

Зленко С.М.

Вінницький національний технічний університет

Тимчик С.В.

Вінницький національний технічний університет

Криворучко І.О.

Вінницький національний технічний університет

Паламарчук М.І.

Вінницький національний технічний університет

ВИБІР ІНФОРМАТИВНИХ ФІЗІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОПЕРАТОРІВ: АНАЛІЗ СИТУАЦІЇ

У статті запропоновано алгоритм адаптивного тестування для визначення психологічного профілю оператора, який передбачає цілісний, направлено-мотивований підбір методик для реєстрації змін психологічного стану на кожному з рівнів тестування, і розроблення механізму, який давав би змогу співвідносити результати діяльності зі змінами персоніфікованого функціонального стану.

Ключові слова: функціональний стан, артеріальний тиск, серцево-судинна система, симпатонія, електроенцефалограма.

Вступ. Визначення стану особистості передбачає вивчення ролі фізіологічних, психічних реакцій і станів організму здорової людини в забезпеченні ефективної і надійної роботи. Методи цих напрямів дають змогу паралельно провести якісний і кількісний аналіз динаміки діяльності. Якісний аналіз спрямовується на розкриття сутності психофізіологічної регуляції, зокрема, реєструються зовнішні прояви діяльності, що дає змогу судити про характер і причини, які виникають під час професійної діяльності. Кількісний аналіз на основі фізіологічних показників дає змогу достовірно інтерпретувати дані, отримані під час використання адекватного методу оцінки надійності діяльності оператора [4; 5; 6].

З точки зору системної психофізіології [5] функціональний стан (ФС) оператора можна розглядати як якісно унікальну, загальну реакцію всіх функціональних систем організму на зовнішні і внутрішні впливи, що виникають за граничних і пікових навантажень. Оптимальний функціональний стан є одним з можливих функціональних станів, який характеризується максимальною ефективністю і продуктивністю. Зміни різних психофізіологічних систем неоднаково відображаються і проявляються у вигляді специфічних, поведінкових і психологічних реакцій організму.

Вибір інформативних фізіологічних показників для оцінювання функціонального стану операторів у кожному конкретному випадку має носити персоніфікований характер і здійснюватися з урахуванням насамперед тих систем організму, які є найбільш важливими, інформативними і такими, що мають пріоритетне значення для діагностики і відбору операторів тієї чи іншої спрямованості. Процес відбору передбачає і процедуру ранжування, за якої визначення меж класів здійснюється на основі середньо квадратичного відхилення δ аналогічно тому, як це зроблено в [3]. У цій роботі йдеться про нормативний розподіл ознак або симетричний, за якого позитивні і негативні відхилення однакової величини зустрічаються однаково часто, а основна частина відхилень від середньої величини перебуває в межах $\pm 5\%$ (68,3% всіх показників) і в межах $\pm 25\%$ (95,5% всіх показників).

Аналіз літературного контенту. Як відомо, частота пульсу в кожен певний момент є результатом сукупного впливу на серцево-судинну систему (ССС) парасимпатичного і симпатичного відділів вегетативної нервової системи. Переважання парасимпатичних впливів веде до уповільнення пульсу в положенні лежачи, завдяки чому певною мірою можна оцінювати стан тонуусу відділів вегетативної нервової системи.

Про збудливість парасимпатичного відділу дає уявлення проба Ашнера, симпатичного відділу – ортостатична проба. Чим вища реакція на роздратування, тим вища збудливість [9].

Більш чутливими індикаторами ФС є не самі значення частоти серцевих скорочень (ЧСС) і артеріального тиску (АТ), а комплексний показник типу коефіцієнта ефективності кровообігу [8]. А.Н. Лук'янов і М.В. Фролов [10] вважають, що безперервний контроль ФС оператора можна вести за двома найбільш важливими проявами змін узгодженості психічних процесів і функцій під час діяльності людини: характеристиками уваги та емоційної напруги. Причому обидві ці характеристики автори визначають фізіологічними методами.

