

Національний авіаційний університет

УДАРЦЕВА ТЕТЯНА ЄВГЕНІВНА

УДК 681.5.017:159.91(043.3)

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ
АВІАЦІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ**

05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні
технології

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ – 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Синеглазов Віктор Михайлович,
Національний авіаційний університет,
директор Інституту електроніки та систем управління.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Бойко Іван Федорович,
Національний авіаційний університет,
професор кафедри радіоелектроніки;

кандидат технічних наук
Буров Олександр Юрієвич,
Науково-дослідний інститут прикладних проблем
військової медицини,
провідний науковий співробітник.

Провідна установа Національний технічний університет України “КПІ”
Міністерства освіти і науки України, м. Київ

Захист відбудеться “___” _____ 2005 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.26.062.01 при Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ-58, просп. Космонавта Комарова, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного авіаційного університету, 03058, м. Київ-58, просп. Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розісланий “___” _____ 2005 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

Єременко В.С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Світова статистика свідчить про те, що авіаційні події, які пов'язані з діяльністю екіпажу, становлять протягом багатьох років 70 – 80 % від загальної кількості. Незмінність ситуації у стані безпеки польотів існує на фоні безперервного удосконалення авіаційної техніки. Це об'єктивна ознака того, що проблема зниження працездатності авіаційних операторів потребує невідкладних досліджень та профілактики.

Ґрунтуючись на стратегії та вимогах Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО), у багатьох країнах ведеться дослідна робота, що спрямована на вивчення людського фактора. Зокрема, актуальною є тема оцінки психофізіологічного стану (ПФС) та прогнозування динаміки працездатності авіаційних операторів. Як системну категорію ПФС слід розглядати в зв'язку “ПФС – працездатність – надійність”, “ПФС – працездатність – якість – ефективність”, “ПФС – економічний фактор”. Незважаючи на те, що робота у цих напрямках постійно проводиться, практичне втілення її результатів не повною мірою відповідає методології профілактичної медицини, а також рівню сучасних інформаційних технологій.

Цій проблемі присвячено значну кількість робіт вітчизняних наукових колективів та вчених ближнього зарубіжжя. Серед колективів ближнього зарубіжжя – Міжнародна академія людини в аерокосмічних системах, Міжнародна академія астронавтики, Російська академія космонавтики ім. К.Е. Ціолковського; серед вітчизняних – Аерокосмічна академія України, Національний авіаційний університет (НАУ), Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського.

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 інші.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукове дослідження виконано в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи за темою № 065-ДБ-02 “Методологія автоматизованого проектування пілотажно-навігаційного комплексу гелікоптера”.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягає у розробленні та впровадженні автоматизованої системи визначення працездатності (АС ВП), яка дозволяє підвищити ефективність психофізіологічних обстежень авіаційних операторів.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих методів психофізіологічних досліджень та можливостей їх застосування для оцінки працездатності авіаційних операторів.

2. Розробити модель визначення працездатності авіаційних операторів.
3. Розробити критерії та алгоритм оцінки працездатності авіаційних операторів.
4. Розробити АС ВП та вказати можливості її практичного використання.
5. Провести аналіз експериментальних даних:
 - оцінити можливості використання моделі визначення працездатності авіаційних операторів;
 - виявити залежність між психофізіологічними показниками у станах високої та низької працездатності авіаційних операторів;
 - провести диференціальну діагностику станів високої та низької працездатності авіаційних операторів за допомогою методів розпізнавання образів.

Об'єкт дослідження – працездатність авіаційних операторів.

Предмет дослідження – методи та засоби аналізу психофізіологічних показників.

Методи дослідження. Проведені теоретичні дослідження ґрунтуються на теорії імовірностей та математичної статистики, теорії прийняття рішень. Дослідження психофізіологічних показників спиралися на концепцію основних властивостей нервової системи та закон сили дії подразника. Експериментальні дослідження виконувались шляхом аналізу психофізіологічних показників з використанням сучасних інформаційних технологій.

Наукова новизна одержаних результатів визначається такими положеннями:

1. Розроблено векторну модель визначення рівнів працездатності авіаційних операторів, яка дозволяє:
 - оцінювати результати обстежень авіаційних операторів з урахуванням ПФС;
 - прогнозувати динаміку працездатності авіаційних операторів та ступінь адаптації організму до умов навколишнього середовища.
2. Уперше розроблено критерії та алгоритм визначення рівнів працездатності із застосуванням методу ергографії.
3. Розроблено метод оцінювання рівнів працездатності авіаційних операторів на основі аналізу показників ергографії.
4. Виявлено та досліджено залежність між психофізіологічними показниками, що дає змогу використовувати бінарні ознаки для класифікації станів високої та низької працездатності.
5. Розроблено метод оцінювання динаміки ПФС із застосуванням відносних різниць психофізіологічних показників, теорії імовірностей та математичної статистики.

6. Розроблено АС ВП та вказано можливості її практичного використання.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони дозволяють:

1. Здійснювати контроль за ПФС на різних етапах роботи авіаційних операторів. При цьому своєчасне виявлення ознак зниження працездатності є підставою для коректування режимів праці та відпочинку, своєчасного застосування реабілітаційних заходів та перевірки їх ефективності.

2. Запровадити у практику оперативні масові обстеження авіаційних операторів.

3. Удосконалити психофізіологічні дослідження та підвищити їх прогностичну цінність у багатьох галузях їх застосування, наприклад, у космічній медицині, на виробництві, у спортивній медицині.

Результати роботи реалізовано в Українському державному навчально-сертифікаційному центрі цивільної авіації у вигляді АС ВП та рекомендацій щодо удосконалення процедури обстежень членів екіпажів повітряних суден.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать: [1] – аналіз використання інформаційних технологій в авіаційній медицині, методика дослідження вищої нервової діяльності; [6] – пропозиція щодо використання змінних, які характеризують психофізіологічні показники, у математичній моделі, що описує ймовірність відмов комп'ютерно-інтегрованих комплексів в складних умовах функціонування; [9] – аналіз сучасних проблем дослідження людського фактора в Україні.

