

На правах рукопису

ГОРБУНОВ Володимир Вікторович

ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
НАДІЙНОСТІ ОПЕРАТОРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

14.00.14. — Гігієна

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора біологічних наук

Київ — 1994 р.

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Інституті медицини праці АМН України.

**Наукові консультанти:**

д. м. н., професор, академік АМН України **О. О. Навакатікян**;  
д. б. н., старший науковий співробітник **Н. В. Макаренко**.

**Офіційні опоненти:**

- 1) доктор медичних наук **В. А. Бузунов**;
- 2) доктор біологічних наук **В. Г. Ткачук**;
- 3) доктор медичних наук **М. М. Середенко**.

**Провідна організація:**

Донецький науковий центр гігієни праці та профілактики травматизму.

Захист відбудеться « 28 » . . . . . 1995 . р. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д. 088.18.01 при Інституті медицини праці АМН України (252033, Київ-33, вул. Саксаганського, 75).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту медицини праці АМН України.

Автореферат розісланий « 23 » . . . . . 1994 . р.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00756190 (S)

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
кандидат медичних наук

Г. І. КОВАЛЬОВА

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. В сучасних умовах виробництва великий резерв підвищення продуктивності праці за рахунок все більш широкого впровадження автоматизованих систем керування в повній мірі може бути реалізований тільки в умовах забезпечення сумісності між людиною- оператором (Л-О) і технічними пристроями, які у своїй сукупності створюють систему "людина-машина" (СЛМ) (Монмолен М., 1973; Мейстер М., 1979).

В зв'язку з цим все більше значення в організації виробничих процесів відіграє людський фактор (ЛФ), котрий містить у собі різні психофізіолологічні особливості людини, які тим чи іншим чином обумовлюють успіх операторської діяльності (ОД) і впливають на ефективність та надійність функціонування СЛМ (Гребняк В. П., 1991; Зараковский Г. М. та ін., 1992).

Особливу актуальність врахування ЛФ набуває при розробці сучасних ергатичних систем "льотчик-літак", тому що "ціна" помилки льотчика у цьому випадку особливо велика (Херст Р. та ін., 1986; Белан А. С., 1988; Токарев В. И., 1992; Leconte P. et al., 1992).

Про це свідчить той факт, що у теперішній час недостатнє врахування ЛФ є причиною виникнення 60-90% льотних пригод (ЛП) внаслідок помилкових дій екіпажу, а з врахуванням помилок технічного персоналу і диспетчерів КІР наближається до 100% (Рудний Н. М. та ін., 1975; Fritsch O., 1984; Shu J. S., 1984). Тому дослідження ролі ЛФ в забезпеченні ефективності ОД є важливим етапом в розробці практичних рекомендацій для психофізіологічної оцінки таких характеристик надійності Л-О, як спроможність з успіхом переробляти зростаючі об'єми зорової інформації

у часовому дефіциті, ступінь тренованості, здатність успішно працювати в аварійній ситуації, професійна придатність до льотної роботи, а також рівень психофізіологічного напруження льотчика під час виконання задач пілотування в умовах моделювання і в реальних польотах.

В кінцевому рахунку здобуті результати будуть сприяти підвищенню надійності та безпеки експлуатації СЛМ в цілому.

Мета та задачі дослідження. Метою цієї роботи було дослідження ролі ЛФ у забезпеченні надійності ОД, пов'язаною з переробкою зорової інформації у керуючі рухові діяння в умовах дефіциту часу.

У межах визначеної мети передбачалося вивчення взаємозв'язків між психофізіологічними показниками (ПФП), характеризуючими функціональний стан працюючої людини, та різними аспектами надійності з тим, щоб, в разі потреби, у подальшому розробити інтегральні критерії для її кількісної оцінки як для Л-О, так і для СЛМ в цілому.

В зв'язку з тим, що надійність Л-О пов'язана з такими характеристиками, як успішність і труднощі праці, ступінь натренованості, профпридатність, особливості вищої нервової діяльності (ВНД), зокрема функціональна рухливість нервових процесів (ФРНП) та працездатність, то для досягнення встановленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити психофізіологічні критерії (ПФК) ефективності переробки зростаючих об'ємів зорової інформації в умовах дефіциту часу в лабораторному експерименті з застосуванням дозованого розумового навантаження;

- визначити ПФК тренованості Л-О переробляти зорові сиг-

нали, які пред"являлися з зростаючою швидкістю, в керуючі діяння в умовах часового дефіциту;

- дослідити взаємозв"язки між психофізіологічними особливостями операторів теплоелектростанції з різною ФРНП та їх спроможністю з успіхом працювати в аварійній ситуації;

- дослідити взаємозв"язки між психофізіологічними особливостями льотчиків-випробувачів і курсантів льотного училища з різною ФРНП та профпридатністю до льотної роботи;

- визначити ПФК труднощів пілотування та надійності функціювання системи "льотчик - літак" як при моделюванні, так і у реальних польотах;

- виявити ПФК працездатності членів екіпажу літака у польотах різної тривалості, з різними режимами праці і відпочинку та розпорядком робочого дня;

- розробити інтегральні кількісні ПФК оцінки різноманітних аспектів поведінки під час ОД та надійності функціювання СЛМ вцілому;

- перевірити адекватність розроблених інтегральних ПФК в умовах реальної ОД.

За методологічну основу вирішення поставлених задач був вибраний системний підхід, суть якого полягає в тому, що організм розглядається як єдина система з врахуванням внутрішніх фізіологічних і зовнішніх зв"язків, характеризуючих активну поведінчеську реакцію у зовнішньому середовищі, спрямовану на досягнення поставленої мети (Анохин П. К., 1975).

На основі положень теорії функціональних систем (Анохин П. К., 1975), загальної теорії систем (Тараканов К. В. та ін., 1967; Холл А., 1975), аксіоматичної теорії (Тарский А., 1948;

Харвей Д., 1974) даних про фізіологічні кореляти психічних процесів (Хомская Е. Д., 1972; Милнер П., 1973; Наенко Н. И., 1976; Русалова М. Н., 1979 та ін.) та принципу активного оператора в СЛМ (Завалова Н. Д. та ін., 1977) був розроблений загальний теоретичний підхід до кількісної оцінки впливу ЛФ на надійність ОД в умовах дефіциту часу, а також до оцінки ефективності функціонування СЛМ в цілому.

Розроблені теоретичні положення аксіоматичної концепції системного підходу до проблеми оцінки надійності ОД дозволили кількісно описати особливості робочої поведінки Л-О і функціонування СЛМ з врахуванням впливу ЛФ і прогнозувати можливість виникнення аварійної ситуації внаслідок помилок Л-О.

Новизна отриманих результатів. Одержані нові порівняльні дані про взаємозв'язки між окремими ПКП, інтегральними ПФК та величиною інформаційного навантаження, надійністю, ефективністю переробки зорових сигналів у керуючі діяння; про особливості змін окремих ПКП і інтегральних ПФК характеристик поведінки операторів з різною профпридатністю і рівнем ФРНП при переробці зростаючих об'ємів зорової інформації в умовах дефіциту часу і про їх зв'язки з надійністю ОД; про ПФК тренованості Л-О виконувати завдання тринарного вибору зорових сигналів у часовому дефіциті; про взаємозв'язки між окремими ПКП, інтегральними ПФК, характеризуючими поведінку льотчика, та надійністю, ефективністю пілотування, як при моделюванні, так і в реальних польотах на різних типах літаків "АН"; про зміни окремих ПФП та ПФК функціонування організму льотчика при пілотуванні різних типів літаків "АН" у довгочасних польотах з різними режимами праці і відпочинку та при різному розпорядку робочого дня; роз-

роблений системний підхід на основі принципів аксіоматичної теорії до кількісної оцінки труднощів та надійності ОД і функціонування СЛМ в цілому; визначені математичні залежності між величиною психофізіологічних зусиль людини, витрачених на виконання розумового завдання, та складністю інформаційного навантаження, пропускну здатністю Л-О, імовірністю безпомилкової роботи, що дозволило аналітичним шляхом прогнозувати надійність ОД льотчика та системи "льотчик-літак" в цілому; створено методичне та програмне забезпечення автоматизованої реєстрації в реальному польоті та послідувачої наземної обробки за допомогою ЕОМ показників серцевого ритму льотчика під час пілотування.

Важливим результатом проведеного дослідження є підтвердження практичної інформації про професійні особливості Л-О та про досліджені види ОД, в тому числі і по пілотуванню літака, адекватності розроблених інтегральних ПФК, дозволивших кількісно описати особливості робочої поведінки Л-О (льотчика), і, таким чином, більш точно визначити фактори, знижуючи надійність СЛМ в цілому і безпеку функціонування системи "льотчик-літак" зокрема.

Практичне значення роботи. Розроблені ПФК були застосовані при створенні автоматизованої підсистеми ергономічного забезпечення льотних випробувань для оцінки труднощів пілотування при виконанні різних польотних завдань на дослідницькому пілотажному стенді (ДПС) літаків "АН-72" та "АН-124" у процесі підготовки льотчика до першого вильоту (ІПС самолета "АН-72"... , 1978; ІПС самолета "АН-124"... , 1982), а в подальшому на етапі льотних випробувань і для оцінки ергономічних умов праці екіпажу, а також імовірності льотної пригоди внаслідок ЛФ відпов-

ідних літаків при польотах у різних умовах експлуатації (Самолет "АН-124"... , 1984, 1984, 1985; Самолет "АН-72П... , 1987).

