

УДК 796.012.4

Д. М. Барановський; І. О. Криворучко; М. В. Московко, к. т. н.;  
С. М. Злепко, д. т. н., проф.; С. В. Тимчик, к. н. т., доц.

## ВИБІР ІНФОРМАТИВНИХ ФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОПЕРАТОРА В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОЇ РУХЛИВОСТІ

*У статті розглянуто способи визначення функціонального стану оператора за фізіологічними показниками. Наведено оцінку інформативності та впливу фізіологічних показників на функціональний стан оператора. Представлено практичну реалізацію нового підходу до оцінювання функціонального стану оператора. Наведено вимоги до обладнання: давачам і первинним перетворювачам біомедичним (фізіологічним).*

**Ключові слова:** фізіологічні показники, оцінка функціонального стану, функціональний стан оператора, обмежена рухливість, визначення функціонального стану.

### Вступ

Відомо, що частота пульсу в кожний момент часу є результатом сукупного впливу на серцево-судинну систему (ССС) парасимпатичного і симпатичного відділів вегетативної нервової системи. Переважання парасимпатичних впливів призводить до уповільнення пульсу в положенні лежачи, завдяки чому певною мірою можна оцінювати стан тонуру відділів вегетативної нервової системи. Про збудження парасимпатичного відділу дає уявлення проба Ашнера, симпатичного відділу – ортостатична проба. Чим вища реакція на подразнення, тим вища збудливість [1].

Більш чутливими індикаторами функціонального стану (ФС) є не самі значення частоти серцевих скорочень (ЧСС) і артеріального тиску (АТ), а комплексний показник типу коефіцієнту ефективності кровообігу, який можна вважати об'єктивною ознакою погіршення ФС, що свідчить про втому оператора [2]. А. М. Лук'янов і М. В. Фролов [3] вважають, що безперервний облік ФС оператора можна вести за двома найважливішими проявами змін узгодженості психічних процесів і функцій у ході діяльності людини – характеристиками уваги та емоційної напруги. При чому обидві ці характеристики автори визначають фізіологічними методами.

Відомий спосіб визначення функціонального стану організму за фізіологічними показниками, за якого одночасно вимірюють ЧСС, системний артеріальний тиск, уміст кисню в артеріальній крові та хвилинний об'єм крові, а потім знаходять комплексний показник  $K$  за формулою:

$$K = 100 \left( 2,4 - \frac{A_n}{A_o} - 0,8 \frac{B_n}{B_o} + 0,4 \frac{C}{C_o} - \frac{D}{D_o} \right),$$

де  $P$  – поточне значення;  $O$  – початкове значення;  $A$  – АТ;  $B$  – хвилинний об'єм;  $C$  – ЧСС;  $D$  – уміст кисню в артеріальній крові (до та після лікувального впливу): за  $K \geq 110$  – край важкий стан;  $80 \leq K \leq 100$  – важкий стан;  $64 \leq K \leq 80$  – стан середньої тяжкості; до  $< 64$  – задовільний стан [4].

Необхідно також звернути увагу на те, що комплексна обробка електрокардіограми, реограми і кривої дихання дозволяє отримати низку показників, які досить повно характеризують стан серцево-судинної системи людини-оператора [5]. До них належать:

1. ЕКГ – амплітуди зубців  $R$  і  $T$ , інтервали  $R - R$ ,  $R - T$ ;

2. Реограмама  $-\left(\frac{dz}{dt}\right)_{max}$ , інтервал  $\tau = \left\{ R - \left(\frac{dz}{dt}\right)_{max} \right\}$ ;

3. Крива дихання – максимальна швидкість вдиху –  $W$ , максимальна швидкість видиху –  $WW$ ; тривалість дихального циклу  $D - D$ . Обраний комплекс показників дозволяє робити висновки про електричну і механічну діяльність серця і системи дихання: величина  $\left(\frac{dz}{dt}\right)_{max}$  у комплексі з показником  $\tau$  дозволяє оцінити відносні зміни серцевого викиду, що впливає з формули:

$$\Delta V = \rho \left(\frac{l^2}{z^2}\right) T \cdot \left(\frac{dz}{dt}\right)_{max},$$

де  $\Delta V$  – ударний об'єм,  $\rho$  – питомий опір крові;  $l$  – відстань між електродами,  $T$  – тривалість фази вигнання. Оскільки  $l, \rho, z$  практично незмінні під час дослідження, а  $T$  – пропорційна інтервалу  $\tau$ , то можна робити висновок про зміну  $\Delta V$ .