Апробація результатів дисертації. Результати дослідження доповідалися та обговорювалися на наступних науково-технічних конференціях (НТК) та семінарах: III Міжнародній НТК “Авіа-2001” (м. Київ, НАУ, 2001); цільовому семінарі “Проблеми людського фактора у забезпеченні безпеки польотів: попередження раптової втрати льотної придатності у польоті” (м. Київ, НАУ, 2001); I науково-методичній конференції “Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика” (м. Київ, НАУ, 2002); IV Міжнародній НТК “Авіа-2002” (м. Київ, НАУ, 2002); семінарі “Питання державного регулювання експлуатації легких та надлегких повітряних суден” (м. Київ, НАУ, 2002); V Міжнародній НТК “Авіа-2003” (м. Київ, НАУ, 2003); НТК “Перспектива використання вертольотів в Україні” (м. Харків, Харківський інститут Військово-повітряних сил ім. І. Кожедуба, 2003); VI Міжнародній НТК “Авіа-2004”, (м. Київ, НАУ, 2004).

Публікації. Основні положення дисертації відображені в 5 статтях у фахових наукових виданнях ВАК України, у 6 тезах доповідей НТК.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку літературних джерел і додатків. Робота містить 125 сторінок основного тексту, 21 рисунок, 21 таблицю, список використаних джерел з 131 найменування та 3 додатки на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та завдання дослідження, відображено новизну та практичне значення результатів роботи.

У **першому розділі** розглянуто етапи формування концепції людського фактора в цивільній авіації. На основі поняття “людський фактор” було доведено, що за фактом помилки авіаційного оператора стоять закономірні психофізіологічні явища. У зв’язку з таким підходом у практиці розслідування авіаційних подій переважає не пошук винних за аварію осіб та організацій, а вироблення умов запобігання подібних аварій.

Створення ІКАО, прийняття відповідної Конвенції (Чикаго, 1944 р.) та додатків до неї дало змогу всім країнам світу упорядкувати міжнародні польоти та скоординувати зусилля по контролю за забезпеченням безпеки польотів. У 1992 р. Україна як незалежна держава приєдналася до Чиказької конвенції та взяла на себе обов’язки щодо приведення національного авіаційного законодавства у відповідність до Міжнародних стандартів та Рекомендованої практики ІКАО (SARPS). Реалізацію цих обов’язків закладено в Концепцію розвитку цивільної авіації України, яку було затверджено в 1996 р. Постановою Кабінету Міністрів України. Подальшим розвитком цих положень стала стратегія інтеграції України до Європейського Союзу. Дійова реалізація фундаментальних концепцій ІКАО потребує удосконалення системи контролю за ПФС авіаційних операторів.

Аналіз існуючої системи обстежень авіаційних операторів виявив, що психофізіологічні методики використовуються лише як частина психологічного обстеження, їх спектр дуже обмежений і не відповідає сучасному рівню розвитку інформаційних технологій. Створення комп’ютерного комплексу з приладами, які дозволяють отримати інформацію про життєдіяльність організму, є перспективним напрямком удосконалення методів діагностики ПФС. Отже, існує необхідність розроблення та впровадження АС ВП. Своєчасні заходи щодо попередження авіаційних подій, спричинених людським фактором, дозволять авіакомпаніям зекономити великі кошти та вийти на світовий рівень у вирішенні ергономічних питань.

Другий розділ присвячено побудові моделі рівнів працездатності авіаційних операторів. Для розуміння та розв'язування проблем, пов'язаних з людським фактором, доцільно використовувати відповідну модель, оскільки це дозволяє вивчати та вирішувати їх у комплексі. Процеси динаміки функціональних станів авіаційних операторів під впливом професійної діяльності були формалізовані на основі закономірностей розвитку процесів утоми і відновлення та теорії адаптації. Розроблено векторну модель визначення рівнів працездатності авіаційних операторів (рис. 1).

