

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

ГОРДЄЄВ АРТЕМ ДМИТРОВИЧ

УДК [004.415.2:004.514]:612.821(043.3)

**МЕТОДИ ТА БІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ПРОФЕСІЙНОГО ВІДБОРУ
ОПЕРАТОРІВ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ВИДІВ ДІЯЛЬНОСТІ**

Спеціальність 05.11.17 – Біологічні та медичні прилади і системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному авіаційному університеті м. Київ, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кузовик Вячеслав Данилович,
Національний авіаційний університет, м. Київ,
завідувач кафедри біокібернетики та
аерокосмічної медицини.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Поворознюк Анатолій Іванович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”,
професор кафедри обчислювальної техніки та
програмування

доктор технічних наук, професор
Лисенко Олександр Миколайович,
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського”, завідувач кафедри
конструювання електронно-обчислювальної
апаратури

Захист відбудеться «23» березня 2018 року о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.06 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210 ГНК.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий «20» лютого 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

С. В. Тимчик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Аналіз літературних джерел показав, що 80% авіаційних катастроф, 70% катастроф в атомній енергетиці та 64% на морському флоті сталися через помилкові дії фахівців, тобто через людський фактор. Майже у 95% учасників антарктичних експедицій мали місце порушення психофізіологічного стану (ПФС) організму внаслідок довготривалої дії екстремальних умов зовнішнього середовища. Тому, для зниження небезпечних наслідків діяльності операторів екстремальних видів діяльності (ОЕВД) є актуальним питання їх ефективного професійного відбору, що реалізується завдяки дослідженню параметрів інформаційно-енергетичного поля (ІЕП) їх організму апаратно-програмними засобами.

Серед відомих світових та вітчизняних наукових шкіл, які працюють у напрямі дослідження психофізіологічних резервів організму та професійного відбору ОЕВД, в першу чергу слід виділити такі школи: Р. С. Уейнберга, В. А. Бодрова, Л. І. Лебедева, Б. Ф. Ломова, В. А. Литвинова, Є. В. Моїсеєнка, О. А. Мірошніченко, В. Д. Кузовика, С. В. Павлова, С. М. Злепка, С. В. Тимчика, О. Т. Кожухаря, О. М. Роїка, Й. Й. Білинського та інші.

Враховуючи професійні особливості ОЕВД, визначено поняття ефективності професійного відбору як здатність оператора виконувати поставлені завдання з найменшими витратами часу та зусиль. При цьому, кількісно оцінити ефективність виконання професійного відбору ОЕВД можна за допомогою: - верифікації прогнозу відбору із фактичними результатами професійної придатності операторів; - порівнянні часу затраченого на реалізацію процедури професійного відбору до та після введення розробленої біотехнічної системи в експлуатацію.

Досліджуючи сучасні апаратно-програмні біотехнічні системи для професійного відбору ОЕВД було виявлено ряд недоліків, а саме:

- зазвичай, не забезпечується попереднє групування ОЕВД за індивідуальними психофізіологічними характеристиками, що погіршує формування баз даних (БД) на основі біомедичної інформації;
- не включається розрахунок кількісних інтегральних показників ПФС організму ОЕВД, які враховують адаптаційні можливості операторів, що призводить до порушень працездатності ОЕВД в екстремальних умовах зовнішнього середовища;
- наявність суб'єктивної оцінки результатів електроенцефалографії медичним персоналом під час професійного відбору ОЕВД через трудомісткість процесу обробки сигналів електроенцефалограми (ЕЕГ);
- відсутність універсальності програмного забезпечення (ПЗ) через орієнтованість на професійний відбір операторів певної професії;

– недостатнє використання реляційних БД та ПЗ з графічним інтерфейсом розробленим для медичного персоналу, які здійснюють професійний відбір ОЕВД.

Додатково до перерахованих недоліків можна зазначити, що, зазвичай, під час професійного відбору ОЕВД використовуються некомп'ютеризовані комплексні дослідження, які складаються з психологічних тестів та складних тренажерних установок. Відсутність комп'ютеризації біотехнічних систем під час процедури професійного відбору ОЕВД погіршує реалізацію та інтерпретацію результатів досліджень, а отже знижує ефективність їх професійного відбору.

Вирішення задач, пов'язаних з перерахованими недоліками, може бути успішно виконане шляхом удосконалення та розвитку методів та моделей, а також створення на їх основі біотехнічної системи, для професійного відбору ОЕВД як на етапі професійного відбору ОЕВД, так і на етапі прогнозування ПФС їх організму під час виконання професійних обов'язків в екстремальних умовах зовнішнього середовища.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні «Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань» та «Інформаційні та комунікаційні технології». Основний зміст роботи складають дослідження виконані в період 2012-2017 років відповідно до тематичних планів виконання науково-дослідних робіт у Національному авіаційному університеті, зокрема: «Створення біомедичної програмно-апаратної системи дослідження та оцінювання стану центральної нервової діяльності антарктичних зимівників» (№ державної реєстрації 0113U006119); «Розробка методів оцінки психофізіологічного стану операторів»; «Розробка методів побудови системи для підвищення вірогідності оцінювання психофізіологічного стану фахівців екстремальних видів діяльності».

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності процедури професійного відбору ОЕВД шляхом розробки та вдосконалення методів і моделей для кількісного оцінювання ПФС організму операторів, а також створення на їх основі сучасної біотехнічної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– провести аналітичний огляд сучасних методів та біотехнічних систем для професійного відбору ОЕВД з метою дослідження їх ефективності, виявлення недоліків та переваг в їх роботі;

– розробити функціональну модель дослідження параметрів ІЕП організму ОЕВД для оптимізації використання технічних засобів кількісного оцінювання ПФС організму ОЕВД;

– розробити метод класифікації ОЕВД за категорією темпераменту та розрахунку рівня психічної придатності ОЕВД;

– розробити метод розрахунку рівня фізіологічної придатності ОЕВД на основі обробки електроенцефалографічних сигналів;

– розробити автоматизовану систему підтримки прийняття рішень (СППР) з математичною моделлю взаємозв'язку параметрів ІЕП на основі розробленої біотехнічної системи для комп'ютеризації процедури професійного відбору ОЕВД;

– розробити ПЗ з рекомендаціями до методики експериментальних досліджень з метою реалізації процедури ефективного професійного відбору ОЕВД.

Об'єкт досліджень – процедура оцінювання ПФС організму ОЕВД.

Предмет досліджень – методи та біотехнічна система визначення рівня професійної придатності ОЕВД.

Методи дослідження. В процесі дисертаційного дослідження були використані: методи математичної статистики для визначення інтервальних оцінок рівня психологічної та фізіологічної придатності операторів; методи проектування програмних продуктів на основі мови UML, для проектування ПЗ; методологія функціонального моделювання IDEF0, для розробки контекстної діаграми функціональної моделі професійного відбору ОЕВД; методи обробки спектральної щільності потужності сигналів електроенцефалограми, для розрахунку інтегрального кількісного коефіцієнту енергетичної щільності; ітераційне моделювання методом Монте-Карло, для отримання достатньої кількості вибірки експериментальних даних; робастний метод обробки статистичних даних, для збереження експериментальних значень у генеральній сукупності, які підлягають виключенню з вибірки на початкових стадіях заповнення БЗ; алгебра логіки множин для групування ОЕВД за типом темпераменту; методи експериментальних досліджень для перевірки роботи та ефективності розробленої біотехнічної системи. Побудову програмного забезпечення, а також обробку результатів експериментальних досліджень здійснювали за допомогою програми MatLab 2016a.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше розроблено методи та моделі, а також створено на їх основі біотехнічну систему, для вирішення науково-прикладної проблеми підвищення ефективності процедури професійного відбору ОЕВД за рахунок кількісного оцінювання ПФС організму ОЕВД. Основні отримані результати виконаної роботи:

– Вперше розроблено функціональну модель поетапного дослідження параметрів ІЕП організму ОЕВД, яка полягає у кількісному оцінюванні ПФС організму ОЕВД за допомогою сучасних засобів та методів, що забезпечило оптимізацію кількості технічних засобів при розробці біотехнічної системи професійного відбору ОЕВД;

– Дістав подальшого розвитку метод класифікації ОЕВД за типом темпераменту, який на відміну від відомих враховує психологічну та фізіологічну складові особистості ОЕВД разом з адаптаційними можливостями, а також реалізовує розрахунок інтегрального кількісного параметру рівня психічної

придатності (Q_{pr}) ОЕВД, що дозволило підвищити ефективність процедури професійного відбору за затраченим часом в 2,5 рази;

– Вперше розроблено метод оцінювання ПФС організму ОЕВД на основі параметрів спектральної щільності потужності (СЩП) сигналів перехідних процесів енергетичного поля кори головного мозку (КГМ), який полягає в розрахунку інтегрального кількісного коефіцієнту енергетичної щільності (Q_{eeg}) для визначення рівня фізіологічної придатності ОЕВД, що дозволило підвищити ефективність професійного відбору на 18%;

– Вперше розроблено математичну та графічну модель взаємозв'язку між параметрами ІЕП людини, яка полягає у трьохвимірному представленні параметрів усередненої миттєвої швидкості СЩП фонового сигналу ($Diff_{fon}$) та коефіцієнта кефалографії (K_{kef}) у часовій області, яка дозволила реалізовувати поглиблене оцінювання ПФС під час процедури професійного відбору ОЕВД та прогнозувати динаміку зміни ПФС організму ОЕВД під час їх перебування в екстремальних умовах зовнішнього середовища.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

– Комп'ютеризовано процедуру класифікації ОЕВД за типом темпераменту, яка враховує адаптаційні особливості ОЕВД, що дозволило підвищити швидкість професійного відбору ОЕВД в 2,5 рази, а також врахувати їх індивідуальні психофізіологічні характеристики для подальшого збору біомедичної інформації;

– Розроблено платформонезалежне ПЗ із графічним інтерфейсом та СППР для медика-спеціаліста на основі програмного середовища MatLab, яке реалізовує збір та обробку біомедичної інформації, що дозволило збільшити ефективність професійного відбору ОЕВД на 18% в порівнянні з аналогічним ПЗ;

– Розроблено реляційну базу даних на основі MySQL для зберігання експериментальних даних біотехнічної системи, що дозволило об'єднати експериментальні дані досліджень, а також створити на їх основі базу знань (БЗ) для професійного відбору ОЕВД;

