

УДК 331.101.1:004.056(043.2)

Т.С. Ударцева

ВИЗНАЧЕННЯ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ

Інститут електроніки та систем управління НАУ, e-mail: nauka@nau.edu.ua

Розглянуто результати комплексного дослідження функціонального стану членів екіпажу повітряних суден до та після виконання завдання на тренажері Як-40. Запропонований імовірнісно-статистичний підхід до оцінки динаміки психофізіологічного стану.

Вступ

Сучасна світова статистика стану аварійності на повітряному транспорті свідчить, що у більшості регіонів світу коефіцієнт авіаційних подій, що пов'язані з діяльністю екіпажу, є самим високим та залишається незмінним протягом багатьох років на рівні 70–80 % від їх загальної кількості, а з урахуванням помилок технічного персоналу і диспетчерів наближається до 100 %.

Незмінність ситуації у стані безпеки польотів існує на фоні безперервного удосконалення авіаційної техніки, засобів навігації, експлуатаційних інструкцій. Це є об'єктивною ознакою того, що проблема людського фактора (ЛФ) в авіаційній системі актуальна та потребує невідкладних досліджень та профілактики.

Відповідно до стратегії і вимог ІКАО в більшості країн-членів ІКАО проводиться дослідна робота, спрямована на вивчення ЛФ в авіації. Зокрема, актуальною є тема оцінки фізіологічного стану пілотів та прогнозування зміни працездатності авіаційних операторів (АО) під час польоту повітряних суден. Людина-оператор (ЛО) в системі "людина – машина – середовище" має меншу надійність ніж технічні засоби внаслідок характерних для неї психофізіологічних обмежень.

Аналіз досліджень і публікацій

Проблемі визначення психофізіологічного стану (ПФС) АО присвячена значна кількість робіт зарубіжних та вітчизняних учених: 1-го Московського медичного інституту ім. І.М. Сеченова, Науково-дослідного інституту нормальної фізіології ім. П.К. Анохіна Академії наук Російської Федерації, Міжнародної академії людини в аерокосмічних системах, Інституту фізіології ім. О.О. Богомольця Академії наук України, Інституту медицини праці, Національного авіаційного університету.

Розвитку наукової думки в цьому напрямку сприяли такі вчені: Б.Ф. Ломов, А.І. Прохоров, В.Д. Небиліцин, Н.Д. Завалова, К.М. Гуревич, В.Г. Денисов, К.В. Судаков, В.А. Пономаренко, В.В. Козлов, В.В. Горбунов та ін.

Постановка завдання

Незважаючи на те, що робота у перерахованих напрямках постійно проводиться спеціалістами медичних закладів, а також багатьма групами науково-дослідних інститутів і вузів, до теперішнього часу її практичне втілення не повною мірою відповідає методології, що впливає з концепції професійного здоров'я льотчиків і рівню сучасних інформаційних технологій.

Сучасні методи комп'ютерної обробки даних та математичного моделювання дозволяють створити єдину систему оцінки рівня працездатності та надійності АО з метою попередження авіаційних подій, що пов'язані з ЛФ.

Експериментальні методи дослідження функціонального стану людини широко використовуються в психофізіології, інженерній психології, ергономіці переважно в лабораторних дослідженнях ЛО і вкрай мало застосовуються для аналізу здатності операторів успішно працювати в аварійній ситуації, професійної придатності до операторської роботи, для індивідуалізації програм професійної підготовки, для визначення операційної працездатності та надійності в процесі роботи [1].

Тому створення методики ПФС АО, що базується на дослідженнях основних властивостей нервової системи є актуальним завданням.

У кінцевому підсумку одержані результати будуть сприяти підвищенню надійності та безпеки експлуатації систем "людина – машина – середовище" в цілому.

Дослідження психофізіологічного стану

Методи, що застосовуються для визначення функціонального стану організму під час діяльності та наступного відпочинку, мають суттєві недоліки.

Більшість методів засновані на спостереженні за характером змін допоміжних фізіологічних функцій (систем, що обслуговують за Г.В. Фольбортом [2]).

Не виключаючи важливості оцінки різних сторін функціонування окремих аналізаторів та

особливостей вегетативної нервової системи, в основу нашої роботи покладено вивчення основних властивостей нервової системи, параметри яких стабільні, і тому вони можуть бути використані для об'єктивної характеристики типологічних особливостей вищої нервової діяльності ЛО.

Основною методикою, яка була використана в роботі, є комплексна ергографія (КЕ), розроблена А.О. Кіриним [3]. Автор методики пов'язував показники КЕ з силою основних нервових процесів, їх урівноваженістю та рухливістю.