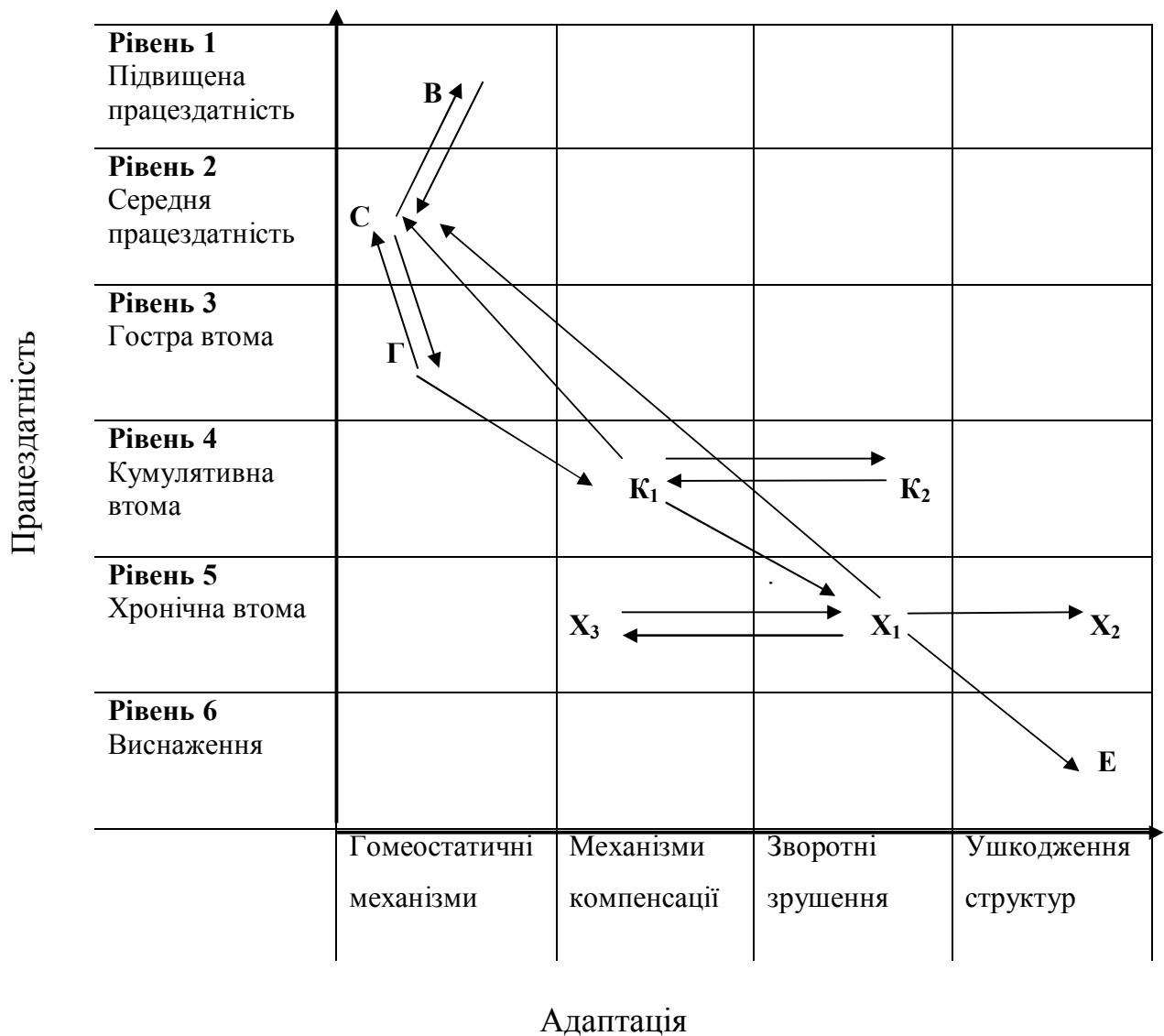


Рис. 1. Векторна модель визначення рівнів працездатності авіаційних операторів

Стан “працездатності” у векторній моделі є точкою у двовимірному просторі, що визначається координатами за шкалами працездатності та адаптації. При повторному дослідженні отримується “вектор працездатності”, який є короткостроковим прогнозом. Для середньострокового та довгострокового прогнозування необхідно мати траєкторію послідовних векторів працездатності в інтервалі між існуючим станом та станом, що прогнозується.

Рівень 1 (підвищена працездатність) та рівень 2 (середня працездатність) означені як рівні високої працездатності. Рівні 3 (гостра втома), 4 (кумулятивна втома), 5 (хронічна втома) та 6 (виснаження) – це рівні низької працездатності.

Проведено аналіз психофізіологічних методів досліджень, ґрунтуючись на дослідницькому підході до прогнозування ПФС, для визначення працездатності авіаційних операторів були обрані показники роботи нервово-м'язового апарату, що пов'язані з функціонуванням відповідних рухових центрів головного мозку.

У **третьому розділі** розроблено автоматизовану систему визначення працездатності авіаційних операторів.

Для визначення рівнів працездатності обрано ергографію із застосуванням двох різних навантажень (далі – комплексна ергографія), яку запропонував А.О. Кірін.

Ергографія – це реєстрація показників дозованої фізичної роботи, що виконується до повної втоми за рахунок рухів обмеженої кількості м'язових груп. Застосування цієї методики дає змогу діагностувати стан кумулятивної втоми, при якому суб'єктивне відчуття втоми відсутнє, а також проводити діагностику функціональних станів на рівні гомеостатичних механізмів. Більшість психофізіологічних методик для отримання подібних результатів потребують громіздкого обладнання, великої тривалості обстеження, або інші недоліки, які унеможливають їх застосування для оперативної діагностики працездатності авіаційних операторів.

У дослідженні використовується пальцевий ергограф, вантажі 3 кг та 2 кг. Робота виконується за рахунок згинання другого пальця правої руки. Обстежуваному дається завдання синхронно зі спалахуванням лампочки блоку задавання ритму піднімати вантаж з частотою 60 підйомів за одну хвилину. Дослід починається з використання вантажу 3 кг; вантажі замінюють кожні 20 секунд без зупинки. Дослід проводиться до повної втоми обстежуваного.

АС ВП – спеціалізована система, що призначена для введення, аналізу та зберігання даних ергографії. Вона включає зовнішні пристрої (пальцевий ергограф, блок задавання ритму, блок перетворення сигналів, принтер) та ПЕОМ. Система реалізована на IBM PC-сумісній ПЕОМ на базі процесора Celeron-600 з платою розширення ICP DAS-PCI 1002 L.

Програмні засоби реалізовано мовою Borland C++ Builder 5, а також в універсальній математичній лабораторії “Mat Lab” версії 6.5.

Процес вирішення завдання визначення працездатності авіаційного оператора є багатоступінчастим і складається з таких етапів:

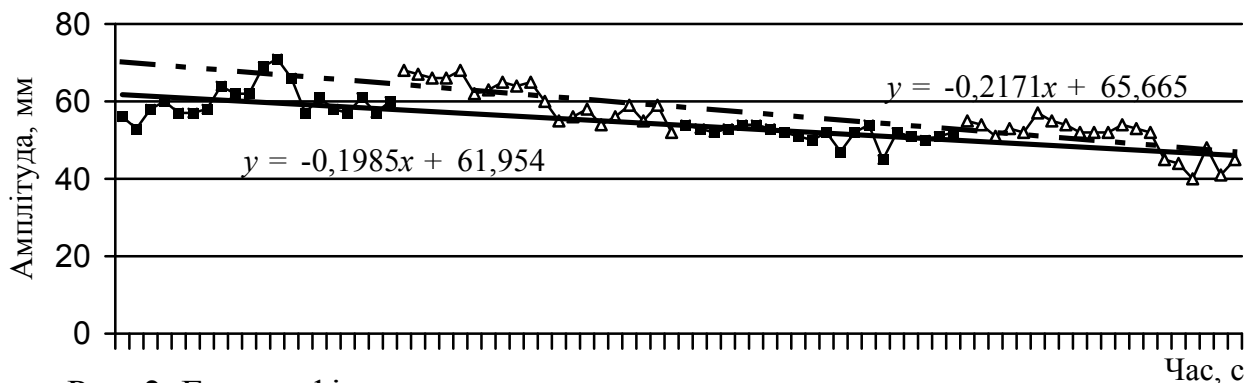
1. Уведення ергограми під час виконання завдання на пальцевому ергографі.

2. Візуалізація ергограми. На графіку відображаються миттєве значення амплітуди переміщення вантажу та дискретний сигнал, що описує ввімкнення та вимкнення лампи таймера блоку задавання ритму.