– Розроблено біотехнічну систему, яка включає підсистеми збору, зберігання, оброблення даних та підтримки прийняття рішення, що дозволило автоматизувати процедуру професійного відбору ОЕВД, а, отже, підвищити її ефективність.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у виробничий процес Національного антарктичного наукового центру (м. Київ) та ДУ «Національний інститут хірургії та трансплантології ім. О.О. Шалімова» НАМН України (м. Київ), а також у навчальний процес на кафедрі біокібернетики та аерокосмічної медицини (БІКАМ) Національного авіаційного університету (НАУ), що підтверджується відповідними актами:

- акт від 29.10.2014 р. про використання в результатах спільної з Національним антарктичним науковим центром НДР (№ ДР 0113U006119) методу класифікації ОЕВД за типом темпераменту з кількісним розрахунком їх рівня психічної та фізіологічної професійної придатності, а також математичну модель

процесу взаємозв'язку між параметрами усередненої миттєвої швидкості СЩП фонового сигналу ЕЕГ та коефіцієнта кефалографії у часовій області, що дозволило підвищити ефективність процедури професійного відбору ОЕВД;

- акт від 09.09.2016 р. про використання в ДУ «Національний інститут хірургії та трансплантології ім. О.О. Шалімова» методу статистичної обробки сигналів СЩП ЕЕГ, а також ПЗ із СППР для оцінювання ПФС організму ОЕВД, що сприяло автоматизації процедури професійного відбору на основі розробленої біотехнічної системи;

- акт від 13.10.2016 р. про впровадження в навчальний процес кафедри БІКАМ НАУ концептуальну модель ІЕП людини, а також методику та особливості реалізації експериментальних досліджень оцінювання ПФС організму ОЕВД при викладенні навчальних дисциплін для студентів спеціальності 7.05090204 «Біотехнічні та медичні апарати і системи», 6.051402 «Біомедична інженерія», що сприяло поглибленню знань студентів в напрямку створення біотехнічних систем, апаратно-програмних комплексів, та медичних баз даних.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертації, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. В роботах опублікованих в співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: в [9, 10, НАУ] – запропоновано підхід до класифікації операторів за типом темпераменту; в [4, 21, НАУ] – розроблено підхід статистичної обробки параметрів інформаційно-енергетичного поля організму людини; в [7, 30, НАУ] – розглянуто підхід до реєстрації кефалографічних даних; в [17, 21, 29, НАУ] – розроблено модель дослідження параметрів ІЕП організму людини; в [31, 32, НАУ] – реалізовано проектування ПЗ для професійного відбору ОЕВД; в [3, 6, 13, НАУ] – запропоновано структурну схему біотехнічної системи та алгоритм СППР для професійного відбору ОЕВД; в [1, 8, НАУ] – запропоновано методику реалізації експериментальних досліджень для професійного відбору ОЕВД; [19, 27, НАУ] в – розглянуто особливості оцінювання ПФС організму ОЕВД; [18, 20, НАУ] – представлено особливості дослідження аудіо-візуальної стимуляції перехідних процесів ЕЕГ ОЕВД; в [14, 15, НАУ] – представлено особливості роботи ІЕП людини; в [24, 26, 28, НАУ] – розроблено методику обробки сигналів КГМ; в [5, 12, НАУ] – запропоновано підхід моделювання біологічних параметрів ОЕВД методом Монте-Карло; в [11, 16, НАУ] – розроблено БД експериментальних досліджень; в [22, 25, НАУ] – розроблено діаграму Ісікаві факторів впливу на процедуру професійного відбору ОЕВД.

Апробація результатів дисертації. Наукові та практичні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на міжнародних та вітчизняних науково-технічних семінарах і конференціях, зокрема:

- VI, VII, VIII міжнародній Антарктичній конференції, 2013, 2015, 2017, м. Київ;

- XIV, XV, XVI, XVII міжнародній науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Політ: Сучасні проблеми науки», 2014, 2015, 2016, 2017, м. Київ;

- всесвітніх конгресах «Aviation in the XXI-st Century: «Safety in Aviation and Space Technologies», 2014, 2016, м. Київ;

- 23-й міжнародній конференції «КримИКо2013: СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», 2013, м. Севастополь;

- міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології невралгії, психіатрії, епілептології і медичній статистиці», 2013, м. Київ;

- всеукраїнській конференції «Актуальні проблеми та перспективи біомедичної інженерії», 2014, м. Київ;

- науково-технічній конференції студентів та молодих учених «Наукоємні технології», 2014, м. Київ;

- всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування», 2015, м. Харків;

- II всеукраїнській науково-практичній конференції «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку», 2017, м. Луцьк.

Публікації. Основні положення і результати дисертації опубліковано в 32 наукових працях: 5 статей у фахових наукових виданнях [1-5], що входять до переліку фахових видань з технічних наук, з них 2 статті [4, 5], що входять до міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus; 1 стаття в нефарховому науковому виданні [6], що входить до міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus; 24 матеріалів та тез доповідей на наукових конференціях та конгресах [7-30]; 2 авторських свідоцтва на твір [31, 32].

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота викладена на 216 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 11 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 136 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 39 таблицями, 43 рисунками. Список використаних джерел містить 123 найменування, з них 118 кирилицею та 5 латиницею.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи для сфери професійного відбору ОЕВД та зв'язок з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету роботи та задачі досліджень, викладено наукову новизну й практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про кількість публікацій та апробацій за тематикою виконаних досліджень.

У **першому розділі** в якості об'єкта дослідження розглянуто процедуру оцінювання ПФС організму ОЕВД для їх професійного відбору. В результаті чотирьохрічного транс-Атлантичного експерименту над науково-технічним персоналом антарктичної станції ім. «Академік Вернадський», де ОЕВД

перебувають в умовах повної ізоляції від зовнішнього світу протягом одного року, визначено основні психічні та фізіологічні характеристики індивідуальних якостей ОЕВД, які відіграють важливу роль при виконанні їх професійної діяльності в екстремальних умовах зовнішнього середовища.

В результаті проведених досліджень, враховуючи зазначену ізоляцію ОЕВД, встановлено, що основною характеристикою їх професійної діяльності є розвинений стан психіки та фізіології організму до адаптації під час комплексних змін екстремальних умов зовнішнього середовища. Враховуючи зазначене, особливу увагу в дисертаційній роботі при розробці біотехнічної системи для професійного відбору ОЕВД приділено процедурі оцінювання параметрів психофізіологічної ригідності організму, які характеризують можливість ОЕВД ефективно адаптуватись до екстремальних умов зовнішнього середовища.

При цьому, встановлено, що ефективність процесу адаптації залежить від впливу факторів: об'єктивних (вплив зовнішньої середовища) та суб'єктивних (стать, вік, фізична сила, набуті та вроджені психологічні особливості, професійні навички, взаємодія в соціумі). Оцінювання суб'єктивних факторів впливу, які переважають над об'єктивними в процесі адаптації ОЕВД, можна реалізувати за допомогою класифікації ОЕВД за категорією темпераменту.

Також, встановлено, що процес адаптації ОЕВД проявляється в динаміці зміни параметрів ІЕП лімбічної системи головного мозку. Основні параметри ІЕП достатньо об'єктивно проявляються в сигналах біоритмів КГМ (енергетичне поле). Такий процес відбувається за допомогою висхідних нервових шляхів, а також в характеристиках процесу функціонування вестибулярного апарату (інформаційне поле) у гістамін-енергетичних шляхах. Встановлено, що оцінити динаміку параметрів ІЕП лімбічної системи головного мозку ОЕВД можна в фоновому та перехідному процесах організму за допомогою розробленої біотехнічної системи, яка як засіб складається з кефалоенцефалографу та комплексного ПЗ.

Враховуючи, що кров також є інформативним ресурсом при дослідженні ІЕП людини в зазначену біотехнічну систему включено процедуру ідентифікації за параметрами аналізу крові ОЕВД, як додатковий підхід дослідження.

На основі проведеного аналізу роботи ІЕП людини, сучасних методів та біотехнічних систем для професійного відбору ОЕВД, а також враховуючи зазначені в актуальності недоліки сучасних систем професійного відбору ОЕВД, обґрунтовано напрями досліджень та сформульовано основні задачі, які необхідно вирішити для досягнення мети дисертаційної роботи.

У другому розділі розроблено метод оцінювання ПФС організму ОЕВД на основі розрахунку кількісного рівня фізіологічної придатності ОЕВД, а також набув подальшого розвитку метод класифікації ОЕВД за типом темпераменту, який реалізовує розрахунок кількісного рівня психічної придатності (Q_{pr}) ОЕВД.

Для оптимізації використання технічних засобів кількісного оцінювання ПФС організму ОЕВД, на основі нотації IDEF0, розроблено функціональну

модель поетапного дослідження параметрів ІЕП організму ОЕВД для їх професійного відбору (рис. 1), яка складається з шести етапів. Для забезпечення високого рівня якості реєстрації біомедичних даних досліджено фактори впливу на процедуру професійного відбору ОЕВД, в результаті чого розроблено діаграму Ісікаві.

На першому етапі зазначеної моделі (рис. 1) відбувається збір загальної інформації про досліджуваного. Даний етап використано для формування БД досліджуваних фахівців на основі вивчення їх соціальних, індивідуальних та антропометричних характеристик.

