

**Національна академія наук України
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних
технологій та систем**

САЙКІВСЬКА Лілія Федорівна

УДК: 617.751-057-07

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ
ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОПЕРАТОРА ЗОРОВОГО ПРОФІЛЮ**

05.13.09 – медична і біологічна інформатика та кібернетика

**Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Київ – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки МОНМС України.

Науковий керівник:

доктор біологічних наук, професор

Кочина Марина Леонідівна,

Харківська медична академія післядипломної освіти МОЗ України, професор кафедри клінічної інформатики та інформаційних технологій в управлінні охороною здоров'я.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Степашко Володимир Семенович,

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАНУ і МОНУ, завідуючий відділом інформаційних технологій індуктивного моделювання;

доктор технічних наук, професор

Шарпан Олег Борисович,

Національний технічний університет України «КПІ» МОН України, професор кафедри теоретичних основ радіотехніки.

Захист відбудеться 18.04.2011 року об__14__ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.171.03 у Міжнародному науково-навчальному центрі інформаційних технологій та систем НАН України і МОН України за адресою: 03680, Київ-680, МСП, проспект Академіка Глушкова, 40.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН України і МОН України.

Автореферат розісланий 16.03.2011 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Т.М. Гонтар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність досліджень. Персональні комп'ютери активно використовуються в різних сферах діяльності людини, значно полегшуючи одержання й обробку інформації. З кожним роком зростає кількість людей, діяльність яких пов'язана зі сприйняттям інформації з монітора ПК, яких можна вважати операторами зорового профілю. Комп'ютеризація, яка є характерною рисою сучасного етапу науково-технічного прогресу, створила сприятливі умови для підвищення продуктивності праці, впровадження нових технологій управління інформаційними процесами, спрощення деяких форм операторської праці. Однак, діяльність оператора зорового профілю вимагає підвищених розумових зусиль, значної нервово-емоційної і зорової напруги, високої концентрації уваги, що викликає загальне та зорове стомлення і призводить до погіршення функціонального стану організму (Stammerjohn LW, 1982; Навакатікян О.О., Кальніш В.В., 1995; Кальніш В.В., 1994,2009; Кочина М.Л., 2008; Ковтун М.І., 2002; Ушаков І.Б., 2004). Все це позначається на якості виконання виробничих завдань і може стати причиною виникнення ряду передпатологічних і патологічних станів (I.Mbaye, MC Fall, 1998; Short P., 2000; Кочина М.Л., Яворський О.В., 2004; Фатхутдінова Л.М., 2003).

У зв'язку з цим оцінка функціонального стану (ФС) оператора зорового профілю в процесі виробничої діяльності набула останнім часом особливої актуальності. Розробка критеріїв професійного відбору, режимів праці та відпочинку, визначення показників поточного стану та прогнозування його зміни в процесі професійної діяльності можливі при наявності інформаційних технологій для оцінки функціонального стану людини-оператора, що вимагає створення нових діагностичних методів, сучасних пристроїв та комплексів для отримання інформації та підходів до її обробки.

Недоліком більшості існуючих в даний час технологій оцінки функціонального стану операторів зорового профілю є те, що вони здійснюються без урахування характеристик зорової системи та особливостей її функціонування в процесі виконання зорових завдань.

Таким чином, необхідність розробки інформаційної технології оцінки функціонального стану оператора зорового профілю з урахуванням показників зорової системи та програмно-апаратного комплексу для її реалізації визначають актуальність теми дисертаційних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами і темами. Дисертація є фрагментом пріоритетної НДР МОЗ України «Обґрунтування патогенетичних механізмів шкідливого впливу на організм сучасних інформаційних технологій та розробка профілактичних заходів з охорони здоров'я людини» (номер державної реєстрації 0106U001631, 2006-2009 рр.), НДР «Пошук та дослідження шляхів створення та застосування енергоефективних екологічних джерел енергії» (Розділ «Розробка сучасних біомедичних технологій на основі використання випромінювання оптичного діапазону») (номер державної реєстрації 0109U002572, 2008-2011 рр.), та НДР «Виготовлення макету дослідницького зразка програмно-апаратного тестового комплексу для психофізіологічної експертизи авіаційного персоналу цивільної авіації України» (номер державної реєстрації 0109U008415, 2009 р.).

Мета дослідження: розробити інформаційну технологію для оцінки функціонального стану оператора зорового профілю в процесі зорової праці.

Завдання дослідження:

1. Визначити комплекс інформативних показників для оцінки функціонального стану оператора зорового профілю.
2. Розробити програмно-апаратний комплекс для отримання первинної інформації про функціональний стан оператора зорового профілю.
3. Розробити алгоритм визначення інтегративних показників, що характеризують функціональний стан оператора зорового профілю.
4. Провести дослідження функціонального стану оператора зорового профілю за допомогою розробленої інформаційної технології.

Об'єкт дослідження: функціональний стан оператора зорового профілю.

Предмет дослідження: моделі, алгоритми, методи обробки інформації про функціональний стан людини в динаміці зорової праці з різними видами візуального навантаження.

Методи дослідження. Для визначення показників функціонального стану зорової системи операторів зорового профілю використано: візометрію, проксиметрію, конвергенціометрію, метод визначення абсолютної акомодатії, КЧЗМ-метрію (критична частота злиття миготінь). Для оцінки стану центральної нервової системи (ЦНС) використано КЧЗМ-метрію та психофізіологічні методи. Для оцінки функціонального стану організму використано тест ТПАНС (тривожність, працездатність, активність, настрої, самопочуття) і метод визначення електрошкірного опору в біологічно активних точках, що відповідають за стан ЦНС і зорової системи. Для обробки результатів досліджень використано статистичні методи. Для оцінки поточного функціонального стану операторів зорового профілю в процесі професійної діяльності та прогнозування його змін використано кореляційний метод.

Наукова новизна отриманих результатів. Вперше сформовано інформаційну модель функціонального стану оператора зорового профілю, яка об'єднує стан зорової системи та психофізіологічний стан, визначено комплекс інформативних показників функціонального стану при вирішенні зорових завдань.

Вперше розроблено метод визначення функціонального стану оператора зорового профілю в процесі зорової діяльності з різними видами візуальної навантаження, який базується на алгоритмі розрахунку матриці перетворення початкового функціонального стану в кінцевий.

Вперше запропоновано узагальнені показники загального стомлення (S) та втоми ЦНС (I), а також комплекс критеріїв для оцінки функціонального стану оператора зорового профілю.

Запропоновано алгоритм класифікації візуально діючих факторів за ступенем впливу на організм, заснований на розрахунку коефіцієнту візуального впливу з використанням мінімізованого набору показників функціонального стану досліджуваних, що дозволяє оцінити різні види візуального навантаження та проводити професійний відбір за спеціальностями, пов'язаними зі сприйняттям зорової інформації.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено інформаційну технологію для оцінки функціонального стану оператора зорового профілю, що дає можливість врахувати специфіку сприйняття зорової інформації.

Розроблено технічну реалізацію програмно-апаратного комплексу, який дозволяє одержувати показники функціонального стану операторів зорового профілю в процесі виконання зорових завдань.

Розроблений алгоритм обробки інформації про функціональний стан оператора зорового профілю може використовуватися не тільки для оцінки поточного функціонального стану і оцінки цього стану за його початковим значенням при виконанні різних видів зорових завдань, але і для прогнозу стану для широкого кола завдань.

Розроблений «Спосіб оцінки ступеня зорового стомлення людини» (патент 32895 А UA) може бути використаний при проведенні психофізіологічних досліджень в динаміці різних видів діяльності.

