

УДК 004.9:612.822(045)

**П.В. Білошицький**, д. мед. н., проф.  
**О.М. Ключко**, к.б.н., доц.  
**М.В. Макаренко**, д.б.н., проф.

## ОЦІНЮВАННЯ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ ЛЮДИНИ ТА ОПЕРАТОРСЬКОЇ ПРАЦІ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ

*Описано деякі методи та результати дослідження психофізіологічних функцій людини в умовах високогір'я, що лягли в основу розроблених підходів до професійного відбору контингентів для роботи в екстремальних умовах. Подано математичну модель надійності функціонування нервової системи людини в екстремальних умовах.*

*Some methods and results of psycho-physiological human functions investigation in mountain conditions are given. These results form the base of developed approaches for professional selection of special contingents for the work in extreme conditions. Mathematic model for reliability of human nervous system functioning in extreme conditions is suggested.*

**високогір'я, вища нервова діяльність, екстремальні умови, професійний відбір, психофізіологічні функції**

### Вступ

Удосконалення системи підготовки розподілу й розміщення кадрів у різних галузях господарства – важливе завдання сьогодення. Один з основних напрямів вирішення цієї проблеми – подальше вдосконалення та розроблення нових методів і критеріїв оцінювання успішності професійної діяльності людини або, інакше кажучи, – подальше розроблення системи професійного відбору.

Роботи з вивчення функціонування вищої нервової діяльності (ВНД) в умовах гір та вирішення проблем професійного відбору на основі цих результатів завжди привертала увагу українських дослідників, які працювали у високогірних районах Кавказу, зокрема, на Ельбрусській медико-біологічній станції (ЕМБС) Національної академії наук України, Кабардино-Балкарська республіка Росії. Роботи з вивчення впливу на організми факторів високогір'я були започатковані академіком М. М. Сиротиніним у 1929 р., а згодом продовжені його учнями в лабораторії космічної фізіології на ЕМБС [1].

Постановка проблеми професійного відбору відображає соціальні потреби сучасного суспільства в підвищенні продуктивності праці, забезпеченні надійності функціонування організму, безпеки життєдіяльності, профілактики травматизму, економії фінансів і матеріально-технічних засобів, збереженні здоров'я і продовженні трудового довголіття.

Професійна придатність кандидатів працювати на тому чи іншому виробництві оцінюється за медичними показниками, освітнім рівнем, фізичною підготовленістю тощо.

Психофізіологічний відбір, будучи складовою частиною професійного відбору, спрямований на виявлення осіб, які за професійними здібностями та індивідуальними психофізіологічними якостями відповідають вимогам конкретних спеціальностей. Такі люди найбільше здатні до навчання у встановлений термін та до успішної професійної діяльності.

Багато професій поєднані не тільки з виконанням набору специфічних робочих операцій, але й з особливостями режиму праці та відпочинку (змінною працею з нічною зайнятістю, чергуванням за пультом керування тощо), особливостями навколишнього середовища перебування (роботою в умовах шуму, вібрації, прискорення, гіпоксії, ліміту часу тощо), екстремальними факторами (нервово-емоційними перевантаженнями).

До таких професій належать льотчики, космонавти, водії, машиністи-оператори блокового обладнання, трудова діяльність яких відбувається в умовах розширення зони обслуговування, збільшення потужності агрегатів, двигунів тощо.

Узагальнюючи результати, отримані науковцями на ЕМБС, можна стверджувати, що прийняття на операторські посади осіб, що не мають належного рівня розвитку професійно значущих психофізіологічних якостей призводить не тільки до появи браку в роботі, виникнення аварійних ситуацій, але й несприятливо позначається на стані їх здоров'я. У таких працівників значно частіше розвиваються захворювання центральної нервової системи (ЦНС) та серцево-судинної системи.

Багаторічні дослідження дають підставу вважати, що проблема прогнозування успішності професійної діяльності зводиться до двох основних аспектів:

– визначення вимог, пропонованих людині тією або іншою діяльністю;

– оцінювання рівня розвитку здібностей, що лімітують цю діяльність.

У цій роботі подано деякі основні методи дослідження й оцінні шкали стану професійно значущих психофізіологічних функцій (нейродинамічного та нейропсихологічного рівнів, а також особистісної специфіки) і зв'язок їх з успішністю трудової діяльності випробувачів, рятувальників, операторів різних сучасних високовідповідальних комплексів.

За весь період досліджень на ЕМБС обстежено понад 300 осіб – випробувачів, альпіністів, кандидатів у космонавти, водіїв, операторів енергоблоків, які контролюють проходження технологічного процесу, дистанційно визначають і усувають порушення в режимі роботи устаткування. У цій роботі продовжується тема досліджень ВНД людини на ЕМБС, праці [1–7].

**Постановка завдання** – описати результати досліджень психофізіологічних функцій ВНД людини в екстремальних умовах високогір'я, навести розроблені на ЕМБС методи професійного відбору осіб для операторської.

#### **Методи дослідження психофізіологічних функцій людини**

Центральна нервова система (філогенетично наймолодше утворення мозку ссавців), особливо вищі відділи головного мозку, найбільш чутливі до нестачі кисню (гіпоксії), яка характерна для умов високогір'я.