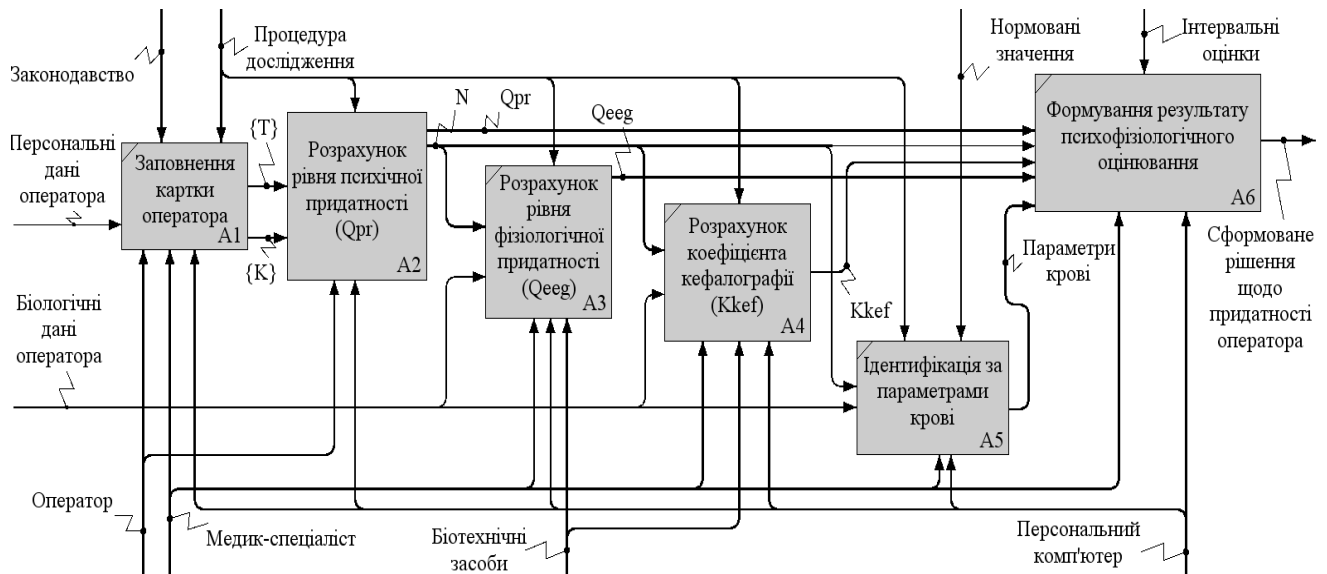


Рисунок 1 – Декомпозиція контекстної діаграми функціональної моделі професійного відбору ОЕВД

На другому етапі, враховуючи адаптаційні особливості ОЕВД, реалізовано кількісну класифікацію досліджуваних за типом темпераменту на основі розробленого методу класифікації ОЕВД за категорією темпераменту та розрахунку рівня психічної придатності ОЕВД (рис. 2).

Зазначений метод забезпечений трьома психологічними тестами, та двома антропометричними показниками, які дозволяють врахувати:

- вроджені та набуті психічні особливості ОЕВД на основі тесту «Айзенка»;
- набуті психічні потенційні можливості адаптації (рівень ригідності) ОЕВД на основі тесту «Томського опитувальника ригідності Залевського» (ТОРЗ);
- набуті фізіологічні потенційні можливості адаптації ОЕВД на основі «індексу Кетле» та «Трохантерного індексу»;
- контроль та корекцію якості відповідей ОЕВД під час дослідження на основі тесту «Самопочуття, Активність, Настрій» (САН).

Використовуючи кількісні показники представленої моделі (рис. 2) можна сформувані окремі номери підгруп (N) ОЕВД, яким притаманний однаковий склад психофізіологічних параметрів організму.

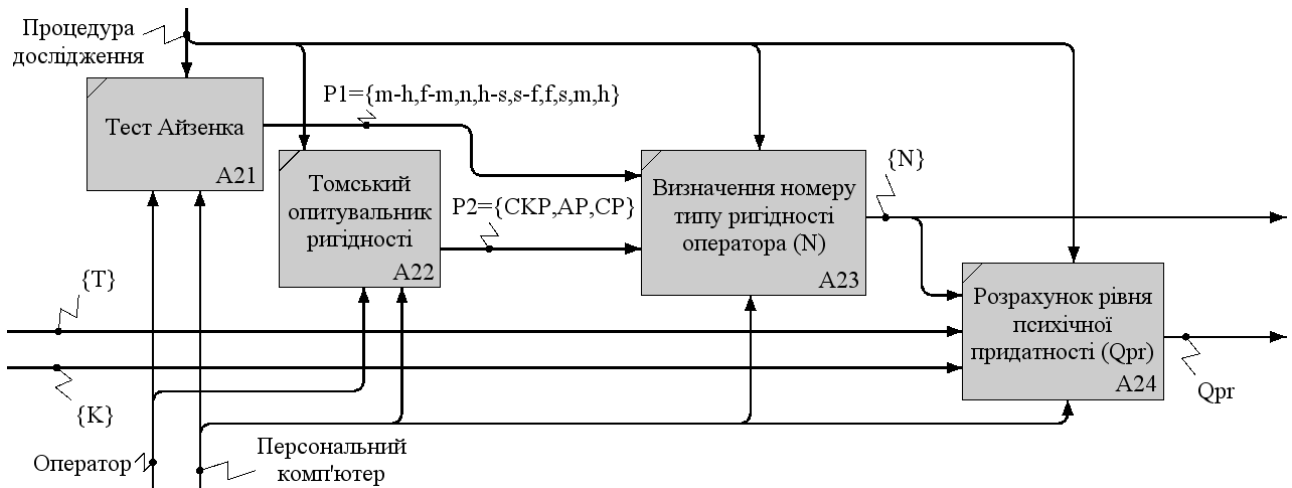


Рисунок 2 – Декомпозиція блоку A2 контекстної діаграми функціональної моделі, що описує метод класифікації ОЕВД за категорією темпераменту та розрахунок рівня психічної придатності ОЕВД. P_1 – тип темпераменту за тестом Айзенка; P_2 – рівень ригідності за ТОР3 тестом; N – номер типу ригідності оператора; K – індекс Кетле; T – Трохантерний індекс; Q_{pr} – рівень психічної придатності

Для визначення типу темпераменту ОЕВД за тестом «Айзенка» в зазначеній моделі (рис. 2) складено наступне рівняння логіки:

$$\begin{aligned}
 P_1 &= (ij1 \wedge ns1) \vee (ij1 \wedge ns2) \vee (ij1 \wedge ns3) \vee (ij2 \wedge ns1) \vee (ij2 \wedge ns2) \vee \\
 &\vee (ij2 \wedge ns2) \vee (ij2 \wedge ns3) \vee (ij3 \wedge ns1) \vee (ij3 \wedge ns2) \vee (ij3 \wedge ns3) = \\
 &= (m \vee f-m \vee f \vee m-h \vee n \vee s-f \vee h \vee h-s \vee s),
 \end{aligned} \tag{1}$$

де $\{ij1 ; ij2 ; ij3\}$ – кортеж балів шкали «інтроверсія-екстраверсія», $\{ns1 ; ns2 ; ns3\}$ – кортеж балів шкали «нейротизм-стабільність»; $m-h$ – меланхолічно-холеричний, $f-m$ – флегматично-меланхолічний, n – нормальний, $h-s$ – холерично-сангвістичний, $s-f$ – сангвістично-флегматичний, f – флегматичний, s – сангвістичний, m – меланхолічний, h – холеричний типи темпераменту.

Для визначення рівня ригідності ОЕВД за ТОР3 в зазначеній моделі (рис. 2) складено наступне рівняння логіки:

$$\begin{aligned}
 P_2 &= (ckp1 \wedge ap1 \wedge cp1) \vee (ckp2 \wedge ap2 \wedge cp2) \vee (ckp3 \wedge ap3 \wedge cp3) \vee \\
 &\vee (ckp4 \wedge ap4 \wedge cp4),
 \end{aligned} \tag{2}$$

де $\{ckp1 ; ckp2 ; ckp3 ; ckp4\}$ – кортеж балів шкали «симптокомплекс ригідності», $\{ap1 ; ap2 ; ap3 ; ap4\}$ – кортеж балів шкали «актуальної ригідності», $\{cp1 ; cp2 ; cp3 ; cp4\}$ – кортеж балів шкали «сенситивної ригідності».

На третьому етапі розраховується рівень психічної професійної придатності (Q_{pr}), який враховує психічні, в тому числі адаптаційні та антропометричні, показники організму ОЕВД:

$$Q_{pr} = P_{sy} + F_{is}, \quad (3)$$

де P_{sy} – рівень психічних можливостей ОЕВД у відсотках, F_{is} – рівень антропометричних можливостей ОЕВД у відсотках.

Для визначення рівня психічних можливостей ОЕВД застосовується наступне рівняння:

$$P_{sy} = y1(N) \cdot g_1, \quad (4)$$

де N – номер типу ригідності, $y1(N)$ – відносний рівень ригідності у відсотках, g_1 – ваговий коефіцієнт рівня ригідності.

Для визначення рівня антропометричних можливостей ОЕВД застосовується наступне рівняння:

$$F_{is} = y2(K) \cdot g_2 + y3(T) \cdot g_3, \quad (5)$$

де $y2(K)$ – відносний рівень показника Кетле у відсотках, рівень $y3(T)$ – відносний рівень трохантерного індексу у відсотках, g_2 – ваговий коефіцієнт рівня показника Кетле, g_3 – ваговий коефіцієнт рівня Трохантерного індексу.

Розрахунок показника $y1(N)$ реалізовано за формулою:

$$y1(N) = \frac{N}{36} \cdot 100\%, \quad (6)$$

де $N = (1 \div 36)$ – номер типу ригідності ОЕВД.

Застосувавши безрозмірну універсальну шкалу бажаності Харрінгтона до номеру типу ригідності (N), складено графік адаптивності ОЕВД до зовнішніх екстремальних умов, за допомогою якого медик-спеціаліст може отримати попередні рекомендації щодо професійного відбору ОЕВД.

Розрахунок показника $y2(K)$ реалізовано за наступним алгоритмом:

– задаємось показником індексу Кетле рівним 22, який відповідає найкращому нормованому значенню цього показника для здорової людини;

– розраховуємо різницю (дельту) між нормованим показником і розрахованим показником (K), який отримано під час тестування досліджуваного: $\Delta = |22 - K|$;

– розраховуємо відсоткове відхилення (Z) від нормованого показника за формулою: $Z = \frac{\Delta}{22} \cdot 100\%$;

– розраховуємо рівень показника Кетле у відсотках: $y2(K) = 100\% - Z\%$.

Розрахунок показника $y3(T)$ реалізовано за формулою:

$$y3(T) = \frac{T}{3,0} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Для кожного із показників $y1(N)$, $y2(K)$, $y3(T)$ складено таблиці діапазонів

рівня у відсотках, за допомогою яких медик-спеціаліст може надати попередні рекомендації щодо професійного відбору досліджуваного.