3. Вимірювання психофізіологічних показників та їх аналіз. За ергограмою визначаються:

- тривалість однократного прийому роботи (показник T) у секундах;
- максимальна амплітуда у досліді (показник A) у міліметрах.

4. Побудова ергографічної кривої. По горизонтальній осі відкладається час у секундах, по вертикальній – максимальна амплітуда у підйомі у міліметрах (рис. 2).



■ 3кг ▲ 2кг

— · — лінія лінійного тренда (3кг);

— — — лінія лінійного тренда (2кг).

5. Оброблення ергографічної кривої методом найменших квадратів, побудова рівнянь. Рівняння апроксимації $y = a_1t + a_0$ для вантажу 3 кг та $y = b_1t + b_0$ для вантажу 2 кг позначаються на графіку.

6. Визначення рівня працездатності авіаційного оператора відповідно до заданих критеріїв.

У роботі розроблено критерії діагностики рівнів працездатності, які базуються на концепції основних властивостей нервової системи (І.П. Павлов, Б.М. Теплов, В.С. Мерлін, Б.Г. Ананьєв та інші) та законі сили дії подразника (І.М. Сеченов, Н.Є. Введенський та інші). Критерієм віднесення працездатності авіаційного оператора до певного рівня є належність координати точки

перетинання ліній лінійного тренда по горизонтальній осі (x) до певного інтервалу.

Критерій 1 (рівень 1):

$-\infty < x < -k T \cup (1 + k) T < x < +\infty$, за умов, що $|a_0 - b_0| + |a_1 - b_1| T \leq 4$,
де k – коефіцієнт, значення якого дорівнює 0,5;

T – тривалість однократного прийому роботи;

a_0 та a_1 – коефіцієнти рівняння апроксимації $y = a_1 t + a_0$ для вантажу 3 кг;

b_0 та b_1 – коефіцієнти рівняння апроксимації $y = b_1 t + b_0$ для вантажу 2 кг.

Критерій 2 (рівень 2): ті ж умови, що і для рівня 1, але за умов, що

$|a_0 - b_0| + |a_1 - b_1| T > 4$.

Критерій 3 (рівень 3): $-k T \leq x \leq 0$.

Критерій 4 (рівень 4): $0 < x < T$.

Критерій 5 (рівень 5): $T \leq x \leq (1 + k) T$.

У стані виснаження людина не працездатна і критерій не визначався.

Початкова інформація, що надходить до системи, містить дані про кожного обстеженого (прізвище, ім'я, по батькові, дата народження, професія, місце роботи, наліт годин); дату та умови обстеження; дані ергографії (ергограму).

Ергограма надходить до блоку обробки результатів, де обробляється чотирма спеціалізованими модулями (рис. 3). Важливою особливістю блоку обробки результатів є модульний принцип побудови, завдяки якому дослідник може збирати технологічні ланцюжки послідовності операцій для вирішення завдання визначення працездатності авіаційного оператора. Інтеграція методів оброблення даних робить можливим досягнення результату різними шляхами. При цьому результату досягають застосовуючи різні методи до одних і тих самих даних. Таким чином, робота з аналізу даних ергографії є свого роду багаторазовим експериментуванням з побудованою на першому етапі графічною інформацією. Характерною рисою такого експериментування є спільне застосування розроблених критеріїв оцінки ергографічних кривих, математичної статистики та методів розпізнавання образів, причому в оброблення вводяться усі доступні дані, включно з проміжними результатами.

Використовуються дві стратегії вирішення завдання визначення працездатності авіаційного оператора:

1. Керування метою. Завдання вирішується шляхом класифікації ергографічних кривих відповідно до розроблених критеріїв. Визначається рівень працездатності.

2. Керування даними. Завдання вирішується за допомогою методів статистичного аналізу психофізіологічних показників (на основі вибірки) та методів розпізнавання образів. За наявності невеликої за обсягом навчальної вибірки вирішується лише завдання розпізнавання станів високої або низької

працездатності авіаційних операторів, зі збільшенням обсягу навчальної вибірки можлива класифікація за рівнем працездатності.