Вплив гіпоксії різного походження порушує функції ЦНС, які виявляються як у змінах тонкої гістологічної структури нервової тканини [8], діяльності окремих нейронів [9], змінах ЕЕГ [10–13], так і в реакціях ВНД, порушеннях психіки людини [14–16].

Дослідженням впливу гіпоксії на нервову систему присвячено численні праці вітчизняних та зарубіжних авторів [17–19].

Загальноприйнятною є думка про те, що в процесі розвитку гострої гіпоксії виникають фазові зміни функціонального стану ЦНС. Рівень спостережуваних змін ВНД визначається ступенем кисневого голодування. Так у випадку гіпоксисбарії, яка виявляється під час сходження в гори або штучно створюється в барокамері на невеликих висотах (2000–3000 м над рівнем моря), відзначаються порушення диференціювання, збільшення позитивних умовних рефлексів, скорочення

латентних періодів рухових реакцій, прискорення вирішення завдань на міцність умовних реакцій, але вповільнене виконання таких же завдань на гальмування, підвищення загальної рухової й мовної активності. Це свідчить про те, що в разі невеликої нестачі кисню в першу чергу, як і за інших несприятливих впливів, порушується внутрішнє гальмування [7].

Науковцями на ЕМБС застосовувалися три методи дослідження психофізіологічних функцій:

– дослідження параметрів нейродинамічного рівня;

– дослідження параметрів нейропсихічного рівня;

– дослідження особистісної специфіки.

Дослідження параметрів нейродинамічного рівня – важливий інформативний метод досліджень психофізіологічних функцій людини – детально описано у праці [7].

Під час дослідження параметрів нейропсихічного рівня використовують методику «трикутники» для визначення рівня розвитку короткочасної зорової пам'яті. Випробуваному послідовно пропонують чотири варіанти карти-завдання. Кожна карта експонується протягом 10 с, після чого випробуваний має відшукати в блоці-касі задані фігури. На впізнання й вибір відведено 30 с. Показником ємкості короткочасної зорової пам'яті є середнє арифметичне значення кількості впізнаних трикутників у чотирьох пробах.

Методику «шкали приладів» призначено для дослідження оперативної пам'яті, зорового сприйняття приладової інформації, функції уваги.

Випробуваному пропонується оцінити й підсумувати показання 3–4 стрілкових приладів за спеціальними схемами та написати значення суми показань приладів з урахуванням знака й ціни поділки. Результати обстеження визначають за кількістю правильних відповідей і часом виконання завдання та розраховують коефіцієнти корисної роботи і продуктивності.

Методику «червоно-чорні таблиці» призначено для дослідження здатності розподіляти й переключати увагу. Принцип методу ґрунтується на відшукуванні чисел чорних кольорів від 1 до 24 у зростаючому порядку, червоного – від 24 до 1 в порядку спадання (знаходити й називати цифри різних кольорів випробуваний повинен у змішаному порядку). Показниками здатності до концентрації й переключення уваги є час, витрачений випробуваним на виконання тесту.

Дослідження особистісної специфіки дозволяє прогнозувати успішність професійної діяльності.

Велике значення мають вивчення й урахування індивідуальної особистісної специфіки людини, які виявляються в стилі, характері й напрямі його діяльності. Риси особистості визначають професійну придатність менше, ніж спеціальні схильності. Особистісний підхід до оцінки професійної придатності допускає вивчення індивідуальних особистісних особливостей кандидата, властивостей його темпераменту, характеру, мотивів і спрямованості діяльності, які враховуються в комплексі при прогнозуванні професійної придатності.

Для вибору схеми опитування (СО) було використано адаптований варіант міннесотської багатофакторної особистісної СО і 16-факторну СО Р.Б. Кеттела.

Схеми опитування містять перелік питань або тверджень, на кожне з яких випробовуваний повинен дати відповідь, вибравши один із запропонованих варіантів. Визначеність відповідей дозволяє строго стандартизувати обробку обстеження, підвищує його надійність, створює основу для обробки отриманих даних з використанням методів математичної статистики.

Адаптований варіант міннесотської багатофакторної особистісної СО містить 600 тверджень від першої особи, які стосуються самопочуття обстежуваного, його стосунків з оточуючими, наявності невротичної симптоматики та інших питань.

Обробка результатів обстеження полягає в проведеному комп'ютерному порівнянні відповідей зі спеціальними «ключами» – набором відповідей, характерних для людей з максимальним ступенем виразності певної особистісної якості. Чим більше відповіді випробовуваного збігаються з «ключем», тим більше виражена в нього особистісна якість.

Результати дослідження оцінювалися за трьома оцінними шкалами, десятьма основними шкалами та сімома додатковими. Ступінь виразності кожної особистісної якості оцінювали за формулою і виражали в стандартних одиницях.

За оцінними шкалами вимірювали правдивість відповідей, достовірність отриманих результатів і ставлення випробовуваного до обстеження. Шкала «неправди» складається із тверджень, на які відвертий випробовуваний звичайно дає цілком певну відповідь.

Значення за шкалами «неправди» відповідає кількості відповідей, характерних для випробовуваних осіб, що намагаються створити своїми відповідями сприятливе враження про себе. Таким чином, воно дозволяє оцінити правдивість обстежуваного у разі виконання тесту.