Сегмент ST електрокардіограми оперативно реагує на процеси правильного і неправильного запам'ятовування інформаційного потоку [7]. Обмеження рухової активності оператора викликає зменшення температури тіла і ЧСС до кінця роботи. При цьому доцільно враховувати і зміну показників ССС, яка викликана добовою ритмікою і гіпокінезією [8].

Найбільш чутливим методом для оцінювання стану мозку в нормі та патології є субмікровольтні коротколатентні викликані потенціали мозку (СКВПМ), отримані за допомогою акустичної соматосенсорної стимуляції [11].

Часто діагностику стану оператора пов'язують з аналізом електроенцефалограм (ЕЕГ) [12]. При цьому вважається можливим використовувати три типи ЕЕГ: десинхронізований, перехідний і синхронізований із зовнішніми подразниками, які при цьому можуть служити критерієм функціонального стану ЦНС оператора. Крім ЕЕГ, використовуються електроміограма (ЕМГ), ЕКГ, пневмограма (ПГ), які враховуються для оцінювання стану оператора за граничними значеннями, визначеними за допомогою обчислювального алгоритму, заснованого на використанні статистичних методів.

Ступінь психоемоційного напруження коливається від незначної емоційної збудливості у одних людей до емоційної інертності в інших. Емоційне вираження виявляється перш за все у змінах регуляції діяльності внутрішніх органів, яке здійснюється симпатичною та парасимпатичною нервовими системами [1; 2].

У більшості (80%) людей діяльність цих систем перебуває у динамічній рівновазі, що є ознакою нормотонії, але приблизно у 12% людей є чітка симпатична спрямованість вегетативного тону

(симпатонія), а у 7% людей спостерігається переважання парасимпатичної системи в регуляції вегетативного тону організму (парасимпатонія). Симпатотоніки та парасимпатотоніки відрізняються за рівнем емоційного збудження та реактивності (за Стреляу). Висока реактивність ЦНС часто є причиною неадекватних реакцій індивіда на різні за силою подразники і лежить в основі особистісної тривожності [1; 2].

Вегетативний баланс організму можна визначити досить простим способом, використовуючи основні фізіологічні параметри кардіореспіраторної системи – артеріальний тиск (AT_c – систолічний та AT_d – діастолічний), частоту пульсу (P) і частоту дихальних рухів (D). Одним з показників вегетативного балансу є індекс Кердо (IK), який розраховується за формулою [11]:

$$IK = (1 + AT_d/P) * 100. \quad (1)$$

Якщо одержана величина буде позитивною (+), це свідчить про симпатотонію, а якщо негативною (-), то це ознака парасимпатотонії.

Іншим показником, який застосовується для визначення вегетативного балансу організму, є хвилинний об'єм крові (XOK), що розраховується за формулою [1; 2]:

$$XOK = (AT_c - AT_d)/AT * 100 * P; AT = (AT_c + AT_d)/2. \quad (2)$$

Якщо XOK буде вищий за 4244,58 – це свідчить про симпатотонію, а якщо менший за 2311,54 – це ознака парасимпатотонії; проміжні значення властиві для нормотоніків.

Наявна проблема. Проблема полягає в необхідності забезпечення максимальної ефективності та адекватності визначення стану оператора шляхом розроблення критерію відповідності рівня та інформативності психофізіологічних показників поточному функціональному стану оператора.

Виклад основного матеріалу. Вибір психофізіологічних показників для визначення ФС оператора має визначатися рівнем їх інформативності, базуватися на фактичному стані оператора і бути адекватним стосовно тих систем організму оператора, які є відповідальними за такий його стан та відповідати одному з рівнів класифікації, що нижченаведена: 1 рівень – стан відмінний, всі показники в межах норми; 2 рівень – стан задовільний, діапазон коливань значень показників до $\pm 15\%$; 3 рівень – стан середньої тяжкості, діапазон коливань показників до $\pm 25\%$; 4 рівень – стан тяжкий, оператор непрацездатний, діапазон показників до $\pm 50\%$.