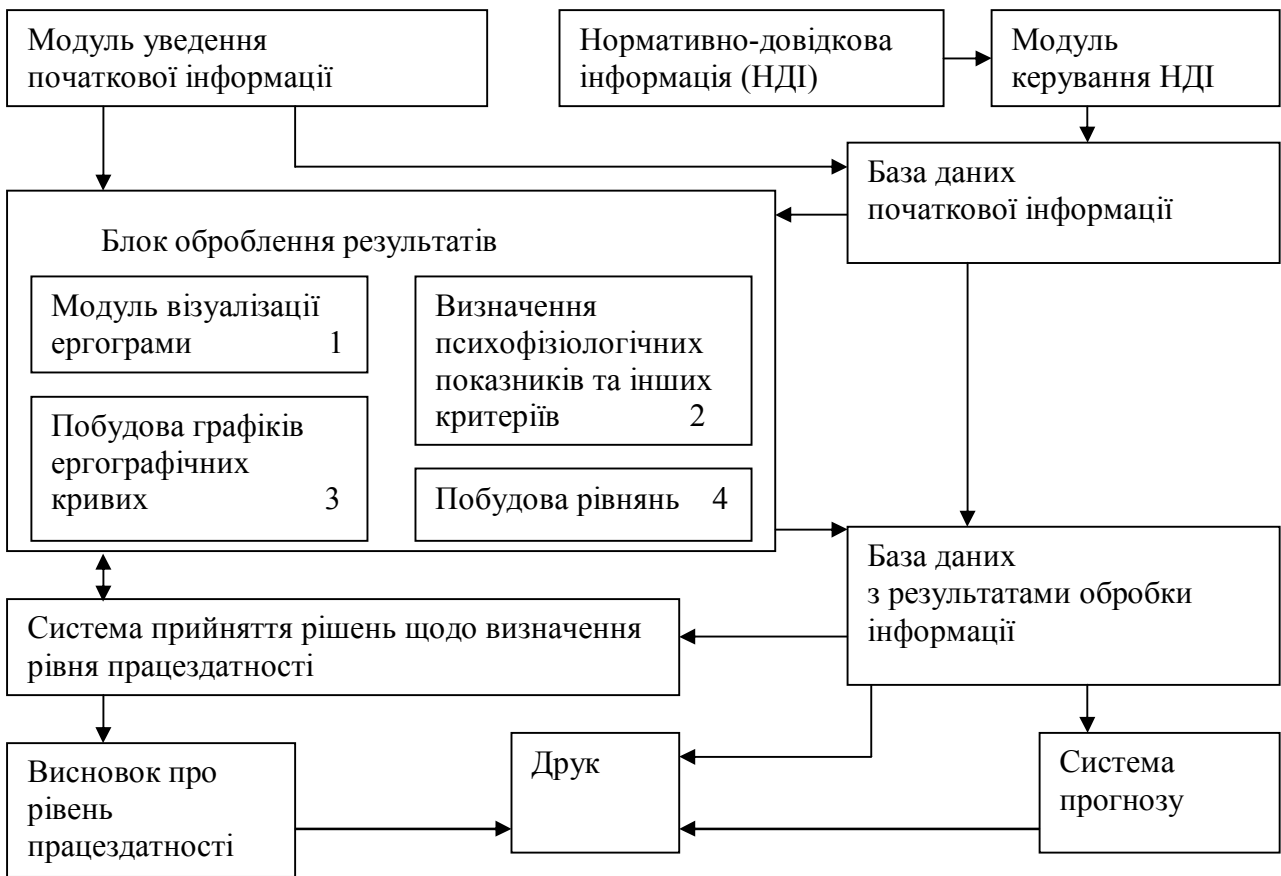


Рис. 3. Схема автоматизованої системи визначення працездатності

Система прийняття рішення є координуючим центром системи, який аналізує контекст та стратегію прийняття рішення. За проміжними результатами аналізу ця система визначає достатність отриманої інформації, генерує гіпотези про належність об'єктів до певних класів та "доручає" іншим модулям системи виконувати конкретні дії. Висновки виробляються цією системою, але остаточне рішення щодо рівня працездатності авіаційного оператора приймає дослідник.

Проміжні результати аналізу надходять з блоку оброблення результатів в базу даних вихідної інформації. Сюди ж заносяться пояснення дій АС ВП задля того, щоб користувач міг у разі потреби оцінити раціональність поведінки системи, виявити причину прийняття того чи іншого рішення. База даних є змішаною, оскільки зберігається як текстова інформація, так і дані для побудови графічної інформації. Ця частина АС ВП в цілому не відрізняється від програмних і технічних засобів, що використовуються у традиційних системах

обробки даних. На стадії експериментальних досліджень структура бази даних не розроблялась, але при подальшому удосконаленні АС ВП інформація має бути систематизована за паспортними даними авіаційного оператора, за датою проведення обстеження, за рівнем та прогнозом працездатності.

Підсистема прогнозу передбачає використання методів екстраполяції за наявності даних трьох і більше обстежень однієї особи.

Досліднику належить активна роль у проведенні ергографії, введенні вхідних даних про обстежуваного, візуальному контролі результатів, виборі стратегії та методів вирішення завдання, виведенні результатів на друк (рис. 4).

Прізвище	Бондаренко	
Ім'я	Олексій	
По батькові	Миколайович	
Дата народження	24.07.1967р.	
Посада	Бортінженер	
Місце роботи	Авіалінії України	
Наліт годин	9850 годин	
Дата обстеження	14.04.2004	14.04.2004
Умови обстеження	До роботи	Після роботи
Рівень працездатності	2	1
Працездатність	Висока	Висока

Рис. 4. Зразок бланка результатів обстеження

АС ВП можна застосовувати для діагностики ПФС, індивідуалізації програм професійної підготовки, прогнозування працездатності, вивчення впливу професійної діяльності на ПФС, контролю працездатності перед початком робочої зміни, призначення реабілітаційних заходів та перевірки їх ефективності.

АС ВП об'єднує у собі властивості системи обробки даних та елементи експертної системи: базу даних та базу знань, яка включає правила, алгоритми прийняття рішень, технології аналізу вхідних даних. Оскільки метод комплексної ергографії раніше не застосовувався для визначення ПФС, то не існувало набору розв'язувальних правил і визначеного набору змінних, достатніх для діагностики. Метою проведення експериментальних досліджень є заповнення бази знань та оптимізація процесу прийняття рішення про рівень працездатності шляхом вибору найбільш результативних методів аналізу даних ергографії.

Четвертий розділ присвячено експериментальним дослідженням, які були проведені у три етапи.

На першому етапі за допомогою АС ВП обстежено 119 осіб; результати розглядалися незалежно від віку, статі та умов обстеження. Проведено

вивчення характеру та ступеня варіації розподілу ознак комплексної ергографії у сукупності із застосуванням статистичних методів. Досліджувались тривалість однократного прийому роботи (показник T) у секундах та максимальна амплітуда у досліді (показник A) у міліметрах. Розподіл ознак відрізняється від закону Гаусса. Було встановлено, що ознаки A та T не є лінійно залежними (коефіцієнт кореляції Пірсона $r = -0,1869$, рівень значущості $P > 0,05$).

З метою визначення надійності методики комплексної ергографії 32 особи були обстежені повторно. Коефіцієнт кореляції Пірсона між рядами результатів первинного та повторного обстежень становить для ознаки T 0,86, для ознаки A 0,74, при мінімально допустимому 0,7, що свідчить про надійність методики.

На другому етапі обстеження проводилося з послідовним використанням АС ВП, тесту “Абітурієнт” та коректурної проби; обстежено 33 студенти НАУ в стандартних умовах. Досліджувалась ефективність використання АС ВП разом з іншими відомими методиками при одноразовому обстеженні. Кожен обстежений отримував загальну оцінку за трьома методиками, результат оцінювався з урахуванням рівня працездатності, визначеного відповідно до стратегії керування метою за допомогою АС ВП. Виявлено 7 осіб з невизначеним прогнозом, тобто використання АС ВП підвищило діагностичну цінність висновків при одноразовому обстеженні на 21 %.

Для підрахунку показників валідності як еталонні використані показники тесту “Абітурієнт”, виявлено високу чутливість (0,63), середню специфічність (0,43) та середню валідність (0,53) комплексної ергографії як методу оцінювання рухливості нервових процесів. Висока диференційованість методики підтверджується низькими коефіцієнтами кореляції з результатами коректурної проби ($P > 0,05$).