Положення, які вносяться на захист. Такі аспекти проявлення людського фактору, як особливості вищої нервової діяльності, кваліфікація, ступінь тренуваності, здібність до льотної роботи, функціональний стан Л-О, труднощі та складність розумового завдання знаходять своє відображення у змінах окремих фізіологічних показників та пов'язані з різними характеристиками надійності операторської діяльності як при переробці зростаючих об'ємів зорової інформації у керуванні літанням, так і при роботі у аварійній ситуації чи при пілотуванні літака.

Інтегральні ПФК, розроблені на основі аксіоматичної концепції системного підходу до кількісної оцінки надійності Л-О, порівняно з окремими фізіологічними показниками, більш однозначно визначають різноманітні характеристики операторської діяльності, пов'язані з надійністю роботи, і мають більш дозвільну властивість порівняно з окремими фізіологічними показниками та суб'єктивною думкою Л-О.

Застосування розроблених ПФК для оцінки різноманітних характеристик надійності Л-О, як при моделюванні операторської діяльності по переробці зростаючих об'ємів зорової інформації та процесу пілотування, так і в реальних польотах літаків, дозволяє кількісно оцінити психофізіологічні аспекти поведінки оператора з різними індивідуальними особливостями та професійними здібностями успішно діяти в стресовій ситуації, пов'язаною з дефіцитом часу, визначити ступінь тренуваності, труднощі та надійність роботи, здійснити кількісний прогноз для людини її інформаційних можливостей, оптимального розумового навантаження

та прийнятної складності операторського завдання, а також імовірності аварійної ситуації внаслідок помилок Л-О та ефективність функціонування СЛМ вцілому.

Апробація роботи. Згідно матеріалам дисертації було зроблено 12 доповідей на Всесоюзних та Республіканських з'їздах та конференціях. По темі дисертації опубліковано 26 наукових праць, серед яких 11 статей і 12 тезисів доповідей, 1 авторське свідоцтво та 2 рацпропозиції.

Матеріали дисертації доповідалися на: 1-у Всесоюзному симпозиумі "Психофизиологические основы профессионального отбора". - К., 1973; Всесоюзному симпозиумі "Информационное значение биоэлектрических потенциалов головного мозга". - К., 1974; Всесоюзній конференції "Эргономика в современном производстве". - Харьков, 1976; 10-у з'їзді Українського фізіологічного товариства. - Одеса, 1977; Всесоюзній науково-практичній конференції по безпеці польотів "Оптимизация процессов функционирования авиационных транспортных систем". - Л., 1979; Республіканській науковій конференції "Физиологические механизмы физической и умственной работоспособности при спортивной и трудовой деятельности". - Львов, 1981; 1-й Всесоюзній конференції по безпеці польотів "Предотвращение авиационных происшествий в гражданской авиации". - Л., 1982; Всесоюзній конференції "Актуальные проблемы профилактики травматизма при дорожно-транспортных происшествиях". - Горький, 1984; Всесоюзній науково-технічній конференції по бортовим інформаційно-замірковальним системам для льотних випробувань авіаційної техніки (ИИС-87). - Щелково, 1987; Всесоюзній науково-практичній конференції "Безопасность полетов и человеческий фактор в авиации". - 1991.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, огляду літератури, опису методики та об'єкту дослідження, результатів власних експериментів, їх обговорення, висновків, списку використаної літератури і додатку.

Дисертація викладена на 341 сторінці машинопису, включаючих 228 сторінок тексту, 31 малюнок та 53 таблиці, 28 сторінок бібліографії, яка містить 247 найменувань вітчизняних та 45 іноземних джерел.

### ЗМІСТ РОБОТИ

Методичною основою експериментального підходу до дослідження ОД є принцип системності при вивченні взаємовідношень між працюючою людиною і технічними пристроями в процесі їх експлуатації (Ломов Б. В., 1977; Шадриков В. Д., 1980; Зараковский Г. М. та ін., 1987).

Веручи загалом, було обстежено 221 чоловік віком від 19 до 45 років. Контингент піддослідних вміщував в собі льотчиків-випробувачів (Л-В), штурманів-випробувачів (Ш-В), курсантів льотного училища (КЛУ), операторів щитів керування теплоселектростанцією (ОТЕС) та студентів, які приймали участь у лабораторному, полунатурному та натурному експериментах.

### МЕТОДИКА ТА ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

В лабораторному експерименті приймало участь 196 чоловік в тому числі 53 студента, 32 ОТЕС, 104 КЛУ, 7 Л-В.

Моделювання ОД по переробці зростаючих об'ємів зорової інформації в умовах дефіциту часу проводилося за допомогою прилада ППЧ-2 (Трошихин В. А. та ін., 1970) згідно раніше опублікованій методиці (Макаренко Н. В. та ін., 1975; Трошихин В. А.,

1978). Піддослідний виконував завдання тринарного вибору зорових сигналів (слів), які пред"являлися йому на протязі 30 с. з перервами 40-60 с. після кожної із швидкостей (V) у діапазоні 30-160 сигн./хвил. За критерій ефективності роботи був прийнятий 5% рівень помилкових реакцій від загальної кількості пред"явлених сигналів (Хильченко А. Е., 1958).

У всіх учасників експерименту визначався рівень ФРНП (низький, середній, нижче середнього, високий), який відповідав найбільшій частоті пред"явлення зорових сигналів, коли піддослідний успішно виконував розумове завдання (Макаренко Н. В. та ін., 1978).

У піддослідних (студентів з середньою ФРНП, ОТЕС з різними ФРНП та рівнем кваліфікації (РК-високий-низький) - спроможністю успішно діяти в аварійній ситуації, КЛУ з різними ФРНП та здібністю до льотної роботи - успішністю з льотної підготовки, Л-В під час виконання завдання на кожній з пред"явлених швидкостей реєструвалися рухові реакції-відповіді на пред"явлені сигнали, електроміограму (ЕМГ) м'язів *m. extensor carpi radialis brevis* лівої руки, ЕКГ, пневмограму (ПГ), електроенцефалограму (ЕЕГ) у відведенні С4-О5 (Дзрег Н. Н., 1956), послідовність пред"явлених зорових сигналів, а також суб"єктивна думка піддослідного про відношення до завдання (намага-ся- не намагався), про важкість роботи (важко- легко), про успішність виконання завдання (успішно-неуспішно) (Горбунов В. В. та ін., 1978).

Реєстрація проводилася за допомогою електроенцефалографічного комплексу "ОРИОН", самописця УСЧ-8 та телеметричної системи "СПОРТ".

Для кількісної оцінки зареєстрованих показників підрахову-

валося к-ть помилок (Пом), імовірність безпомилкової роботи (Рбп), к-ть натискувань-відповідей (Рух), ЧСС, тривалість та її розкид (CV) R-R інтервалів ЕКГ, частота дихання (ЧД), інтегральні амплітудні характеристики ЕМГ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\theta$ - $\delta$  ритми ЕЕГ, пропускна спроможність (Сп) Л-О (Цимбал В. П., 1973), тривалість (ЛП) та варіабільність (CVлп) латентних періодів рухових реакцій-відповідей.

У напівнатурному експерименті на ДПС приймало участь 10 Л-В. На ДПСі за допомогою ЕОМ проводилося моделювання просторового руху літака при різних відказах систем, рівнях автоматизації, особливостями роботи систем та обладнання, при різних умовах.

Кабіни ДПСу були обладнані згідно кабінам відповідних реальних літаків. Зміни умов польоту здійснювалися з пульта керування, що знаходився у кабіні ДПСу.

За допомогою електроенцефалографічного комплексу "ОРИОН" у льотчика під час виконання польотного завдання реєструвалися ЕЕГ у відведенні С4-О2, ЕМГ, ЕКГ, ПГ, переміщення штурвалу, точність пілотування (Горбунов В. В. та ін., 1978; ИПС самолета "АН-72"..., 1978; Горбунов В. В. та ін., 1983; ИПС самолета "АН-124"..., 1982).

На основі суб'єктивних оцінок льотчика рівнів ергономічного (ЕрК) комфорту, а також психофізіологічного навантаження по шкалі Харпера-Купера (Cooper G. E., 1957) обчислювалися часткова та загальна функції бажаності Харінгтона (Адлер Ю. П. та ін., 1976) для кожної з цих характеристик.

На ДПСі- 72 здійснили 90 заходжень на посадку як з так і без відмов систем літака. На тлі виконання заходжень без відмов

обладнання здійснювалося моделювання 8-ми відказних ситуацій.

На ДПСі-124 здійснили 70 польотів, під час яких було досліджено 29 різноманітних польотних ситуацій на різних етапах польоту у безвідказних, відказних та складних умовах пілотування.

В натурному експерименті по ергономічній оцінці умов праці екіпажу на літаках "АН-22", "АН-72", "АН-124" приймало участь 12 Л-В та 3 Ш-В.

