в



г



д



е

Рисунок 1 – Універсальні психофізіологічні параметри професійної адаптації операторів безпілотних авіаційних систем (а, в, д – віком <40 років; б, г, е – віком ≥40 років).

нейродинаміки в цій віковій категорії нівелюється за рахунок мобілізації досвіду. Подібна дивергенція стратегій обґрунтовує впровадження диференційованих бальних моделей оцінки придатності операторів БАС залежно від віку.

Надалі було застосовано однофакторний дисперсійний аналіз для верифікації статистичної значущості кожного психофізіологічного параметра, що

демонструє рівень професійної адаптації операторів. Універсальні психофізіологічні параметри професійної адаптації операторів БАС знайшли відображення на **рисунку 1**.

Порівняльний аналіз універсальних психофізіологічних параметрів професійної адаптації підтверджує збереження трирівневої структури в обох вікових категоріях. Спільною закономірністю є близька до

лінійної динаміка погіршення ключових сенсомоторних показників від профілю стійкої професійної адаптації до профілю професійної дезадаптації. Достовірні зміни в обох вікових категоріях демонструють параметри ПЗМР, сквПЗМР та СЗМР, що дозволило виокремити їх як універсальні маркери функціонального стану операторів БАС, незалежно від віку.

Аналіз динаміки латентного періоду ПЗМР виявив поступове зростання експозиції в обох вікових категоріях операторів БАС. Характер змін латентного періоду ПЗМР свідчить про те, що вікова детермінація виступає базовим чинником зниження швидкості сенсомоторного реагування, яке проявляється у загальному зростанні значень показника навіть на фоні стабільної адаптації (рис. 1б). У представників молодшої вікової категорії (рис. 1а) диференціація профілів є високозначущою ( $p=0,000001$ ) та демонструє близьке до лінійного погіршення параметра ПЗМР від профілю «1» (263,1±2,9 мс) до профілю «3» (291,8±3,4 мс). Аналогічна трансформація спостерігається і в операторів старшої вікової категорії, проте з характерною пролонгацією сенсомоторної відповіді: від 281,4±7,1 мс у представників профілю «1» до 323,6±19,3 мс у представників профілю «3» ( $p=0,02912$ ). Висока чутливість параметра ПЗМР серед молодшої вікової категорії операторів робить його потужним маркером професійної адаптації.

Дослідження стабільності нервових процесів за параметром сквПЗМР підтвердило його роль як ключового маркера мобілізаційної готовності оператора. В обох вікових категоріях встановлено чітку диференціацію: мінімальна нестабільність у представників профілю «1» та її суттєве зростання у фахівців профілю «3». У операторів молодшої вікової категорії (рис. 1в) даний ідентифікатор демонструє помірне відхилення від профілю «1» (21,1±0,9 мс) до профілю «3» (25,3±1,3 мс;  $p=0,04122$ ). Натомість серед представників старшої вікової категорії (рис. 1г) зафіксовано суттєву міжпрофільну дивергенцію значень: від 22,9±3,2 мс у фахівців профілю «1» до 42,4±2,9 мс у стані професійної дезадаптації ( $p=0,02346$ ). Таке різке збільшення значень параметра сквПЗМР у представників профілю «3» свідчить про глибоку дезорганізацію нейродинамічних процесів, що критично знижує надійність оператора при виконанні завдань за призначенням.

Аналіз динаміки латентного періоду СЗМР виявив специфічну вікову трансформацію різномодального швидкісного забезпечення професійної діяльності операторів. У представників молодшої вікової категорії параметри профілів «1» (392,1±4,2 мс) та «2» (401,4±3,7 мс) залишаються відносно стабільними та близькими за значеннями, що свідчить про збережену здатність до швидкої диференціації сигналів навіть у стані напруженої професійної адаптації (рис. 1д). Для представників профілю «3» характерною є гранична деградація параметра СЗМР до рівня 458,6±4,6 мс ( $p=0,000001$ ), що маркує стан глибокої дезадаптації. Натомість у операторів старшої вікової категорії (рис. 1е) фіксується суттєве зміщення функціонального акценту: показники профілю «2» (480,5±7,0 мс) демонструють виражену дистанцію від значень профілю «1» (419,2±10,2 мс) і починають прогресивно наближатися до критичних відміток профілю «3» (481,6±14,1 мс). Така зміна конфігурації міжпрофіль-

них відмінностей ( $p=0,00006$ ) вказує на поступові зрушення нейродинамічних механізмів, де з віком утримання високої швидкості прийняття рішень стає дедалі складнішим, що призводить до розмивання межі між напруженою адаптацією та дезадаптацією.

Таким чином, виявлені особливості вказують на принципову зміну механізмів підтримки працездатності залежно від віку. У представників молодшої вікової категорії стан напруженої професійної адаптації базується на активній компенсаторній стратегії, що дозволяє зберігати високу швидкість та стабільність реакцій. Натомість у операторів старшої групи аналогічний стан супроводжується пасивною стратегією – стратегією виснаження, де підтримка надійності професійної діяльності відбувається через надмірне функціональне напруження та дестабілізацію нейродинаміки. Така різновекторність компенсаторних механізмів свідчить, що за стабільною зовнішньою результативністю у досвідчених фахівців стоїть критичне виснаження резервних можливостей, що суттєво підвищує ризики раптової відмови у складних умовах.

Разом з виявленням універсальних маркерів із близькою до лінійної динаміки для обох вікових груп вдалося виокремити унікальні, специфічні маркери для кожної з них. Наявність таких маркерів підтверджує розбіжність індивідуальних стратегій професійної адаптації операторів в залежності від віку. Унікальні психофізіологічні параметри професійної адаптації операторів БАС віком <40 років наведені на **рисунку 2**.