Крім цього, на нашу думку, методика виявляє здатність до засвоєння ритму, що можна вважати окремою характеристикою нервової системи. До того ж можна виявити особливості концентрації нервових процесів, тобто здатність нервової системи зберігати концентроване збудження в одних і тих самих нервових елементах. При слабкій нервовій системі за умов дії подразників, що багаторазово повторюються в певному ритмі, рухові центри скоро переходять у стан гальмування, що виражається в припиненні м'язової діяльності.

Дослідження членів екіпажів повітряних суден (ЕПС), які проходили тренування на тренажері Як-40, проводили в Українському державному сертифікаційному центрі цивільної авіації в аеропорту Київ у березні – квітні 2004 р.

Завдання на тренування з відмовою функціональних систем літака, що відпрацьовувалося згідно з керівними документами, було однаковим для всіх ЕПС. Всього було досліджено 40 осіб (у кожному ЕПС: командир повітряного судна, другий пілот, бортінженер, а також пілот-інструктор).

Під час дослідження використовували методику КЕ та методику "Абітурієнт", яка призначена для визначення рухливості нервових процесів та уваги.

При комп'ютерному аналізі ергографічної кривої (ЕК) оцінювалися тривалість одноразового прийому роботи T , максимальна висота підйому вантажу A , наявність або відсутність фази широкої іррадіації збудження, характер прояву "закона сили".

Для оцінки якості виконання завдання за методикою "Абітурієнт" використовували показник помилкових дій

$$G = \frac{O - H}{H} 100 \%,$$

де O – загальна кількість подразників у спробі; H – кількість правильних відповідей.

Час експозиції подразника 1,5 с у першій спробі; 1,2 с – у другій; 0,9 с – у третій; 0,8 с – у четвертій; 0,65 с – у п'ятій. Кількість подразників – 50 у кожній спробі. Чим нижче показник G , тим вище рівень виконання завдання досліджуваним. Оскільки темп роботи поступово збільшувався і більшість досліджуваних добре справлялися з завданням у перших двох спробах, а у п'ятій спробі можливі відмови від завдання, індивідуальні розбіжності аналізували за третьою спробою G_3 .

Кожен досліджуваний проходив обстеження за обома методиками до і після виконання завдання на тренажері.

Вивчення впливу професійної діяльності на показники T , A , G_3 поведилося статистичними методами, що призначені для спряжених пар спостережень [4]. Достовірним ($P=0,0018$) виявилось розходження середніх значень показника T до і після роботи. Для інших показників не виявлено розходжень середніх значень і дисперсій, що є достовірними ($P>0,05$).

Отже, можна зазначити вплив професійної діяльності на показник T . Відсутність значних змін для інших показників можна пояснити змішаним складом вибірки, тобто діяльність під час тренування на тренажері оказує протилежний вплив на осіб, які знаходяться у втомленому стані або в стані витривалості.

Показники функціонального стану рухових центрів кори головного мозку членів ЕПС можуть відрізнятися, що обумовлює успіх їхньої професійної діяльності. Такі показники, як здатність до концентрації зусиль на короткому відрізку часу, характер реакції рухових центрів на зовнішні впливи, рухливість та сила нервових процесів, можуть служити показниками ступеню сформованості професійних навичок.

Високий початковий рівень працездатності, значні сила і рухливість нервових процесів, які спостерігались у 80 % обстежених, свідчать про ефективність професійно-психологічного відбору. Після виконання завдання в тренажері у 66 % обстежуваних спостерігалося підвищення рівню працездатності. Тобто типові завдання з відмовою функціональних систем не викликає стану втоми у більшості досліджуваних, що свідчить про високий професіоналізм ЕПС.

Залежно від рівня м'язової працездатності до і після роботи досліджувані були розподілені на дві групи. До першої, яку назовемо групою А, належать особи, в яких професійна діяльність в обсягу типового завдання на тренажері не викликала зниження параметрів ЕК і зміни прояву "закона сили". До другої групи, яку назовемо

групою Б, належать особи, в яких спостерігалися прояви втоми.

З метою виявлення можливості використання T , A , G_3 як інформативних ознак для визначення ПФС було проведено визначення розходжень між ними за допомогою непараметричного критерію U [4]. Виявлено, що в групах А та Б статистично значимими є розходження між T та G_3 ($P < 0,05$).

Отже, перераховані показники можна використовувати як ознаки з високою інформативністю для діагностики ПФС.

Вивчення динаміки психофізіологічного стану

Сучасні комп'ютерні технології дозволяють створити достатньо велику базу даних, що виводить задачі прогнозування станів на інший якісний рівень.