Підвищення робочого навантаження оператора й відповідної нервово-емоційної напруги призводить до значного (у 2 рази) зменшення амплітуди добових коливань температури тіла й показників ССС. При цьому середньодобові значення температури тіла практично не змінюються, а значення ЧСС змінюються незначно [6].

Сегмент  $ST$  електрокардіограми оперативно реагує на процеси правильного і неправильного запам'ятовування інформаційного потоку [7]. Обмеження рухової активності оператора призводить до зменшення температури тіла й ЧСС до кінця зміни. При цьому доцільно враховувати і зміну показників ССС, зумовлену добовою ритмікою й гіпокінезією [2].

Найчутливішим методом для оцінки стану мозку в нормі та патології є субмікрровольтні коротколатентні викликані потенціали мозку (СКВПМ) акустичної та соматосенсорної стимуляції. Сумування багаторазово зумовлених звуковими й больовими подразниками потенціалів мозку дозволяють за допомогою ПК зареєструвати сигнал, амплітуда якого менша, ніж власний шум ЕЕГ (приблизно 2 – 3 мкВ). Водночас амплітуда ЕЕГ більша, ніж у 100 разів перевищує амплітуду СКВПМ.

СКВПМ дають можливість визначати швидкість проведення збудження по слуховому шляху головного мозку й соматосенсорному шляху спинного і головного мозків. Крім того, ці потенціали дозволяють оцінити стан окремих релейних ядер як слухового, так і соматосенсорного шляхів [8].

Часто діагностику стану оператора пов'язують із аналізом ЕЕГ [9, 10]. Вважають можливим використовувати три типи ЕЕГ: десинхронізований, перехідний і синхронізований із зовнішнім подразненням; типи ЕЕГ при цьому можуть бути критерієм функціонального стану ЦНС оператора. Крім ЕЕГ, використовують ЕМГ, ЕКГ, пневмограму (ПГ), які враховують під час оцінки стану оператора за граничними значеннями, визначеними за допомогою обчислювального алгоритму, заснованого на використанні статистичних методів [11].

Стан судин головного мозку в моряків у період плавання вивчали методом реоенцефалографії (РЕГ) за фронтомастоїдального розташування електродів; утому ЦНС визначали за критичною частотою злиття світлових миготінь (КЧЗСМ); працездатність – за швидкістю реакції моряків на аварійно-попереджувальний сигнал (АПС) [12]. Про стан судин головного мозку робити висновок за максимумом амплітуди реографічної хвилі, яка тісно корелює з інтенсивністю центрального кровотоку. Коефіцієнт кореляції між пульсовим кровонаповненням А, КЧЗСМ та АПС обчислювали за методикою кореляції рангів Спірмена [12]. У результаті було встановлено, що водночас зі зменшенням кровонаповнення судин

головного мозку знижується поріг сприйняття КЧЗСМ і збільшується латентний період реакції оператора на АПС.

Між показниками пульсового кровонаповнення, КЧЗСМ і швидкістю реакції на АПС існує слабкий кореляційний зв'язок, який у міру збільшення тривалості плавання зростає [12]. Гіподинамія в сукупності з іншими умовами плавання може призвести до порушення регуляції кровообігу, зменшення кровонаповнення судин головного мозку і швидшого розвитку втоми [12].

Уплив комплексу несприятливих чинників, серед яких провідними були підвищена температура й висока концентрація  $\text{CO}_2$  в повітрі протягом дуже нетривалого часу, призводить до погіршення функціонального стану організму. Чим триваліший їхній вплив, тим більш виражені порушення суб'єктивного статусу і зміни ЧСС. Аналіз РЕГ показав [13], що відбувається певне рівномірне збільшення періоду РЕГ-ої хвилі. Пульс сповільнювався до кінця походу, систолічний АТ, починаючи з 10-ої доби, знижувався, а до кінця походу помітно зростає. Рівень діастолічного АТ помітно збільшувався.

Діастолічний і дікротичний індекси до кінця походу поступово зростали. Динаміка зміни РЕГ свідчить про збільшення пружно-в'язких властивостей артеріальних судин мозку, а зміни дікротичного і діастолічного індексів свідчать про те, що в результаті тривалої гіпокінезії разом із підвищенням артеріального тону помітно підвищується тону мозкових вен [13].

Оцінка ФСО за фізіологічними показниками повинна враховувати вид операторської діяльності, умови роботи, характер зовнішніх впливів і, з одного боку, мати необхідну, максимально можливу інформативність і точність, а з іншого – мінімальне число фізіологічних показників, які забезпечують досягнення необхідної інформативності й точності оцінки ФСО.