Подальший аналіз дозволив ідентифікувати низку унікальних маркерів, специфічних саме для операторів молодшої вікової категорії. Статистично значущу структуру, близьку до лінійної, продемонстрували параметри сквСЗМР, кзФРНП та чввЗКП. Виокремлення саме цих показників вказує на те, що адаптаційні процеси у операторів віком <40 років значною мірою базуються на високій стабільності сенсомоторної сфери та швидкості обробки інформації.

Варіативність стабільності параметра сквСЗМР у молодшій віковій категорії операторів характеризується високодостовірним ( $p=0,000001$ ) зростанням показників від профілю «1» (63,1±1,8 мс) та «2» (65,9±2,4 мс) до профілю «3» (86,3±4,0 мс), що свідчить про різку дестабілізацію нейродинамічних процесів у стані дезадаптації (рис. 2а). Аналогічна високодостовірна ( $p=0,000001$ ) динаміка притаманна й обсягу опрацьованої інформації (параметр кзФРНП), де спостерігається суттєве зниження кількості виконаних завдань від профілю «1» (210,2±1,5) до профілю «2» (193,7±3,6) та «3» (190,9±2,2), що вказує на вичерпання швидкісних резервів системи забезпечення діяльності (рис. 2б). Конструкція параметра чввЗКП (рис. 2в) також підтверджує поступове зниження ефективності когнітивних процесів у молодшій віковій групі ( $p=0,03753$ ), що лінійно проявляється у зростанні тривалості пошуку відтворення від профілю «1» (10,6±0,3 с) та «2» (11,0±0,3 с) до профілю «3» (12,1±0,4 с).

Унікальні психофізіологічні параметри професійної адаптації операторів БАС віком ≥40 років наведені на **рисунку 3**.

Наступний етап аналізу дозволив верифікувати спектр унікальних маркерів, специфічних саме

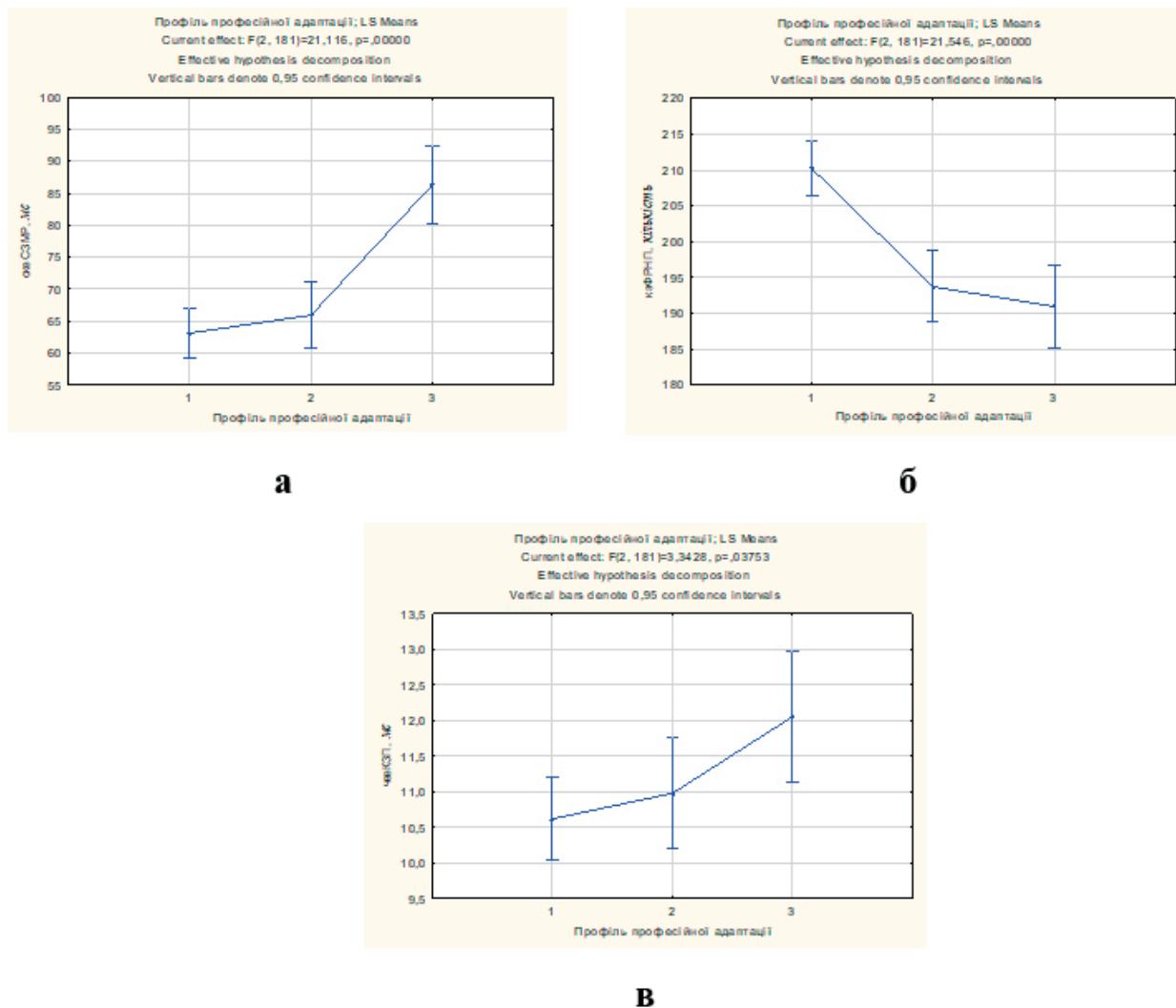


Рисунок 2 – Унікальні психофізіологічні параметри професійної адаптації операторів безпілотних авіаційних систем віком <40 років.