Результати роботи впроваджено в наукові дослідження ДУ «Інституту медицини праці АМН України», в науково-дослідну роботу Харківського національного медичного університету, у навчальний процес кафедри радіоелектронних пристроїв ХНУРЕ і кафедри клінічної інформатики та інформаційних технологій в управлінні охороною здоров'я ХМАПО.

Особистий внесок здобувача. Автор дисертаційної роботи розробила технологію оцінки функціонального стану людини при роботі з ПК, програмно-апаратний комплекс для її реалізації, алгоритми та програми роботи пристроїв комплексу, методику визначення

інформативних та інтегративних показників функціонального стану, методику прогнозування кінцевого функціонального стану оператора за початковим з використанням матриці перетворення, проводив дослідження динаміки функціонального стану зорової та центральної нервової системи випробуваних при роботі з текстом на екрані ПК та паперовому носії, гри на комп'ютері та на мобільному телефоні.

У роботах зі співавторами дисертанту належать: [1] – ідея та технічна реалізація програмно-апаратного комплексу, алгоритми роботи пристроїв; [4] – ідея та розробка інформаційної технології оцінки функціонального стану оператора зорового профілю, методика побудови моделі прогнозу функціонального стану оператора, змістовний аналіз результатів; [5] – алгоритм обробки інформації про функціональний стан оператора з використанням кореляційного методу, методи розрахунку інтегративних показників, результати експериментальних досліджень; [6] – ідея та розрахунок інтегративного показника для оцінки ступеня втоми.

Апробація результатів роботи. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародних молодіжних н.-т. конф. «Молодь та сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій» (Севастополь, 2006-2009), на Міжнародних молодіжних форумах «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» (Харків, 2006-2009), 2-й Всеросійській науково-практичній конференції «Функціональний стан і здоров'я людини» (Ростов-на-Дону, 2008), 3-му Міжнародному радіоелектронному форумі «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку» МРФ-2008 (Харків, 2008), на Міжнародних Кримських конференціях «НВЧ-техніка і телекомунікаційні технології» (Севастополь, 2006, 2008, 2009), на Міжнар. н.-т конф. «Екологія і здоров'я» людини. Охорона водного та повітряного басейнів. Утилізація відходів (Щолкіно, АР Крим, 2005-2007), Міжнар. н.-п. конф. «Гендер. Екологія. Здоров'я» (Харків, 2007).

Публікації. Матеріали дисертації опубліковано у 5 статтях фахових видань, рекомендованих ВАК України, у 13 матеріалах і тезах доповідей конференцій, 1 деклараційному патенті України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 214 найменувань, 3 додатків. Загальний обсяг дисертації – 201 стор., з них – 134 стор. друкованого тексту, ілюстрованого 19 рисунками і 34 таблицями.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність, задачі, сформульовано мету і завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У **першому** розділі надано результати аналізу існуючих експериментальних та теоретичних робіт, присвячених питанням оцінки функціонального стану операторів. Показано, що діяльність оператора зорового профілю, яка пов'язана зі сприйняттям зображення на екрані монітора персонального комп'ютера (ПК), вимагає підвищених розумових зусиль, значної нервово-емоційної та зорової напруги, високої концентрації уваги, що викликає загальне та зорове стомлення, призводить до погіршення функціонального стану організму і позначається на якості виконання професійних завдань. Більшість існуючих в даний час інформаційних технологій, методик та пристроїв для оцінки функціонального стану операторів не враховують показників, що характеризують зорову систему.

У **другому розділі** представлено методи дослідження зорової системи та ЦНС. Крім офтальмологічних методів, рефлексометрії та КЧЗМ-метрії для оцінки функціонального стану оператора використано тест ТПАНС і показники електрошкірного опору в біологічно активних точках, що відповідають за ЦНС і зорову систему.

У розділі дана характеристика зорового навантаження, яке надавалося групі досліджуваних для моделювання праці оператора зорового профілю. Досліджуваним було

запропоновано статичне (текст на ПК, текст на паперовому носії, комп'ютерна гра пасьянс «Косинка») і динамічне (комп'ютерна гра «DX Ball» та гра на мобільному телефоні) зорове навантаження, до і після якого визначалися досліджувані показники. Час роботи з усіма перерахованими видами візуального навантаження складав не більше 45 хвилин, що відповідає гігієнічним вимогам для вікових груп, які брали участь в дослідженнях. В один день випробуванним було запропоновано один вид візуального навантаження. Всього проведено 47500 досліджень функціональних показників у 350 випробовуваних.

Для математичної обробки отриманих результатів було використано: статистичні методи, кореляційний метод, теорію матриць. Для оцінки ступеня візуального впливу різних видів навантаження на функціональний стан оператора проводився розрахунок коефіцієнта візуального впливу (КВВ) (Кривоносов М.В., Кочина М.Л., 2001) на організм людини за формулою:

$$\text{КВВ} = \frac{k_1 \cdot k_2 + k_2 \cdot k_3 + \dots + k_n \cdot k_1}{n}, \quad (1)$$

де $k_1, k_2 \dots k_n$ – відношення значень показників після дії навантаження до їх значень до навантаження; n – кількість показників. Даний коефіцієнт дозволяє оцінити вплив різних видів візуального навантаження на функціональний стан випробовуваних і на цій основі класифікувати навантаження за ступенем оптимальності для людини. Ступінь втоми людини оцінювався за розробленим нами інтегративним показником I (патент 32895 А UA), який визначається за формулою:

$$I = \frac{A_{\text{після}} - A_{\text{до}}}{A_{\text{після}} + A_{\text{до}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де $A_{\text{до}}, A_{\text{після}}$ – сумарні показники асиметрії до і після роботи відповідно.

$$A_{\text{до}} = \left(\frac{f_{\text{ч}} - f_{\text{з}}}{f_{\text{ч}}} \right)_{\text{до}} + \left(\frac{f_{\text{с}} - f_{\text{ж}}}{f_{\text{ж}}} \right)_{\text{до}}, \quad A_{\text{після}} = \left(\frac{f_{\text{ч}} - f_{\text{з}}}{f_{\text{ч}}} \right)_{\text{після}} + \left(\frac{f_{\text{с}} - f_{\text{ж}}}{f_{\text{ж}}} \right)_{\text{після}}$$

де $f_{\text{ч}}, f_{\text{з}}, f_{\text{с}}, f_{\text{ж}}$ – КЧСМ червоного, зеленого, синього та жовтого кольорів відповідно. Значення I менше 20% свідчить про слабкий ступінь стомлення, в інтервалі від 21% до 50% – про середній ступінь стомлення, понад 50% – про високий ступінь стомлення.

У **третьому розділі** надано результати розробки інформаційної технології оцінки функціонального стану оператора зорового профілю. Для визначення найбільш значущих функціональних показників організму, які забезпечують якість професійної діяльності, було розроблено інформаційну модель оператора зорового профілю, яка включає блоки інформативних показників психофізіологічного стану та стану зорової системи. З використанням даної моделі було відібрано показники, за якими проводилась оцінка ФС організму операторів в експерименті. Розроблена інформаційна технологія дослідження функціонального стану оператора зорового профілю (рис.1) складається з етапів формування початкового масиву даних, визначення інформативних показників, аналізу та оцінки функціонального стану оператора. Визначення показників функціонального стану операторів зорового профілю проводилося з використанням програмно-апаратного комплексу, до складу якого входять розроблені нами пристрої, за допомогою яких здійснюється пред'явлення візуальної інформації, реєстрація відповідей випробовуваного чи сигналів від датчиків, обробку інформації та подання її на паперовому або електронному носії.