На третьому етапі обстеження проводилося з використанням АС ВП та тесту “Абітурієнт” в умовах експерименту на тренажері Як-40 в Українському державному навчально-сертифікаційному центрі цивільної авіації. Обстежено 40 членів екіпажів повітряних суден перед та після виконання стандартного льотного завдання з відмовою функціональних систем літака. Оцінювався вплив професійної діяльності на ПФС.

За результатами визначення рівнів працездатності обстежені були розподілені на дві групи. До групи А ввійшли 30 осіб, ПФС яких відповідає рівням працездатності 1 та 2, до групи Б – 10 осіб, ПФС яких відповідає рівням працездатності 3, 4 та 5.

Вивчалися статистичні показники за усією вибіркою та окремо по групах. У вибірці достовірною виявилась розбіжність оцінок середніх значень ознаки T до та після роботи ($P < 0,05$), для інших ознак не має достовірних розбіжностей

оцінок середніх значень та дисперсій. У групі А виявлено статистично достовірні розбіжності оцінок середніх значень для ознак A , T до та після роботи ($P < 0,05$). У групі Б статистично значущими ($P < 0,05$) є різниці оцінок середніх значень ознак A , T до та після роботи, оцінки дисперсій збігаються. Ефективність розподілу обстежених на групи відповідно до заданих критеріїв працездатності підтверджується результатами тесту “Абітурієнт”.

Відносну різницю між показником T після та до роботи названо відносною різницею показника T (ΔT), відповідний показник для A – ΔA . Виявлено, що у групі Б характер зв'язку між психофізіологічними показниками та їх відносними різницями відрізняється від зв'язку у групі А. Це проявляється відмінністю коефіцієнтів кореляції між показниками у групах А та Б. Оскільки таких розбіжностей не було при аналізі показників за усією вибіркою, можна зробити висновок про те, що характер взаємозв'язку між показниками рухових реакцій відрізняється у станах високої та низької працездатності. Визначена залежність між психофізіологічними показниками дає змогу використовувати їх у вигляді бінарних ознак в АС ВП. На підставі цього розроблено метод оцінки динаміки ПФС із застосуванням відносних різниць психофізіологічних показників.

Уведення імовірнісної міри (процес навчання) у просторі медико-фізіологічних ознак було запропоновано А.А. Генкіним та реалізовано у системі “Оболонка медичних інтелектуальних систем”, застосовуються інтервальні та бінарні структури. При цьому використовуються імовірнісні міри для усіх $Q(x_i)$ та всіх бінарних відношень $Q(x_i) \times Q(x_j)$, де $Q(x_i)$, $i=1, 2, \dots, n$ – діапазон припустимих значень ознаки x_i , $Q(x_j)$, $j=1, 2, \dots, n$ – діапазон припустимих значень ознаки x_j .

Нехай вектор $\mathbf{x} = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}$ – набір значень n кількісних ознак, елемент n -вимірного простору ознак. Різні вектори $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_N$ містять інформацію про стан N обстежених, або інформацію про стан одного обстеженого у N моментів часу. Множину векторів $\{\mathbf{x}\} = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_N\}$, обумовлених певним ПФС F означимо $\{\mathbf{x}\}_F$. Різні множини $\{\mathbf{x}\}_{F_1}, \{\mathbf{x}\}_{F_2}, \dots, \{\mathbf{x}\}_{F_N}$ містять інформацію про різні ПФС.

В теоретичному, ідеальному, випадку $\{\mathbf{x}\}_{F_1}$ може бути представлено 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 $Q(x_i)$ та для усіх бінарних відношень $Q(x_i) \times Q(x_j)$, то тим самим розширюються можливості описування інформації про різноманіття більш загального вигляду. Таким чином, основна інформація про $\{\mathbf{x}\}_{F_1}$ міститься у підмножині S одновимірних та двовимірних елементів:

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

Оскільки вплив професійної діяльності проявляється у зміні ПФС, пропонуємо для оцінки величини та напрямку зміни використовувати відносні різниці психофізіологічних показників. Певний початковий ПФС позначимо як F_1 , певний стан, що спостерігається під час повторного дослідження позначимо як F_2 . При цьому значення відносної різниці першої ознаки при переході досліджуваного від стану F_1 до F_2 позначимо, як Δ^1 , відповідно другої ознаки – Δ^2 і так далі. Ці величини утворюють вектор $\Delta = \{\Delta^1, \Delta^2, \dots, \Delta^n\}$. Тоді $Q(\Delta_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ – діапазон допустимих значень відносних різниць ознаки x_i при переході від F_1 до F_2 .

Інформація про ПФС F_2 з урахуванням величини та напрямку його зрушень порівняно зі станом F_1 міститься у підмножині V одновимірних та двовимірних елементів:

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

де підмножина $\{Q(\Delta_1), Q(\Delta_2), \dots, Q(\Delta_n), Q(\Delta_1) \times Q(\Delta_2), Q(\Delta_1) \times Q(\Delta_3), \dots, Q(\Delta_1) \times Q(\Delta_n), Q(\Delta_2) \times Q(\Delta_3), Q(\Delta_2) \times Q(\Delta_4), \dots, Q(\Delta_2) \times Q(\Delta_n), \dots, Q(\Delta_{n-1}) \times Q(\Delta_n)\}$ відображає імовірнісні міри для усіх $Q(\Delta_i)$ та для усіх бінарних відношень $Q(\Delta_i) \times Q(\Delta_j)$. Назвемо цю підмножину динамічною підмножиною психофізіологічних показників.

У такому разі маємо відображення: $\{\mathbf{x}\}_{F_2} \rightarrow V$.

Найбільш важливу інформацію про стан F_2 несе динамічна підмножина психофізіологічних показників, що характеризує направленість та величину зрушень ПФС, а також інформацію про фізіологічні процеси в разі зміни ПФС від стану F_1 до стану F_2 . Уведення імовірнісної міри для відносних різниць психофізіологічних показників та для їх бінарних відношень дає змогу оцінити не тільки існуючий стан обстежуваного, а й охарактеризувати перехідний процес між станами F_1 та F_2 .