На літаку "АН-22" виконано 34 польоти по дослідженню 9-и різних польотних ситуацій у простих метеоумовах (ПМУ), в різні часи доби (до 9-и, до 17-и та після 17 годин дня), різної тривалості (менш та більш 4-х годин польоту), з довільним та упорядкованим режимами праці та відпочинку в польоті, без та з реальним відказом одного двигуна на льоті.

На літаку "АН-72" досліджено 12 різних польотних ситуацій у 8-и комплексних польотах в ПМУ в день тривалістю до 4 -х годин на протязі звичайного робочого дня.

На літаку "АН-124" у 21-у польоті у ПМУ та складних метео-умовах (СМУ), тривалістю до 4-х та більш 4-х годин пілотування в денний та нічний час при різному баченні зльотно-посадочної смуги (ЗПС), з довільним та упорядкованим режимами праці та відпочинку в довгочасному польоті, без відказів та при моделюванні відмов деякого обладнання, в ручному та автоматичному режимах керування досліджено 21 польотна ситуація.

Під час виконання польотного завдання у членів екіпажу реєстрували ЕКГ, показник рівня уваги, суб'єктивні оцінки втоми, працездатності та робочого навантаження.

Запис ЕКГ в польоті здійснювався за допомогою бортового

медично-біологічного комплексу (Горбунов В. В. та ін., 1985).

Електроди фіксувалися на тілі оператора згідно відведенню D--S (Fresman A. N. et al, 1960) з використанням спец. поясу.

Суб"єктивна оцінка різних характеристик ОД здійснювалася за методом опитування членів екіпажу з застосуванням анкет, запитальників та спеціальних таблиць (Антропова М. В., 1967; Бешелев С. Д. та ін., 1974; Евланов Л. Г. та ін., 1978; Отчет по НИР, 1982).

Весь експериментальний матеріал обчислювався на ЕЦОМ методами математичної статистики (Линник Ю. В., 1962; Урбах В. Ю., 1963; Вольшев Л. Н. та ін., 1965; Гласс Дж. та ін., 1976)

#### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Розділ 1. Дослідження психофізіологічних корелятивів різноманітних характеристик надійності ОД по переробці зорової інформації у керуючі дії (лабораторний, напівнатурний та натурний експерименти).

Під час пошуку фізіологічних корелятивів надійності виконання розумового завдання в лабораторному експерименті по моделюванню ОД по переробці зростаючих об"ємів зорової інформації в умовах дефіциту часу в дослідженій групі студентів в середнім рівнем ФРНП виявлено, що при умові виконання завдання з заданою ефективністю з помилками краще всього корелювали ЧСС ( $R=0.86$ ), ЕМГ ( $R=0.84$ ),  $\beta$  ( $R=0.77$ ) та  $\delta$  ( $R=0.8$ ) ритми ЕЕГ. Ступінь їх взаємозв"язку з Рбі була такою ж, але зворотнопропорційною.

При неефективній переробці зростаючих об"ємів зорової інф-

ормації помилки виявили високі від'ємні кореляції з ЧСС ( $R=-0.8$ ), ЕМГ ( $R=-0.80$ ) та ЧД ( $R=-0.6$ ) та низькі - з ЕЕГ. Для Рбп ці кореляції були позитивними.

Підвищення складності розумового завдання більш чітко відбивалося в змінах окремих фізіологічних показників під час ефективної ( $R_{чсс}=0.96$ ;  $R_{чд}=0.94$ ;  $R_{емг}=0.95$ ;  $R_{рб}=0.67$ ;  $R_{\alpha}=0.52$ ;  $R_{\theta}=0.53$ ;  $R_{\delta}=0.8$ ), ніж під час неефективної роботи ( $R_{чсс}=-0.7$ ;  $R_{чд}=-0.6$ ;  $R_{емг}=-0.2$ ;  $R_{рб}=0.1$ ;  $R_{\alpha}=0.34$ ;  $R_{\theta}=-0.2$ ;  $R_{\delta}=0.09$ ).

Взагалі, чим надійніше робота, тим нижче значення фізіологічних показників, та тісніші їх взаємозв'язки з параметрами інформаційного навантаження.

Ускладнення розумового завдання супроводжувалося інтенсифікацією фізіологічних функцій.

Дослідження психофізіологічних корелятив натренованості Д-О показало, що при послідовних тренуваннях спостерігалися тенденції до зменшення ЧСС, CV, відповідно  $R_{чсс}=-0.70$  і  $R_{cv}=-0.58$ , та до зростання успіху роботи ( $R_{ош}=-0.83$ ,  $R_{рбп}=0.83$ ,  $R_{сп}=0.73$ ).

Чим вища Сп, тим менша ЧСС ( $R=-0.57$ ), CV ( $R=-0.61$ ) та Пом ( $R=-0.98$ ) і більша Рбп ( $R=0.97$ ). Кількість помилок пропорційна CV ( $R=0.62$ ). При цьому, від тренування до тренування слабшав лінійний зв'язок між V та ЧСС, Пом. Ступінь взаємозв'язків Сп при цьому змінювався незначно. Найменший коефіцієнт кореляції між ЧСС та V, Сп відмічений при 5-у тренуванні ( $R_v=0.54$ ,  $R_{сп}=0.58$ ). Третє тренування характеризувалося тісним лінійним зв'язком між цими показниками ( $R_v=0.92$ ,  $R_{сп}=0.91$ ).

У процесі кожного тренування ускладнення розумового завдання (від 30 до 100 сигн./хвил.) супроводжувалося тенденцією до

підвищення ЧСС, різнонаправленими змінами CV та підвищенням Пом та Сп.

При дослідженні ступеня відображення таких індивідуальних характеристик надійності Л-О, як властивості ВНД та рівень кваліфікації (РК) в особливостях змін його функціонального стану при моделюванні часового стресу було досліджено чотири групи ОТЕС з різними РК та ФРНП.

Не виявлено вірогідного кореляційного зв'язку між рівнями ФРНП та РК ( $R=-0.15$ ).

При успішній роботі значення ЧСС були тим вищі, чим вище рівень ФРНП, а для CV, навпаки.

У діапазоні швидкостей, де завдання не виконувалося ефективно, у групі з більшою ФРНП була відмічена і більша ЧСС. Величина CV не виявила односпрямованих змін. Незалежно від рівня ФРНП у операторів з високим РК, порівняно з низьким, підвищення інформаційного навантаження, а також зниження успіху роботи супроводжувалося більш виразною тенденцією до підвищення ЧСС та CV, як при ефективній, так і при неефективній переробці зростаючих об'ємів зорової інформації. Цей характер залежностей мав місце у більшості випадків і у груп операторів з більш високою ФРНП без врахування РК.

При дослідженні взаємозв'язків між психофізіологічними показниками та спроможністю до льотної діяльності було встановлено, що при врахуванні спроможності до льотної роботи серед курсантів, закінчивших училище, не виявлено однозначної залежності між рівнем ФРНП та ЛП. В той же час у звільнених курсантів для цих показників мала місце зворотня залежність. Величина CV у курсантів з однаковою профпридатністю, як правило, була тим

більше, чим нижче ФРНП

У межах однієї групи, як правило, рухові відповіді курсантів, закінчивших училище, були більш швидкі, ніж у звільнених.

При успішній роботі більш тісні зворотні взаємозв'язки між показниками ефективності виконання завдання, тривалістю ЛП та швидкістю пред'явлення зорової інформації відмічені у курсантів, закінчивших училище. При цьому зниження ефективності роботи супроводжувалося зростанням CV. Між ЛП та CV спостерігався від'ємний кореляційний зв'язок.

У всіх звільнених курсантів мала місце тенденція до підвищення CV при зростанні к-ті помилок, а також зменшення ЛП та, в більшості випадків, зріст CV при підвищенні інформаційного навантаження.

При неефективній роботі виконання завдання, незалежно від ФРНП та профпридатності курсантів, підвищення інформаційного навантаження приводило до зниження ефективності роботи та супроводжувалося зменшенням тривалості ЛП та збільшенням її CV.

Досліджені Л-В характеризувалися високою ФРНП

Відмічено, що особливості взаємозв'язків між величиною інформаційного навантаження та показниками успіху роботи у курсантів з високою ФРНП, закінчивших училище, порівняно зі звільненими, більш відповідали Л-В. Так само це мало місце для ЧСС та зворотньої величини ЛП при зниженні ефективності та надійності роботи у діалогі швидкостей, де завдання виконувалося з успіхом. В процесі підвищення швидкості пред'явлення зорових сигналів характер змін ЧСС та величини зворотньої ЛП, CV R-R інтервалів ЕКГ та ЛП курсантів з високою ФРНП та Л-В також однотипний.

При дослідженні змін фізіологічних показників льотчика у напівнатурному експерименті по моделюванню заходження на посадку на ДПСі літака "АН-72" виявлено, що пілотування без відказів характеризувалося найменшою ЧСС, однак значення ЕМГ, ЧД,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\theta$ ,  $d$  ритмів ЕЕГ при цьому перебільшували деякі гідкази. Серед фізіологічних показників, зареєстрованих при відмові двигуна, тільки ЧСС мала найбільше значення порівняно з іншими ситуаціями.

Інтенсивність керуючих дій штурвалом корелювала з ЧСС та ЕМГ. При цьому, серед складових ЕЕГ найбільш тісні взаємозв'язки відмічені тільки для  $d$ - ритму.