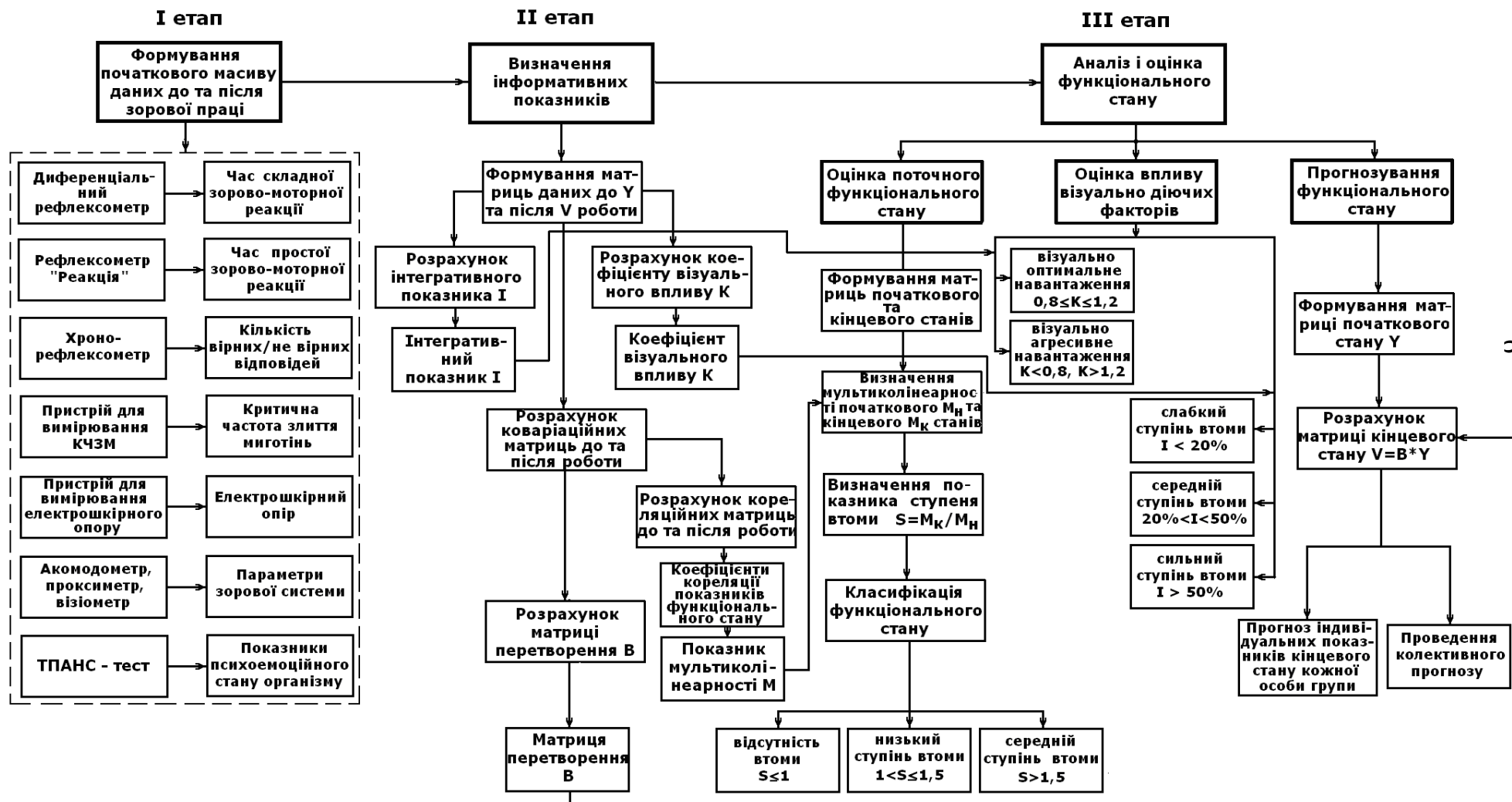


Рисунок 1 – Інформаційна технологія дослідження функціонального стану оператора зорового профілю

Особливістю програмно-апаратного комплексу є його блокова структура, що дозволяє, в залежності від поставлених у дослідженні завдань, використовувати різні комбінації приладів і методик, розширюючи можливості застосування комплексу. Особливістю розроблених приладів для оцінки функціонального стану ЦНС (рефлексометри і пристрій для визначення КЧЗМ), зорової системи (пристрій для визначення КЧЗМ) і електрошкірного опору (ЕШО) є те, що всі вони побудовані за єдиним принципом і виконані на програмно керованих мікроконтролерах, які генерують тестові сигнали, реєструють і перевіряють якість відповідної реакції випробовуваного, забезпечують тимчасове зберігання та передачу результатів вимірювань в ПК. Відмінність розроблених рефлексометрів, пристроїв для дослідження КЧЗМ і ЕШО полягає в програмах прошивки мікроконтролерів, видах і способах пред'явлення випробовуваному тестових сигналів та способах реєстрації відповідей.

На рис. 2 наведено функціональні схеми розроблених пристроїв, на рис. 3 та рис. 4 – алгоритми їх роботи.