З урахуванням сказаного таблиця інформативності і впливів фізіологічних показників на функціональний стан оператора може бути представлена так (таблиця 1). Критерії оцінки трудової діяльності оператора мають безперервний характер, який передбачає дискретно-безперервну оцінку його фізіологічних і психологічних показників. У міру зміни якості критеріїв у бік погіршення система контролю формує такі тестові впливи, які, не порушуючи трудового процесу, дозволяють оцінити стан людини-оператора.

Таблиця 1

#### Оцінка інформативності та впливу фізіологічних показників на функціональний стан оператора

Показник, який реєструють	Обчислювані показники	Ступінь інформативності та впливу
1	2	3
1. Електрокардіограма грудні відведення	ЧСС; стандартне відхилення ЧСС; зміщення сегменту ST; Амплітуди зубців P, R, Q, ST; інтервали R-R, P-R, S-T	Напруженість роботи оператора; правильність запам'ятовування інформаційного потоку; здатність виконувати виробничі функції
2. Артеріальний тиск	Систолічний, діастолічний, середній динамічний	АДС на початку походу знижується, а в кінці – зростає. АДД в кінці походу зростає
3. Тетраполярна реограма	$\left(\frac{dz}{dt}\right)_{max}$ ; ОПС; МОК; УО; $P_{min}$ ; коефіцієнт ефективності кровообігу	Стан серцево-судинної системи характеризує погіршення ФСО

1	2	3
4. Електроенцефалограма	$\alpha$ -ритм $\theta$ -ритм	Характеризує емоційну стійкість; рівень активності; здатність до прийняття рішень. Характеризує індекс емоційного збудження
5. Реоенцефалограма	Дікротичний і систолічний індекси, максимальна амплітуда реографічної хвилі	До кінця походу поступово зростає; характеризує стан судин головного мозку
6. Критична частота злиття світлових миготінь (КЧЗСМ)	Поточне значення	Характеризує ступінь утоми ЦНС
7. Швидкість реакції на аварійно-попереджувальний сигнал (АПС)	Швидкість реакції	Характеризує працездатність оператора
8. Методика рангів Спірмена	Коефіцієнт кореляції між пульсовим кровонаповненням А, КЧЗСМ та АПС	За зменшення кровонаповнення знижується поріг сприйняття КЧЗСМ та зростає латентний період реакції відповіді на АПС

Практична реалізація пропонованого підходу до оцінювання функціонального стану оператора можлива за умови, що давачі й первинні перетворювачі біомедичних (фізіологічних) сигналів відповідатимуть низці нових вимог, зумовлених саме таким підходом.

Першою з таких вимог є вимога універсальності електродів і давачів, яка передбачає застосування одних і тих самих електродів для реєстрації біомедичних сигналів, що мають різну природу походження.

Має сенс, на наш погляд, увести вимогу автономності, яку розглядати як функціонально зумовлену і конструктивно інформаційну, відповідно (ФЗА) і (КІА).

Функціонально зумовлена автономність – це обов'язкова здатність вхідного перетворювача (модуля) виконувати свої функції у складі системи й поза нею, за наявності автономного джерела живлення.

Конструктивно інформаційна автономність – це реалізація в єдиному конструктиві первинних і вторинних перетворювачів, АЦП і ЦАП, що забезпечують на виході вхідного перетворювача (модуля) нормовані значення реєстрованих сигналів, які зумовлюють його сполучення з іншими блоками системи за допомогою тимчасово просторових логічних співвідношень.

Керованість вхідного модуля – його здатність реагувати на сигнали управління, що надходять іззовні або від обчислювального комплексу системи [14].

Ця вимога має деякі особливості, які необхідно враховувати під час її застосування:

- вхідний перетворювач повинен мати всі необхідні канали для прийому керівних сигналів, інакше він просто не здатний виконувати свої функції;
- зміну програми, параметрів і режимів роботи задає, як правило, обчислювальний комплекс системи, але за умови виконання вищевказаної вимоги;
- якщо це визначення передбачає можливість ручного або дистанційного керування, то це вже не тільки питання керованості модулів, а ще й психологічної сумісності комплексу «ліквар – ПК оператор».

### Висновки

Медичні бази даних для оцінки ФСО, масиви значень норми фізіологічних показників для кожного з рівнів функціонування операторів визначають за результатами експериментальних досліджень; даних, отриманих статистичним шляхом, та уточнюють на етапі визначення операторської діяльності й контрольованих фізіологічних показників.