Вільш ефективно пілотування супроводжувалося тенденцією до зниження ЧСС, ЕМГ, Рух, а показники ЕЕГ не виявили однонаправлених взаємозв'язків.

При моделюванні на ДПСі літака "АН-124" значення вегетативних показників помітно зростали в міру ускладнення завдання - від нормального зльоту до зльоту з відмовою двох двигунів. При цьому, найбільші відміни мали місце для ЧСС, а найменші - для ЧД. В той же час по частотно-амплітудним складовим ЕЕГ ці різноманітності виражені значно слабкіше.

При порівнянні між собою польотних ситуацій з різноманітними техніко-експлуатаційними характеристиками виявлено, що чим ефективніше пілотування, тим вище рівень ЕрК та нижче ЧСС, CV. У той же час, чим вище суб'єктивна оцінка психофізіологічного напруження, тим вище  $\alpha$ ,  $d$  та нижче  $\beta$  активності ЕЕГ, вище ЧСС та ЧД, нижче ЕМГ. Чим частіше льотчик контролював параметри польоту та чим значніше його робоче навантаження, тим вище ЧСС та CV ( $R_{чсс}=0.94$ ,  $R_{cv}=0.90$ ).

В натурому експерименті при оцінці функціонального стану командира екіпажу (КЕ) при пілотуванні літака "АН-22" на різних етапах польоту встановлено, що найбільша активація серцевої діяльності мала місце під час заходження на посадку, а найменша - у горизонтальному польоті. Чим вище рівень його робочого навантаження, тим вище показники серцевого ритму ( $R_{\text{ЧСС}}=0.94$ ,  $R_{\text{CV}}=0.90$ ). Кореляційний аналіз виявив прямопропорційну залежність між рівнем робочого навантаження льотчика та ЧСС, CV, ( $R_{\text{ЧСС}}=0.83$ ,  $R_{\text{CV}}=0.65$ ) у процесі пілотування.

Такі ж закономірності мали місце також і при дослідженні змін ЧСС, CV та робочого навантаження у одного з КЕ у конкретному польоті зі справжнім відказом двигуна на зльоті.

Дослідження функціонального стану КЕ у різні години робочого дня показало, що при однаково високій (по суб'єктивній оцінці льотчика) працездатності, як правило, найбільша активація серцевої діяльності та найкращий рівень уваги (найбільша к-ть переглянутих знаків та найменша к-ть помилок при цьому) спостерігалися у польоті до 9-и годин дня, а найменш сприятливим (по цим показникам) був час після 17 годин дня.

При оцінці функціонального стану КЕ у польотах різної тривалості встановлено, що у гор. польоті тривалістю до 4-х годин відмічені менші значення ЧСС та CV, кращий рівень уваги (більша к-ть переглянутих знаків), а при заходженні на посадку - більш низькі показники серцевого ритму. При спокої після польоту тривалістю до 4-х годин зареєстровані більша к-ть знаків, менша ЧСС та більший CV порівняно зі спокоєм після польоту тривалістю більш 4-х годин.

При упорядкованому режимі праці та відпочинку КЕ тривал-

ість польоту у меншій мірі супроводжувалася зменшенням к-ті знаків, зниженням працездатності, порівняно з довільним режимом. При цьому, спостерігалися чітке зниження робочого навантаження та більш виразна тенденція до зниження CV. Робоче навантаження слабо пов'язано з ЧСС та пропорційно CV. Тривалість відпочинку не виявила чіткого взаємозв'язку з ЧСС та CV.

Згідно усередненим даним за весь час польоту встановлено, що при упорядкованому режимі порівняно з довільним, к-ть переглянутих знаків - більша, к-ть помилок розрізнялася незначно, працездатність була трохи вища, рівень робочого навантаження та тривалість відпочинку - однакові, а ЧСС та CV - нижчі.

При виконанні типових етапів польоту на літаку "АН-72" ЧСС KE зменшувалася у напрямку від зльоту до зниження до висоти кола. Згідно величині CV ці етапи польоту розташувалися в іншій послідовності: від заходження на посадку до набору висоти. Серед двох типів пошукового польоту метод розширювального квадрату порівняно з методом галсирування характеризувався меншими ЧСС та CV. Введення відказу інтерцепторів, що супроводжувалося рівним зменшенням висоти польоту, трусінням літака та виникненням у льотчика неприємних відчуттів, хоч і мало найбільшу ЧСС, однак CV, при цьому був порівняно невисоким.

Дослідження функціонального стану KE при виконанні різноманітних польотних завдань на літаку "АН-124" показало, що найбільша ЧСС зареєстрована при автоматичному заходженні на посадку, а найменша у гор. польоті в ПМУ. Згідно варіабільності R-R інтервалів ЕКГ мало місце її зменшення у напрямку від пробігу на посадці до зарулювання на стоянку після польоту.

При порівнянні функціонального стану KE та помічника кома-

ндир (ПК), робоча діяльність яких відрізнялась як по рівню робочого навантаження, так і по ступеню відповідальності за безпеку польоту, встановлено, що у КЕ показники серцевого ритму помітно вищі, ніж у ПК на всіх етапах польоту. Найбільша різниця по величині ЧСС та CV відмічена у них при розбігу на зльоті, а найменша - перед польотом.

Результати дослідження особливостей серцевого ритму льотчика у процесі відпрацювання (тренування) методики заходження на посадку при різних умовах бачення ЗПС, а також при заході на 2-й круг не виявили чітких зв'язків між к-тю повторень та показниками серцевого ритму льотчика. Найбільші та найменші значення ЧСС та CV мали місце як напочатку, так і в середині чи наприкінці відпрацювання завдання.

При дослідженні серцевої діяльності льотчика у тривалому польоті з різноманітним режимом праці та відпочинку було показано, що згідно середнім значенням у КЕ при упорядкованому режимі ЧСС була нижче, а CV вище, ніж при довільному режимі.

### ЗАКЛЮЧЕННЯ

Результати проведених експериментів свідчать про неоднозначну характеристику різних аспектів надійності Л-О за допомогою окремих фізіологічних показників, що ускладнює їх кількісну оцінку та можливість визначення та прогнозування стресового стану людини, який сприяє неефективній роботі. Цей факт пояснюється з позицій теорії функціональних систем (Анохин П. К., 1975) тим, що ступінь участі фізіологічних систем у здійсненні поведінки досить різна, тому, що кожна з них пов'язана, як правило, тільки з окремовизначеними поведінчеськими аспектами

та активується специфічними зовнішніми подразниками. Тому, щоб усунути цю неоднозначність, необхідно проводити узагальнену оцінку функціонального стану людини з врахуванням тих систем організму, які відображають найбільш загальні аспекти будь якого поведінчеського акту. Створення таких інтегральних критеріїв потребує розробки концепції системного підходу на базі принципів побудування аксіоматичної теорії.

## Розділ 2. Аксіоматична концепція системного підходу до психофізіологічної кількосної оцінки надійності Л-О (теоретична частина).

Для усунення зв'язованих під час досліджень неоднозначностей взаємозв'язків між окремими фізіологічними показниками та характеристиками надійності Л-О була розроблена аксіоматична концепція системного підходу до комплексної психофізіологічної оцінки з позицій ЛФ надійності ОД.

В основу цієї концепції покладено ряд визначень та положень, характеризуючих взаємозв'язки між цими показниками, згідно принципам аксіоматичної теорії (Тарский А., 1948; Харвей Д., 1974), теорії функціональних систем (Анохін П.К., 1975) та загальної теорії систем (Тараканов К.В. та ін., 1967; Холл А., 1975).

Концепція базується на ствердженні, що ОД є рівноманітністю поведінки людини, і, таким чином, може описуватися такими його характеристиками, як біологічний стан організму, емоційний та мотиваційний аспекти поведінки. Численні дані свідчать про відображення цих особливостей поведінки у змінах окремовизначених фізіологічних показників.

Іх кількісний опис проводився за допомогою часткової якості системи, характеризуючої можливості підсистеми, та функціональної якості, яка визначає "чутливість" підсистеми нижчого по ієрархії рівня до керуючого впливу підсистеми вищого рівня (Тараканов К. В. та ін., 1967).

Таким чином, надійність діяльності Л-О, як різноманітності поведінки, є функцією змін її стану і буде тим вища, чим менше активізовані фізіологічні системи, які забезпечують життєдіяльність організму, процес здійснювання та ступінь досягнення мети поведінки при умові, що ця активація відповідає оптимальному рівню, який дозволяє успішно здійснювати необхідні дії.

Згідно положень про роль фізіологічних систем у здійсненні поведінчеського акту та у забезпеченні надійності ОД було сформульовано ряд стверджень, основними з яких є наступні:

- будь яка поведінка може бути визначена за допомогою фізіологічних систем, які забезпечують: життєдіяльність організму (біологічна активність - БА), поведінчеську реакцію на недосягнення мети (емоційний аспект поведінки - Ем), здійснення дій для досягнення мети (мотиваційний аспект - Мо), а також показників, характеризуючих кінцевий результат цілеспрямованих дій та кінцевий результат поведінчеського акту в цілому;

- імовірність досягнення мети (надійність) поведінки, при інших рівних умовах, буде тим більша, чим менший рівень фізіологічної мобілізації ресурсів організму (ФМ), яка являється функцією складових частин поведінчеського акту (БА, Ем, Мо);

- ОД є різноманітною поведінкою Л-О і може бути оцінена за допомогою відповідних показників.