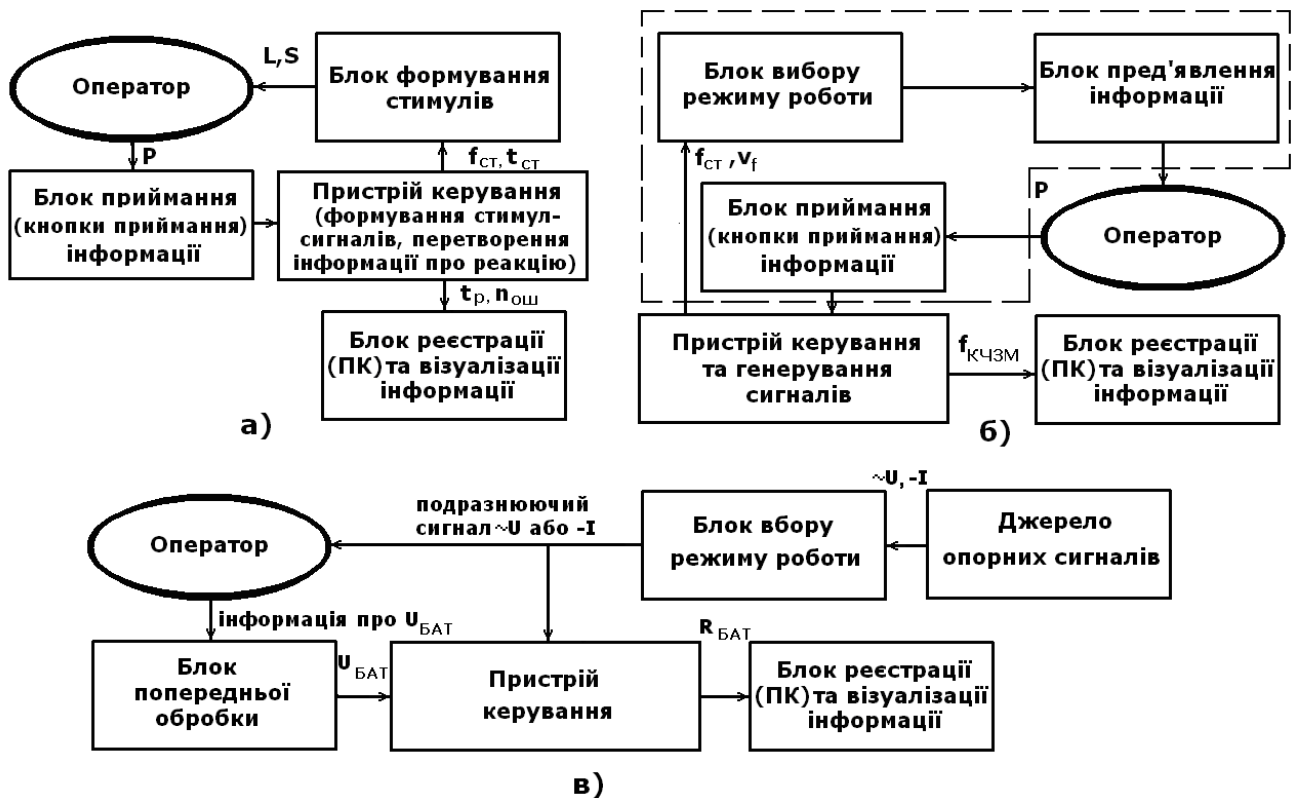


Рисунок 2 – Узагальнені функціональні схеми рефлексометрів (а), пристрою для дослідження КЧЗМ (б) та пристрою для дослідження ЕШО; Р – реакція досліджуваного, L_{1-4} – світлові стимули різного кольору (1 – жовтий, 2 – червоний, 3 – зелений, 4 – синій), S – звуковий стимул, $f_{ст}$, $t_{ст}$ – частота та час пред'явлення стимулів, t_p – час реакції, $n_{ош}$ – кількість помилок, $f_{КЧЗМ}$ – критична частота злиття миготінь, $U_{БАТ}$, $R_{БАТ}$ – напруга біологічно активної точки та її опір відповідно

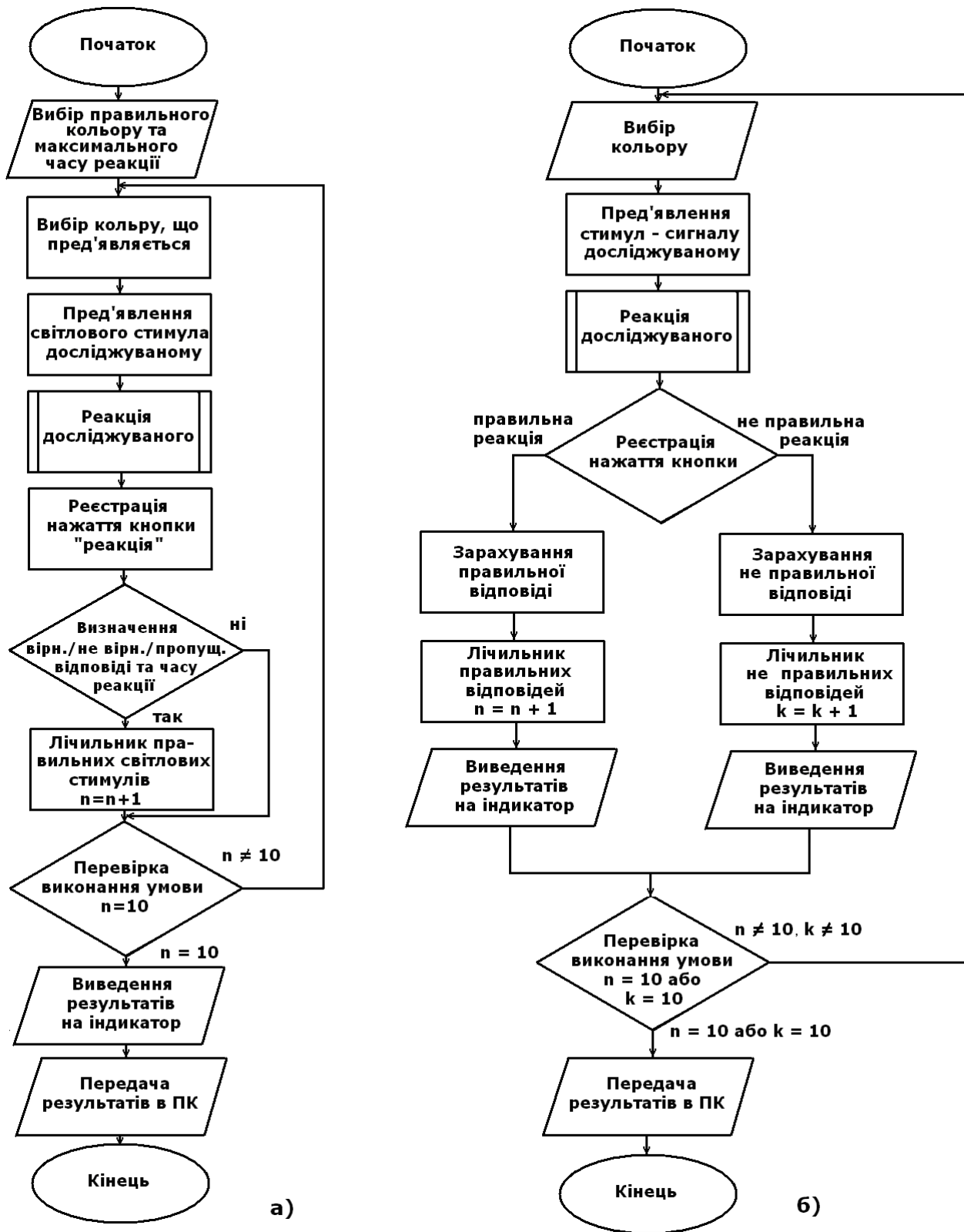


Рисунок 3 – Алгоритми отримання первинної інформації про диференціальну ЗМР (а), та про ЗМР за допомогою хронорефлексометра (б)