Шкала ймовірності дозволяє оцінити, наскільки були нестандартними, незвичайними порівняно з більшістю обстежуваних відповіді випробовуваного на твердження СО. Шкала ймовірності підвищується у разі підняття основних шкал:

- іпохондрії;
- депресії;
- істерії;
- психопатії;
- інтересів;
- параної;
- психастенії;
- шизофренії;
- манії;
- соціальної інтроверсії.

У такий спосіб вона пов'язується з загальною висотою профілю СО, з виразністю багатьох психопатологічних тенденцій і тому може вважатися інтегральним індексом нервово-психічної нестійкості. Підвищення ймовірності спостерігається у осіб з утрудненнями в особистісних контактах, у осіб із психопатичними рисами. Помірне підвищення ймовірності може відобразити внутрішню напруженість, невдоволення ситуацією. Дуже високі значення за шкалою ймовірності свідчать про неймовірність отриманих результатів. Це може бути у випадку, коли випробовуваний, не читаючи змісту тверджень, випадковим чином відповідає «правильно» і «неправильно».

Шкалу коригування призначено для коригування тверджень за деякими основними шкалами з урахуванням відвертості випробовуваного. Особи, що мають високі показники за цією шкалою схильні заперечувати особистісну неадекватність, труднощі щодо контролю власної поведінки та міжособистісних стосунків, прагнуть до дотримання прийнятих у суспільстві норм і вимагають того ж від оточуючих. Особи з дуже низькими значеннями за цією шкалою схильні перебільшувати ступінь міжособистісних конфліктів і складність наявних симптомів нервово-психічної нестійкості.

Шкала іпохондрії оцінює виразність іпохондричних тенденцій, які виявляються в тривожності випробовуваного з приводу стану власного здоров'я. Твердження шкали стосуються основних соматичних функцій. В осіб з високими значеннями за шкалою власний соматичний стан перетворюється на об'єкт тривалого тривожного спостереження. Навіть незначне нездужання викликає в таких людей сильну реакцію тривоги.

Властивості іпохондричних осіб обмежують їх активність, широту міжособистісних контактів. Низькі значення шкали свідчать про відсутність заклопотаності станом свого соматичного здоров'я. Такі особи більш діяльні, енергійні, товариські.

Шкала депресії оцінює наявність у випробуваного ознак депресії, що складаються з песимістичності, тривожності, відчуття безпорадності й безкорисності, марності, уповільнення мислення й дій. Особи з високими значеннями за шкалою депресії сприймаються оточуючими як люди похмурі, замкнуті, мовчазні. Низькі значення за цією шкалою характерні для осіб бадьорих, активних, товариських з відчуттям своєї значущості.

Шкала істерії вимірює ступінь виразності істеричних рис, що виявляються в егоцентризмі, прагненні до демонстративного поведіння, підвищеній сугестивності, прагненні будь-що привернути до себе увагу оточуючих. Дуже високі значення за шкалою можуть викликати підозри щодо наявності істеричного неврозу. Особи з низькими показниками замкнуті, недостатньо активні в міжособистісних контактах.

Шкалу психопатії призначено для оцінки психопатизації особистості, в якій переважають елементи асоціального поведіння. Особи, що мають високі значення за цією шкалою, нехтують загальноприйнятими суспільними нормами, моральними й етичними цінностями, що встановлені правилами поведінки. У поєднанні з високим рівнем активності ця зневага може виявлятися у гнівних і агресивних реакціях. Поводження таких осіб погано передбачуване, вони не бояться можливого покарання. Особи з низькими значеннями за шкалою схильні дотримуватися загальноприйнятих правил і норм поведінки.

Шкала інтересів оцінює ступінь ідентичності інтересів і застанов випробувача із традиційною соціальною роллю чоловіка й жінки. Високі значення за шкалою для чоловіка свідчать про виразність в обстежуваних деяких жіночих рис характеру (сентиментальності, сенситивності, чутливості до відтінків міжособистісних стосунків тощо). Низькі значення відповідають виразності таких чоловічих рис, як заповзятливість, активність, схильність до суперництва тощо.

Шкалу параної використовують для оцінювання ефективності ригідності, що виявляється в уразливості, підозрливості, недовірливості, ворожості до оточуючих і злопам'ятності. Такі люди егоїстичні, себелюбні, схильні до переоцінки власної особи.

Шкалу психастенії призначено для оцінювання тривожності. Особи з високими показниками за шкалою характеризуються як тривожні, неспокійні, нерішучі, обережні. У своїй поведінці вони прагнуть заздалегідь передбачити й уникнути можливих небезпек і труднощів. Такі особи зазвичай ретельно обмірковують свої вчинки. Особи з низькими значеннями за шкалою характеризуються відсутністю необґрунтованої тривожності, рішучістю й гнучкістю поведінки.

Шкалу шизофренії застосовують для вимірювання шизоїдних тенденцій. Випробувані з високими значеннями за шкалою відзначаються емоційною холодністю й неадекватністю емоцій, своєрідністю суджень і вчинків, аутичністю, тобто заглибленням у внутрішній світ. Вони замкнуті, ексцентричні. Їх поведінка неприродна. За дуже високих значень за шкалою можна запідозрити наявність шизоїдної акцентуації або психопатії. Випробувані з низькими показниками мають протилежні характеристики.