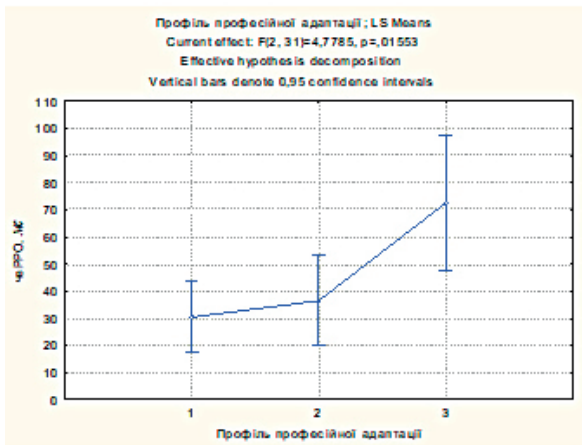
для старшої вікової категорії. Статистично значущу динаміку, близьку до лінійної структури, продемонстрували такі параметри: чвРРО, зчКУ та чвВПО. Виокремлення саме цих параметрів вказує на те, що адаптаційні процеси у досвідчених операторів значною мірою базуються на когнітивних компенсаторних стратегіях та здатності до прогнозування результатів діяльності.

Динаміка параметра чвРРО у представників старшої вікової категорії свідчить про поступове зниження точності передбачення реакції від профілю «1» ( $30,4 \pm 5,0$  мс) та «2» ( $36,5 \pm 11,2$  мс) до профілю «3» ( $72,6 \pm 7,7$  мс), що вказує на суттєве ( $p=0,01553$ ) погіршення прогностичних функцій у стані дезадаптації (рис. 3а). Високодостовірно ( $p=0,000001$ ) виявилася зміна параметра зчКУ (рис. 3б), де спостерігається суттєве уповільнення когнітивного опрацювання інформації від профілю «1» ( $308,7 \pm 14,5$  с) та «2» ( $342,8 \pm 14,0$  с) до профілю «3» ( $522,0 \pm 39,2$  с). Схожий характер змін із високою статистичною значущістю ( $p=0,0005$ ) притаманний також параметру чвВПО (рис. 3в), де спостерігається суттєве уповільнення реакції від профілю «1» ( $10,8 \pm 1,2$  с) та «2» ( $12,2 \pm 1,5$  с) до профілю «3» ( $21,4 \pm 1,5$  с).

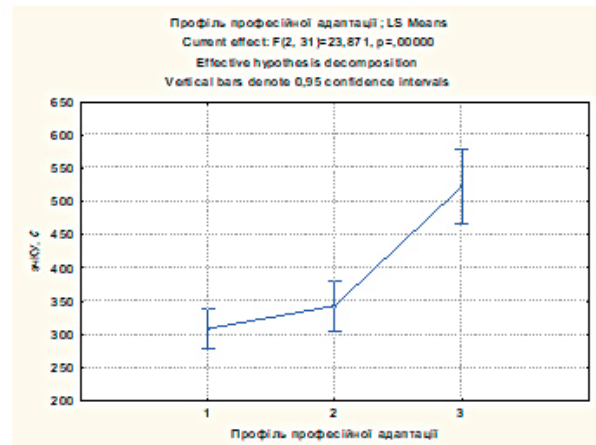
Отже, узагальнення отриманих даних свідчить про виражену дивергенцію маркерних параметрів

залежно від віку: якщо у операторів молодшої вікової категорії дезадаптація руйнує базову нейродинамічну стабільність, то у представників старшої вікової групи вона вражає складні когнітивні стратегії. Така специфіка вказує на зміну компенсаторних механізмів операторів – від опори на природний психофізіологічний резерв представників віком <40 років до використання накопиченого професійного досвіду та алгоритмів прогнозування у фахівців віком  $\geq 40$  років. Виявлена мозаїчність змін відображає різний рівень фізіологічного напруження організму, де виснаження специфічних ресурсів стає критичним індикатором маніфестації стану професійної дезадаптації.

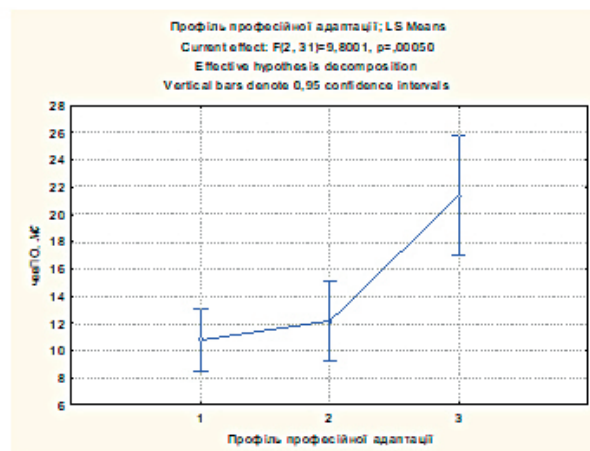
Виокремлення системи універсальних та унікальних маркерів дозволило перейти від описової моделі до розробки прогностичного інструментарію. Використання покрокового дискримінантного аналізу дало змогу конвертувати найбільш інформативні параметри у математично обґрунтовану систему комплексного бального оцінювання. Такий підхід забезпечує високу точність диференціації професійної придатності операторів БАС шляхом ранжування: мінімальний сумарний бал відповідає профілю стійкої професійної адаптації «1», тоді як його зростання маркує функціональне зміщення до профілю напруженої професійної адаптації «2» та профілю про-



а



б



в

Рисунки 3 – Унікальні психофізіологічні параметри професійної адаптації операторів безпілотних авіаційних систем віком  $\geq 40$  років. професійної дезадаптації «3». Запропонована система трансформує результати дослідження у диференційовану бальну матрицю прийняття експертних рішень із урахуванням вікової детермінації операторів БАС.