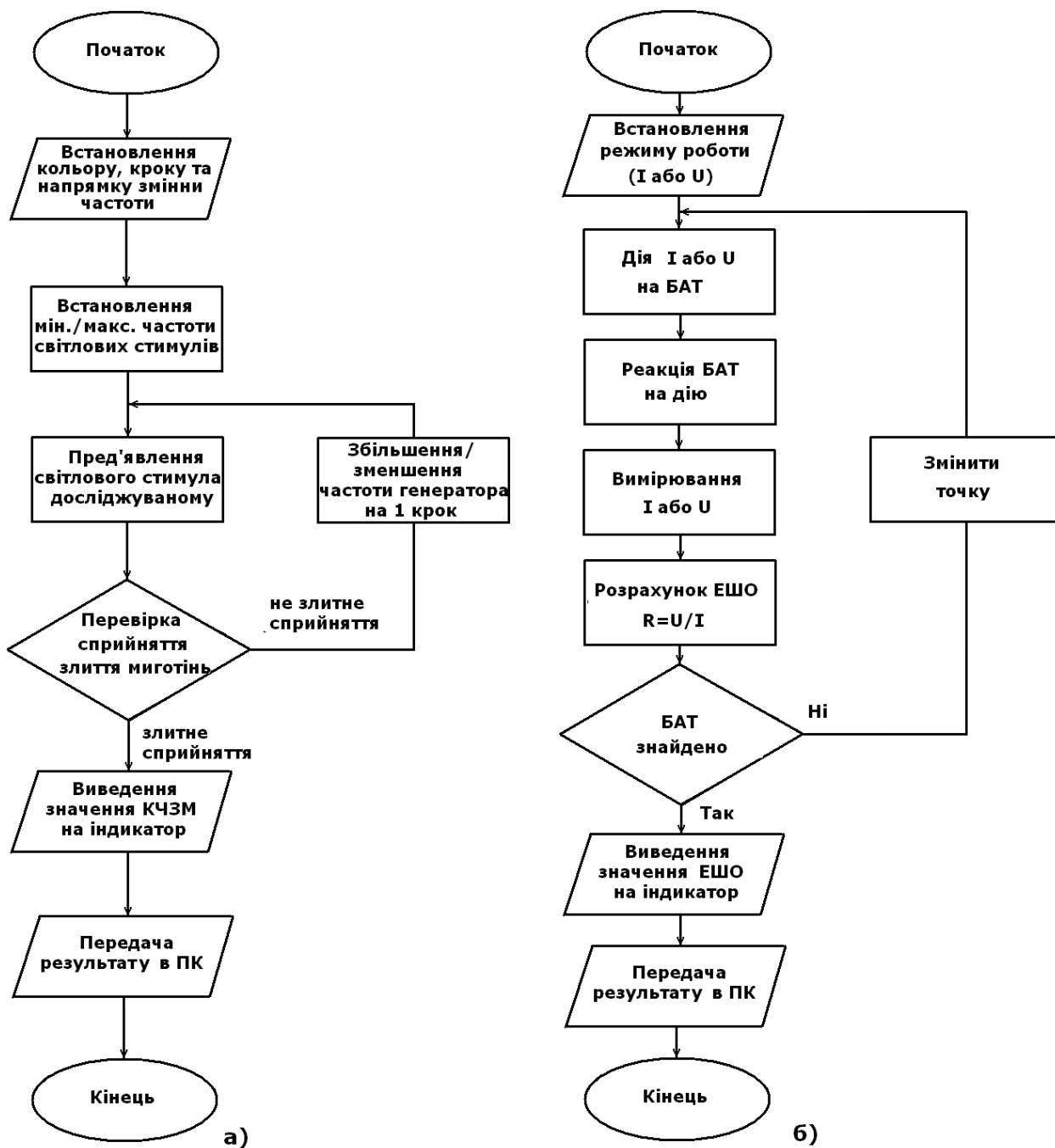


Рисунок 4 – Алгоритми отримання первинної інформації про КЧЗМ (а) та про ЕШО (б) оператора

Для оцінки показників психофізіологічного стану організму оператора було використано пристрій для визначення ЕШО та тест ТПАНС. Пристрій для визначення ЕШО, принцип дії якого заснований на подразненні нервових структур в біологічно активних точках шкіри людини, поєднує у своїй конструкції засіб формування сигналів і засіб вимірювання фізичних характеристик шкіри в точках впливу. В якості інтерфейсу сполучення всіх розроблених пристроїв з ПК використано інтерфейс USB. За допомогою стандартної програми Hyper Terminal, вбудованої в операційну систему Windows, отримані від пристроїв дані розпізнаються ПК, після чого можливе їх збереження в пам'яті ПК та експорт в інші програми для подальшої обробки.

Обробка та аналіз даних досліджень здійснювалися за кількома напрямками: оцінка поточного ФС, оцінка впливу візуально діючих факторів та прогнозування (колективне та індивідуальне) ФС. Для оцінки ФС оператора зорового профілю було виділено показники стану провідних систем організму, однак їх досить багато, що ускладнює процес оцінки ФС. У зв'язку з цим виникла необхідність зменшення обсягу показників без втрати якості оцінки ФС, що може бути досягнуто, наприклад, шляхом розробки інтегративних показників або відбору найбільш інформативних з усіх досліджених показників. З цією метою було розроблено методику зменшення обсягу досліджуваних показників за рахунок мінімізації їх зв'язності з використанням кореляційний методу. Показники ФС досліджуваних, отримані до і після зорової праці, об'єднувалися в матриці, в стовпцях яких знаходилися показники конкретного випробуваного, а в рядках – значення кожного з досліджених показників всіх випробуваних. Кількість рядків і стовпців матриць не обмежена, що дозволяє, в залежності від поставленого завдання дослідження, змінювати як кількість випробовуваних, так і кількість показників. Проте, при такому підході обов'язкове дотримання умови, що при збільшенні кількості досліджуваних показників необхідно відповідно збільшувати кількість випробовуваних.

Для оцінки ступеня зв'язку між показниками функціонального стану розраховувалися кореляційні матриці до і після зорової праці. Їх аналіз дозволяє виявити найбільш тісно пов'язані між собою показники, так як елементами таких матриць є парні коефіцієнти кореляції показників функціонального стану випробуваних. За отриманими кореляційними матрицями обчислювалися показники мультиколінеарності (M) (Е. Фьорстер, Б. Рьонц, 1983) до і після зорової праці за наступною формулою:

$$M = -\left(n - 1 - \frac{(2m + 5)}{6} \right) \ln(D), \quad (3)$$

де n – величина вибірки кожного з аналізованих параметрів; m - кількість параметрів; D – детермінант матриці коефіцієнтів парної кореляції між аналізованими параметрами. Математично M є характеристикою ступеня зв'язку між елементами кореляційної матриці, а з позицій фізіології – показником стану напруження досліджуваної функціональної системи. Бралось до уваги, що зростання показника M в процесі діяльності системи свідчить про її напруження (Кальніш В.В., 1993).

Для зменшення показника M матриці початкового стану був використаний метод виключення змінних. Після того, як один з корелюючих показників виключався з матриці вихідних даних функціонального стану випробовуваних, розрахунок мультиколінеарності проводився знову. При виключенні з розгляду показників враховувався і їх фізіологічний сенс. Процедура повторювалася доти, доки не було отримано значення M менше граничного значення $M_{гр}$, яке визначається з використанням критерію $\chi^2 = m(m-1)/2$. Порівнюючи показники мультиколінеарності до ($M_{п}$) і після ($M_{к}$) зорової праці та обчислюючи їх відношення, можна кількісно визначити зміну ФС оператора під впливом різних видів візуального навантаження. На підставі класифікації функціонального стану операторів, запропонованої О.О. Навакатікяном (1987), нами було визначено граничні значення показника ступеня стомлення S , що дозволяють оцінити поточний стан випробуваних у процесі вирішення зорових завдань.

Оцінку візуально діючих факторів проведено з використанням КВВ (1). Особливістю нашого підходу було те, що для розрахунку КВВ були використані не всі показники ФС, як це робили автори патенту, а тільки найбільш інформативні. Коефіцієнт візуального впливу в нашій інтерпретації дозволяє не тільки оцінити характер впливу візуального навантаження і виявити візуальну агресію, але і прогнозувати успішність конкретної людини у професійній діяльності, пов'язаній з зоровою працею. Для цього випробовуваному можна запропонувати тестове завдання, визначити до і після нього інформативні показники та розрахувати КВВ. У випадку, якщо його значення будуть вказувати на те, що тестове завдання є «візуально агресивним», не рекомендувати для цього претендента даний вид діяльності.

Для проведення колективного та індивідуального (для кожного члена досліджуваної групи) прогнозу ФС після зорової праці розроблено методику знаходження зв'язку матриці $\mathbf{Y} = \{\mathbf{y}_j\}_{j=1}^{\ell}$ початкового функціонального стану оператора до зорової праці та матриці $\mathbf{V} = \{\mathbf{v}_j\}_{j=1}^{\ell}$ кінцевого стану по кожному виду зорового навантаження. n -вимірні стовпці \mathbf{y}_j та \mathbf{v}_j ($j \in 1, \ell > n$) матриць \mathbf{Y} та \mathbf{V} відповідно вважаються випадковими взаємно незалежними векторами з однаковими векторами середніх значень $\overline{\mathbf{y}_j} = \overline{\mathbf{y}}$ та $\overline{\mathbf{v}_j} = \overline{\mathbf{v}}$ та коваріаційними матрицями (КМ), тобто:

$$y_i \sim \mathbf{N}(\overline{\mathbf{y}}, \mathbf{F}_Y), \quad \overline{\mathbf{y}_p \mathbf{y}_q^T} = \begin{cases} \mathbf{F}_Y = \{\phi_{ij}\}_{i,j=1}^n, & p = q \\ 0, & p \neq q \end{cases}, \quad (4)$$

$$v_i \sim \mathbf{N}(\overline{\mathbf{v}}, \mathbf{F}_V), \quad \overline{\mathbf{v}_p \mathbf{v}_q^T} = \begin{cases} \mathbf{F}_V = \{\phi_{ij}\}_{i,j=1}^n, & p = q \\ 0, & p \neq q \end{cases}, \quad p, q \in 1, \ell.$$

У запропонованому методі вважається, що матриця \mathbf{V} є результатом лінійного перетворення матриці \mathbf{Y} , яке має вигляд

$$\mathbf{V} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{Y}, \quad \mathbf{v}_i = \mathbf{B} \cdot \mathbf{y}_i, \quad i \in 1, \ell$$

і визначається квадратною матрицею перетворення $\mathbf{B} = \{\mathbf{b}_{i,j}\}_{i,j=1}^n$.