Шкала манії оцінює виразність гіпоманіакальних явищ (тенденцій). За високих показників може спостерігатися неадекватність поведінки:

- надмірна й погано спрямована активність;
- емоційне збудження;
- дратівливість;
- нестриманість.

Малі значення відповідають низькій активності. У разі дуже малих значень за шкалою можуть спостерігатися ознаки депресії.

Шкала соціальної інтроверсії оцінює ступінь включення особи в соціальне середовище. Для осіб із високими значеннями за шкалою характерні замкнутість, утруднення міжособистісних контактів, виникнення реакції тривоги у разі потреби спілкування. Випробувані з низькими показниками мають протилежні характеристики. При інтерпретації профілю основних шкал особливу увагу слід приділити шкалі, яка має найбільше значення. Якщо воно перевищує критичний рівень, можна вважати ймовірним наявність у випробуваного відповідної психопатичної тенденції, що набуває форму невротизації особистості. Крім того, необхідно враховувати значення інших шкал, які можуть підсилювати виразність основного психопатичного синдрому або послабляти його.

Додаткові шкали призначено для оцінювання у випробуваних емоційної стабільності, здатності до прийняття рішень та виконання дій в умовах екстремальних ситуацій, а також ступеня вираженості в них вольових та лідерських якостей.

Для оцінювання особливостей темпераменту й властивостей характеру осіб використовували 16-факторну особистісну СО Кеттела. Ця СО містить 187 запитань і тверджень, на кожне з яких випробуваному пропонується три варіанти відповідей, один з яких найбільше відображає його думку. Результати опитування випробуваній відмічав на спеціальному бланку, проставляючи позначки типу «+» у відповідній клітинці бланка відповідей. Сформовані за усередненими значенням бальних оцінок інтегральні показники давали змогу використовувати їх як прогноз успішності професійної діяльності операторів.

Вивчення залежності між декількома змінними, тобто між показниками успішності праці операторів, з одного боку, і цілим комплексом ряду психофізіологічних, фізіологічних і особистісних функцій, з другого, проводили за допомогою методів кореляційного й множинного кореляційного аналізів. Прогнозовану успішність трудової діяльності можна розраховувати за допомогою рівнянь лінійної регресії.

Для прогнозування професійної придатності велике значення мають урахування індивідуальних особистісних особливостей кандидата, які відображаються в стилі, характері й спрямованості діяльності [12; 20]. У зв'язку з цим досліджувалися структура особистості операторів, особливості й тип їх поведінки у стресових ситуаціях. Для цього використовували адаптовану міннесотську особистісну 16-факторну СО та СО Кеттела.

### **Моделювання надійності функціонування нервової системи людини в екстремальних умовах**

Проблеми надійності функціонування нервової системи людини в екстремальних умовах гіпоксіїбарії на ЕМБС вивчали ряд дослідників. Результати математичного моделювання функціонування нервової системи людини в умовах гіпоксіїбарії, виконаного Ю.В. Кравченко наведено в працях [21, 22].

Поняття надійності широко застосовують під час розроблення й експлуатації технічних систем, виражаючи відношення між об'єктом і процесом його функціонування.

Надійність має ймовірнісний характер і оцінюється параметрами ймовірності відмови  $P_v$ , ймовірності безвідмовної роботи

$$P_6 = 1 - P_v$$

і має діапазон [0;1].

На основі цих параметрів розраховується час відмови  $T_v$ . Вихідними параметрами для розрахунку надійності технічних систем є характеристики їх елементів, із взаємовідношень яких і розраховується інтегральний показник надійності всієї системи, а також такі параметри, як безвідмовність, ремонтпридатність і довговічність. Проте між технічною і біологічною надійністю існує розбіжність, яку було враховано під час моделювання.

Вимушені ритми ЦНС забезпечуються за рахунок сильного інформаційного впливу і мінімізацією впливу природних факторів, що забезпечують вільні коливання. Цю умову задовольняє розроблений Ю.В. Кравченко метод реєстрації сенсорних автоколиваний за дозованого розумового навантаження і гіпоксії. Метод дозволяє моделювати будь-який режим дискретно-інформаційного навантаження від напруженого до стресового і реєструє відповідну йому функцію вимушених психодинамічних автоколиваний. Із шести функціональних робочих станів нервової системи основними для моделювання є три стани:

– зосереджений робочий стан (моделювання на рівні функціональної рухливості нервових процесів (НП)), за якого відбувається максимально можливий стійкий режим роботи зі здійсненням 5 % помилок (імовірність безвідмовної роботи  $P_6 = 0,95$ , ймовірність відмови  $P_v = 0,05$ );

– передстресовий робочий стан (моделювання на рівні максимальної мобілізації сил із здійсненням 25 % помилок ( $P_6 = 0,75$ ,  $P_v = 0,25$ );

– стресовий робочий стан або нейродинамічний стрес (моделювання на рівні максимально можливого функціонування НП або рівні стресу) із здійсненням 50 % помилок ( $P_6 = 0,5$ ,  $P_v = 0,5$ ).

Останній є інформаційним стресом, що разом з емоційним об'єднуються у психологічний, який разом із фізіологічним складають загальну категорію «стресу».