Одним зі шляхів вирішення проблеми визначення функціонального стану операторів є

вибір методів дослідження. Діагностика стану оператора може здійснюватися декількома способами: 1) використання тестових проб; 2) безперервний поточний контроль; 3) аналіз стану за результатами реально виконаної діяльності [15; 16].

Перший спосіб (контроль за допомогою тестів) має низку недоліків. Основна проблема полягає в тому, що сама тестова процедура іноді впливає на результат діяльності. Сигнали тесту представляють деякі «чужорідні» вторгнення в поточну діяльність, відволікають увагу оператора.

Відповіді на сигнали тесту вимагають максимальних зусиль, а на роботі – оптимальних. Довільні рухові дії найбільшою мірою відчувають на собі вплив компенсаторних механізмів. Відхилення у функціональному стані можуть бути виявлені занадто пізно, коли падіння працездатності буде на межі втрати контролю за керованим процесом [15].

Інший шлях полягає в безперервному поточному контролі за станом функціональних систем, що здійснюють реалізацію діяльності. У різні періоди роботи і залежно від характеру поставленої задачі навантаження на функціональні системи може варіюватись. Тому поточний контроль має вестися за всіма системами організму і насамперед за тими, які найбільш задіяні в професійній діяльності. Безперервний поточний контроль дає змогу завчасно прогнозувати тривалість підтримки оптимальної працездатності оператора. Однак реалізація і цього підходу пов'язана з низкою труднощів. Використання контактних методів зняття інформації з оператора в реальних умовах діяльності ускладнюється відсутністю необхідної апаратури збору та реєстрації (давачі, телеметрія тощо), високоінформативних показників працездатності. Тому традиційні методи психофізіології практично мало придатні для контролю за поточним функціональним станом. Перспективною вважається розробка методів безконтактної реєстрації показників [15].

Третій підхід до діагностики функціональних станів заснований на використанні аналізу результатів самої діяльності, але він так само викликає серйозні заперечення. Відомо, що високо мотивований оператор або оператор, що володіє хорошою саморегуляцією, може більш повно реалізувати свої функціональні резерви і за рахунок цього підтримувати якість діяльності на високому рівні [1; 15].

Пошуки уніфікованих методів діагностики функціональних станів закінчилися відсутністю

вагомих результатів, оскільки кожна конкретна діяльність висуває свої специфічні вимоги до функціональних станів. Використання однієї фізіологічної характеристики як інтегрального показника функціонального стану також не принесло бажаного успіху, оскільки відображало зміни, що відбувалися тільки в одній функціональній системі, а не організму в цілому.

Авторами запропоновано алгоритм адаптивного тестування для визначення психологічного профілю оператора, який передбачає цілісний, направлено-мотивований підбір методик для реєстрації змін психологічного стану на кожному з рівнів тестування і розроблення механізму, який давав би змогу співвідносити результати діяльності зі змінами персоніфікованого функціонального стану. Використання системного підходу забезпечує оперативне оброблення великого обсягу інформації, пов'язаної із розробленням та використанням методів автоматизованої діагностики функціональних станів, які пропонується розглядати як фасетну систему з двома рівнями аналізу: психологічного і фізіологічного.

Стан психологічного рівня діагностувався за допомогою методів, заснованих на самооцінці самопочуття, активності і настрою, самозвіту про стан окремих функціональних систем організму під час роботи, методики дослідження психічної працездатності та іншими.

Стан фізіологічного рівня визначався використанням методів, які характеризують діяльність різних функціональних систем; 1) серцево-судинної (методика математичного аналізу серцевого ритму); 2) центральної і вегетативної нервової систем (методики вегетативного балансу організму і критичної частоти злиття світлових миготінь – КЧЗСМ); 3) функціонального стану людини-оператора в нормальних (8-годинний експеримент) та екстремальних (12-годинна робота в режимі безперервної діяльності) умовах та інших.