На основі вищезгаданих положень був сформований інтегральний критерій функціонального стану Л-О - рівень ФМ, який дозволив кількісно визначити ступінь адаптаційних можливостей організму до зовнішніх умов згідно шкалі Баєвського Р. М. з співавт. (1986): норма - величина ФМ до -50, функціональне напруження - ФМ від -50 до 0, перенапруження - ФМ від 0 до +50, виснаження - ФМ від +50 до +100, а також узагальнений критерій функціонування СЛМ з врахуванням ЛФ - експлуатаційний стан системи "людина-машина" (ЕкС).

### ЗАКЛЮЧЕННЯ

Для логічного об'єднання на основі принципів аксіоматичної теорії в межах системного підходу різноманітних фізіологічних показників організму Л-О та результатів його поведінки, характеризуючих надійність ОД, були сформульовані поняття та ствердження, які описують досліджуване явище. Вони охоплюють функціональний стан людини, особливості його поведінки, результати діяльності та стан системи СЛМ в цілому.

Розроблені теоретичні положення концепції системного підходу до проблеми оцінки ОД дозволять пояснити деякі поведінчеські особливості людей з різними індивідуальними характеристиками надійності у процесі роботи, визначити прийнятні рівні труднощів та ефективності праці, кількісно описати ОД та функціонування СЛМ з врахуванням впливу ЛФ, а також прогнозувати інформаційні можливості людини, імовірність аварійної ситуації внаслідок помилок Л-О та ефективність функціонування СЛМ в цілому.

Розділ 3. Психофізіологічні критерії надійності Л-О з позицій аксіоматичної концепції системного підходу (практична частина).

Лабораторний експеримент. В зв'язку з тим, що одержані експериментальні матеріали свідчать про неоднозначність характеристики надійності Л-О за допомогою окремих психофізіологічних показників була вжита спроба провести її оцінку в межах аксіоматичної концепції системного підходу з метою перевірки адекватності розроблених інтегральних поведінчеських критеріїв.

За допомогою цих критеріїв було встановлено, що при ефективній переробці зростаючих об'ємів зорової інформації рівні Ем, Мо та ФМ характеризувалися тенденцією до зростання в зв'язку з підвищенням інформаційного навантаження, а при неефективній роботі - до зменшення.

Такі ж закономірності мали місце і при зростанні к-ті помилок.

Під час успішного виконання завдання зростання Рбп супроводжувалося зниженням рівня фізіологічної мобілізації за рахунок зменшення від'ємного емоційного та позитивного мотиваційного аспектів поведінки. У той же час, при неефективній роботі спостерігалася зворотня залежність.

Були побудовані регресійні моделі 1-го порядку залежностей між ФМ, V, Рбп, Сп.

За допомогою цих рівнянь було визначено, що при ефективній роботі експериментальні значення ФМ та Сп були вищі, або незначно нижчі розрахованих, а при неефективній - відмічений значно більш низький їх рівень.

Підраховували максимально можливий рівень ФМ (МФМ) підосл-

ідних, при яких забезпечувалося успішне ( $R_{6p}=0.95$ ) виконання розумового завдання.

В результаті визначили, що МТМ складає 86.7% ресурсів організму, а 13.3%, що залишилися, мабуть необхідні для підтримки його життєдіяльності. При цьому піддослідні в середньому ФРНП змогли б успішно переробляти зорову інформацію, яка пред'являється зі швидкістю не вище 105.6 сигн./хвил., а пропускна спроможність Л-О при цьому складала б не більш 2.21 біт/с.

Зміни Сп безпосередньо підтвердили цей висновок, тому що саме при навантаженнях 100-110 сигн./хвил. її величина була тільки трохи менша порівняно з більш високими швидкостями.

Крім, того визначили, що максимальна надійність Л-О при переробці зростаючих об'ємів зорової інформації в умовах дефіциту часу буде забезпечена тільки у тому випадку, якщо ФМ не перевершує 10% ресурсів організму.

Взагалі, робота при всіх інформаційних навантаженнях супроводжувалася (по рівню ФМ) згідно шкалі напруження Баєвського Р.М. з співавт. (1986) "значними витратами енергетичних, метаболістичних ресурсів", а в ряді випадків "адапційні можливості організму були недостатніми для врівноваження з інформаційним середовищем".

На основі теоретичного аналізу взаємозв'язків між визначеними аспектами поведінки при успішній роботі було виділено два типи операторів ("симпатотоніки" та "парасимпатотоніки", що відрізнялися між собою особливостями поведінчих реакцій у стресовій ситуації.

Перший тип характеризувався низькими фізіологічними витратами організму на підтримку своєї життєдіяльності ( $BA=0$ ), що

допускало йому успішно переробляти зростаючі об'єми ворової інформації в умовах дефіциту часу при наявності як позитивного, так і від'ємного емоційного та мотиваційного стану.

Підтримка життєдіяльності організму у операторів другого типу вимагала великих витрат (БА=+1), а надійність забезпечувалася лише у тому випадку, коли мали місце тільки позитивний емоційний та від'ємний мотиваційний аспекти поведінки. При цьому, у середньому, рівень позитивної емоційності у них був вищий, ніж у перших.

Цей висновок підтверджується загальнозвісними фактами про більш надійну роботу емоційно-стійких операторів в аварійних ситуаціях (Димерський В. А. та ін., 1969; Хаккер В., 1985; Белан А. С., 1987; Feggetter F. J., 1982).

Мабуть оператори першого типу можуть успішно працювати при будь-яких психічних станах (емоційних та мотиваційних), викликаних невизначенністю виробничих умов, особливо в аварійних, нестандартних, рідко зустрічаючихся, взагалі, незнайомих або недостатньо відпрацьованих ситуаціях. В той час, як другий тип операторів доцільно застосовувати для монотонної праці предреченого характеру.

Експериментальні дані ряду авторів (Зингерман В. М., 1972; Ахутин та ін., 1977) не суперечать цьому висновку.

Згідно інтегральним критеріям, які усереднені в усьому діапазоні інформаційних навантажень, на протязі тренування спостерігалось погіршення умов життєдіяльності організму, зростання від'ємного емоційного та позитивного мотиваційного аспектів поведінки. Одночасно мало місце підвищення фізіологічних витрат та незначні зміни експлуатаційного стану та нереалізованих

можливостей системи. При цьому, згідно шкалі функціонального стану людини по Навакатикяну А. О. (1984) спостерігалось одночасне перенапруження організму, найбільш виражене в момент зміцнення навички.

Після придбання навички по переробці зростаючих об'ємів зорової інформації у дефіциті часу мало місце різке покращення умов життєдіяльності, зростання позитивного емоційного та від'ємного мотиваційного аспектів поведінки, значне зниження рівня фізіологічних витрат, стрімке покращення експлуатаційного стану та зниження нереалізованих можливостей системи (НСС).

Ці особливості поведінки підтверджуються роботами ряду авторів (Ломов В. В., 1966; Сафонов В. К., 1979), які показали, що в міру тренування мала місце тенденція до зростання фізіологічних резервів організму в зв'язку з придбанням навички роботи.

При оцінці стану Л-О у межах розробленої концепції з точки зору напруження регуляторних систем організму (Баєвський Р. М. та ін., 1986) початковий етап тренування характеризувався перенапруженням регуляторних систем, момент зміцнення навички - початковою стадією виснаження, а послідовні етапи - незначним перенапруженням та функціональним напруженням. Згідно цієї шкали при подальшому тренуванні можливо було б очікувати зниження напруження організму до "норми". Тому за допомогою розроблених критеріїв визначили, що це може бути досягнуто, насамперед, за рахунок підвищення у 4.4 рази рівня позитивного емоційного та зниження у 2.2 рази від'ємного мотиваційного аспектів поведінки. В результаті значно підвищиться надійність Л-О, тому що експлуатаційний стан системи досягне свого максимуму, а усі можливості системи будуть повністю використані.

Згідно даним, які усереднені у всьому діапазоні інформаційних навантажень, при переробці операторами ТЕС зростаючих об'ємів зорової інформації в умовах часового дефіциту найбільший рівень БА та від'ємної емоційності відмічений у операторів з низькою, а найменший - у операторів з високою ФРНП. Для позитивного мотиваційного аспекту та експлуатаційного стану системи мала місце зворотня залежність. При цьому, чим менший від'ємний емоційний, більший позитивний мотиваційний аспекти поведінки та вищий експлуатаційний стан СЛМ, тим слабкіша емоційна реакція на зроблені помилки, вища цілеспрямованість оператора і тим більш складне завдання може бути виконано Л-О з успіхом.

Згідно середнім значенням ФМ у діапазоні навантажень, де завдання не виконувалося успішно, оператори з високим РК, незалежно від ФРНП, порівняно з низьким характеризувалися більш високим рівнем мобілізації фізіологічних ресурсів організму і, у більшості випадків, більш низькою БА. Особливо вираено це проявилось у операторів з низькою та нижче середньою ФРНП. Крім того, оператори з високим РК порівняно з низьким незалежно від ФРНП у процесі переробки зростаючих об'ємів зорової інформації завжди характеризувалися позитивним мотиваційним аспектом поведінки та більш вираженою від'ємною емоційністю. При цьому, експлуатаційний стан СЛМ у них, у більшості випадків, був позитивним.