Для діагностики працездатності членів екіпажів повітряних суден застосоване розпізнавання класів без учителя, використовувалась бінарна ознака $\Delta T \times \Delta A$. У процесі неконтрольованого навчання система самостійно встановлює класи, на які поділяється вихідна множина. Самокластеризація не дала суттєвих результатів, тому було проведене навчання системи.

Головна особливість контрольованого методу класифікації (навчання з учителем) полягає в наявності апріорних знань про належність до визначеного класу кожного вектора вимірів, що входить у навчальну вибірку. Роль навчання полягає у тому, щоб створити таку систему, яка дозволила б кожен вектор вимірів віднести до одного з уже відомих класів. Завдання полягає в уточненні та оптимізації процедури прийняття рішень.

До класу 1 віднесені показники групи А за даними обстеження членів екіпажів повітряних суден, до класу 2 – групи Б. Отримані результати за даними навчальної вибірки:

1. Кластеризація по відстані від центру кластеру:
 - по відстані Махаланобіса (кількість помилкових відповідей – 5, тобто 12,5 % від загальної кількості обстежених);
 - евклідовій відстані (5; 12,5 %);
 - манхеттенській відстані (4; 10 %);
 - відстані Мінковського (5; 12,5 %).
2. Метод мінімізації ризику (14; 35 %).
3. Метод найближчого сусіда (6; 15 %).
4. Дискримінантний аналіз (5; 12,5 %).

Для проведення диференціальної діагностики методом неоднорідного послідовного аналізу розраховані діагностичні коефіцієнти та інформативність діапазонів ознак рухових реакцій.

Унаслідок проведеного процесу навчання, при отриманні нових значень АС ВП відносить обстеженого до певного класу.

У **додатках** наведено текст програми визначення рівнів працездатності, результати експериментальних досліджень та акт впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведене розв'язання наукового завдання удосконалення психофізіологічних методів визначення працездатності авіаційних операторів шляхом застосування інформаційних технологій, що виявляється у розробленні та впровадженні АС ВП. Отримані результати дозволяють зробити такі висновки:

1. На основі проведеного аналізу існуючих методів та засобів контролю працездатності авіаційних операторів, а також їх практичної реалізації зроблено висновок про необхідність створення АС ВП з використанням сучасних інформаційних технологій, що дозволить підвищити діагностичну цінність результатів обстежень авіаційних операторів за рахунок урахування ПФС.

2. Розроблено векторну модель визначення рівнів працездатності авіаційних операторів, яка дозволяє оцінювати результати психофізіологічних досліджень з урахуванням ПФС, прогнозувати динаміку працездатності, а також ступінь адаптації організму до умов навколишнього середовища.

3. Розроблено метод та алгоритм оцінювання рівнів працездатності на основі аналізу показників ергографії. Запропонований метод дозволяє виявити стан кумулятивної втоми, при якому суб'єктивне відчуття втоми відсутнє, а також проводити діагностику функціональних станів на рівні гомеостатичних механізмів. На основі концепції основних властивостей нервової системи та законі сили дії подразника розроблено критерії визначення рівнів працездатності у векторній моделі. Розроблений метод діагностики ПФС є універсальним та легко адаптується для інших галузей, де має значення відповідність ПФС індивідуума вимогам професії, наприклад, у космічній медицині, на виробництві, у спортивній медицині.

4. Уперше розроблено та реалізовано АС ВП, яка є спеціалізованою системою, що призначена для введення, аналізу та зберігання даних ергографії. Функції системи спрямовані на отримання відповіді про відповідність ПФС обстеженого вимогам професії авіаційних операторів. Запропоновані дві стратегії вирішення завдання визначення працездатності: керування метою та керування даними. Інтеграція методів оброблення даних ергографії забезпечує достовірність висновків про працездатність авіаційних операторів.

5. Уперше виявлено залежність між показниками рухових реакцій, яка дає можливість розробити метод оцінки динаміки ПФС із застосуванням відносних різниць психофізіологічних показників, теорії імовірностей та математичної статистики.

6. Експериментальні дослідження показали можливості проведення масових обстежень за допомогою АС ВП – доступність, простоту виконання завдання, можливість колективного обстеження з обмеженою кількістю персоналу та з незначними матеріальними витратами. Використання АС ВП разом з іншими відомими методиками визначення працездатності підвищило діагностичну цінність одноразового обстеження на 21 %. Дослідження в умовах напівнатурного експерименту до та після виконання завдання на тренажері Як-40, що проводилося в Українському державному навчально-сертифікаційному центрі цивільної авіації, дозволило дослідити динаміку ПФС під впливом професійної діяльності.

Отримані наукові та практичні результати можуть служити базою для наступних наукових досліджень та практичних розробок, які доцільно проводити у напрямку розширення бази знань та створення експертної системи для визначення працездатності авіаційних операторів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Синеглазов В.М., Ударцева Т.Є. Необхідність застосування нових методів психофізіологічних досліджень в авіаційній медицині // Вісник НАУ. – 2002. – №4. – С. 15–18.
2. Ударцева Т.Є. Удосконалення методів контролю психофізіологічного стану авіаційних операторів як шлях підвищення безпеки польотів // Вісник НАУ. – 2003. – №3–4. – С. 109–112.
3. Ударцева Т.Є. Профілактична спрямованість авіаційної медицини як шлях підвищення безпеки в системі “людина – машина – середовище” // Вісник НАУ.– 2004. – №1. – С. 131–136.
4. Ударцева Т.Є. Визначення психофізіологічного стану авіаційних операторів // Вісник НАУ. – 2004. – №2. – С. 91–94.
5. Ударцева Т.Є. Автоматизована система визначення працездатності та надійності авіаційних операторів // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «ХАИ», 2005.– Вып.26.– С. 176–180.
6. Аксенов О.Б., Ударцева Т.Е. Вопросы и проблемы эргономического проектирования и эргономической эксплуатации компьютерно-интегральных комплексов // Матеріали III Міжнародної НТК “Авіа – 2001”. – К.: НАУ, 2001. –Т.2. – С. 6.173–6.175.
7. Ударцева Т.Є. Удосконалення методів контролю фізіологічного стану авіаційних операторів як шлях підвищення безпеки роботи системи “людина-машина” // Матеріали I науково-методичної конференції “Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика”. – К.: НАУ, 2002. – С.125–127.
8. Ударцева Т.Є. Концепція урахування людського фактору в авіаційних автоматизованих системах управління // Матеріали IV Міжнародної НТК “Авіа – 2002”. – К.: НАУ, 2002. – Т. 2. – С. 24.37–24.39.
9. Хохлов Е.М., Ударцева Т.Е. Приоритетные подходы в решении проблемы безопасности полетов и человеческого фактора при использовании вертолетов // Тези доповідей НТК “Перспективи використання вертольотів в Україні”. – Харків: Друкарня МО, 2003. – С. 8–11.