Принцип зворотного зв'язку є основою універсального алгоритму моделювання заданого функціонального робочого стану головного мозку, коли правильна диференціація всіх сигналів поточної серії  $i$  збільшує швидкість подання подразників  $V_{i+1}$  наступної серії  $i+1$  на визначений приріст  $\Delta V$ :

$$V_{i+1} = V_i + \Delta V,$$

а в разі наявності помилки швидкість зменшується:

$$V_{i+1} = V_i - \Delta V.$$

Приріст швидкості  $\Delta V$  нелінійний і залежить від швидкості подання  $V_i$  поточної серії подразників:  
 $\Delta V = (kV_i) 100$ ,

де

$k$  – відсоток зміни швидкості заданого функціонального робочого стану (ФРС). Експериментально встановлені значення  $k$  для трьох ФРС:

–  $k_{\text{рфр}} = 5\%$ ;

–  $k_{\text{рмм}} = 2\%$ ;

–  $k_{\text{рс}} = 1\%$ .

У разі нелінійного приросту швидкості спостерігається плавна зміна частоти сигналів у всьому робочому діапазоні і стійка робота на високих частотах подання подразників, на відміну від випадку  $\Delta V = \text{const}$ . Кількість сигналів для серії подразників розраховують за формулою

$$N = (2 \cdot P_b)^{-1}.$$

Для кожного ФРС ця кількість має своє значення:

–  $N_{\text{рфр}} = 10$ ,

–  $N_{\text{рмм}} = 2$ ,

–  $N_{\text{рс}} = 1$ .

Початкову швидкість подання сигналів  $V_0$  встановлюють залежно від конкретного завдання і для кожного обстеженого підбирають індивідуально. Значення  $V_0$  встановлюється значно нижче від теоретичного рівня функціонування ФРС  $V_{\text{р.фрс}}$  під час оцінювання динамічності нервових процесів (властивості, що характеризує швидкість утворення тимчасових зв'язків і умовних рефлексів). Якщо використовується відповідне рівню функціонування початкове навантаження, то  $V_0 = V_{\text{р.фрс}}$ .

Теоретичний рівень функціонування попередньо розраховують з рівняння регресії:

$$V_{\text{р.фрс}} = f(T_{\text{р.в}}, T_{\text{пр}}),$$

де

$T_{\text{р.в}}$  – латентний період реакції вибору;

$T_{\text{пр}}$  – латентний період простої реакції.

Різниця між латентними періодами цих реакцій ( $T_{\text{р.в}} - T_{\text{пр}}$ ) характеризує час центрального переключення і пов'язана зі швидкістю НП. Таким чином, визначаючи функціональний зв'язок між цим показником і рівнем функціонування НП, можна індивідуально для кожного обстеженого встановлювати початкову швидкість подання сигналів  $V_0$ , надавши всім обстежуваним однакові умови. Початкову швидкість  $V_0$  для конкретного функціонального робочого стану розраховують, виходячи з припущення, що обстежений за 30 с від початку роботи не зробив жодної помилки:

$$V_0 = V_{\text{р.фрс}} \cdot (1 - k/100)^n,$$

де  $n$  – розрахована кількість ітерацій:

$$n = \log_{(1-k/100)}(N/(30V_{\text{р.фрс}})).$$

Серійний сигнал є меандром (тривалість періодів експозиції і гасіння однакова), що знімає верхнє обмеження за швидкістю подання подразників, коли швидкість змінювалася тільки внаслідок варіації часу експозиції.

Основна складність розроблення моделі ФРС полягає в правильному визначенні якості відповідей, оскільки з досягненням граничної швидкості подання сигналів відповідь часто отримується під час подачі наступних подразників. Були побудовані діаграми проходження сигналів і відповідей за екстремальних умов опрацювання інформації. Сигнал відповіді є реакцією на перший подразник, тому що задовольняє умови

$$(T_{\text{р.в}} - 3G) < T_1 < (T_{\text{р.в}} + 3G)$$

та

$$T_2 < (T_{\text{р.в}} - 3G),$$

де

$G$  – середньоквадратичне відхилення реакції вибору;

$T_1$  і  $T_2$  – час від початку подання першого і другого сигналів до появи переднього фронту відповіді.

Інтервал часу, що задовольняє умову

$$T_{\text{ots}} = (T_{\text{р.в}} - 3G)$$

називається часом відставання. Інакше кажучи, період часу  $T_{\text{ots}}$ , протягом якого аналізуються відповіді на попередній перший подразник під час поточного другого подразника, називається часом відставання.

У деяких методиках, у яких використовується режим зворотного зв'язку (50 % правильних відповідей і помилок), гранична швидкість подання подразників майже не досягається через відсутність «часу відставання» або недостатнє його ефективне використання.

Наприклад, правильна рухова відповідь, початок якої припадав на кінець поточного подразника, насправді була відповіддю на попередній сигнал, бо збігалася з латентним періодом реакції вибору на попередній подразник. Фактично ж її опрацьовували як відповідь на поточний сигнал, що в більшості випадків вважалось неправильною реакцією. Це знижувало робочий поріг, на якому мав виявлятися нейродинамічний стрес, і зменшувало діапазон можливих варіацій індивідуальних відмінностей піддослідних.

Якщо початок відповіді припадає на період часу відставання  $T_{\text{ots}}$  і закінчується після його завершення, то залишкова рухова реакція не повинна розглядатися при аналізі відповіді на поточний подразник.