Роаглядаючи позитивні значення ЕКС, як прийнятні результати функціонування СЛМ визначили, що, як правило, надійність Л-О була тим вища, чим вище рівень кваліфікації.

Курсанти з більшою ФРНП, незалежно від здатності до

льотної діяльності, при переробці зростаючих об'ємів зорової інформації характеризувалися підвищеними рівнями позитивного мотиваційного аспекта та ФМ, але зниженими рівнями БА та від'ємної емоційності.

В той же час незалежно від ФРНП курсанти, звільнені з училища внаслідок поганої успішності з льотної підготовки, характеризувалися більш високим рівнем БА, але більш низькими рівнями від'ємного емоційного, позитивного мотиваційного аспектів поведінки та низькою ФМ. Крім того в процесі роботи у них часто спостерігалися позитивний емоційний та від'ємний мотиваційний аспекти поведінки. Причому, чим нижчий рівень ФРНП, тим ці особливості проявлялися виразніше.

Той факт, що курсанти, які виявилися менш здібними до льотної діяльності, мали під час роботи у дефіциті часу більш високі рівні БА ще раз підтверджує раніше зроблені висновки про меншу здатність людей з таким типом БА успішно працювати в екстремальних ситуаціях.

Курсанти, як з більшою ФРНП, так і більш здібні до льотної роботи у процесі виконання розумових завдань зростаючої складності характеризувалися меншими фізіологічними витратами на підтримку життєдіяльності організму, більшою ФМ, більшою зацікавленістю до роботи. Однак, якщо у першому випадку мав місце більш низький рівень емоційності, то у другому - навпаки, більш високий.

Під час обслідування льотчиків-випробувачів у всьому діапазоні інформаційних навантажень відмічені високі рівні БА, позитивної емоційності, від'ємного мотиваційного аспекту поведінки, позитивного ЕКС та низькі рівні ФМ та НМС. Згідно середнім

даним різниці між критеріями БА, Ем, Мо, ФМ як при ефективній, так і при неефективній роботі незначна. В той же час ЕКС у першому випадку у 1.54 раз вищий, ніж у другому, НМС, навпаки, у 1.8 - нижчі. Переробка зростаючих об'ємів зорової інформації при цьому характеризувалася, більшою частиною, емоційним, ніж мотиваційним аспектом поведінки. Кореляційний аналіз показав, що при успішній роботі підвищення складності розумового завдання супроводжувалося зниженням БА, ЕКС, позитивного Ем та від'ємного Мо, підвищенням ФМ, а при неефективній роботі мала місце зворотня залежність.

Крім того, як при ефективній, так і при неефективній переробці зростаючих об'ємів зорової інформації, підвищення суб'єктивної оцінки труднощів роботи відбувалося на тлі зниження позитивного емоційного, від'ємного мотиваційного аспектів поведінки та підвищення ФМ, а при зниженні труднощів мала місце зворотня реакція. Як у першому, так і у другому випадку, чим вище результативність, згідно суб'єктивній оцінці, тим менша ФМ.

Суб'єктивна думка Л-В про своє ставлення до завдання та об'єктивний показник його складності краще корелювали з окремими критеріями поведінки при ефективній роботі, ніж при неефективній, а суб'єктивні оцінки труднощів та результативності - навпаки.

Згідно рівню ФРНІ Л-В відповідали тільки курсантам з високою рухливістю, а ті з курсантів, які закінчили училище, були схожі на Л-В ще і величиною та характером кореляційних зв'язків між рівнем інформаційного навантаження та поведінчеських критеріїв при успішному виконанні завдання. Однак поведінка Л-О на відміну від курсантів характеризувалася позитивним емоційним,

від"ємним мотиваційним аспектами поведінки та низькою ФМ при одночасно високому ЕКС. Це можливо пояснити тим, що у процесі виконання завдання Л-В більш раціонально використовували свої психофізіологічні можливості для забезпечення ефективної роботи у цих експериментальних умовах.

Узагальнення результатів використання розроблених психофізіологічних критеріїв оцінки поведінки операторів різного профілю у процесі переробки зростаючих об"ємів зорової інформації при моделюванні часового стресу показало наявність ряду спільних закономірностей.

При роботі у цих умовах як для ОТЕС, так і для КЛУ, чим виша ФРНП, тим менше ресурсів організму було потрібно для підтримки життєдіяльності організму, тим слабкіше виражена від"ємна емоційна реакція, тим яскравіше проявляється бажання успішно виконувати завдання і тим вище рівень психофізіологічних витрат на переробку зростаючих об"ємів зорової інформації.

Незалежно від особливостей ВНД Л-О, чим краще спроможність успішно виконувати реальну операторську діяльність, тим менші в умовах моделювання стресової ситуації, пов"язанок з дефіцитом часу, його витрати на підтримку життєдіяльності організму, тим адекватніша його емоційна реакція на результати роботи, тим більша його зацікавленість та вищий ступінь мобілізації фізіологічних ресурсів у процесі виконання розумового завдання зростаючої складності.

Крім того, у всіх випадках підвищення інформаційного навантаження, характеризуючого складність розумового завдання, супроводжувалося зростанням емоційного, мотиваційного аспектів

поведінки та рівнем фізіологічної мобілізації ресурсів організму.

Напівнатурний експеримент. При дослідженні різноманітних характеристик надійності пілотування при моделюванні польотних ситуацій на ДПСі літака "АН-72" було показано, що чим більше психофізіологічне напруження, згідно суб'єктивній оцінці льотчика (СО), тим вищий рівень позитивного Мо ( $R=0.50$ ) та ФМ ( $R=0.48$ ), але нижчий ЕкС ( $R=-0.36$ ). Більш висока якість пілотування супроводжувалася тенденцією до зростання від'ємного Ем ( $R=0.35$ ), зниженням позитивного Мо ( $R=-0.45$ ) та ФМ ( $R=-0.45$ ), а також зростанням ЕкС ( $R=0.45$ ).

Порівняння між собою двох завідомо відрізняючихся по складності польотних ситуацій (заходження на посадку без відкавів та при відмові одного двигуна) показало, що згідно СО складність ситуації у другому випадку була у 1.6 разів вища, ніж у першому, тоді як по рівню ФМ та ЕкС - у 2.2 рази.

Показано, що інтегральні ПФК виявили значно більш високі кореляційні зв'язки з вибраними показниками ефективності підготовки порівняно з суб'єктивною оцінкою льотчика свого психофізіологічного напруження (відповідно  $R_{ФМ}=-0.45$ ,  $R_{ЕкС}=-0.45$ ,  $R_{Ем}=-0.13$ ).

Крім того, той факт, що по рівням ФМ та ЕкС мали місце суттєві відмінності між усіма дослідженими ситуаціями, а згідно СО 67% серед них не відрізнялися між собою свідчить про більш довільну властивість розроблених ПФК.

Взагалі згідно шкалі Баєвського Р.М., розглянутої з позицій розробленої концепції, більшість досліджених відказових ситуацій відповідали стану перенапруження, для якого "характерні

значні витрати енергетичних та метаболістичних ресурсів організму".

У дослідженнях психофізіологічного стану льотчика на ДПСі літака "АН-124" найбільша ФМ відмічена при відмові 1-го двигуна на зльоті, а найнижча при зльоті без відказів. При цьому, коли у першому випадку мало місце "виснаження", то у другому - "перенапруження", що пов'язано з більш високими рівнями від'ємного Ем та позитивного Мо льотчика під час відкаву.

У процесі виконання заходження на посадку з різними центровками найбільше прийнятною, з точки зору труднощів пілотування, виявилася середня центровка. Вона відрізнялася найкращим ЕКС та найменшим рівнем ФМ, в той же час передні центровки мали перевагу порівняно з задніми.

Послідуючі льотні випробування підтвердили ці висновки (РЛЗ "АН-124").

Загалом, чим гірше ергономічний комфорт у процесі пілотування, тим вище ФМ льотчика ( $R = -0.92$ ) та нижче ЕКС "льотчик-літак" ( $R = 0.92$ ). Крім того, більш висока якість пілотування супроводжувалася більш низьким рівнем фізіологічних витрат та більш високим ЕКС. Причому, інтегральні ПФК в більшій мірі відбивали якість пілотування, ніж суб'єктивна оцінка льотчика ергономічних умов праці.

Натурний експеримент. Порівняння досліджених польотних ситуацій для літака "АН-22" показало, що по рівню ФМ надійність пілотування знижувалася у напрямку від гор. польоту до заходження на посадку та перерваного зльоту, що підтверджується відомостями про аварійність у авіації із-за ЛФ (Бугаев Б. П., 1974; Копанев В. И.; 1989; O'Drien J., 1987; Berestov L. M. et al,

1988).

Суб'єктивна оцінка льотчика свого робочого навантаження при цьому була тісно пов'язана з Ем ( $R=0.77$ ), Мо ( $R=0.83$ ), ФМ ( $R=0.81$ ) та з ЕкС ( $R=-0.80$ ).