Комплексна оцінка професійної адаптації операторів БАС віком  $< 40$  років реалізована через дискримінантні моделі, що представлена наступними рівняннями бальних профілів:

$$\langle 1 \rangle_{<40} = -327,71 + KЧЗМ \times 3,66 - \text{сквПЗМР} \times 0,18 - \text{чзРРО} \times 0,02 + \text{чввКЗП} \times 1,78 - \text{чпвКЗП} \times 0,03 + \text{ПЗМР} \times 0,45 + \text{сквСЗМР} \times 0,04 + \text{чвРРО} \times 0,06 + \text{ФРНП} \times 0,05 + \text{зЧКУ} \times 0,05 + \text{чввПО} \times 0,73 + \text{СЗМР} \times 0,31 + \text{СНП} \times 0,49;$$

$$\langle 2 \rangle_{<40} = -374,86 + KЧЗМ \times 3,52 - \text{сквПЗМР} \times 0,23 - \text{чзРРО} \times 0,03 + \text{чввКЗП} \times 1,70 - \text{чпвКЗП} \times 0,12 + \text{ПЗМР} \times 0,45 + \text{сквСЗМР} \times 0,02 + \text{чвРРО} \times 0,08 + \text{ФРНП} \times 0,12 + \text{зЧКУ} \times 0,05 + \text{чввПО} \times 0,66 + \text{СЗМР} \times 0,32 + \text{СНП} \times 0,56;$$

$$\langle 3 \rangle_{<40} = -398,47 + KЧЗМ \times 3,68 - \text{сквПЗМР} \times 0,13 + \text{чзРРО} \times 0,005 + \text{чввКЗП} \times 2,07 + \text{чпвКЗП} \times 0,04 + \text{ПЗМР} \times 0,49 + \text{сквСЗМР} \times 0,10 + \text{чвРРО} \times 0,02 + \text{ФРНП} \times 0,05 + \text{зЧКУ} \times 0,07 + \text{чввПО} \times 1,04 + \text{СЗМР} \times 0,37 + \text{СНП} \times 0,52.$$

Комплексна оцінка професійної адаптації операторів БАС віком  $\geq 40$  років реалізована шляхом побудови схожих дискримінантних моделей – бальних профілів:

$$\langle 1 \rangle_{\geq 40} = -417,64 - \text{сквСЗМР} \times 0,02 - \text{чпвКЗП} \times 0,46 + \text{кзФРНП} \times 1,62 - \text{чвРРО} \times 0,31 + \text{чввПО} \times 0,30 - \text{чпвПО} \times 0,17 + \text{СЗМР} \times 0,67 - \text{зЧКУ} \times 0,04 + \text{ФРНП} \times 0,81;$$

$$\langle 2 \rangle_{\geq 40} = -477,84 + \text{сквСЗМР} \times 0,03 - \text{чпвКЗП} \times 0,40 + \text{кзФРНП} \times 1,55 - \text{чвРРО} \times 0,32 + \text{чввПО} \times 0,19 - \text{чпвПО} \times 0,19 + \text{СЗМР} \times 0,74 - \text{зЧКУ} \times 0,04 + \text{ФРНП} \times 0,92;$$

$$\langle 3 \rangle_{\geq 40} = -461,25 - \text{сквСЗМР} \times 0,07 - \text{чпвКЗП} \times 0,84 + \text{кзФРНП} \times 1,45 - \text{чвРРО} \times 0,18 + \text{чввПО} \times 1,06 + \text{чпвПО} \times 0,24 + \text{СЗМР} \times 0,76 + \text{зЧКУ} \times 0,05 + \text{ФРНП} \times 0,75.$$

Для ідентифікації профілю професійної адаптації оператора необхідно підставити індивідуальні значення психофізіологічних параметрів у наведені моделі з урахуванням його віку. Остаточний висновок приймається за найбільшим отриманим значенням серед усіх бальних профілів. Верифікація запропонованого підходу підтвердила високу діагностичну ефективність: частка коректної класифікації при застосуванні правил дискримінантного «балування» для операторів віком  $< 40$  років становить 98,4%, тоді

як для операторів віком  $\geq 40$  років – забезпечує абсолютну діагностичну точність, тобто 100%.

Паралельний аналіз архітектури отриманих моделей дозволив виявити чітку селективність маркерів залежно від вікової детермінації: серед 15 запропонованих параметрів система визначення бального профілю для операторів  $< 40$  років є більш розгалуженою та включає 13 предикторів (86,7%), тоді як для категорії  $\geq 40$  років вона концентрується лише на 9 найбільш вагомим індикаторах (60,0%). Логіка формування діагностичного комплексу для операторів віком  $< 40$  років характеризується збереженням усіх універсальних маркерів, що вказує на їх провідну роль у забезпеченні адаптації в молодому віці. Натомість у для операторів віком  $\geq 40$  років домінують унікальні маркери, що свідчить про якісну перебудову функціональної системи. Крім того, принципова закономірність спостерігається у процесі математичної елімінації бальних моделей: серед операторів віком  $< 40$  років із розрахунку виключено один унікальний показник кзФРНП (через його надмірну кореляцію з ФРНП), тоді як серед операторів віком  $\geq 40$  років статус діагностично значущих втрачають базові універсальні індикатори (ПЗМР та сквПЗМР). Це логічно пояснюється домінуванням сформованих когнітивних стратегій, які нівелюють залежність успіху діяльності від елементарної швидкості реакції, підтверджуючи зміну внутрішньої структури адаптаційного процесу.