Використовуючи для симетричних та позитивно визначених в умовах (4) матриць \mathbf{F}_Y та \mathbf{F}_V відомі подання

$$\mathbf{F}_Y = \mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^T, \quad \mathbf{F}_V = \mathbf{C} \cdot \mathbf{C}^T,$$

де \mathbf{A} та \mathbf{C} – «корені» матриць \mathbf{F}_Y і \mathbf{F}_V відповідно, для шуканої матриці перетворення отримаємо

$$\mathbf{B} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{A}^{-1}. \quad (5)$$

В реальних умовах замість звичайно апріорі невідомих матриць \mathbf{F}_Y і \mathbf{F}_V запропоновано використовувати їх максимально правдоподібні оцінки

$$\hat{\mathbf{F}}_Y = \frac{1}{\ell} \sum_{i=1}^{\ell} \mathbf{y}_i \cdot \mathbf{y}_i^T - \hat{\mathbf{y}} \cdot \hat{\mathbf{y}}^T, \quad \hat{\mathbf{y}} = \frac{1}{\ell} \sum_{i=1}^{\ell} \mathbf{y}_i, \quad \hat{\mathbf{F}}_V = \frac{1}{\ell} \sum_{i=1}^{\ell} \mathbf{v}_i \cdot \mathbf{v}_i^T - \hat{\mathbf{v}} \cdot \hat{\mathbf{v}}^T, \quad \hat{\mathbf{v}} = \frac{1}{\ell} \sum_{i=1}^{\ell} \mathbf{v}_i. \quad (6)$$

У цьому випадку

$$\hat{\mathbf{B}} = \hat{\mathbf{C}} \cdot \hat{\mathbf{A}}^{-1}, \quad (7)$$

де $\hat{\mathbf{C}}$ і $\hat{\mathbf{A}}$ – корені оціночних матриць $\hat{\mathbf{F}}_V$ і $\hat{\mathbf{F}}_Y$ відповідно, які задовольняють рівнянням $\hat{\mathbf{F}}_Y = \hat{\mathbf{A}} \cdot \hat{\mathbf{A}}^T$ та $\hat{\mathbf{F}}_V = \hat{\mathbf{C}} \cdot \hat{\mathbf{C}}^T$ та завжди існують в силу симетрії і додатньої визначеності оцінок (6) в розглянутих умовах $\ell > n$.

У четвертому розділі надано результати використання розробленої інформаційної технології для оцінки та прогнозування функціонального стану оператора зорового профілю. На основі даних експериментів було розраховано матриці перетворення для статичного (текст на паперовому носії, текст на ПК) та динамічного (комп'ютерні ігри пасьянс «Косинка», «DX Ball» та гра на мобільному телефоні) візуального навантаження. Для оцінки ефективності методики прогнозування було побудовано колективний та індивідуальний (для кожного члена досліджуваної групи) прогноз кінцевого

функціонального стану випробовуваних після зорового навантаження «текст на ПК». З цією метою групі випробовуваних з 86 осіб (студенти ВНЗ) у віці $(21,9 \pm 0,6)$ року було запропоновано зорове навантаження «текст на ПК» та за отриманими до і після зорової праці функціональними показниками було визначено матрицю перетворення. Далі були взяті дані до і після зорової праці на комп'ютері групи з 37 професійних користувачів ПК, середній вік яких складав $(30,2 \pm 6,4)$ року. За показниками їхнього початкового стану, з використанням матриці перетворення, отриманої в експерименті, було розраховано матрицю показників кінцевого стану. Матриця перетворення, отримана в експерименті, могла бути використана для прогнозу кінцевого функціонального стану професійних операторів, оскільки, як студенти, так і професійні оператори знаходилися в одному віковому інтервалі (18-35 років) та мали функціональні показники в межах вікових норм. Для підтвердження правильності прогнозу кінцевого стану за розрахунковою та експериментальною матрицями було визначено показники M та розраховано показник ступеня стомлення S . Відносна помилка показника, обчисленого за розрахунковою матрицею кінцевого стану, в порівнянні з показником, обчисленим за експериментальними даними, склала 11,7%. Крім того, було проведено порівняння з використанням показника ступеня близькості r розрахункової

$$V_p = \{v_{ij}^{(p)}\}_{i=1, j=1}^{n, \ell}$$

та експериментальної

$$V_s = \{v_{ij}^{(s)}\}_{i=1, j=1}^{n, \ell}$$

матриць з використанням нормованої суми квадратів різницевої матриці

$$\Delta = \{\delta_{ij}\}_{i=1, j=1}^{n, \ell} = V_p - V_s$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{\ell} \delta_{ij}^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{\ell} (v_{ij}^{(p)})^2 \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{\ell} (v_{ij}^{(s)})^2}} \cdot 100\%$$

Очевидно, що при однаковості цих матриць значення $r = 0$ і воно монотонно збільшується при збільшенні модулів різниці елементів цих матриць. В описаному випадку отримане значення r склало 19%.

Оскільки в кожному стовпці матриці кінцевого стану містяться показники конкретного випробовуваного, то за розрахованою матрицею кінцевих станів можна здійснювати індивідуальний прогноз значень функціональних показників саме для цього випробовуваного. Порівняння розрахункових та експериментальних показників кінцевого стану показало, що відносна похибка прогнозу становить $(8,3 \pm 3,0)\%$. За показниками розрахункової матриці можна також визначити інтегративний показник ступеня стомлення I та КВВ для кожного випробовуваного групи. Отримані результати вказують на допустимі в медицині рівні помилок для колективного та індивідуального прогнозів.

За результатами дослідження ФС випробовуваних при різних видах візуального навантаження було розраховано матриці перетворення, які можуть бути використані для прогнозування ФС та розрахунку узагальнених показників. Перспективність розробленого методу прогнозування полягає в тому, що він може бути використаний не тільки для професійної діяльності, але і, наприклад, для прогнозу перебігу якого-небудь захворювання або ефективності лікування.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі дано нове розв'язання актуальної задачі розробки та реалізації інформаційної технології оцінки функціонального стану оператора зорового профілю, яка дозволяє реєструвати показники за допомогою програмно-апаратного комплексу, здійснювати

вибір інформативних показників на основі мінімізації їх зв'язності і прогнозувати зміну цього стану в процесі зорової праці з різними видами візуального навантаження.

1. Розроблений програмно-апаратний комплекс, в якому використано блоковий принцип побудови, що полягає в можливості виборчого включення окремих блоків та їх поєднання у залежності від завдань дослідження, дозволяє оцінити стан зорової системи, психофізіологічний стан і функціональний стан людини в цілому в процесі зорової праці.

2. Запропонований єдиний підхід до побудови приладів, що входять до програмно-апаратного комплексу, забезпечує реалізацію функцій генерування тестових сигналів, отримання та перевірки відповідної реакції випробовуваного, зберігання та виведення інформації на індикатор, передачу результатів вимірювань в персональний комп'ютер.