Значення  $T_{ots}$  не може перевищувати тривалості поточного сигналу.

Відповідь аналізується по передньому фронту нервово-м'язового скорочення (натискання кнопки). Якщо попередній період сигналу був менший або дорівнював  $T_{ots}$ , то поточне значення часу відставання не повинно перевищувати поточного періоду сигналу у припущенні, що відповідь на попередній подразник правильна. У цьому разі після закінчення періоду відставання аналізується відповідь на попередній подразник і залежно від її якості або засвічується наступна експозиція (у разі правильної відповіді), або поточний час гасіння збільшується на  $60/\Delta V_j$  (у разі помилкової реакції), де  $\Delta V_j$  – приріст зменшення швидкості для поточної серії сигналів  $j$ . Дослідники звернули увагу на систематичну похибку, спричинену з затримкою виведення сигналу на монітор [21; 22]. Навіть при прямому доступі до екранної пам'яті час виведення зображення на дисплей є випадковою величиною, що лежить у діапазоні 0–14 мс за частоти вертикальної розгортки 60 Гц. Ця похибка може виявитися досить вагомою, щоб спотворити деякі часові параметри тестування. Тому для усунення цього недоліку відмовилися від використання дисплея як засобу індикації подразників, використовували незалежний пульт відображення інформації із напівпровідниковим індикатором високої швидкості.

Під час моделювання ФРС будується крива швидкості сприйняття сигналів залежно від їх кількості  $N$  (рис. 1). Середня швидкість опрацювання інформації 320 сигналів за хвилину.

Детальний аналіз якості помилкових реакцій при моделюванні зосередженого робочого стану встановив, що на граничних швидкостях, коли подаються підряд два позитивні подразники, адресовані до однієї руки, спостерігається явище сумарності, коли реакція на другий подразник розвивається на фоні залишкового збудження і підсумовується з ним.

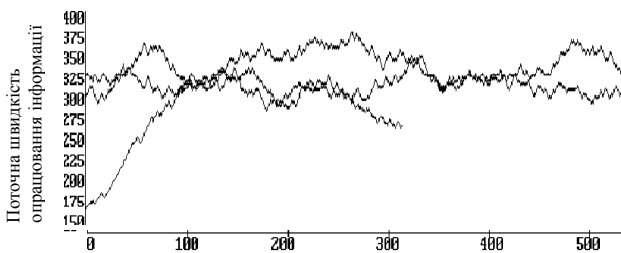


Рис. 1. Моделювання нейродинамічного стресу

Якщо час нервово-м'язового скорочення стає більшим, ніж період проходження поточного сигналу, то фіксується одна відповідь на два послідовні позитивні подразники, адресовані до однієї руки. Але коли другий позитивний подразник адресується до другої руки, сумація нервово-м'язового скорочення не спостерігається і підвищується ймовірність безпомилкової відповіді на другий позитивний сигнал. Таким чином, спостерігається неоднорідність тест-матеріалу.

Щоб узгодити методику та надати тест-матеріалу однорідності, запропоновано тригерний тип реакції. На відміну від реакції вибору двох сигналів із трьох, коли відповідь на два типи позитивних подразників адресувалася відповідно до лівої або правої руки, у тригерній реакції відповідь лише на один тип позитивного подразника адресується по черзі до обох рук. Для зменшення орієнтованої реакції й отримання первинних даних ( $T_{пр}$ ,  $T_{рв}$ ,  $G$ ) для моделювання ФРС, виконують такі тести, поступово підвищуючи їх складність.

Тригер-тепінг тест: обстежуваному пропонується протягом 30 с по черзі натискати кнопки у швидкому темпі. Під час тесту будуються криві нервово-м'язових скорочень окремо для кожної руки. Цей тест дозволяє визначати максимальну кількість імпульсів, яку досліджувана функціональна структура може передати за одиницю часу:

$$F_L = N_{тв}/30,$$

де

$F_L$  – показник лабільності нервово-м'язового апарату (властивість нервової системи, що характеризує швидкість виникнення та припинення нервових процесів);  $N_{тв}$  – кількість нервово-м'язових скорочень за 30 с.

Основне навантаження під час виконання методики за перші 30 с припадає на ЦНС, а наступна робота виявляє тільки фізичне м'язове стомлення, що й визначило час тестування.

Проста зорово-моторна тригерна реакція (ПЗМТР): обстеженому пропонується якнайшвидше натискати по черзі ліву та праву кнопки у разі появи сигналу вертикалі. Якщо латентний період ПЗМТР фіксується меншим ніж 100 мс, то на екрані висвічується «Передчасна реакція!», з повторним натисканням однієї й тієї ж кнопки висвічується «Порушена черга рук!».

Тригерна реакція вибору (ТРВ): обстеженому пропонується якнайшвидше натискати по черзі ліву та праву кнопки тільки в разі появи вертикалі, за появи сигналу горизонталі – кнопки не натискати.

Попередження про помилку передчасної реакції та порушення чергування рук аналогічне ПЗМТР, але можуть з'являтися такі попереджувальні повідомлення у разі гальмівної реакції «Не натиснули чергову кнопку!» та рухової реакції на гальмівний подразник «На горизонталь - кнопки не натискати!». Експериментатор у голос повинен попереджати про порушення моторних реакцій під час проведення ПЗМТР і ТРВ.