При прогнозуванні станів практично здорових людей імовірнісний підхід у більшості випадків неможливо використовувати. Як це ні парадоксально, у стані хвороби спостерігаються більш однорідні вибірки ознак, ніж у станах здоров'я та станах, граничних між здоров'ям та патологією, до яких можна віднести стани кумулятивної та хронічної втоми. Імовірісно-статистичний підхід із використанням інтервальних і бінарних структур описано в праці [4] та впроваджено в програмному комплексі ОМІС, який призначений для клінічної діагностики. При цьому використовується інформація, що міститься в межах нормального референтного інтервалу. Такий підхід робить можливим використання в комп'ютерному діагностичному комплексі показників рухових реакцій, для яких існує лише індивідуальна норма, а також дає можливість застосовувати якісні показники КЕ, такі, як форма ЕК, наявність фази широкої іррадіації збудження.

Оскільки професійна діяльність впливає на ПФС, пропонуємо для оцінки величини та напрямку зміни ПФС використовувати величини змін кількісних показників, які характеризують рухові реакції.

Відносну різницю між показником T після і до роботи зазначимо ΔT , відповідний показник для A – через ΔA .

Для показника помилкових дій доцільно використовувати абсолютну різницю між величиною після і до тренування, оскільки цей показник сам по собі є відносним до загальної кількості подразників у спробі. Відповідний показник для G_3 зазначимо через Δg .

Отримані показники назвемо змінними значеннями психофізіологічних показників (ЗЗПФП). Використання цих показників як ознак під час діагностики дає уявлення про величину та напрямок змін ПФС.

Нехай вектор $\{x\} = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}$ – набір з n значень кількісних та якісних ознак, елемент n -вимірного простору ознак.

Різні вектори x_1, x_2, \dots, x_N містять інформацію про стан N обстежуваних або інформацію про стан одного досліджуваного в N моментів часу.

Множину векторів $\{x\} = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, що обумовлені певним початковим ПФС F , будемо називати образом у просторі станів і зазначимо як $\{x\}_F$.

Нехай $Q(x_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ – діапазон допустимих значень ознаки. Для ознак, що перераховуються, – це не діапазон, а дискретна множина.

У теоретичному ідеальному випадку $\{x\}_F$ може бути подано як підмножина прямого добутку $Q(x_1) \times Q(x_2) \times \dots \times Q(x_n)$. Якщо замість оцінки середніх та коефіцієнтів кореляції користуватись імовірнісними мірами для усіх $Q(x_i)$ і всіх бінарних відношень $Q(x_i) \times Q(x_j)$, то тим самим розширюються можливості описування інформації про різноманіття більш загального вигляду.

Отже, основна інформація про $\{x\}_F$ міститься в множині S одновимірних та двовимірних елементів [4]:

$$S \subset \{Q(x_1), Q(x_2), \dots, Q(x_n); \\ Q(x_1) \times Q(x_2), Q(x_1) \times Q(x_3), \dots, Q(x_1) \times Q(x_n); \\ Q(x_2) \times Q(x_3), Q(x_2) \times Q(x_4), \dots, Q(x_2) \times Q(x_n); \\ Q(x_{n-1}) \times Q(x_n)\}.$$

Маємо відображення: $\{x\}_F \rightarrow S$.

Для оцінки напрямку та величини зміни ПФС з використанням імовірнісно-статистичного підходу пропонуємо ввести додаткову підмножину, що характеризує їх у кількісній формі.

Нехай $\{x\}_{F1}, \{x\}_{F2}, \dots, \{x\}_{Fm}$ – множини векторів-образів у просторі, що ініціюються ПФС F_1, F_2, \dots, F_m при багаторазовому дослідженні однієї особи.

При цьому допустимий діапазон значень першої ознаки при переході досліджуваного від стану F до F_m зазначимо, як Δ_1 , відповідно другої ознаки – Δ_2 і т. д. Ці величини утворюють множину ЗЗПФП $\{\Delta\} = \{\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N\}$. Тоді $Q(\Delta_i)$ – діапазон допустимих значень зміни x_i при переході від F до F_m .