3. Розроблений алгоритм обробки і аналізу даних дозволяє проводити відбір інформативних показників функціонального стану людини і обчислювати матрицю перетворення початкового функціонального стану в кінцевий, використання якої дає можливість прогнозувати за початковим станом кінцевий для кожного випробовуваного (відносна помилка $8,0 \pm 3,0\%$) або групи випробовуваних (відносна помилка $11,7\%$) при різних видах візуального навантаження.

4. На підставі експериментальних досліджень функціонального стану операторів зорового профілю в процесі роботи на персональному комп'ютері встановлено, що найбільш інформативними показниками для його оцінки є позитивний резерв акомодатії, показник працездатності, критична частота злиття світлових миготінь жовтого кольору, час простої зорово-моторної реакції та кількість допущених помилок.

5. Уточнений коефіцієнт візуального впливу, який розраховується з урахуванням тільки інформативних показників, відібраних на підставі мінімізації показника мультиколінеарності матриці вихідних станів, дозволяє класифікувати візуально діючі чинники як «візуально оптимальні» та «візуально агресивні» індивідуально для кожного випробовуваного, що дає можливість не тільки оцінювати різні види візуального навантаження, але і проводити професійний відбір за спеціальностями, пов'язаними з сприйняттям зорової інформації.

6. Створений на основі експериментальних досліджень банк матриць перетворення початкового стану в кінцевий для статичного (текст на комп'ютері, текст на папері, комп'ютерна гра «Пасьянс») та динамічного (комп'ютерна гра «DX Ball», ігри на мобільному телефоні) візуального навантаження дозволяє прогнозувати колективну та індивідуальну функціональну реакцію випробовуваних на ці види навантаження за їх початковим станом.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кочина М.Л. Автоматизированный комплекс для диагностики функционального состояния пользователей ПК / М.Л. Кочина, Л.Ф. Сайковская // Радиотехника: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – 2006. – Вып. 146. – С. 49 – 54.
2. Сайковская Л.Ф. Результаты исследования частотных характеристик зрительной системы с использованием автоматизированного прибора / Л.Ф. Сайковская // Бионика интеллекта: научно-технический журнал. – 2008. – №2 (69). – С. 173 – 176.
3. Сайковская Л.Ф. Результаты использования корреляционного метода для моделирования состояния человека-оператора / Л.Ф. Сайковская // Сборник научных статей ХУПС. – 2009. – № 3 (21) – С. 149 – 152.
4. Кочина М.Л. Информационная технология для оценки функционального состояния оператора зрительного профиля / М.Л. Кочина, Л.Ф. Сайковская // Системи обробки інформації. – 2009. – № 6 (80) – С. 191–195.
5. Кочина М.Л. Подходы к моделированию функционального состояния зрительной системы / М.Л. Кочина, С.Н. Лад, Н.П. Полетова, Л.Ф. Сайковская, А.В. Яворский // Кибернетика и вычислительная техника. – 2009. – Вып. 159. – С. 19 – 27.

6. Деклараційний патент 32895 А UA, МПК А 61 В 3/00, А 61 F 9/00 . Спосіб оцінки зорової втоми людини / М.Л. Кочина, О.В. Яворський, Л.Ф. Сайківська; Харківський державний медичний університет, Харківський національний університет радіоелектроніки. – № 32895; заявл. 10.12.07; опубл. 10.06.08, Бюл. № 11. – 6 с.
7. Кочина М.Л. Результаты исследования динамики функциональных показателей зрительной системы и психофизиологических показателей студентов в процессе работы на компьютере / М.Л. Кочина, В.И. Чумаков, Л.Ф. Сайковская, С.Н. Лад, А.В. Яворский, М.И. Ковтун // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: 16-я Международная Крымская конференция, 11-15 сентября 2006 г.: тезисы докл. – Севастополь, 2006. – Т. 1. – С. 54-55.
8. Яворский А.В. Компьютерный зрительный синдром и его медикаментозная профилактика / А.В. Яворский, Н.Г. Лобортас, Л.М. Рогозянская, О.А. Павлий, М.Л. Кочина, Л.Ф. Сайковская // Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов. ЭКО – 2005: 13 Международная научно-практическая конференция, 2005 г.: сборник научных статей. – Х., 2005. – С. 326 – 330.
9. Кочина М.Л. Результаты исследования динамики функциональных показателей зрительной системы пользователей при работе на компьютере / М.Л. Кочина, В.И. Чумаков, Л.Ф. Сайковская, А.В. Яворский, М.И. Ковтун, // Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов. ЭКО – 2006: 14 Международная научно-практическая конференция, 2006 г.: сборник научных статей. – Х., 2006. – С. 98 – 102.
10. Сайковская Л.Ф. Результаты использования автоматизированного прибора для исследования КЧСМ / Л.Ф. Сайковская, М.И. Ковтун, Л.С. Шверник // Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов. ЭКО – 2007: 15 Международная научно-практическая конференция, 4-8 июня 2007 г.: сб. научных статей. – Х., 2007. – С. 89 – 92.
11. Сайковская Л.Ф. Автоматизированное устройство для исследования рефлекторной реакции / Л.Ф. Сайковская // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ – 2007: 3-й Международная молодежная научно-техническая конференция, 16-21 апреля 2007 г.: тезисы докл. – Севастополь, 2007. – С. 264.
12. Сайковская Л.Ф. Автоматизированный прибор для исследования КЧСМ у пользователей информационных технологий / Л.Ф. Сайковская // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 11-й Международный молодежный форум, 10-12 апреля 2007 г.: сборник докладов. – Харьков, 2007. – С. 295.
13. Кочина М.Л. Особенности реакции зрительной системы лиц мужского и женского пола на дисплейную загрузку / М.Л. Кочина, А.В. Яворский, М.И. Ковтун, Л.Ф. Сайковская // Гендер. Экология. Здоровье: 1-я Международная научно-практическая конференция, 23-24 октября 2007 г. – Х., 2007. – С. 90 – 92.
14. Сайковская Л.Ф. Автоматизированное устройство для исследования центральной нервной системы человека при работе в электромагнитных полях / Л.Ф. Сайковская // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: 18-й Международная Крымская конференция, 8–12 сентября 2008 г. – Севастополь, 2008. – С. 844-845.
15. Сайковская Л.Ф. Комплекс для оценки психофизиологического состояния пользователей ПК / Л.Ф. Сайковская // Радиоэлектроника и молодежь XXI века: 12-й Международный молодежный форум, 1-3 апреля 2008 г.: сборник докладов. – Харьков, 2008. – С. 106.
16. Сайковская Л.Ф. Программно-аппаратный комплекс для диагностики психофизиологического состояния пользователей видеодисплейных терминалов / Л.Ф. Сайковская // Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития: 3-й Международный радиоэлектронный форум (МРФ – 2008): сборник докладов. – Харьков, 2008. – Т. 4. – С. 125 – 127.

17. Сайковская Л.Ф. Техническая реализация метода оценки степени утомления человека / Л.Ф. Сайковская // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2008: 4-й Международная молодежная научно-техническая конференция, 21-25 апреля 2008 г.: тезисы докл. – Севастополь, 2008. – С. 346.
18. Кочина М.Л. Подходы к оценке функционального состояния операторов зрительного профиля с использованием программно-аппаратного комплекса / М.Л. Кочина, В.Г. Калиманов, Л.Ф. Сайковская, А.Г. Фирсов, О.Н. Шелест // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: 19-й Международная Крымская конференция, 12-15 сентября 2009 г.: тезисы докл. – Севастополь, 2009. – С. 883.
19. Сайковская Л.Ф. Подходы к оценке функционального состояния пользователей ПК в системе «человек-машина» / Л.Ф. Сайковская // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ–2009: 5-я Международная молодежная научно-техническая конференция, 20-25 апреля 2009 г.: тезисы докл. – Севастополь, 2009. – С. 317.