По закінченні кожного тесту результати статистично опрацьовуються. Часові дані, латентні періоди, якості відповідей записуються у файли «ttrp.dat», «trpzmr.dat», «trv.dat».

Кінцевий графік моделювання нейродинамічного стресу за 5 хв показано на рис. 2, на якому виконано стискання у часі по осі абсцис і чітко спостерігається повільнохвильова складова сенсомоторних коливань.

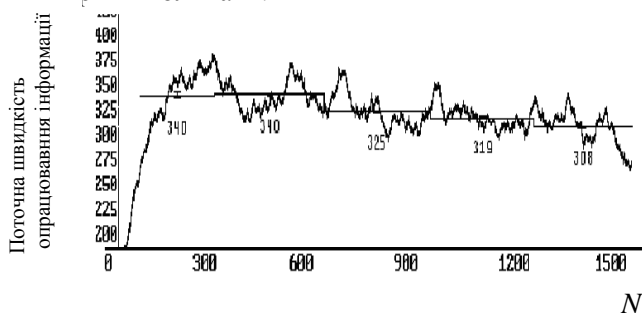


Рис. 2. Крива швидкості прийняття сигналів залежно від їх кількості

Середня швидкість опрацювання інформації – 326 сигналів за хвилину, середній період тривалості сигналу – 185 мс, середня частота експозицій – 5,43 Гц.

### Обговорення результатів

Важливість проблем, пов'язаних з функціональним станом, рівнем здоров'я експлуатаційного персоналу операторів різноманітних енергоємних високо-небезпечних комплексів тощо, очевидна – адже помилка людини-оператора може коштувати життя не тільки йому. Тому робота оператора вимагає зібраності, витривалості й позбавляє права на помилку. Для ефективного оцінювання ступеня працездатності операторів автори запропонували комплексний метод, за яким оцінюється:

- якість й кількість здоров'я;
- спеціальні операторські можливості на певний момент;
- працездатність в екстремальних умовах середовища;
- відновлення після стомлення;
- приховані функціональні резерви;
- здатність адаптуватися до нових умов і підвищених навантажень.

Для оцінювання психофізіологічного стану обстежених використовували різні функціональні проби, фізичні навантаження, визначаючи:

- індивідуально-типологічні властивості ВНД;
- функціональну рухливість нервової системи;
- працездатність головного мозку;
- функціональний стан вегетативної, кардіореспіраторної, кровотворної, імунологічної, гормональної систем.

Дослідження в процесі адаптації до гіпоксії давали можливість не тільки об'єктивно оцінювати стан здоров'я, працездатність обстежуваного, але й одночасно підвищувати його функціональні можливості та стійкість до різноманітних шкідливих впливів.

Під час обстеження виявилось, що контингент операторів об'єднував людей з різними психофізіологічними особливостями. Якщо ще враховувати вік, стать, тип нервової діяльності, стан вегетативної нервової системи, особливості кардіодинаміки, дихання й оксидативних процесів у цілому, то стане очевидно необхідність спеціального індивідуального підходу до вирішення проблеми, урахування типологічних особливостей, сенсомоторних і вегетативних характеристик, адаптивності та адаптованості організму, здатності відновлюватися. Отже, для оцінювання надійності функціонування системи «оператор–машина», необхідне мультипараметричне дослідження організму в різних умовах з наступним математичним моделюванням.

У процесі роботи був показаний високий ступінь кореляції між комплексом показників, що характеризують:

- працездатність операторів;
- здатність до оперативного рахунку;
- рівень розвитку технічного мислення й просторового уявлення.

Ця обставина дозволяє рекомендувати використання цих тестів разом з прогнозуванням успішності трудової діяльності за рівняннями регресії на етапі приймання людини на роботу, коли ще немає можливості врахувати вплив на її організм спеціального виробничого навантаження.

Велику увагу в роботі приділяли застосуванню у диференціальній психофізіології, фізіології праці й спорту, фізіології ВНД людини методів дослідження індивідуальних особливостей. Експериментально підтверджені критерії їх оцінки, розробки й інтерпретація оцінних шкал показників нейродинамічних і нейропсихічних функцій, характеристик особистісних особливостей, у результаті математичного аналізу з використанням рівнянь множинної регресії, дозволяють прогнозувати інтегральну оцінку успішності роботи людини як оператора з урахуванням критеріїв досліджуваних функцій.



## Висновки

Основою надійності й успішності професійної діяльності людини-оператора є цілий комплекс фізіологічних, психофізіологічних систем, які організують функціональну систему, спрямовану на одержання кінцевого результату. Успішність діяльності операторів багато в чому визначається індивідуально-типологічними особливостями ВНД нейродинамічного апарату й вегетативної сфери, функцією уваги, пам'яті, сприйняття, оперативного мислення, особистісними характеристиками людини. Усі ці функції безпосередньо стосуються формування й використання навичок професійної діяльності персоналу операторів сучасних технічних засобів.

Установлено, що адаптація до умов гірського клімату (кліматотерапія належить до інформаційних методів лікування, профілактики, реабілітації, підвищення працездатності, поліпшення спортивних результатів і надійності функціонування організму в екстремальних умовах) підвищує розумову й фізичну працездатність операторів, збільшує ефективність і надійність їхньої праці після перевтоми, різних стресових станів.