Для розрахунку вагових коефіцієнтів (g_1, g_2, g_3) формул (4, 5) застосовано експертний метод ранжування, завдяки чому формулу (3) для розрахунку рівня психічної придатності ОЕВД можна представити у вигляді:

$$Q_{pr} = y_1(N) \cdot 0,50 + y_2(K) \cdot 0,27 + y_3(T) \cdot 0,23. \quad (8)$$

На четвертому етапі реалізовано дослідження фонових та перехідних сигналів біоритмів КГМ на основі розробленого методу розрахунку рівня фізіологічної придатності ОЕВД (рис. 3).

Як показали дослідження, підхід до аналізу біосигналів КГМ на основі розрахунку рівня сигналу СЦП дозволяє одночасно аналізувати основні біоритми КГМ ($\alpha, \beta, \delta, \theta, \mu, \sigma, \tau, \gamma, \kappa$), які характеризують ПФС організму ОЕВД. При цьому, рівень сигналу СЦП має достатню чутливість для ідентифікації поточного ПФС організму ОЕВД (рис. 4).

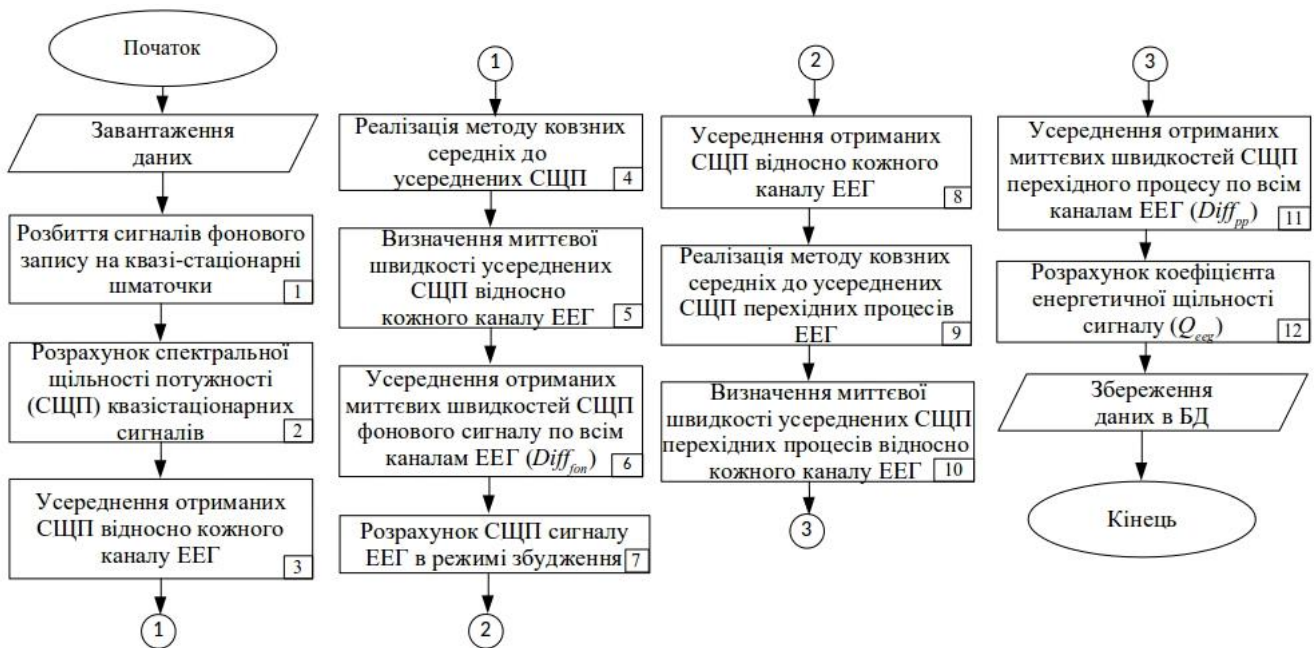


Рисунок 3 – Алгоритм методу розрахунку рівня фізіологічної придатності ОЕВД

Метод розрахунку рівня фізіологічної придатності ОЕВД складається з наступних етапів:

1. Фоновий сигнал ЕЕГ довжиною в 2 хвилини розбивається на квазі-стаціонарні шматочки довжиною (T) в 4 секунди;

2. Розраховується СЦП квазі-стаціонарних шматочків фонові ЕЕГ на основі розрахунку спектральної потужності методом швидкого перетворення Фур'є:

$$S_i(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|F_i(j\omega)|^2}{T}, \quad (9)$$

де $F_i(j\omega)$ – спектральна потужність сигналу, ω – частота спектру.

3. Розраховані СЦП квазі-стаціонарних шматочків фонові EEG усереднюються відносно кожного каналу EEG:

$$S_c(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i(\omega), \quad (10)$$

де N – кількість квазі-стаціонарних шматочків, c – канал EEG.

4. Для зменшення артефактів в розрахованих усереднених СЦП застосовується метод ковзних середніх:

$$MKC_{S_c} = \frac{1}{2N+1} \sum_{k=-N}^N S_c(\omega+k), \quad (11)$$

де k – початковий відлік сигналу, N – кінцевий відлік сигналу.

В результаті розрахунків отримано згладжені сигнали, приклад графічного представлення яких зображено на рисунку 4.

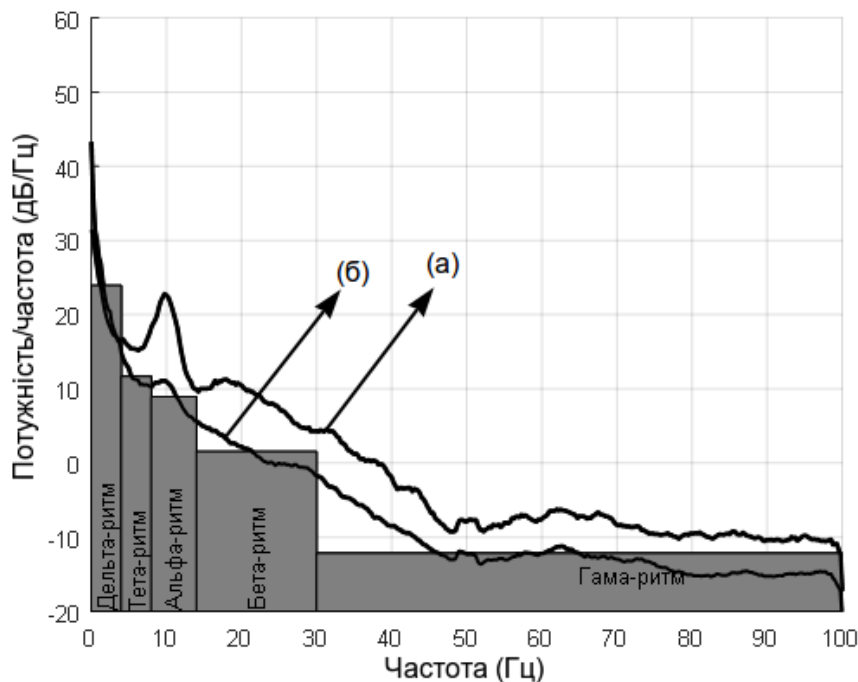


Рисунок 4 – Приклад графічного представлення розрахунку СЦП фонові EEG для кандидата в антарктичні зимівники, який пройшов (а) та не пройшов професійний відбір (б)

5. Розраховується миттєва швидкість усереднених СЦП кожного каналу EEG:

$$Diff_c = MKC'_{s_c}(\omega_0) = \lim_{\omega_0 \rightarrow 0} \frac{MKC_{s_c}(\omega_0 + \Delta\omega) - MKC_{s_c}(\omega_0)}{\Delta\omega} = \lim_{\omega_0 \rightarrow 0} \frac{\Delta OY}{\Delta OX}. \quad (12)$$

Представлена формула (12) дозволяє інтегрально оцінити вклад біоритмів КГМ при оцінюванні поточного ПФС організму ОЕВД.

6. Розраховується усереднений показник миттєвої швидкості СЦП відносно всіх каналів ЕЕГ:

$$Diff_{fon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Diff_c(i), \quad (13)$$

де n – кількість каналів ЕЕГ.

7. В кожному каналі ЕЕГ виділяється сигнал перехідного процесу довжиною 4 секунди, який отримано за допомогою звукового збудження сомато-сенсорних систем досліджуваного. На його основі, аналогічно попереднім етапам, розраховується миттєва швидкість усереднених СЦП для перехідного процесу ($Diff_{pp}$) ЕЕГ.

Таким чином, на основі методів розрахунку СЦП, на останньому етапі методу (рис. 3) розраховується коефіцієнт енергетичної щільності (Q_{eeg}), який характеризує рівень фізіологічної придатності ОЕВД та приймає значення в діапазоні (0 ÷ 1):

$$Q_{eeg} = \begin{cases} \frac{Diff_{pp}}{Diff_{fon}}, & \text{якщо } Diff_{pp} < Diff_{fon}; \\ \frac{Diff_{fon}}{Diff_{pp}}, & \text{якщо } Diff_{fon} < Diff_{pp}. \end{cases} \quad (14)$$

Реалізовані експериментальні дослідження показали, що досліджуваним, які не мають дизфункцій ПФС організму, притаманне наближення коефіцієнту енергетичної щільності (Q_{eeg}) до нуля, а досліджуваним, які мають порушення ПФС організму, притаманне наближення коефіцієнту енергетичної щільності (Q_{eeg}) до одиниці. Подібна тенденція пояснюється тим, що мозок досліджуваних, які мають дизфункцію ПФС організму, обробляє інформаційні потоки по регуляції гомеостазу організму, через що вплив на сомато-сенсорну систему не викликає значних змін в сигналах перехідних процесів ЕЕГ в порівнянні з сигналами фонових процесів.