АНОТАЦІЯ

Сайківська Л.Ф. Інформаційна технологія оцінки функціонального стану оператора зорового профілю – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.09 – медична та біологічна інформатика і кібернетика – Міжнародний науково – навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН України і МОН України, Київ, 2011.

У дисертаційній роботі дається рішення актуального завдання розробки та реалізації інформаційної технології оцінки функціонального стану оператора зорового профілю, яка дозволяє реєструвати показники за допомогою програмно-апаратного комплексу, здійснювати вибір інформативних показників на основі мінімізації їх зв'язності та прогнозувати зміну цього стану в процесі зорової праці з різними видами візуального навантаження.

Для оцінки і прогнозування функціонального стану оператора зорового профілю в процесі зорової діяльності з різними видами візуального навантаження був розроблений алгоритм розрахунку матриці перетворення початкового функціонального стану в кінцевий, за допомогою якої за вихідними даними можна прогнозувати кінцеві їх значення після зорової праці, визначати узагальнені показники загального стомлення та стомлення ЦНС.

Визначення показників функціонального стану операторів зорового профілю здійснювалося з використанням програмно-апаратного комплексу, особливістю якого є його блокова структура, що дозволяє використовувати різні комбінації приладів для дослідження стану ЦНС (рефлексометри та пристрій для визначення критичної частоти злиття мигтіння (КЧЗМ)), зорової системи (пристрій для визначення КЧЗМ) та електрошкірного опору.

Розроблений алгоритм обробки інформації про функціональний стан оператора зорового профілю може бути використаний не тільки для оцінки поточного функціонального стану і прогнозування зміни цього стану по вихідному функціональному стану при виконанні різних видів зорових завдань, але й для прогнозу стану для широкого кола завдань.

Ключові слова: інформаційна технологія, оператор зорового профілю, оцінка функціонального стану, матриця перетворення, стомлення, інтегративні показники, програмно-апаратний комплекс.

АННОТАЦИЯ

Сайковская Л.Ф. Информационная технология оценки функционального состояния оператора зрительного профиля – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.09 – медицинская и биологическая информатика и кибернетика. – Международный научно – учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины и МОН Украины, Киев, 2011.

В диссертационной работе дается решение актуальной задачи разработки и реализации информационной технологии оценки функционального состояния оператора зрительного профиля, позволяющей регистрировать показатели с помощью программно-аппаратного комплекса, осуществлять выбор информативных показателей на основе минимизации их связности и прогнозировать изменение этого состояния в процессе зрительного труда с различными видами визуальной нагрузки.

Сформированная информационная модель функционального состояния оператора зрительного профиля, объединяющая состояние зрительной системы и психофизиологическое состояние, позволила определить комплекс информативных показателей функционального состояния при решении зрительных задач.

Впервые предложены обобщенные показатели общего утомления (S) и утомления ЦНС (I), а также комплекс критериев для оценки функционального состояния оператора зрительного профиля.

Для оценки и прогнозирования функционального состояния оператора зрительного профиля в процессе зрительной деятельности с разными видами визуальной нагрузки был разработан алгоритм расчета матрицы преобразования начального функционального состояния в конечное. С использованием полученной матрицы преобразования по исходным данным можно прогнозировать конечные их значения после зрительного труда, по ним определять предполагаемые обобщенные показатели общего утомления и утомления ЦНС.

Предложен алгоритм классификации визуально действующих факторов по степени воздействия на организм, основанный на расчете коэффициента визуального влияния с использованием показателей функционального состояния испытуемых, отобранных на основании минимизации показателя мультиколлинеарности матрицы исходных данных, позволяющий оценить разные виды визуальной нагрузки и проводить профессиональный отбор на специальности, связанные с восприятием зрительной информации.

В соответствии с информационной технологией определение показателей функционального состояния операторов зрительного профиля осуществлялось с использованием программно-аппаратного комплекса, в состав которого входят разработанные нами приборы, позволяющие проводить предъявление визуальной информации, регистрацию ответов испытуемого или сигналов от датчиков, обработку информации и представление ее на бумажном или электронном носителе. Особенностью программно-аппаратного комплекса является его блочная структура, позволяющая, в зависимости от поставленных в исследовании задач, использовать различные комбинации приборов и методик, что расширяет возможности его применения. Особенностью разработанных приборов для оценки функционального состояния ЦНС (рефлексометры и устройство для определения критической частоты слияния мельканий (КЧСМ)), зрительной системы (устройство для определения КЧСМ) и электрокожного сопротивления является то, что все они построены по единому принципу и выполнены на программно управляемых микроконтроллерах, генерирующих тестовые сигналы, регистрирующих и проверяющих качество ответной реакции испытуемого, обеспечивающих временное хранение и передачу результатов измерений в ПК.

Разработанный алгоритм обработки информации о функциональном состоянии оператора зрительного профиля может использоваться не только для оценки текущего функционального состояния и прогнозирования изменения этого состояния по исходному функциональному состоянию при выполнении разных видов зрительных задач, но и для прогноза состояния для широкого круга задач.

Ключевые слова: информационная технология, оператор зрительного профиля, оценка функционального состояния, матрица преобразования, утомление, интегративный показатель, программно-аппаратный комплекс.

ABSTRACT

Saikovskaya L.F. Information technology of evaluating an operator's visual profile functional state – Manuscript.

The testis of candidate degree for technical science in medical and biological informatics and cybernetics (05.13.09). – International Research and Training Centre of Information Technologies and Systems, Kiev, 2011.

The thesis performs solving an actual problem of developing and implementing an information technology of evaluating functional state of an operator's visual profile that allows you to record its indicators by means of software and hardware, to choose informative indicators based on minimizing their connectivity and to predict changes of the condition during the process of visual work with different kinds of visual stress.

There is an algorithm developed for calculating a matrix of transforming the initial functional state, into the final one for evaluating and predicting the functional state of an operator's visual profile during the visual activity with different kinds of visual load. Using the above mentioned matrix one can predict their final value after visual work, that enables to identify indicators of the overall generalized fatigue and fatigue of the central nervous system (CNS) fatigue.

Determinating the functional state of visual profile operator's was carried out by means of software and hardware, the feature characteristic them is their modular structure, which allows various combinations of instruments for studying the CNS (refleksometers and a device for measuring a critical frequency of flickering fusion (CFFF)), the visual system (a device for determining CFFF) and the electrodermal resistance.

The given algorithm of processing information on the functional state an operator's visual profile can be used not only to evaluate the current functional state and to prognosticate changes of the condition from the initial functional state in carrying out various kinds of visual tasks, but also to predict a wide range of tasks.

Key words: information technology, visual profile operator functional state evaluation, transforming matrix, fatigue, integrated indicators, software and hardware.

САЙКІВСЬКА Лілія Федорівна

УДК: 617.751-057-07

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ
ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОПЕРАТОРА ЗОРОВОГО ПРОФІЛЮ

05.13.09 – медична і біологічна інформатика та кібернетика

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до 17.03.2011.
Умов. друк. арк. 1,2.
Зам. № 2-236

Формат 60x84 ¹/₈.
Облік-вид. арк. 1,0.
Ціна договірна.

Друк – ризографія.
Папір офсетний.
Наклад 100 прим.

Надруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ.
Україна, 61166, Харків, просп. Леніна, 14.