Окремим аспектом, що віддзеркалюється на професійно важливих психофізіологічних якостях операторів БАС є постійний вплив специфічного «дистанційного стресу», який стає вагомим тригером для формування соматичних розладів. Систематичне психоемоційне напруження, характерне для даного виду діяльності, призводить до виникнення та розвитку асоційованих зі стресом захворювань, насамперед органів травлення та органів кровообігу [13]. Тому з метою виявлення взаємозв'язку між рівнем професійної адаптації та станом здоров'я операторів БАС, було проаналізовано структуру поширеності основних патологічних станів у розрізі сформованих профілів для обох вікових категорій. Ці дані наведені в таблиці 3.

Представлені у таблиці 3 дані дозволяють оцінити рівень психофізіологічного напруження та виявити клінічні маркери, що супроводжують трансформацію функціонування від профілю стійкої професійної адаптації до профілю професійної дезадаптації. Здійснена верифікація свідчить про суттєве скорочення частки практично здорових операторів при деградації профілю професійної в обох вікових категоріях. Зокрема, у представників молодшої вікової категорії кількість здорових операторів достовірно зменшується з 23,7% у профілі «1» до 7,9% у профілі «3» ( $p=0,0369$ ). Натомість у представників старшої вікової категорії резерв стану здоров'я вичерпується майже повністю: частка здорових осіб у першому профілі становить лише 5,6%, тоді як у стані дезадаптації вона

сягає нульових значень. Привертає увагу різка зміна поширеності асоційованих зі стресом захворювань органів кровообігу серед операторів старшої вікової категорії: якщо серед представників профілю «1» зазначена патологія відсутня, то серед представників профілю «3» їх частка зростає до 60,0% ( $p=0,0004$ ), що свідчить про зниження адаптаційного потенціалу серцево-судинної системи та є прямим наслідком «дистанційного стресу» для досвідчених операторів.

Отже, результати дослідження підтверджують, що підтримання ефективності діяльності операторів БАС у стані напруженої професійної адаптації та професійної дезадаптації реалізується через різні компенсаторні механізми, зумовлені віковою специфікою. Одержані результати щодо визначальної ролі функцій самоконтролю та швидкості обробки інформації є ізоморфними з окремими дослідженнями [15]. Авторами встановлено, що когнітивні психофізіологічні індикатори дозволяють недосвідченим операторам опанувати навички пілотування у найкоротші терміни, демонструючи рівень ефективності, що наближається до рівня досвідчених фахівців. Додатковим фактором, який сприяє швидкій адаптації до вимог сучасного цифрового середовища, є досвід взаємодії з віртуальним ігровим простором. Зокрема, у дослідженнях [16] показано, що когнітивні навички, набуті у відеоіграх, успішно інтегруються у сферу керування БАС, суттєво покращуючи швидкість прийняття рішень порівняно з особами без такого досвіду.

Описані вище результати дослідження обґрунтовують необхідність диференційованого підходу до супроводу професійної діяльності операторів БАС. Для фахівців профілю стійкої професійної адаптації пріоритетом є застосування заходів, пов'язаних зі збереженням функціональних резервів, що включають плановий моніторинг та сеанси психофізіологічного розвантаження для запобігання професійному вигоранню. Для представників профілю напруженої професійної адаптації зусилля лікарів слід спрямувати на корекцію функціональних обмежень через впровадження методів біологічного зворотного зв'язку для стабілізації реакцій та оптимізацію режиму праці. Для операторів профілю професійної дезадаптації необхідне тимчасове відсторонення від польотних завдань, інтенсивна медико-психологічна реабілітація та фармакологічна корекція. Впровадження такої системи превентивних заходів має суттєвий економічний ефект, оскільки дозволяє значно

**Таблиця 3 – Характеристика стану здоров'я операторів безпілотних авіаційних систем серед профілів професійної адаптації з урахуванням їх вікової детермінації, %**

Стан здоров'я	<40 років			≥40 років		
	«1» (n=93)	«2» (n=53)	«3» (n=38)	«1» (n=18)	«2» (n=11)	«3» (n=5)
Здорові	23.7	26.4	7.9*	5.6	0.0	0.0
Асоційовані зі стресом захворювання органів травлення	7.5	11.3	13.1	44.4	45.4	20.0
Асоційовані зі стресом захворювання органів кровообігу	25.8	20.8	31.6	0.0	18.2	60.0***
Дегенеративно-дистофічні захворювання	43.0	41.5	47.4	50.0	36.4	20.0

Примітки: \*, \*\*\* – достовірність різниці відсотків між профілями стійкої професійної адаптації «1» та професійної дезадаптації «3» за критерієм t-Ст'юдента відповідно визначається на рівні  $p < 0,05$  та  $p < 0,001$ .

знизили ризики втрати дороговартісного обладнання через «людський фактор» та мінімізувати витрати на довготривале лікування й перепідготовку дефіцитних кадрів. Збереження людського капіталу та технічного ресурсу завдяки вчасному прогнозуванню станів професійної адаптації є ключовим фактором підвищення загальної боєздатності підрозділів Сил оборони України.

#### Висновки.

1. Створено та обґрунтовано трирівневу модель профілів професійної адаптації операторів БАС, що інтегрує нейродинамічні та когнітивні маркери працездатності. Виявлено принципові розбіжності в архітектурі адаптаційних процесів залежно від вікової категорії, що зумовлює необхідність диференційованого підходу операторів до оцінки їх професійної надійності.