## Література

1. Білошицький П.В. Результати деяких медикобіологічних досліджень українських вчених на Ельбрусі / П.В. Білошицький, О.М. Ключко, Ю.М. Онопчук // Вісник НАУ. – 2007. – № 2. – С. 10–16.
2. Білошицький П.В. Вивчення проблем гіпоксії українськими вченими в районі Ельбрусу / П.В. Білошицький, О.М. Ключко, Ю.М. Онопчук // Вісник НАУ. – 2007. – № 3–4. – С. 44–50.
3. Білошицький П.В. Результати дослідження проблем адаптації українськими вченими в Приельбруссі / П.В. Білошицький, О.М. Ключко, Ю.М. Онопчук // Вісник НАУ. – 2008. – № 1. – С. 102–108.
4. Онопчук Ю.М. Створення математичних моделей за результатами досліджень українських учених на Ельбрусі / Ю.М. Онопчук, О.М. Ключко, П.В. Білошицький // Вісник НАУ. – 2008. – № 3. – С. 146–155.
5. Білошицький П.В. Результати досліджень українськими вченими в Приельбруссі впливу факторів високотис'я на здоров'я та довголіття / П.В. Білошицький, О.М. Ключко, Ю.М. Онопчук // Вісник НАУ. – 2008. – № 4. – С. 108–117.
6. Білошицький П.В. Результати вивчення структурно-функціональних взаємозалежностей українськими вченими в Приельбруссі / П.В. Білошицький, О.М. Ключко, Ю.М. Онопчук // Вісник НАУ. – 2009. – № 1. – С. 61–67.
7. Білошицький П.В. Результати вивчення вищої нервової діяльності українськими вченими в Приельбруссі / П.В. Білошицький, О.М. Ключко, Ю.М. Онопчук // Вісник НАУ. – 2009. – № 2. – С. 103–110.
8. Динабург А.Д. До патоанатомії головного мозку при гіпоксії / А.Д. Динабург, А.З. Колчинская // Мед. журн. АН УССР. – 1951. – Т. 20, Вип. 6. – С. 35–45.
9. Соколов Е.Н. Активність нейронів головного мозга кролика при «подъеме» и «спуске» в барокамере / Е.Н. Соколов, Г.П. Стеклова // Журн. высшей нервной деятельности. – 1974. – Т. 24, № 3. – С. 606–610.
10. Алтухов Г.В. Биоэлектрическая активность мозга и насыщение крови кислородом при острой гипоксии / Г.В. Алтухов, И.С. Белаховский, В.Б. Малкин // Военно-мед. журн. – 1954. – № 11. – С. 30.
11. Василенко М.Г. Изменения высотной устойчивости при барокамерной тренировке / М.Г. Василенко // Функции организма в условиях измененной газовой среды. Ч. 2. – К.: АН УССР, 1958. – С. 137.
12. Макаренко Н.В. Методика оценки основных свойств высшей нервной деятельности человека / Н.В. Макаренко, В.В. Сиротский, В.А. Трошихин // Нейробионика и проблема биоэлектрического управления. – К.: Наук. думка, 1975. – С. 41–49.
13. Малкин В.Б. Энцефалограмма при острой гипоксической гипоксии / В.Б. Малкин // Авиационная и космическая медицина. – М.: АМН СССР, 1963. – С. 348.
14. Белошицкий П.В. Первый опыт создания лаборатории на Восточной вершине Эльбруса / П.В. Белошицкий, В.И. Данилейко // Горы и здоровье. – К.: Наук. думка, 1974. – С. 7–10.
15. Сиротинин М.М. Життя на висотах і хвороба висоти / М.М. Сиротинин. – К.: АН УРСР, 1939. – 225 с.
16. Сиротинин Н.Н. Высшая нервная деятельность при кислородном голодании / Н.Н. Сиротинин // Высшая нервная деятельность и кортиковисцеральные взаимоотношения в норме и патологии. – К.: АН УССР. – С. 38–46.
17. Колчинская А.З. Недостаток кислорода и возраст / А.З. Колчинская. – К.: Наук. думка, 1964. – 336 с.
18. Лир Э.В. Гипоксия / Э.В. Лир, К. Стикней. – М.: Медицина, 1967. – 368 с.
19. Малкин В.Б. Проблемы космической биохимии / В.Б. Малкин, Е.Б. Гиппенрейтер // Острая и хроническая гипоксия. – Т. 35. – М.: Наука. – 320 с.
20. Белошицкий П.В. Разработка средств и методов отбора и реабилитации операторов // Здоров'я та довголіття / П.В. Белошицкий. – К.: Пава, 2007. – С. 80.
21. Кравченко Ю.В. Методика моделювання функціональних робочих станів при нейродинамічному навантаженні та гіпоксії / Ю.В. Кравченко // Фізіол. журн. – 2003. – Т. 49, № 3. – С. 161–168.
22. Кравченко Ю.В. Моделирование стрессового и сосредоточенного рабочих состояний человека при нейродинамической нагрузке / Ю.В. Кравченко // Материалы конф. Astroeko-2002. – К.: Наук. думка, 2002. – С. 134.

Стаття надійшла до редакції 04.06.09.