10. Ударцева Т.Є. Урахування психофізіологічних обмежень авіаційних операторів як шлях попередження авіаційних подій // Матеріали V Міжнародної НТК “Авіа – 2003”. – К.: НАУ, 2003. – С. 24.105–24.110.

11. Ударцева Т.Є. Дослідження психофізіологічного стану операторів // Матеріали VI Міжнародної НТК “Авіа – 2004”. – К.: НАУ, 2004. – С. 25.46–25.49.

АНОТАЦІЯ

Ударцева Т.Є. Автоматизована система визначення працездатності авіаційних операторів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології. Національний авіаційний університет, Київ, 2005.

Дисертацію присвячено вирішенню наукового завдання удосконалення психофізіологічних методів оцінювання працездатності авіаційних операторів шляхом застосування інформаційних технологій. Розроблено автоматизовану систему визначення працездатності авіаційних операторів. З метою визначення психофізіологічних станів проводиться реєстрація та комп’ютерний аналіз показників ергографії. Розроблено векторну модель визначення рівнів працездатності авіаційних операторів та спосіб використання імовірнісних методів для кількісної оцінки динаміки психофізіологічних станів. Для визначення впливу професійної діяльності на працездатність авіаційних операторів застосовані методи розпізнавання образів.

Ключові слова: автоматизована система, авіаційний оператор, ергографія, методи розпізнавання образів.

ANNOTATION

T. Udartseva. – The automatized system for air operators work capacity definition. – Manuscript.

Ph.D. dissertation, speciality 05.13.06 – the automatized control systems and progressive information technologies. National Aviation University, Kiev, 2005.

The thesis is devoted to the scientific problem of information technologies improved application to the psychophysiological methods of air operators work capacity evaluation. The automatized system for air operators work capacity definition have been elaborated. For the purpose of psychophysiological states determination the registration and computer analysis of ergography parameters is carried out. The

vectorial model of air operators work capacity levels definition and the way of probability methods for a quantitative evaluation of psychophysiological states dynamics are proposed. The methods of a pattern recognition are applied for definition of professional activity influence on air operators work capacity.

Key words: automatized system, air operator, ergography, methods of a pattern recognition.

АННОТАЦИЯ

Ударцева Т.Е. Автоматизированная система определения работоспособности авиационных операторов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – автоматизированные управления и прогрессивные информационные технологии. – Национальный авиационный университет, Киев, 2005.

Реализация концепций Международной организации гражданской авиации (ИКАО) в области человеческого фактора требует совершенствования системы контроля функционального состояния авиационных операторов. Целью диссертационной работы является разработка и внедрение автоматизированной системы определения работоспособности (АС ОР) авиационных операторов.

Функции АС ОР направлены на получение ответа о соответствии психофизиологического состояния испытуемого требованиям профессии авиационного оператора. Для анализа данных разработана векторная модель определения уровней работоспособности, которая позволяет оценивать результаты психофизиологических исследований с учетом функционального состояния, а так же прогнозировать динамику работоспособности авиационных операторов и степень адаптации организма к условиям внешней среды.

Уровень работоспособности оператора согласно векторной модели определяется методом эргографии с применением двух различных нагрузок. Разработаны критерии и алгоритм определения уровней работоспособности.

АС ОР является специализированной системой, которая предназначена для ввода, анализа и хранения данных эргографии. Она включает внешние устройства (пальцевый эргограф, блок задания ритма, блок преобразования сигналов, принтер) и компьютер. Система реализована на ПЭВМ на базе процессора Celeron-600 с платой расширения PCI-1002 L. Программные средства реализованы на языке Borland C++ Builder 5, а также в универсальной математической лаборатории Mat Lab версии 6.5.

Структура АС ОРН включает систему ввода данных, систему предварительной обработки данных, систему принятия решений и базу данных.

Используются две стратегии решения задачи определения уровня работоспособности авиационного оператора: управления целью (задача решается путем классификации эргографических кривых в соответствии с разработанными критериями) и управления данными (задача решается с помощью методов статистического анализа и методов распознавания образов).

Исследователю принадлежит активная роль при проведении эргографии, вводе исходных данных об испытуемом в базу данных, визуальном контроле результатов, выборе методов анализа, выводе результатов на печать. АС ОР может применяться с целью диагностики психофизиологических состояний, индивидуализации программ профессиональной подготовки, изучения влияния профессиональной деятельности на психофизиологическое состояние, ежедневного контроля работоспособности, назначения реабилитационных мероприятий и проверки их эффективности. Анализ результатов обследования с помощью АС ОР значительно повышает диагностическую ценность выводов при одноразовом обследовании, а при многократных обследованиях дает возможность прогнозировать психофизиологические состояния.

Изучение влияния профессиональной деятельности на психофизиологическое состояние членов экипажей воздушных судов с помощью АС ОР проводилось в Украинском государственном учебно-сертификационном центре гражданской авиации. Полученные зависимости между психофизиологическими показателями дают основания для применения бинарных признаков в АС ОР. Для оценки влияния профессиональной деятельности на работоспособность авиационных операторов использовались методы распознавания образов. Для дифференциальной диагностики психофизиологических состояний с помощью метода неоднородного последовательного анализа рассчитаны диагностические коэффициенты и информативность признаков двигательных реакций. Вследствие проведенного процесса обучения при получении новых данных АС ОР относит обследуемого к определенному классу.

Экспериментальные исследования показали возможность проведения массовых обследований с помощью АС ОР при небольших материальных затратах. АС ОР не имеет аналогов в практике авиационной медицины. Разработанный метод диагностики психофизиологических состояний является универсальным и легко адаптируется для других отраслей, в которых имеет значение соответствие психофизиологического состояния индивидуума требованиям профессии.