2. Встановлено низку універсальних та унікальних маркерів професійної адаптації, які демонструють зміну стратегій підтримання працездатності операторів різних вікових категорій: від опори на нейродинамічний резерв у представників віком <40 років, до переважання когнітивних компенсаторних стратегій у представників віком ≥40 років. Констатовано, що стан дезадаптації у операторів молодшої вікової категорії зумовлений руйнуванням сенсомоторної стабільності, тоді як у досвідчених фахівців – виснаженням складних прогностичних механізмів та когнітивного контролю.

3. Розроблено рівняння бальних профілів в якості прогностичного із забезпеченням високої діагностичної точності класифікації (98,4-100%). Встановлено

селективність діагностичних параметрів залежно від віку: бальна оцінка для операторів віком <40 років базується на розгалуженій системі з 13 предикторів, тоді як для операторів віком ≥40 років модель оптимізована до 9 найбільш вагомих індикаторів, що дозволяє максимально об'єктивізувати процес прийняття експертних рішень.

4. Констатовано прямий взаємозв'язок між рівнем професійної адаптації та станом здоров'я операторів. Виявлено, що у фахівців старшої вікової категорії основним клінічним індикатором професійної дезадаптації є критичне зростання частки асоційованих зі стресом захворювань органів кровообігу (до 60,0%), що підтверджує виснаження адаптаційного потенціалу серцево-судинної системи внаслідок тривалого «дистанційного стресу».

#### Перспективи подальших досліджень.

Детальне вивчення впливу асоційованих зі стресом захворювань на професійно важливі психофізіологічні якості операторів БАС в межах профілю професійної адаптації дозволить розробити індивідуалізовані програми превентивних заходів та схеми психофізіологічних тренувань, спрямовані на стабілізацію соматичного стану та збереження функціональних резервів вказаних фахівців. Впровадження таких алгоритмів сприятиме підвищенню професійного довголіття операторів, що забезпечить додатковий економічний ефект за рахунок мінімізації втрат людського та технічного ресурсу.

### References / Література

- Ariante G, Del Core G. Unmanned aircraft systems (UASs): current state, emerging technologies, and future trends. *Drones*. 2025;9(1):59. DOI: [10.3390/drones9010059](https://doi.org/10.3390/drones9010059).
- Sukharevskiy VO, Kirsanov SO, Chornomaz OV, Dobrovolskiy YuB. Evoliutsiia spromozhnosti bezpilotnykh system u Zbroinykh Sylakh Ukrainy pid chas viiny: istorychnyi ohliad i praktychnyi dosvid. *Military Science*. 2025;3(1):195-205. DOI: [10.62524/msj.2025.3.1.8](https://doi.org/10.62524/msj.2025.3.1.8). [in Ukrainian].
- Saini R, Raju MVK, Chail A. Cry in the sky: Psychological impact on drone operators. *Industrial Psychiatry Journal*. 2021;30(3):15. DOI: [10.4103/0972-6748.328782](https://doi.org/10.4103/0972-6748.328782).
- Dotsenko VV, Tokarenko YuV. Adaptatsiyni potentsial fakhivtsiv sektoru bezpeky i obrony Ukrainy na etapi profesiinoho stanovlennia. *Habitus*. 2024;(67):141-146. DOI: [10.32782/2663-5208.2024.67.21](https://doi.org/10.32782/2663-5208.2024.67.21). [in Ukrainian].
- Werner A, Kreutzmann U, Glowka S, Schinkel C. The new quality of aviation unmanned aerial vehicles (UAV) prevent psychological stress of military drone operators. *Clinical Medicine Research*. 2020;9(1):25. DOI: [10.11648/j.cmr.20200901.15](https://doi.org/10.11648/j.cmr.20200901.15).
- Pereira-Figueiredo I, Umeoka EHL. Stress: influences and determinants of psychopathology. *Encyclopedia*. 2024;4(2):1026-1043. DOI: [10.3390/encyclopedia4020066](https://doi.org/10.3390/encyclopedia4020066).
- Maciejewska M, Galant-Gołębiewska M, Łodygowski T. Psychophysical state aspect during UAV operations. *Applied Sciences*. 2023;14(1):150. DOI: [10.3390/app14010150](https://doi.org/10.3390/app14010150).
- Alharasees O, Kale U. Human factors and AI in UAV systems: enhancing operational efficiency through AHP and real-time physiological monitoring. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2025;111:5. DOI: [10.1007/s10846-024-02188-y](https://doi.org/10.1007/s10846-024-02188-y).
- Yu Z, Li M, Zhang Y, Jiang B. A review on safety control of unmanned aerial vehicles with guaranteed performance requirements. *Progress in Aerospace Sciences*. 2025;158:101144. DOI: [10.1016/j.paerosci.2025.101144](https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2025.101144).
- Kalynysh VV. Fiziolo-hihienichni osoblyvosti protsesu reabilitatsii viskovosluzhbovtstv pislia perebuвання v zoni bioivnykh dii. Vinnytsia: TOV «Merkiuri-Podillia»; 2020. 300 s. [in Ukrainian].
- Firsov AG. Programmno-apparatnyi kompleks dlia otsenki tipologicheskikh osobennostei tsentralnoi nervnoi sistemy cheloveka. *Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika*. 2010;(162):28-35.
- Shvets AV, Humeniuk KV, Diachenko VV, editors. *Metodyky obstezhen pid chas provedennia likarsko-lotnoi ekspertyzy: posibnyk dlia likarsko-lotnykh komisii*. Vinnytsia: PP Baliuk IB; 2024. 528 s. [in Ukrainian].
- Pashkovskiy SM, Kalynysh VV, Koval NV. Porivniialna kharakterystyka profesiino vazhlyvykh psykhofiziolo-hichnykh parametrv operatoriv bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv praktychno zdorovykh ta khorykh na asotsiiovani zi stresom zakhvoriuvannia. *Visnyk Vinnytskoho natsionalnoho medychnoho universytetu*. 2023;27(2):301-308. DOI: [10.31393/reports-vnmedical-2023-27\(2\)-21](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2023-27(2)-21). [in Ukrainian].
- Pfeifer G, Cawkwell S. Interceptive ageing and the impact on psychophysiological processes: a systematic review. *International Journal of Psychophysiology*. 2025;207:112483. DOI: [10.1016/j.ijpsycho.2024.112483](https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2024.112483).
- Ramallo-Luna MA, Gonzalez-Torre S, Rodríguez-Mora Á, de la Torre GG. Neurocognitive factors of new drone pilots: identifying candidates with expert potential. *Computers in Human Behavior Reports*. 2025;19:100705. DOI: [10.1016/j.chbr.2025.100705](https://doi.org/10.1016/j.chbr.2025.100705).
- McKinley RA, McIntire LK, Funke MA. Operator selection for unmanned aerial systems: comparing video game players and pilots. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2011;82(6):635-642. DOI: [10.3357/ASEM.2958.2011](https://doi.org/10.3357/ASEM.2958.2011).