Тоді інформація про ПФС F_m з урахуванням величини і напрямку його зрушень у порівнянні зі станом F міститься в множині V одновимірних і двовимірних елементів:

$$V \subset \{Q(x_1), Q(x_2), \dots, Q(x_n); \\ Q(x_1) \times Q(x_2), Q(x_1) \times Q(x_3), \dots, Q(x_1) \times Q(x_n); \\ Q(x_2) \times Q(x_3), Q(x_2) \times Q(x_4), \dots, Q(x_2) \times Q(x_n); \\ Q(x_{n-1}) \times Q(x_n); \\ Q(\Delta_1), Q(\Delta_2), \dots, Q(\Delta_n); \\ Q(\Delta_1) \times Q(\Delta_2), Q(\Delta_1) \times Q(\Delta_3), \dots, Q(\Delta_1) \times Q(\Delta_n); \\ Q(\Delta_2) \times Q(\Delta_3), Q(\Delta_2) \times Q(\Delta_4), \dots, Q(\Delta_2) \times Q(\Delta_n); \\ Q(\Delta_{n-1}) \times Q(\Delta_n)\},$$

де підмножина $\{Q(\Delta_1), Q(\Delta_2), \dots, Q(\Delta_n), \\ Q(\Delta_1) \times Q(\Delta_2), Q(\Delta_1) \times Q(\Delta_3), \dots, Q(\Delta_1) \times Q(\Delta_n), \\ Q(\Delta_2) \times Q(\Delta_3), Q(\Delta_2) \times Q(\Delta_4), \dots, Q(\Delta_2) \times Q(\Delta_n), \\ Q(\Delta_{n-1}) \times Q(\Delta_n)\}$ відображає ймовірнісні міри для всіх змінних значень $Q(\Delta_i)$ і всіх бінарних відношень змінних значень $Q(\Delta_i) \times Q(\Delta_j)$. Цю підмножину назвемо динамічною підмножиною ПФП. Цей показник характеризує направленість і величину зрушень ПФС.

У такому разі маємо відображення: $\{x\}_F \rightarrow V$.

Найбільш важливу інформацію про стан F_m має динамічна підмножина ПФП, яка характеризує фізіологічні процеси при зміні ПФС від стану F до стану F_m .

Уведення ймовірнісної міри для ЗЗПФП та їх бінарних відношень дає можливість оцінити не тільки існуючий стан досліджуваного, а й охарактеризувати перехідний процес між цими двома станами та здійснювати подальший прогноз стану працездатності та надійності.

Змінні значення психофізіологічних показників характеризують фізіологічні зміни під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів.

Ознаки T , A , G_3 мають більш загальне значення, тобто дозволяють оцінити індивідуально-типологічні особливості досліджуваного.

Більш детальний аналіз ЕК при використанні комп'ютерного комплексу дозволить аналізувати швидкість і прискорення висхідної фази ЕК. Відповідні ЗЗПФП підвищать діагностичну цінність дослідження.

Аналіз одного дослідження без порівняння з попередніми дає можливість оцінити ПФС, але прогнозування при цьому неможливе.

Загальний підхід до визначення працездатності та надійності АО передбачає багаторазове дослідження [5].

Його ефективність значно підвищується при використанні методик рухових реакцій у вигляді контролю перед початком робочої зміни.

Висновки

1. Методи рухових реакцій можуть бути використані для об'єктивної характеристики індивідуально-типологічних особливостей вищої нервової діяльності, рівню працездатності та індивідуалізації програм професійної підготовки АО.

2. Прогнозування ПФС можливо лише при багаторазовому обстеженні ЕПС.

3. Запропонований ймовірнісно-статистичний підхід до оцінки динаміки ПФС робить можливим використання в комп'ютерному діагностичному комплексі показників рухових реакцій та якісні показники КЕ.

Список літератури

1. Синглов В.М., Ударцева Т.Є. Необхідність застосування нових методів психофізіологічних досліджень в авіаційній медицині // Вісн. НАУ – К.. – 2002. – №4. – С.15–18.
2. Фольборт Г.В. Избранные труды. – К.: АН УССР, 1962. – 456 с.
3. Кирич А.А. Человек-оператор в эргатической системе. – К.: Знание, 1982. – 20 с.
4. Генкин А.А. Новая информационная технология анализа медицинских данных. – С.Пб.: Политехника, 1999. – 190 с.
5. Ударцева Т.Є. Урахування психофізіологічних обмежень авіаційних операторів як шлях попередження авіаційних подій // Матеріали V Міжнар. наук.-техн. конф. "Авіа-2003". – К., 2003. – Т.2. – С. 24.105–24.110.

Стаття надійшла до редакції 11.06.04.

Т.Е. Ударцева

Определение психофизиологического состояния авиационных операторов

Рассмотрены результаты комплексного исследования функционального состояния членов экипажей воздушных судов до и после выполнения задания на тренажере Як-40. Предложен вероятностно-статистический подход к оценке динамики психофизиологических состояний.

T.E. Udartseva

Determination of a psychophysiological state of aviations operators

The results of a complex research of a functional state of the members of crew's airs liners before and after execution of the job on a training simulator Як-40 are considered. The probability statistical approach to an evaluation of dynamics of psychophysiologicals states is offered probability.