Оцінка ФСО за фізіологічними показниками враховувала вид операторської діяльності, умови роботи, характер зовнішніх впливів і, з одного боку, забезпечила необхідну, максимально можливу інформативність і точність, а з іншого – мінімальне число фізіологічних показників, що зумовили досягнення необхідної інформативності і точності оцінки ФСО.

З урахуванням сказаного таблиця інформативності та впливу фізіологічних показників на функціональний стан оператора може бути представлена таким чином (таблиця 1).

**Оцінювання інформативності та впливу фізіологічних показників
на функціональний стан оператора**

Реєстрований показник	Обчислювані показники	Ступінь інформативності та впливу на стан оператора	Примітка
1. Електрокардіограма – грудні відведення	ЧСС; стандартне відхилення ЧСС; зміщення сегмента 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 – АТС; діастолічний – АТД.	АТС – на початку тривалої роботи знижується, до кінця зростає; АТД – до кінця зростає.	
3. Тетраполярна реограма	$\left(\frac{dz}{dt}\right)_{\max}$; загальний периферійний опір (ЗПО); мінімальний об'єм крові (МОК); ударний об'єм (УО); потужність лівого шлуночка $P_{\text{лш}}$; коефіцієнт ефективності кровообігу.	Стан серцево-судинної системи характеризує погіршення ФСО.	
4. Електроенцефало-грама	α – ритм θ – ритм	Характеризує емоційну стійкість; рівень активності, здатність до прийняття рішень. Характеризує індекс емоційного збудження.	
5. Реоенцефалограма	Дикротичний і систолічний індекси, максимальна амплітуда реографічної хвилі.	До кінця роботи поступово збільшуються; характеризує стан судин головного мозку.	
6. Критична частота злиття світлових миготінь (КЧЗСМ)		Характеризує ступінь втоми ЦНС.	
7. Швидкість реакції на аварійно-попереджувальний сигнал (АПС)		Характеризує працездатність оператора.	
8. Кореляція між А, КЧЗСМ та АПС	Коефіцієнт кореляції між пульсовим кровонаповненням А, КЧЗСМ і АПС.	У разі зменшення кровонаповнення знижується поріг сприйняття КЧЗСМ, зростає латентний період реакції на АПС.	
9. Скроневий тиск справа і зліва		Різниця у 10 і більше мм рт. ст. справа і зліва свідчить про наявність асиметрії.	

Висновки.

1. Критерії оцінювання трудової діяльності оператора мають носити безперервний характер, що передбачає дискретно-безперервну оцінку його фізіологічних і психологічних показників. У міру зміни якості критеріїв у бік погіршення система контролю має формувати такі тестові впливи, які, не порушуючи порядку трудового процесу, могли б оцінити стан людини-оператора.

2. Медичні бази даних, що входять до складу багатофункціональних систем і комплексів для оцінювання ФСО, масиви значень норми фізіологічних показників для кожного з рівнів функціо-

нування операторів визначаються в основному результатами експериментальних досліджень, а також даних, отриманих статистичним шляхом, і уточнюються на етапі визначення операторської діяльності та вибору контрольованих фізіологічних показників.

3. Проектування багатофункціональних систем і комплексів для оцінювання ФСО може бути досягнуто за умови обов'язкової відповідності між рівнями функціонального стану оператора і рівнями апаратно-програмних засобів, що забезпечують нормальне функціонування оператора на кожному з рівнів ФСО.