**ОБґРУНТУВАННЯ ПІДХОДІВ ДО КОМПЛЕКСНОЇ БАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПЕРЕБІГУ ПРОФЕСІЙНОЇ АДАПТАЦІЇ ОПЕРАТОРІВ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ВІКОВОЇ ДЕТЕРМІНАЦІЇ**  
Сергета І. В., Кальниш В. В., Пашковський С. М., Коваль Н. В., Назаренко О. П.

**Резюме.** Впровадження БАС у сучасну воєнну стратегію висуває екстремальні вимоги до психофізіологічного стану операторів, що потребують об'єктивізації оцінки їх професійної адаптації.

Мета дослідження полягає в науковому обґрунтуванні підходів до комплексної бальної оцінки перебігу професійної адаптації операторів БАС та перевірка її інформативності для формування профілів професійної придатності з урахуванням віку.

Для досягнення поставленої мети на базі ВМКЦ ЦР були проведені психофізіологічні обстеження 218 операторів БАС в період проходження стаціонарної лікарсько-льотної експертизи з урахуванням їх стану здоров'я. Обстеження виконувалося за допомогою програмно-апаратного комплексу для проведення психофізіологічних досліджень «ПФИ-2». Статистична обробка даних здійснювалася з використанням пакета програм STATISTICA 13.3.

Виділено та обґрунтовано трирівневу модель профілів професійної адаптації операторів БАС: стійкої професійної адаптації, напруженої професійної адаптації та професійної дезадаптації. Сформовано перелік універсальних та унікальних психофізіологічних параметрів для кожної вікової категорії, а також показано закономірності їх зміни від профілю стійкої професійної адаптації до стану професійної дезадаптації. Доведено, що підтримання працездатності у операторів різних вікових категорій реалізується через трансформацію психофізіологічних стратегій адаптації. На основі визначених маркерів розроблено прогностичні моделі комплексної бальної оцінки з високою точністю класифікації станів (98,4-100,0%). Показано, що стан дезадаптації серед операторів старшої вікової категорії в 60,0% випадків супроводжується асоційованими зі стресом захворюваннями органів кровообігу.

Виявлена вікова специфіка адаптаційних механізмів обґрунтовує доцільність диференційованого підходу до психофізіологічного супроводу та впровадження превентивних програм з урахуванням профілів професійної адаптації.

**Ключові слова:** оператори безпілотних авіаційних систем, професійно важливі психофізіологічні якості, профілі професійної адаптації, прогностичні моделі бальної оцінки, асоційовані зі стресом захворювання.

#### **JUSTIFICATION OF APPROACHES TO A COMPREHENSIVE POINT-BASED ASSESSMENT OF THE FEATURES OF THE COURSE OF PROFESSIONAL ADAPTATION OF UNMANNED AERIAL SYSTEM OPERATORS TAKING INTO ACCOUNT THEIR AGE DETERMINATION**

**Serheta I. V., Kalnysh V. V., Pashkovskiy S. M., Koval N. V., Nazarenko O. P.**

**Abstract.** The introduction of UAS into modern military strategy places extreme demands on the psychophysiological state of operators, requiring an objective assessment of their professional adaptation.

The aim of the study is to scientifically substantiate approaches to a comprehensive point-based assessment of the course of professional adaptation in UAS operators and to verify its informativeness for forming professional suitability profiles, taking into account age.

To achieve the stated objective, psychophysiological examinations were conducted at the MMCC of the CR involving 218 UAS operators during their inpatient medical and flight fitness examinations, with due consideration of their health status. Psychophysiological examinations were carried out using the PFI-2 software-hardware complex for psychophysiological investigation. Statistical data analysis was carried out using the **STATISTICA 13.3** software package.

A three-level model of professional adaptation profiles for UAS operators has been identified and substantiated: stable professional adaptation, strained professional adaptation, and professional maladaptation. A list of universal and unique psychophysiological parameters for each age category has been formed, and the patterns of their changes from the profile of stable professional adaptation to the state of professional maladaptation have been demonstrated. It has been proven that maintaining the work capacity of operators of different age categories is realized through the transformation of psychophysiological adaptation strategies. Based on the identified markers, prognostic models of comprehensive point-based assessment were developed with high state classification accuracy (98.4-100.0%). It is shown that the state of maladaptation in operators of the older age category is accompanied by stress-associated diseases of the circulatory system in 60.0% of cases.