На *n'*ятому етапі реалізовано ідентифікацію ПФС організму ОЕВД за коефіцієнтом кефалографії, з урахуванням типу темпераменту ОЕВД. Коефіцієнт кефалографії характеризує функцію статичної рівноваги ОЕВД за допомогою фіксації зміни положення вертексу голови та розраховується на основі нечіткого логічного висновку: $K_{kef} = f_{kef}(X_1, X_2)$, $X_1 = f_1(x_{11}, x_{12})$, $X_2 = f_2(x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24})$, де X_1

– терм, який описує номер типу ригідності оператора; X_2 – терм, який описує результати статичної рівноваги тіла ОЕВД; x_{11} , x_{12} – показники, за якими відбувається групування операторів за типом темпераменту; x_{21} , x_{22} , x_{23} , x_{24} – показники, що характеризують функцію статичної рівноваги тіла ОЕВД (K_m - коефіцієнт, що характеризує зміну вибіркового математичного сподівання проекції вектора переміщення вертексу, K_D - коефіцієнт, що характеризує зміну вибіркової дисперсії проекції вектора переміщення вертексу, K_a - коефіцієнт, що характеризує зміну вибіркової асиметрії проекції вектора переміщення вертексу, K_e - коефіцієнт, що характеризує зміну вибіркового ексцесу проекції вектора переміщення вертексу).

На шостому етапі реалізовано ідентифікацію ПФС організму ОЕВД за 27-ма параметрами крові на основі загального та біохімічного аналізу. Використовуючи розраховані нормовані значення параметрів крові для певної підгрупи операторів медичний фахівець може додатково оцінити ПФС організму ОЕВД під час процедури професійного відбору.

Таким чином, створено методи процедури професійного відбору ОЕВД, в результаті виконання яких можна розрахувати кількісний показник рівня психічної (Q_{pr}) та фізіологічної (Q_{eeg}) придатності ОЕВД, а також реалізувати ідентифікацію ПФС організму ОЕВД на основі коефіцієнту кефалографії та параметрів аналізу крові з урахуванням їх типу темпераменту. Представлені розрахунки комп'ютеризовано в розробленій біотехнічній системі.

У третьому розділі розроблено структурну схему біотехнічної системи (Рис. 5), алгоритм роботи СППР, алгоритм розрахунку інтервальних оцінок параметрів психофізіологічного відбору, а також реалізовано експериментальні дослідження на основі яких побудовано математичну та графічну модель взаємозв'язку між параметрами ІЕП.

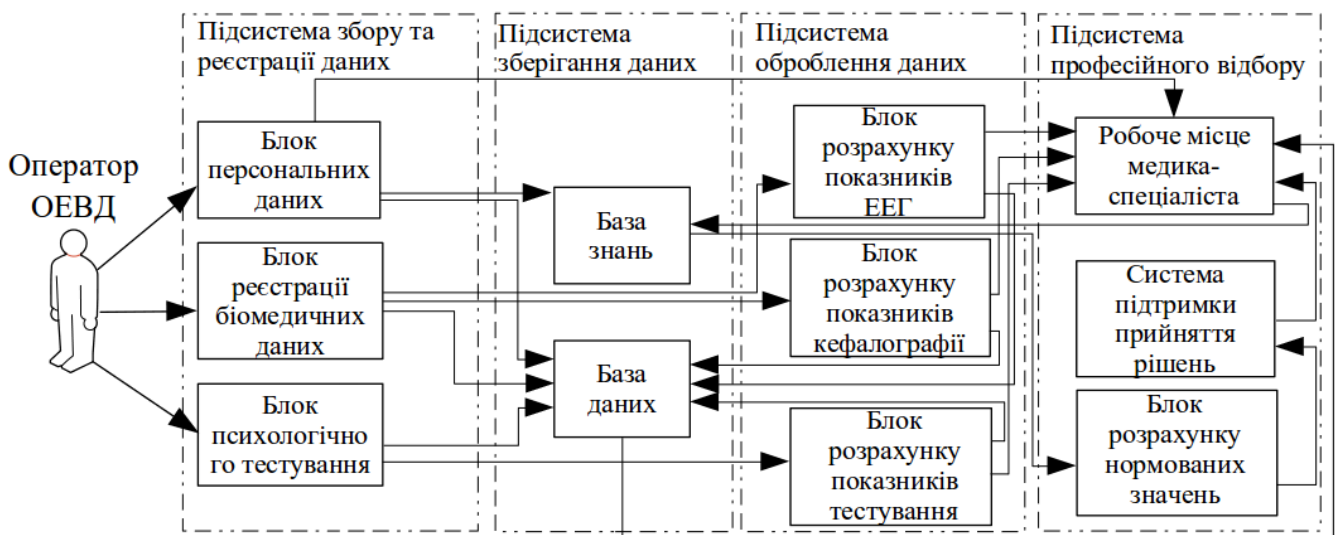


Рисунок 5 – Узагальнена структурна схема біотехнічної системи для професійного відбору ОЕВД

Для забезпечення роботи блоку СППР (рис. 5) біотехнічної системи розроблено трьохетапний алгоритм (рис. 6), в якому безпосередньо медиком-спеціалістом приймається рішення щодо професійної придатності ОЕВД.

Етапи алгоритму СППР (рис. 5) включають додаткові підходи до аналізу реалізованих психофізіологічних досліджень. Перед етапами прийняття експертного рішення медичним фахівцем реалізовано автоматизований розрахунок рівня психічної (Q_{pr}) та фізіологічної (Q_{eeg}) придатності ОЕВД, також ідентифікацію за параметрами кефалографії та крові.

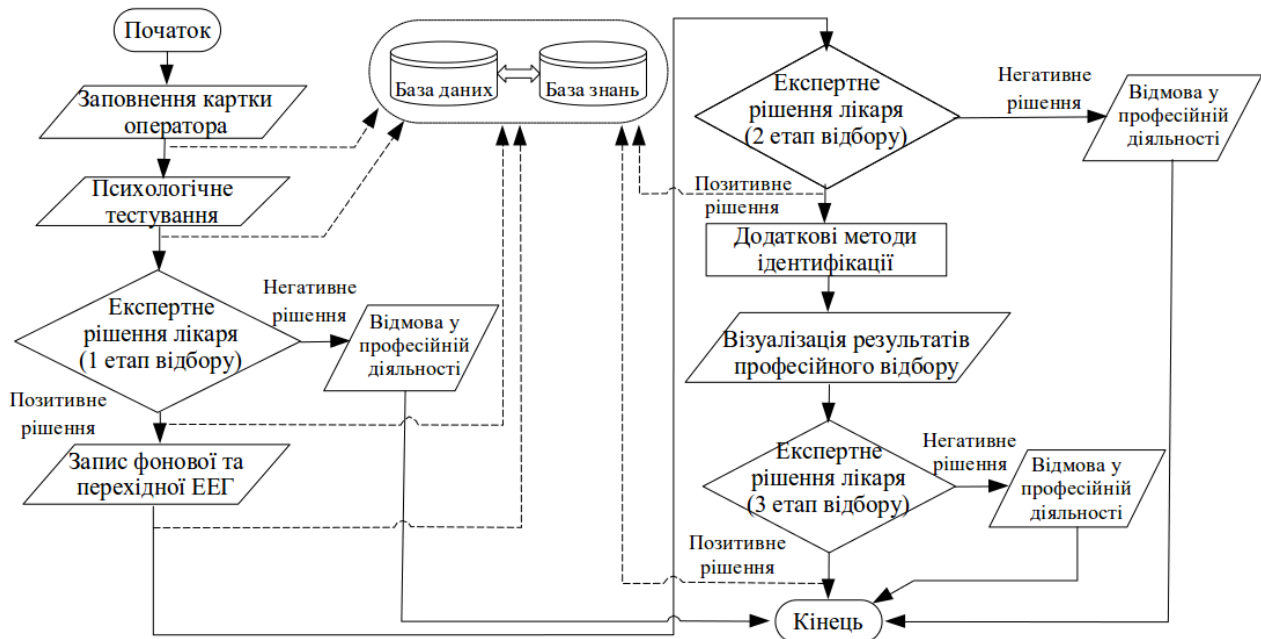


Рисунок 6 – Узагальнений алгоритм роботи СППР

Для реалізації автоматизації СППР щодо оцінювання професійної придатності ОЕВД забезпечено комп'ютеризацію формування нормованих значень параметрів. Для розрахунку нормованих значень параметрів рівня психічної (Q_{pr}) та фізіологічної придатності (Q_{eeg}), параметру кефалографії (K_{kef}) та параметрів аналізу крові певної професії та підгрупи операторів використана формула інтервальних оцінок вибірки при відомому СКВ та при обраному рівні значущості $\alpha=0,05$:

$$P\left(\bar{x} - t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n-1}} < v < \bar{x} + t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n-1}}\right) = 1 - \alpha, \quad (15)$$

де n – кількість елементів вибірки; $t_{\alpha, n-1}$ – коефіцієнт Стьюдента; \bar{x} – середнє арифметичне вибірки; S – середнє квадратичне відхилення.

Формула (15) використовується для статистичної вибірки, яка має нормальний закон розподілу, що не завжди справджується, особливо при умові малої кількості вибірки даних. Тому, для розрахунку інтервальної оцінки біомедичних параметрів за формулою (15) розроблено спеціальний алгоритм

обробки статистичних даних. Зазначений алгоритм включає в себе перевірку закону розподілу за складеним критерієм (d), перевірку вибірки на грубі викиди за критерієм Граббса, застосування робастних методів розрахунку статистичних оцінок вибірки для використання методу ітераційного моделювання методом Монте-Карло (ММК).

Методика робастного розрахунку статистичних оцінок експериментальних даних дозволяє зберегти у генеральній сукупності значення, які підлягають виключенню з вибірки на початкових стадіях заповнення БЗ.

На початку роботи біотехнічної системи, БД параметрів ІЕП досліджуваних має статистично малу вибірку даних, що погіршує якість розрахунку нормованих значень цих параметрів. Враховуючи, що вибірка даних є стохастичною, було реалізовано ітераційне моделювання за ММК для збільшення кількості вибірки експериментальних даних. Для забезпечення збіжності в ММК використано метод «Вибірki по значимості», який дозволяє зменшити значення дисперсії вибірки при моделюванні. В результаті ітераційного моделювання за ММК, застосовано формулу (15) для знаходження нормованих інтервальних оцінок параметрів ІЕП.

В результаті реалізованих експериментальних досліджень отримано наступні результати. В таблиці 1 представлено результати психологічного відбору реалізованого з представниками однієї з груп професій ОЕВД – антарктичними зимівниками (полярники), а також досліджуваними неекстремальних видів діяльності (кількість учасників в обох групах – по 36 чоловік, при $P=0,95$). Результати досліджень показали, що метод розрахунку рівня психічної придатності (Q_{pr}) чутливий під час професійного відбору ОЕВД, що підтверджувалось результатами досліджень інших параметрів ІЕП організму операторів.