Високі кореляції між імовірністю льотної пригоди (ІЛП) із-за ЛФ (Столяров Н. А., 1982; Новости заруб. наук. и тех., 1984; Learmount D., 1988; Interavia Air Lett., 1988) та ФМ ( $R=0.94$ ), Ем ( $R=0.91$ ), Мо ( $R=0.96$ ), а також ЕкС ( $R=-0.95$ ) дозволили за допомогою регресійного аналізу (Ферстер С. та ін., 1983) вивести експотенціальні залежності між цими показниками.

З їх допомогою визначили рівні ФМ та ЕкС, при яких ІЛП із-за ЛФ буде мінімальною та максимальною, а також її значення для типових етапів польоту досліджених літаків.

Було з'ясовано, що коли ФМ організму льотчика дорівнює 73% від усього діапазону її можливих змін, то ЛП із-за ЛФ гарантована (ІЛП<sub>ф</sub>=+1), а якщо відповідає "нормі", то малоімовірно (ІЛП<sub>ф</sub>=0.1). По мірі зниження труднощів пілотування (згідно ФМ) та підвищення надійності СЛМ "льотчик-літак" на зльоті, у наборі висоти, у гор. польоті літаки розташувалися у наступному порядку: "АН-72", "АН-22", "АН-124". В той же час при заходженні на посадку найбільших зусиль вимагав від льотчика літак "АН-22", а найменших - "АН-124". Така послідовність мабуть пояснюється існуючими відмінностями у ергономічності кабіни, та автоматизації обслугованих літаків.

Для визначення найбільш сприятливого часу початку польотів, що особливо важливо для польотів великої довгочасності, було з'ясовано, що на зльоті та у гор. польоті, які виконувалися до 9 години ранку, льотчик витрачав менше зусиль (по

ФМ), ніж після 17-ї години, відповідно надійність (по ІЛІФ) була вища, особливо на зльоті (у 1.7 рази).

Дослідження впливу тривалості польоту на функціональний стан льотчика показало, що у гор. польоті тривалістю до 4-х годин у льотчика відмічено "функціональне напруження" значно менш виражене в порівнянні з тривалістю більш 4-х годин, а заходження на посадку при цьому характеризувалося у 5.8 разів меншими зусиллями.

Ці висновки відповідають вимогам нормативного документу РПІП-88, приписуючого льотчику через 4-и години польоту відпочинок для підтримки працездатності на потрібному рівні.

При оптимізації робочої діяльності льотчика було встановлено, що у довгочасному гор. польоті стан льотчика при упорядкованому режимі праці та відпочинку характеризувався у 8.5 разів більшою позитивною емоційністю, тільки від"ємним мотиваційним аспектом поведінки та "функціональним напруженням", а ЕКС "льотчик-літак" було у 1.4 рази вище, ніж при довільному режимі. При цьому, заходження на посадку характеризувалося у 7.5 разів меншими зусиллями, а ЕКС було у 1.5 разів вище. Крім того, показано, що при довільному режимі зростання тривалості відпочинку супроводжувалося тенденцією до зростання ФМ ( $R=0.34$ ), а при упорядкованому - зменшенням ( $R=-0.23$ ).

Така ж закономірність мала місце і для КЕ та штурмана літака "АН-124", у яких функціональний стан відповідав тільки невисокому "функціональному напруженню". Згідно середнім даним при упорядкованому режимі БА льотчика було у 1.8 раза вище, Ем та Мо відповідно у 1.97 та у 9.7 разів нижче, а ЕКС у 1.3 рази вищий порівняно з довільним, що сприяло більш високій надійно-

сті операторської діяльності льотчика.

Всі закономірності, одержані на основі узагальнення експериментальних даних, підтвердилися у дослідженні операторської діяльності окремого льотчика при пілотуванні на різних етапах польоту та при різноманітних режимах праці та відпочинку у довготривалому польоті.

Дослідження психофізіологічних критеріїв робочого навантаження при пілотуванні літака "АН-124" показало, що у процесі польоту у КЕ порівняно з ПК рівні БА у 1.4 рази нижче, а Ем, Мо, ФМ відповідно вище у 2.1, у 3.4 та у 4.5 рази, що свідчить про більш високу його зайнятість. Ці різноманітності яскравіше усього виражені при найбільш відповідальних, з точки зору безпеки, етапах польоту та підтверджуються приведеним у РЛЗ літака "АН-124" розподілом функціональних обов'язків між цими членами екіпажу.

При дослідженні ступеню тренуваності льотчика виконувати захід на 2-й круг у СМУ п'ята спроба характеризувалася високою БА, найвищим рівнем позитивного Ем та від'ємного Мо, найнижчими ФМ, найнижчим ІЛП із-за ЛФ, що підтвержується і суб'єктивною оцінкою моменту набуття необхідних навичок по пілотуванню у цих умовах.

Співвідношення труднощів та надійності пілотування літака "АН-72" між типовими етапами польоту та у відказних ситуаціях було так само, як і для інших літаків. У більшості випадків у льотчика мав місце стан "функціонального напруження". Відмічено, що пошуковий політ методом розширювального квадрату був більш сприятливим порівняно з методом галсирования, тому що у першому випадку пілотування вимагало менших зусиль за рахунок

більшого ступеня автоматизації процесу літаководіння. Згідно психофізіологічним критеріям літак "АН-72" у повній мірі відповідає, з точки зору врахування ЛФ, своєму спеціальному призначенню по проведенню пошукових та рятувальних робіт на морі та суші.

### ЗАКЛЮЧЕННЯ

Аналіз результатів проведених експериментів з позицій аксіоматичної концепції системного підходу до оцінки надійності Л-О дозволив кількісно описати психофізіологічні аспекти поведінки оператора з різними індивідуальними особливостями та професійними здібностями успішно діяти у стесовій ситуації, пов'язаною з дефіцитом часу, визначити ступінь тренуваності, труднощі та надійність роботи, а також здійснити кількісний прогноз для людини його інформаційних можливостей, оптимального розумового навантаження та прийнятної складності операторського завдання.

Висновки, зроблені за допомогою розроблених психофізіологічних критеріїв для оцінки різноманітних характеристик надійності Л-О, як при моделюванні операторської діяльності по переробці зростаючих об'ємів зорової інформації та різних польотних ситуацій, так і в реальних польотах літаків, що відрізняються між собою по ступеню врахування ЛФ, знайшли своє підтвердження в результатах досліджень інших авторів, у вимогах існуючих нормативних документів, у практиці реальної операторської діяльності операторів ТЕС, курсантів льотного училища, льотчиків-випробувачів та під час льотної експлуатації досліджених типів літаків "АН".

## В И С Н О В К И

1. Зміни ЧСС, ЧД, ЕМГ та  $\beta$ ,  $\alpha$  ритмів ЕЕГ у процесі переробки зростаючих об'ємів зорової інформації відображають величину інформаційного навантаження, імовірність безпомилкової роботи та пропускну спроможність людини-оператора, що характеризують надійність його операторської діяльності, тільки у тому випадку, якщо завдання виконується успішно і менш інформативні в умовах неефективної роботи.

2. В процесі тренування підвищення надійності переробки людиною-оператором зростаючих об'ємів зорової інформації в умовах дефіциту часу характеризується зростанням ефективності виконання завдання, зниженням серцевої активності та послабленням кореляційних зв'язків між величиною інформаційного навантаження, результатами роботи та ЧСС, варіабільністю серцевого ритму.

3. Операторам, які здатні успішно працювати в умовах часового стресу (висококваліфікованим операторам ТЕС, курсантам льотного училища, які успішно встигали з льотної підготовки, льотчикам-випробувачам), під час ефективною переробки зростаючих об'ємів зорової інформації у дефіциті часу властиві підвищена активність серцевої діяльності, та високі, стабільні, швидкісні параметри керуючих дій у відповідь на зорові сигнали.

4. Зміни ЧСС, ЧД, ЕМГ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\theta$ ,  $\delta$  ритмів ЕЕГ льотчика, зареєстровані під час моделювання різних польотних ситуацій на дослідницькому пілотажному стенді літака, в більшості випадків, зворотнопропорційні рівням ергономічного комфорту, психофізіологічного навантаження та ефективності пілотування, що характеризують надійність виконання польотного завдання.

5. Частота серцевих скорочень та варіабільність серцевого ритму льотчика у реальних польотах, які відрізняються між собою складністю, часом доби, тривалістю, типом режиму праці та відпочинку, тим вище, чим складніше польотне завдання, менш сприятливі умови праці та вище робоче навантаження.

6. Інтегральні психофізіологічні критерії (рівень фізіологічної мобілізації організму людини-оператора та експлуатаційний стан системи "людина-машина", розроблені на основі теорії функціональних систем та загальної теорії систем, на відміну від окремих фізіологічних показників забезпечують jednoзначне визначення складності, ефективності та надійності виконання завдання по переробці зростаючих об'ємів зорової інформації у керуючі діяння під час різної операторської діяльності.

7. Рівень фізіологічної мобілізації ресурсів організму дозволяє здійснити в врахуванням людського фактору кількісну оцінку складності польотної ситуації, ступеня тренуваності льотчика, рівня його психофізіологічного напруження при різних умовах польоту, а також оптимізувати розклад льотного дня, тривалість пілотування та режим праці та відпочинку у довготривалому польоті.