The revealed age specificity of adaptation mechanisms justifies the expediency of a differentiated approach to psychophysiological support and the implementation of preventive programs taking into account professional adaptation profiles.

**Key words:** unmanned aerial system operators, professionally important psychophysiological qualities, professional adaptation profiles, prognostic point-based assessment models, stress-associated diseases.

#### **ORCID and contributionship / ORCID кожного автора та їх внесок до статті:**

Serheta I. V.: <http://orcid.org/0000-0002-4439-3833><sup>AD</sup>

Kalnysh V. V.: <http://orcid.org/0000-0002-5033-6659><sup>DF</sup>

Pashkovskiy S. M.: <http://orcid.org/0000-0001-7455-248X><sup>AEF</sup>

Koval N. V.: <http://orcid.org/0000-0003-0030-8577><sup>ABCDEF</sup>

Nazarenko O. P.: <http://orcid.org/0009-0006-3314-6630><sup>BC</sup>

#### **Conflict of interest / Конфлікт інтересів:**

The authors declare no conflict of interest / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Koval Nataliia Volodymyrivna / Коваль Наталія Володимирівна

Military Medical Clinical Center of the Central Region / Військово-медичний клінічний центр Центрального регіону

Ukraine, 21000, Vinnytsia, 185 Kniiaziv Koriatovychiv str. / Україна, 21000, м. Вінниця, вул. Князів Кориатовичів 185

Tel.: +380680251899 / Тел.: +380680251899

E-mail: [nata\\_renkas@ukr.net](mailto:nata_renkas@ukr.net)

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

This article is distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution (CC-BY) License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited © All authors, 2026 / Ця стаття розповсюджується на умовах ліцензії **Creative Commons Attribution (CC-BY)**, яка дозволяє необмежене використання, поширення та відтворення в будь-якому форматі за умови належного цитування оригінальної роботи © Всі автори, 2026

Received 27.09.2025 / Стаття надійшла 27.09.2025 року  
Accepted 02.03.2026 / Стаття прийнята до друку 02.03.2026 року  
Published 27.03.2026 / Опубліковано 27.03.2026 року

DOI 10.29254/2077-4214-2026-1-180-364-372

UDC 618.11-006-089.819:612.622:616-037

Strakhovetskyi V. S., Katamadze S. N.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF CHANGES IN OVARIAN RESERVE AFTER LAPAROSCOPIC CYSTECTOMY OF BILATERAL ENDOMETRIOMAS

V. N. Karazin Kharkiv National University (Kharkiv, Ukraine)

[strahvit77@gmail.com](mailto:strahvit77@gmail.com)

*Endometrioid ovarian disease occupies a leading place in the structure of causes of female infertility. Although cystectomy of endometriomas more frequently damages the ovarian reserve, it still remains the primary treatment option for endometrioma. Therefore, the aim of the study was to compare the effects of different intraoperative hemostasis methods (precision bipolar coagulation and suturing of the cyst bed) on the ovarian reserve in patients with bilateral endometriomas. The study included 26 patients with bilateral endometrioid ovarian cysts who were divided into two groups depending on the type of laparoscopic intervention: in group I (n=10), a standard cystectomy technique using a bipolar coagulator was applied; in group II (n=16), an organ-preserving technique of “cold dissection” with hemostasis achieved by suturing the ovarian tissue was used. The obtained results were statistically processed. The main marker of ovarian reserve was the serum level of anti-Müllerian hormone (AMH) measured before surgery and 4 months after the operation. The baseline AMH level in patients of both groups was below the normal range, confirming the negative effect of bilateral endometriomas on the follicular apparatus: in group I –  $2.4 \pm 0.3$  ng/mL, and in group II –  $2.6 \pm 0.3$  ng/mL. Evaluation of ovarian reserve dynamics 4 months after surgery revealed significant differences between the groups: the relative decrease from the baseline value in group I was 46.2% ( $1.3 \pm 0.2$  ng/mL), whereas in group II it was 18.4% ( $2.1 \pm 0.3$  ng/mL). The obtained data indicate that bilateral endometrioma cystectomy is a traumatic intervention that inevitably leads to a decrease in ovarian reserve; however, the degree of this decline critically depends on the chosen hemostasis method. For nulliparous patients, especially in cases of bilateral involvement, the method of choice should be laparoscopic cystectomy with avoidance of electrical energy and the use of microsurgical suturing techniques.*

**Key words:** bilateral endometriosis, ovarian reserve, anti-Müllerian hormone, laparoscopy, haemostasis, ovarian suture.

### Connection of the publication with planned research work.

The research was carried out in accordance with the research plan of the Department of Gynecology of V.N. Karazin Kharkiv National University, “Preservation and rehabilitation of women’s reproductive health in conditions of martial law, prevention of complications in operative gynecology” (state registration number 0124U002218).

### Introduction.

Endometriosis is a gynecological disease characterized by the development of endometrial tissue outside

the uterus. The most common localization of endometriosis is the ovary, which occurs in 17-44% of patients with endometriosis [1, 2].

Endometrioid ovarian disease occupies a leading place in the structure of causes of female infertility. According to global statistics, the prevalence of endometriomas among women with infertility reaches 30-40% [3]. Bilateral ovarian involvement represents a particular clinical challenge and is diagnosed in every third patient with cystic forms of endometriosis. Bilateral endometriomas, a history of surgery for unilateral endometrioma with contralateral recurrence, and decreased ovarian re-