Таблиця 1 – Результати розрахунку рівня психічної придатності антарктичних зимівників

Параметри	Професія оператора	
	Антарктичні зимівники	Оператори неекстремальних видів діяльності
Інтервальна оцінка рівня психічної придатності (Q_{pr})	$79.30\% < Q_{pr} < 84.75\%$	$56.37\% < Q_{pr} < 69.64\%$
Середній діапазон номеру типу ригідності (N) для професії	29-35	15-23

Так, як серед представників професії зимівників найчастіше зустрічались оператори 31-го (13 операторів) та 35-го (12 операторів) номеру типу ригідності (N) наступні результати досліджень представлено для визначених підгруп ОЕВД.

В таблиці 2 представлено результати розрахунку інтервальної оцінки

параметру рівня фізіологічної придатності до та після експедиції полярників на основі енергетичного коефіцієнту щільності (Q_{eeg}) та усередненої миттєвої швидкості СЦП фонового сигналу ($Diff_{fon}$) із застосуванням ітераційного моделювання за ММК для збільшення кількості вибірки генеральної сукупності. Результати розрахунків звузили нормовані інтервальні оцінки біомедичних параметрів при визначеному номеру типу ригідності ОЕВД.

Таблиця 2 – Моделювання показників ЕЕГ антарктичних зимівників

Група операторів	До експедиції	Після експедиції
31 підгрупа без моделювання	$0,6441 \leq Q_{eeg} \leq 0,8507$ $0,1220 \leq Diff_{fon} \leq 0,1384$	$0,5403 \leq Q_{eeg} \leq 0,9752$ $0,1208 \leq Diff_{fon} \leq 0,1397$
31 підгрупа після моделювання	$0,7415 \leq Q_{eeg} \leq 0,7521$ $0,1299 \leq Diff_{fon} \leq 0,1308$	$0,8820 \leq Q_{eeg} \leq 0,8963$ $0,1438 \leq Diff_{fon} \leq 0,1454$
35 підгрупа без моделювання	$0,6126 \leq Q_{eeg} \leq 0,8465$ $0,1348 \leq Diff_{fon} \leq 0,1471$	$0,7243 \leq Q_{eeg} \leq 0,9534$ $0,1296 \leq Diff_{fon} \leq 0,1523$
35 підгрупа після моделювання	$0,8355 \leq Q_{eeg} \leq 0,8431$ $0,1409 \leq Diff_{fon} \leq 0,1417$	$0,8645 \leq Q_{eeg} \leq 0,8786$ $0,1349 \leq Diff_{fon} \leq 0,1355$

Для ідентифікації якості оцінювання ПФС організму ОЕВД на основі експериментальних даних розраховано інтервальні оцінки коефіцієнтів кефалографії за формулою (15) для обох вказаних підгруп, а саме: для 31-ї підгрупи – $1,13 < K_{kef_31} < 2,53$; для 35-ї підгрупи – $0,48 < K_{kef_35} < 2,16$.

Завдяки розрахованим показникам рівня психічної придатності (Q_{pr}) (див. табл. 1) та коефіцієнтів кефалографії (K_{kef_31} , K_{kef_35}), застосувавши безрозмірну універсальну шкалу бажаності Харрінгтона, складено таблицю (табл. 3) нормованих значень зазначених коефіцієнтів. Представленими результатами (табл. 3) може користуватись медик-спеціаліст на проміжних етапах процедури професійного відбору ОЕВД.

Таблиця 3 – Нормована таблиця рівня психічної придатності та коефіцієнта кефалографії для ОЕВД

Придатність оператора	Числове значення Q_{pr}	Числове значення K_{kef}	Коеф. по Харінгтону
Дуже висока	$83,66 \div 84,75$	$0,48 \div 0,89$	$0,80 \div 1,00$
Висока	$82,78 \div 83,65$	$0,90 \div 1,22$	$0,64 \div 0,80$
Середня	$81,31 \div 82,77$	$1,23 \div 1,79$	$0,37 \div 0,64$
Низька	$80,39 \div 81,30$	$1,80 \div 2,11$	$0,20 \div 0,37$
Дуже низька	$79,30 \div 80,38$	$2,12 \div 2,53$	$0,00 \div 0,20$

Для підвищення ефективності СППР та для реалізації прогностичної функції адаптаційних можливостей організму ОЕВД побудовано модель процесу

взаємозв'язку між параметром усередненої миттєвої швидкості СЩП фонового сигналу ($Diff_{fon}$) та коефіцієнту кефалографії (K_{kef}) у часовій області для антарктичних зимівників 31-ї та 35-ї підгрупи, у яких реалізовувався запис ЕЕГ раз на місяць впродовж антарктичного року (11 записів для кожного оператора). В залежності від часу перебування ОЕВД в екстремальних умовах, розроблена модель реалізує автоматизований попередній професійний відбір ОЕВД (при $t=0$), а також контроль за процесом адаптації ОЕВД (при $t>0$), що дозволяє швидко реагувати медичному персоналу на зміни ПФС організму ОЕВД. На рисунку 7 представлено графічну модель тривимірної залежності з довірчим інтервалом моделі (при $P=0,95$).

Аналітичні моделі процесу зміни параметрів кефалографії та електроенцефалографії у часі розраховано на основі системи поліномів 7-го порядку. Поліноми 7-го порядку обрано через необхідність підвищеної точності моделювання, так як об'єктом досліджень є людина. Зазначені моделі є адекватними при їх перевірці за методом t -статистики та критерієм Фішера, що підтверджує можливість моделювання з обраним порядком поліномів.

Розрахована система рівнянь тривимірної моделі для операторів 31-ї підгрупи представлена наступним чином:

$$\begin{cases} Diff_{fon} = -8,58 \cdot 10^{-7} \cdot t^7 + 3,75 \cdot 10^{-5} \cdot t^6 - 6,70 \cdot 10^{-4} \cdot t^4 + 0,01 \cdot t^4 - 0,03 \cdot t^3 + 0,09 \cdot t^2 - 0,12 \cdot t + 0,19; \\ K_{kef} = 1,50 \cdot 10^{-5} \cdot t^7 - 6,30 \cdot 10^{-4} \cdot t^6 + 0,01 \cdot t^5 - 0,09 \cdot t^4 + 0,46 \cdot t^3 - 1,18 \cdot t^2 + 1,53 \cdot t + 0,13. \end{cases}$$

Розрахована система рівнянь тривимірної моделі для операторів 35-ї підгрупи представлена наступним чином:

$$\begin{cases} Diff_{fon} = -1,62 \cdot 10^{-6} \cdot t^7 + 7,23 \cdot 10^{-5} \cdot t^6 - 0,001 \cdot t^5 + 0,01 \cdot t^4 - 0,06 \cdot t^3 + 0,17 \cdot t^2 - 0,23 \cdot t + 0,24; \\ K_{kef} = -6,07 \cdot 10^{-6} \cdot t^7 + 1,97 \cdot 10^{-4} \cdot t^6 - 0,002 \cdot t^5 + 0,01 \cdot t^4 - 0,02 \cdot t^3 - 0,03 \cdot t^2 + 0,17 \cdot t + 0,43. \end{cases}$$

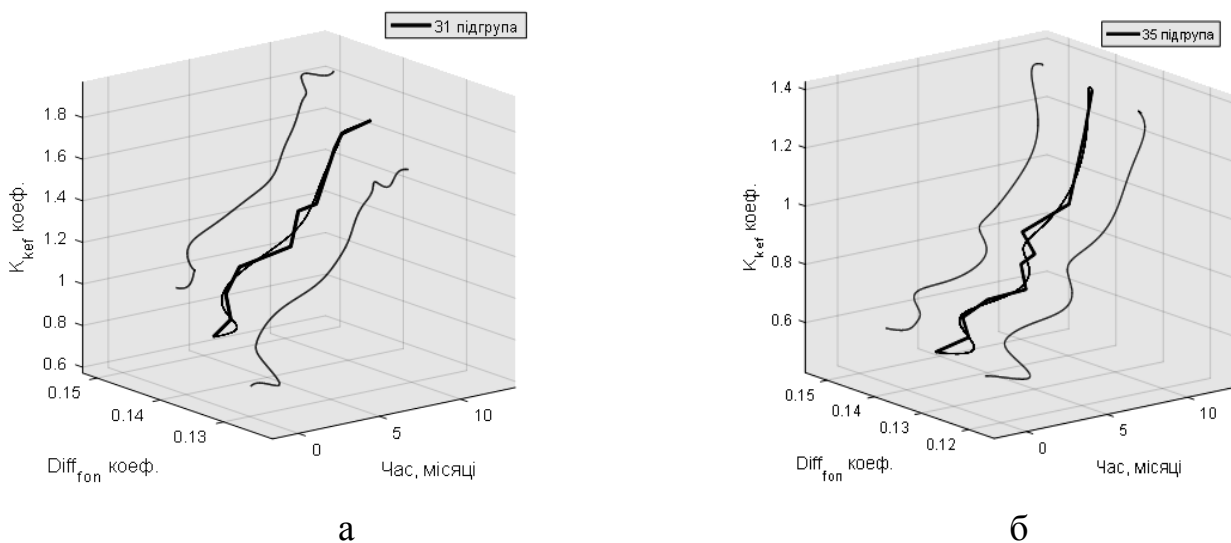


Рисунок 7 – Графічна модель тривимірної залежності між коефіцієнтами $Diff_{fon}$, K_{kef} у часі t ; а – для операторів 31-ї підгрупи; б – для операторів 35-ї підгрупи

У четвертому розділі спроектовано ПЗ біотехнічної системи та реалізовано його тестування, завдяки чому сформовано рекомендації до методики експериментальних досліджень. Для розробки ПЗ використано стандарт ISO/IEC 25022 «Вимоги і оцінка якості системи та програмного забезпечення. Моделі якості систем і програмних продуктів», в якому зазначено, що ефективність ПЗ включає в себе: - ефективність за часом; - ефективність використання ресурсів; - платформозалежність ПЗ.