Список літератури:

1. Мурик С.Э. Оценка функционального состояния организма человека. В 2 ч. Ч. 1. Теоретические основы. Учебное пособие. Иркутск : Издательство ИГУ, 2013. 159 с.
2. Общая и военная гигиена / под ред. Ю.В. Лизунова, С.М. Кузнецова. Санкт-Петербург : СпецЛит, 2012. 736 с.
3. Юшкова О.И. Основы физиологии человека : учебное пособие для горных вузов. Москва : Московский государственный горный университет, 2004. 246 с.
4. Балабанова Л.М. Категорія норми у дослідженні та регулюванні функціональних станів людини : автореф: дис. д-ра психол. наук : спец. 19.00.02 «Психофізіологія». Київ : Ін-тут психології ім. Г.С. Костюка АПН України, 2001. 32 с.
5. Сайт доктора Биттерлиха. URL: <http://bitterlikh.com/kak-prozhit-dolgo-i-umeret-zdorovenkim/kak-predupredit-dementsiyu-i-bolezn-altsgejmerya/309-test-zapominaniya-5-slov.html>.
6. Злепко С.М., Павлов С.В., Коваль Л.Г., Навроцька К.С., Клапоущак А.Ю. Інформаційна технологія для корекції функціонального стану оператора. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах* : матеріали XVII міжнар. наук.-техн. конференції (8–13 червня 2017 р., м. Одеса).
7. Захаров И.В., Кулагин Б.В. Оценка профессиональной деятельности военнослужащих по психофизиологическим показателям. *Воен.-мед.-журнал*. 1982. №8. С. 36–37.
8. Литвенцев С.В., Черняшин С.В., Маклаков А.Г. Методологические аспекты оценки нервнопсихической устойчивости военнослужащих. *Морской медицинский журнал*. 1997. № 3. С. 5–8.
9. Спортивная медицина : учебник для институтов физической культуры / Карпин В.Л. Москва : Физкультура и спорт, 1987. 304 с.
10. Фролов М.В. Контроль функционального состояния человека-оператора. Москва : Наука, 1987. 196 с.
11. Методы исследования вегетативной нервной системы. URL: <https://psyera.ru/metody-issledovaniya-vegetativnoy-nervnoy-sistemy-9475.html>.
12. Классификация типов ЭЭГ – электроэнцефалограмма и функциональное состояние человека. URL: lekmed.ru/info/arhiv/electroencefalogramma-i-funkcionalnye-sostoyaniya-cheloveka-17.html.
13. Здоровье человека и углекислый газ (CO₂). Влияние повышенного содержания углекислого газа на организм человека. URL: <https://iplants.by/zdorove-cheloveka-i-uglekislyi-gaz-so2>.
14. Изменение показателей церебральной гемодинамики у военных моряков в зависимости от условий учебно-боевой деятельности. *Экология человека*, 2008. № 6. С. 3–9.
15. Медведев В.И. Физиология трудовой деятельности. Основы современной физиологии. Санкт-Петербург : Наука, 1993. 528 с.
16. Сысоев В.Н., Апчел В.Я., Корнилова А.А., Питикин Д.А., Жаркен С.Т. Динамика функционального состояния операторов в период рабочей смен. *Вестник Рос. воен. мед. академии*. 2012. № 4 (40). С. 169–173.

ВЫБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРОВ: АНАЛИЗ СИТУАЦИИ

В статье предложен алгоритм адаптивного тестирования для определения психологического профиля оператора, который предусматривает целостный, направленно-мотивированный подбор методик для регистрации изменений психологического состояния на каждом из уровней тестирования, и разработки механизма, который позволял бы соотносить результаты деятельности за изменениями персонифицированного функционального состояния.

Ключевые слова: функциональное состояние, артериальное давление, сердечно-сосудистая система, симпатония, электроэнцефалограмма.

SELECTION OF INFORMATIONAL PHYSIOLOGICAL PARAMETERS FOR EVALUATION OF THE FUNCTIONAL STATE OF OPERATORS: ANALYSIS OF THE SITUATION

The article proposes an adaptive testing algorithm to determine the operator's psychological profile, which involves a holistic, directionally-motivated selection of techniques for recording changes in the psychological state at each of the levels of testing and developing a mechanism that would allow correlating the results of the activity with changes in the personified functional state.

Key words: functional state, arterial pressure, cardiovascular system, sympathy, electroencephalogram.