Проектування ефективних багатофункціональних АПЗ для оцінки ФСО може бути досягнуто за умови обов'язкової відповідності між рівнями функціонального стану оператора й рівнями апаратно-програмних засобів, що забезпечують нормальне функціонування оператора на кожному з рівнів ФСО.

Під час вибору електродів і давачів біомедичної інформації для апаратно-програмних засобів для оцінювання функціонального стану операторів, які працюють в умовах обмеженої рухливості, рекомендовано враховувати їхню відповідність вимогам автономності й керованості вхідних модулів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Синельникова Э. М. Основы неврологического контроля в спорте / Э. М. Синельникова. – М. : Физкультура и спорт, 1984. – 96 с.
2. Романов В. В. Влияние операторской деятельности на суточную ритмику физиологических функций / В. В. Романов, А. Н. Попов // Физиология человека. – 1981. – № 6. – С. 20 – 25.
3. Лукьянов А. Н. Сигналы состояния оператора / А. Н. Лукьянов, М. В. Фролов. – М. : Наука, 1969. – 248 с.
4. А. с. 927226 СССР, МКИ<sup>3</sup> А 61 В 57/00. Способ определения функционального состояния организма / Апостолов В. И., Радионов Б. В., Брусиловский Б. М., Цырульников В. А., Попов А. А., Старчик В. П.; заявитель и патентобладатель Киевский ордена Трудового Красного Знамени науч.-исслед. ин-т туберкулеза и грудной хирургии. – № 2782443/28-13 ; заяв. 04.07.79 ; опубл. 15.05.82, Бюл. № 18.
5. Волконская Т. А. К вопросу оценки функционального состояния сердечно – сосудистой системы с помощью комплекса методик / Т. А. Волконская // Медицинская и физиологическая кибернетика. – 1981. – С. 9 – 16.
6. Андриевская Г. С. Исследование возможностей построения непрерывной шкалы состояния / Г. С. Андриевская // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Общетеchnическая. – 1976. – Вып. 9. – С. 170 – 179.
7. Евтушенко В. Ф. Информативность сегмента ST-T ЭКГ при контроле функционального состояния человека – оператора / В. Ф. Евтушенко // Методика и аппаратура исследования психофизиологических характеристик человека-оператора. – 1977. – Вып. 1 – С. 64 – 68.
8. Автоматизированная система для исследования субмикровольтных коротколатентных вызванных потенциалов мозга / А. М. Карев, В. С. Широков, А. Р. Шахнович [та ін.] // Медицинская техника. – 1984. – № 1. – С. 12 – 15.
9. Генкин А. А. Об автоматизации диагностики функциональных состояний организма по данным ЭЭГ / А. А. Генкин, Г. М. Зараковский // Проблемы инженерной психологии. – 1966. – Вып. 4. – С. 190 – 206.
10. Сюттюрэнко О. В. Исследование и разработка методологии, моделей, алгоритмов автоматизированных систем переработки научной, технической и экономической информации для обеспечения процессов создания новой техники: автореф. дис. д. т. н. : спец. 05.13.06 «Информационные технологии» / О. В. Сюттюрэнко. – М., 1987. – 24 с.
11. Дадашев Р. С. Автомат для определения функционального состояния человека-оператора / Р. С. Дадашев, С. П. Хлебников // Система «человек-автомат». – 1965. – Вып. 3 – С. 86 – 93.
12. Довгуша В. В. Динамика кровенаполнения сосудов головного мозга и работоспособность у моряков в период плавания / В. В. Довгуша // Военно-медицинский журнал. – 1981. – № 10. – С. 53 – 54.
13. Сапов И. А. Результаты исследования внутричерепной гемодинамики у подводников во время похода / И. А. Сапов, В. В. Довгуша // Военно-медицинский журнал. – 1974. – № 5. – С. 59 – 62.
14. Исайкив В. А. К вопросу об измерительных преобразователях первичной медицинской информации / В. А. Исайкив, В. С. Широков // Медицинская техника. – 1985. – № 3. – С. 44 – 48.

Стаття надійшла до редакції 25.01.2018 р.

Стаття пройшла рецензування 05.02.2018 р.

**Барановський Дмитро Миколайович** – аспірант кафедри біомедичної інженерії.

**Криворучко Іван Олександрович** – магістрант кафедри біомедичної інженерії.

**Московко Марина Василівна** – к. т. н., асистент кафедри біомедичної інженерії.

*Зленко Сергій Макарович* – д. т. н., професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії.

*Тимчик Сергій Васильович* – к. т. н., доцент, доцент кафедри біомедичної інженерії.  
Вінницький національний технічний університет.