При проектуванні ПЗ використано мову моделювання UML, на основі якої обрано оптимально необхідну кількість діаграм, а саме: діаграма прецедентів (UseCase-діаграма); діаграма активності (Activity-діаграма); діаграма класів (Class-діаграма); діаграма сутність-зв'язок (Entity-relationship-діаграма).

В процесі проектування ПЗ розроблено діаграму прецедентів, яка включає в себе трьох «акторів»: «медик-спеціаліст», «оператор», «адміністратор БД, БЗ». Для врахування сценаріїв роботи «акторів» у ПЗ побудовано діаграми активності на основі діаграми прецедентів.

Для проектування взаємодії елементів та вікон графічного інтерфейсу ПЗ створено діаграми класів для програмної частини визначення рівня психічної та фізіологічної придатності оператора.

На концептуальному рівні, на основі мови UML, розроблено ER-діаграму реляційної БД та БЗ (рис. 8) за модульним принципом. БД та БЗ розроблено на основі СКБД MySQL, яка об'єднує в собі всю інформацію, необхідну для роботи біотехнічної системи при процедурі професійного відбору ОЕВД.

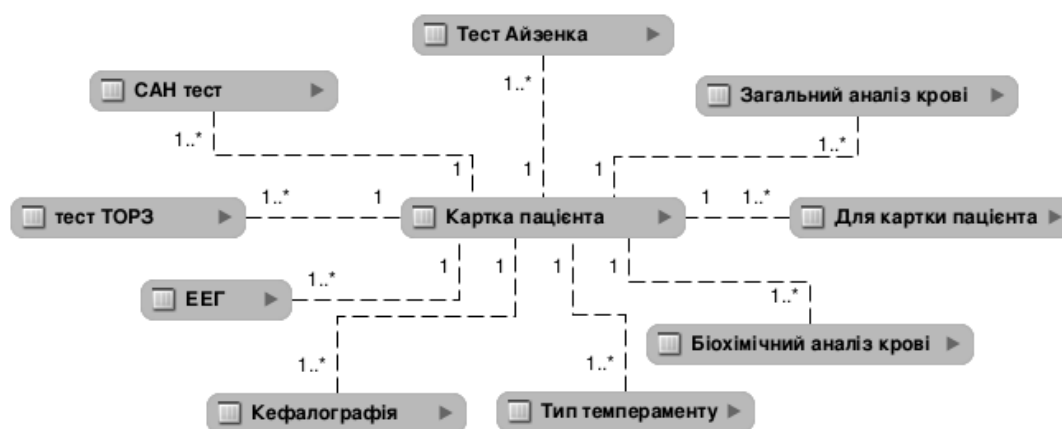


Рисунок 8 – ER-діаграма бази даних та бази знань

Для перевірки роботи ПЗ розроблено методику експериментальних досліджень з метою реалізації процедури професійного відбору ОЕВД. Розроблена методика включає реалізацію перехідних процесів за допомогою звукових клацань зі спеціально налаштованими параметрами апаратури.

Для реалізації кількісного оцінювання ефективності виконання професійного відбору за допомогою розробленої біотехнічної системи було залучено загалом 36 претендентів у полярники з різними вадами здоров'я та 36 операторів, які успішно

виконали свої професійних обов'язки. Результати досліджень порівнювались із сторонніми програмними системи, а саме: програмно-апаратний комплекс «Омега-М», система інтерактивної діагностики SINDI (LEDIS Group).

В результаті верифікації прогнозу відбору із фактичними результатами професійної придатності операторів встановлено, що збіг сформованого рішення за допомогою розробленого ПЗ та діагнозів медичних фахівців спостерігалось у 62 випадках (86%), порівняно з 49 випадками (68%) при застосуванні інших програмних систем професійного відбору операторів. Тобто, підвищення ефективності професійного відбору ОЕВД відбулося на 18%.

В результаті порівняння часу затраченого на реалізацію процедури професійного відбору до та після введення розробленої біотехнічної системи в експлуатацію (табл. 4) розраховано, що ефективність застосування розробленого ПЗ зберігає час роботи медика-спеціаліста більше ніж в 2,5 рази. Завдяки комп'ютеризації психологічного тестування прискорилося проходження психологічного тестування досліджуваними без втрати якості, результати чого підтверджено під час паралельного проходження аналогічних тестувань за допомогою паперових психологічних тестів.

Загальний час для розрахунку та порівняння нормованих значень параметрів ЕЕГ для досліджуваного з показниками в БД є ефективним для розробленого ПЗ професійного відбору ОЕВД, а саме: $\tau_{ан.ЕЕГ} = 40,39$ секунди. Час для збереження та порівняння параметрів крові та кефалографії з нормованими значеннями в БД складає $\tau_{дент.} = 10$ хвилин. Об'єм оперативної пам'яті, який займає розроблене ПЗ під час роботи з ним, варіюється в межах: 400Мб – 680Мб.

Таблиця 4 – Результати порівняння часових характеристик процедури проходження та аналізу психологічного тестування

	Проходження тесту Айзенка за допомогою ПЗ	Паперове проходження тесту Айзенка	Проходження ТОПЗ тесту за допомогою ПЗ	Паперове проходження ТОПЗ тесту
Середній час проходження тесту на одного оператора	462 сек (8 хв)	1318 сек (22 хв)	965 сек (16 хв)	2520 сек (42 хв)
Середній час аналізу результатів тесту на одного оператора	1,6 сек	1620 сек (27 хв)	1,8 сек	8562 сек (2,38 год)

Таким чином, розроблена біотехнічна система є ефективною за визначеними критеріями, тобто, можна стверджувати, що поставлені задачі вирішені, а основна мета роботи досягнута.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну та важливу науково-прикладну задачу підвищення ефективності процедури професійного відбору ОЕВД шляхом розробки та вдосконалення методів і моделей, а також створення на їх основі біотехнічної системи для кількісного оцінювання ПФС організму операторів. У результаті виконання досліджень отримано наступні нові наукові та практичні результати:

1. На основі проведеного аналітичного огляду сучасних методів та біотехнічних систем для професійного відбору ОЕВД обґрунтовано розробку біотехнічної системи як на етапі професійного відбору ОЕВД, так і на етапі прогнозування ПФС організму ОЕВД під час виконання професійних обов'язків в екстремальних умовах зовнішнього середовища.

2. Розроблено функціональну модель дослідження параметрів ІЕП організму ОЕВД, завдяки чому виявлено достатню інформативність біосигналів КГМ людини для того, щоб застосовувати електроенцефалограф як основний засіб для процедури професійного відбору ОЕВД, а показники кефалографії та аналізу крові як додаткові критерії ідентифікації ПФС організму ОЕВД.

3. Розроблено метод класифікації ОЕВД в підгрупи за типом темпераменту з розрахунком кількісного параметру рівня психічної придатності ОЕВД, який враховує психічну, в тому числі адаптаційну та антропометричну, складову особистості ОЕВД, завдяки чому систематизовано отримані параметри ІЕП, які притаманні певній підгрупі ОЕВД, та підвищено ефективність процедури професійного відбору ОЕВД за затраченим часом в 2,5 рази.

4. Розроблено метод розрахунку кількісного рівня фізіологічної придатності ОЕВД на основі параметрів СЩП сигналів ЕЕГ, що дозволило підвищити ефективність професійного відбору ОЕВД на 18%.

5. Розроблено біотехнічну систему з платформонезалежним ПЗ із графічним інтерфейсом та СППР на основі програмного середовища MatLab, а також реляційною БД на основі СКБД MySQL. Розроблене ПЗ дозволяє об'єднати експериментальні дані досліджень, а також побудувати математичну модель взаємозв'язку параметрів ІЕП операторів, завдяки чому медик-спеціаліст може реалізувати як поглиблене оцінювання ПФС організму ОЕВД під час процедури професійного відбору, так і прогнозувати динаміку зміни ПФС організму ОЕВД під час їх перебування в екстремальних умовах зовнішнього середовища.

6. Розроблено методику повторюваного експериментального дослідження з рекомендаціями для професійного відбору ОЕВД, яка базується на розрахунку кількісних інтервальних оцінок психічних та фізіологічних параметрів ІЕП операторів, що дозволило розробити біотехнічну систему та підвищити ефективність процедури професійного відбору ОЕВД на 18%, а швидкість професійного відбору ОЕВД в 2,5 рази.

Таким чином, можна стверджувати, що поставлені задачі вирішені, а основна мета роботи досягнута.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. А. Гордєєв, та В. Кузовик, “Методика планування експериментальних досліджень психофізіологічного стану головного мозку”, *Вісник Чернігівського державного технологічного університету*, №1(71), с. 174-180, 2014.
2. А. Гордєєв, “Інформаційна технологія процесу професійного відбору операторів екстремальних видів діяльності”, *Інженерія програмного забезпечення*, №3(23), с. 64-74, 2015.
3. А. Гордєєв, В. Кузовик, та О. Булигіна “Розробка автоматизованої системи прийняття рішень для професійного відбору операторів екстремальних видів діяльності”, *Інженерія програмного забезпечення*, №4(24), с. 33-43, 2015.
4. А. Гордєєв, та В. Кузовик, “Статистична обробка параметрів перехідних процесів біоритмів кори головного мозку”, *Технологічний аудит та резерви виробництва*, т. 4, №4/2(30), с. 59-64, 2016. doi: 10.15587/2312-8372.2016.74649.
5. А. Гордєєв, В. Кузовик, та М. Назарчук, “Розробка алгоритму моделювання біологічних параметрів операторів екстремалів методом Монте-Карло”, *Технологічний аудит та резерви виробництва*, т. 4, №5/1(31), с. 17-21, 2016. doi: 10.15587/2312-8372.2016.79474.
6. А. Гордєєв, та В. Кузовик, “Апаратно-програмний комплекс для оцінювання психофізіологічного стану оператора”, *Технологічний аудит та резерви виробництва*, т. 1, №5, с. 44-46, 2014. doi: 10.15587/2312-8372.2014.21740.
7. А. Гордєєв, та В. Кузовик, “Особливості оцінювання психофізіологічного стану учасників полярних експедицій”, на *VI Міжнар. Антарктичний конф. Інтернаціоналізація досліджень в Антарктиці - шлях до духовної єдності людства*, Київ, 2013, с. 404-405.
8. А. Гордєєв, та В. Кузовик, “Аспекты планирования и реализации экспериментальных исследований психофизиологического состояния операторов экстремальных видов деятельности”, на *23й Міжнар. конф. КримІКо2013 СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии*, Севастополь, 2013, с. 1081–1082.
9. А. Гордєєв, та В. Кузовик, “Діагностика і прогнозування психофізіологічного стану операторів екстремальних видів діяльності”, на *наук.-практ. конф. Інформаційні технології невралгії, психіатрії, епілептології і медичній статистиці*, Київ, 2013, с. 160.
10. А. Гордєєв, та В. Кузовик, “Аспекты методики психического отбора операторов экстремальных видов деятельности”, на *XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів Політ-2014: Сучасні проблеми науки*, Київ, 2014, с. 36.
11. А. Гордєєв, В. Кузовик, та Ю. Монько, “Аспекти створення експертної системи оцінювання психофізіологічного стану операторів”, на *XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів Політ-2014: Сучасні проблеми науки*, Київ, 2014, с. 35.