8. Математичні залежності між інтегральними психофізіологічними критеріями та показниками складності, ефективності виконання операторського завдання, дозволяють прогнозувати найвищу можливу пропускну спроможність людини-оператора, оптимальний рівень інформаційного навантаження, ступінь психофізіологічного напруження, а також надійність операторської діяльності та імовірність льотної пригоди внаслідок людського фактору.

9. Розроблена функціональна підсистема автоматизованого

комплексу ергономічного забезпечення льотних випробувань, що  
вміщує в собі інтегральні психофізіологічні критерії, бортову  
апаратуру для реєстрації та програми обробки на ЕОМ серцевого  
ритму льотчика, знайшла своє практичне застосування під час  
льотних випробувань сучасних літаків типу "АН" та рекомендована  
для впровадження на підприємствах галузі.

## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ РОБІТ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Горбунов В. В. Исследование ЭЭГ человека с различными типологическими характеристиками высшей нервной деятельности в целях профотбора. - Матер. 1 Всес. симпозиума "Психофизиологические основы профессионального отбора". - Киев, 1973. - с. 28-29.

2. Горбунов В. В., Воронова Е. С. Изменения Электроэнцефалограммы человека при различной степени психофизиологической напряженности. - Матер. 1 Всес. симпозиума "Психофизиологические основы профессионального отбора". - Киев, 1973. - с. 29-30.

3. Горбунов В. В., Денисов В. Г., Сиротский В. В. и др. Количественный метод оценки способности человека-оператора к переработке информации в управляющие воздействия в условиях острого дефицита времени. - Матер. 1 Всес. симпозиума "Психофизиологические основы профессионального отбора". - Киев, 1973. - с. 40-41.

4. Горбунов В. В. Отражение некоторых свойств высшей нервной деятельности человека в ЭЭГ человека. - Матер. Всес. симпозиума "Информационное значение биоэлектрических потенциалов головного мозга". - Киев, 1974. - с. 35-36.

5. Горбунов В. В. Особливості електроенцефалограми людей з різною рухливістю основних нервових процесів. - Фізіол. ж. - 1975. т. 21, № 3. - с. 331-336.

6. Хомяк Ф. В., Дяуба П. П., Горбунов В. В. Некоторые эргономические показатели системы "водитель-дорога", как критерий оптимизации дорожных условий. - Матер. Всес. конф. "Эргономика в современном производстве". Харьков. - 1976. - с. 13.

7. Сиротский В. В., Кольченко Н. В., Молдавска С. И., Макаренко М. В., Горбунов В. В. и ін. Оснозі властивості нервової системи людини і професійний відбір. - Матер. 10 з'їзду українського фізіолог. товариства. Одеса. - 1977. - с. 290.

8. Горбунов В. В., Сиротский В. В., Макаренко Н. В. Изменение электроэнцефалограммы человека при кратковременных умственных нагрузках. - Журнал ВНД. - 1978. т. 28, в. 1. - с. 41-47.

9. Горбунов В. В., Дакба В. В. Авторское свидетельство N 976953. Устройство для отведения биопотенциалов, 1978.

10. Горбунов В. В. Некоторые критерии оценки функционирования системы "пилот-самолет". - Сб. "Авиационная эргономика". Киев, 1979. - с. 77-81.

11. Горбунов В. В. Исследование психофизиологических показателей человека-оператора. - Матер. Всес. науч.-практ. конф. по безопас. полетов "Оптимизация процессов функционирования авиационных транспортных систем". - Л., 1979. - с. 62.

12. Горбунов В. В. Особенности изменения различных физиологических показателей человека при переработке возрастающих объемов зрительной информации. - Журн. высш. нервн. деят., 1980, т. 30, в. 4, с. 765-771.

13. Горбунов В. В., Макаренко Н. В., Киенко В. М. и др. Особенности электроэнцефалограммы легкоатлетов разных специальностей и уровней спортивного мастерства. - Матер. Республ. науч. конф. "Физиологические механизмы физической и умственной работоспособности при спортивной и трудовой деятельности. - Львов, 1981. - с. 188-189.

14. Горбунов В. В. Метод экспертного оценивания применительно к задачам эргономического проектирования и испытания

системы "экипаж-самолет". - Матер. 3-й Всес. конф. по безопас. полетов "Предотвращение авиационных происшествий в гражданской авиации". - Л., 1982. - с. 991-995.

15. Горбунов В. В. Комплексная помехоустойчивая система для отведения ЭКГ, ЭМГ, ЭЭГ и дыхания у человека-оператора. - Журн. высш. нервн. деят., 1982, т. 32, в. 5, с. 991-995.

16. Горбунов В. В., Досычев В. В., Макаренко Н. В. Оценка надежности человека-оператора по данным физиологических исследований. - Физиол. чел., 1982, т. 8, N 2, с. 217-222;

17. Горбунов В. В., Редько Л. Е. Рационализаторское предложение N 83476. Маркер отметок явлений, 1983.

18. Горбунов В. В., Редько Л. Е. Рационализаторское предложение N 83477. Коммутатор медико-биологической аппаратуры, 1983.

19. Горбунов В. В., Макаренко Н. В., Досычев В. В. Физиологическая оценка возможностей переработки всрастающих объемов зрительной информации человеком-оператором. - Журн. высш. нервн. деят., 1983, т. 33, в. 4, с. 1028-1033.

20. Навақатикян А. О., Кальниш В. В., Горбунов В. В. Факторный анализ формирования системы обеспечения операторской деятельности при нарастании информационных нагрузок. - В кн. "Влияние условий труда на работоспособность и здоровье оператора". - Киев, Здоровье, 1984. - с. 37-43.

21. Дзюба П. П., Горбунов В. В. Методическое обеспечение эргономической оценки системы "водитель автомобиль-дорога" с помощью показателей ЭКГ. - Матер. Всес. конф. "Актуальные проблемы профилактики травматизма при дорожно-транспортных происшествиях". - Горький, 1984. - с. 93-94.

22. Горбунов В. В., Стенин Г. Р., Приходько Ю. В., Якубович В. Ф. Аппаратурное и программное обеспечение регистрации и автоматизированной обработки электрокардиограммы летчика. - Журн. высш. нервн. деят., 1985, т. 35, в. 4, с. 786-787.

23. Отто Э., Навакатилян А. О., Кальниш В. Б., Горбунов В. В. Физиологические индикаторы активации ЦНС при умственной деятельности, полученные на основе многомерных статистических методов. - Физиолог. ж. - 1985. - т. 31, N 4. - с. 433-439.

24. Горбунов В. В., Якубович В. Ф. Эргономическое обеспечение летных испытаний самолетов "АН". - Всес. науч. - техн. конференция по бортовым информационно-измерительным системам для летных исследований авиационной техники (ИИС-87). - г. Щелково, 1987. - с. 13.

25. Горбунов В. В., Макаренко Н. В., Досычев В. В. Особенности изменения вегетативных и психофизиологических показателей в ходе тренировки зрительного опознавания. - Физиол. чел., 1990, т. 16, N 4, с. 93-96.

26. Горбунов В. В. Роль человеческого фактора в прогнозировании надежности летной деятельности. - Матер. Всес. науч.-практич. конф. "Безопасность полетов и человеческий фактор в авиации". - Л., 1991. - с. 77-78.

Горбунов В. В. Психофизиологическое обеспечение надежности операторской деятельности.

Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 14.00.14 - гигиена, Киевский ин-т Медицины труда, Киев, 1994.

Защищается 26 научных работ и одно авторское свидетельство, которые содержат теоретические исследования в области психофизиологии операторской деятельности в дефиците времени, а также результаты экспериментальных исследований, выполненных в лабораторных условиях, на пилотажных стендах и на самолетах в реальных полетах. Установлено, что интегральные психофизиологические критерии, разработанные на основе теории функциональных систем и общей теории систем, в отличие от отдельных физиологических показателей, обеспечивают однозначное определение сложности, эффективности и надежности выполнения задания по переработке возрастающих объемов зрительной информации в условиях временного стресса. Полученные результаты нашли свое практическое применение в летных испытаниях современных самолетов типа "АН" и рекомендованы для внедрения на предприятиях отрасли.

Ключеві слова:

людина-оператор, льотчик, складність, надійність операторської діяльності, інтегральні психофізіологічні критерії.

V. V. Gorbunov. Psychophysiological Provision of Reliability of Operator Performance. Dissertation on competition of the scientific degree of the Doctor of biological sciences by speciality 14.00.14. - hygiene, Kiev Institute for Occupational Health, Kiev, 1994.

26 scientific works and one inventor's certificate, which contains theoretic research in the field of psychophysiology of operator performance under time shortage carried out in the laboratory, on flight simulators and on the aircraft under real flight conditions are defended. It has been established that integrated psychophysiological criteria developed on the basis of the functional system theory and general theory of systems, unlike individual physiological indicators, ensure unambiguous determination of complexity, effectiveness and reliability of the performance of processing the increasing volumes of visual information under time stress conditions. The results obtained found practical application in flight testing of current AN type aircraft and are recommended for adoption in the industry.

.Key words:

human operator, pilot, complexity, operator performance reliability, integrated psychophysiological criteria.



156566





718 31.664  
**Ав 31.664**