12. А. Гордєєв, та В. Кузовик, “Методи та засоби прогнозування психофізіологічного стану кори головного мозку”, на *Всеукр. конф. Актуальні проблеми та перспективи біомедичної інженерії*, Київ, 2014, с. 47-49.

13. А. D. Gordieiev, and V.D. Kuzovyk, “Hardware-software system for evaluation operator’s psychophysiological state”, in *6th World congress Aviation in the XXI-st Century: Safety in Aviation and Space Technologies*, Kyiv, 2014, pp. 1.7.26-1.7.29.

14. А. Гордєєв, В. Кузовик, та Ю. Монько, “Концептуальна модель дослідження інформаційних потоків організму людини”, на *наук-техн. конф. студентів та молодих учених Наукоємні технології*, Київ, 2014, с. 53.

15. А. Гордєєв, В. Кузовик, та К. Тишковець, “Кореляційний зв'язок психофізичних показників з біопотенціалами кори головного мозку операторів”, на *наук.-техн. конф. студентів та молодих учених Наукоємні технології*, Київ, 2014, с. 54.

16. А. Гордєєв, В. Кузовик, та К. Тишковець, “Створення програмно-біоінформаційної бази даних для поглибленого оцінювання психофізіологічного стану людини”, на *VII Міжнар. Антарктичній конференції: Антарктичні дослідження: нові горизонти та пріоритети*. Київ, 2015, с. 196–198.

17. А. Гордєєв, та Ю. Монько, “Визначення інформативних параметрів перехідних процесів електроенцефалограми”, на *VII Міжнар. Антарктичній конференції: Антарктичні дослідження: нові горизонти та пріоритети*, Київ, 2015, с. 185–187.

18. А. Гордєєв, та Т. Логошко, “Дослідження особливостей електричної активності головного мозку людини при порушеннях барофункції слухового апарату”, на *VII Міжнар. Антарктичній конференції Антарктичні дослідження: нові горизонти та пріоритети*, Київ, 2015, с. 179–181.

19. А. Гордєєв, та І. Нагаюк, “Особливості оцінювання психофізіологічного стану операторів екстремальних видів діяльності”, на *XV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів Політ-2015: Сучасні проблеми науки*, Київ, 2015, с. 33.

20. А. Гордєєв, та Т. Логошко, “Особливості оцінювання фізіологічного стану здоров'я слухового апарату людини”, на *XV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів Політ-2015: Сучасні проблеми науки*, Київ, 2015, с. 34.

21. А. Гордєєв, та Ю. Монько, “Визначення інформативних параметрів перехідних процесів електроенцефалограми”, на *XV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів Політ-2015: Сучасні проблеми науки*, Київ, 2015, с. 35.

22. А. Гордєєв, та К. Тишковець, “Огляд сучасних датчиків реєстрації біосигналів організму людини”, на *XV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів Політ-2015: Сучасні проблеми науки*, Київ, 2015, с. 36.

23. А. Гордєєв, “Система прийняття рішень щодо професійної придатності операторів екстремальних видів діяльності”, на *Всеукр. наук.-техн. конф. Актуальні проблеми автоматики та приладобудування*, Харків, 2015, с. 31-32.

24. А. Гордєєв, та В. Рудник, “Аналіз психофізіологічного стану антарктичних зимівників на основі обробки електроенцефалограми”, на *XVI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів Політ-2016: Сучасні проблеми науки*, Київ, 2016, с. 195.

25. А. Гордєєв, та С. Сиваш, “Аналіз факторів впливу на якість вимірювання біосигналів людини”, на *XVI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів Політ-2016: Сучасні проблеми науки*, Київ, 2016, с. 196.

26. A. D. Gordieiev, and V. D. Kuzovyk, “The statistical approach for diagnosis and prediction operator’s psychophysiological states”, *7th world congress Aviation in the XXI-st Century: Safety in Aviation and Space Technologies*, Kyiv, 2016, pp. 1.6.10-1.6.14.

27. А. Гордєєв, та Ю. Філіпова, “Аспекти створення комплексу контролю за реабілітацією психофізіологічного стану операторів”, на *II Всеукр. наук.-практ. конф. Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку*, Луцьк, 2016, с. 25-26.

28. А. Гордєєв, та К. Дейнеко, “Метод смугової обробки електроенцефалограми для оцінювання психофізіологічного стану антарктичних зимівників”, на *VIII Міжнар. Антарктичній конф. присвячена 25-річчю приєднання України до договору про Антарктиду*, Київ, 2017, с. 214–215.

29. А. Гордєєв, та В. Кузовик, “Інформаційна технологія оцінювання та прогнозування психофізіологічного стану антарктичних зимівників”, на *VIII Міжнар. Антарктичній конф. присвячена 25-річчю приєднання України до договору про Антарктиду*, Київ, 2017, с. 223–224.

30. А. Гордєєв, та М. Барзій, “Метод корекції зміщення вертексу голови людини на основі платформи Arduino”, на *XVII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів Політ-2017: Сучасні проблеми науки*, Київ, 2017, с. 9.

31. А. Гордєєв, В. Кузовик, та О. Булигіна, авторське право на комп’ютерну програму “Розрахунок інформативних параметрів електроенцефалограми для оцінювання психофізіологічного стану операторів”, № 52712, Груд. 20, 2013.

32. А. Гордєєв, В. Кузовик, К. Тишковець, авторське право на комп’ютерну програму “Комп’ютеризована інформаційна система психофізіологічного відбору операторів екстремальних видів діяльності”, № 66533, Лип. 11, 2016.

АНОТАЦІЯ

Гордєєв А.Д. Методи та біотехнічна система для професійного відбору операторів екстремальних видів діяльності. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – Біологічні та медичні прилади і системи. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2018.

В дисертаційній роботі викладені результати досліджень щодо розробки методів кількісного оцінювання та прогнозування психофізіологічного стану організму операторів екстремальних видів діяльності та розробки на їх основі біотехнічної системи, яка забезпечує підвищення ефективності їх професійного відбору на прикладі полярників Антарктичної станції ім. «Академік Вернадський».

Розроблено метод класифікації операторів за типом темпераменту та розрахунку показника рівня психічної придатності, що дозволило систематизувати дані та сформувану біомедичну базу знань на основі засобів електроенцефалографії, кефалографії та біологічних аналізів крові.

Розроблено метод розрахунку показника рівня фізіологічної придатності, який, разом із показником рівня психічної придатності, впроваджено в автоматизовану біотехнічну систему із системою підтримки прийняття рішень та програмним забезпеченням. В зазначеній біотехнічній системі реалізується поетапний алгоритм професійного відбору операторів екстремальних видів діяльності.

Розроблені методи та біотехнічна система підвищили ефективність процедури професійного відбору операторів екстремальних видів діяльності на 18%, а швидкість їх професійного відбору в 2,5 рази.

Ключові слова: біотехнічна система, електроенцефалографія, кефалографія, професійний відбір, психофізіологія, система прийняття рішень, психологічне тестування.

АННОТАЦИЯ

Гордеев А.Д. Методы и биотехническая система для профессионального отбора операторов экстремальных видов деятельности. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – Биологические и медицинские аппараты и системы. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2018.

В диссертационной работе изложены результаты исследований по разработке методов количественной оценки и прогнозирования психофизиологического состояния организма операторов экстремальных видов деятельности и разработки на их основе биотехнической системы, которая обеспечивает повышение эффективности их профессионального отбора на примере полярников Антарктической станции им. «Академик Вернадский».

Разработан метод классификации операторов по типу темперамента и расчета показателя уровня психической пригодности, что позволило систематизировать данные и сформировать биомедицинскую базу знаний на основе средств электроэнцефалографии, кефалографии и биологических анализов крови.

Разработан метод расчета показателя уровня физиологической пригодности, который, вместе с показателем уровня психической пригодности, внедрены в автоматизированную биотехническую систему с системой поддержки принятия решений и программным обеспечением. В указанной биотехнической системе реализуется поэтапный алгоритм профессионального отбора операторов экстремальных видов деятельности.

Разработанные методы и биотехническая система повысили эффективность процедуры профессионального отбора операторов экстремальных видов деятельности на 18%, а скорость их профессионального отбора в 2,5 раза.

Ключевые слова: биотехническая система, электроэнцефалография, кефалография, профессиональный отбор, психофизиология, система принятия решения, психологическое тестирование.

ANNOTATION

Gordieiev A. Methods and biotechnical system for professional recruiting of extreme activities operators'. – Manuscript copyright.

Dissertation for obtaining the scientific degree of technical sciences candidate (PhD) in specialty 05.11.17 – Biology and medical equipment and system. - Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2018.

Dissertation present the results of researches on the development of methods and biotechnical system which provide increase of efficiency of professional recruiting of extreme activity operators' on an example of polar explorers of Antarctic station "Academician Vernadsky".

An analytical review of modern methods and biotechnical systems for professional recruiting of extreme activity operators' is conducted in order to research their effectiveness, identify disadvantage and advantages in their work.

As a result of the research, the personal and professional qualities of extreme activity operators' were determined, which allowed to identify the main psychophysiological property of extremal operators for performing professional duties - adaptability, which includes both acquired and innate characteristics of person. In addition of this psycho-physiological state of their organism was considered as such set of parameters that called the information-energy field.

Taking into account the adaptability of extreme activity operators', the quantitative classification of the studied by type of temperament is implemented with the help of developed method of their classification by the category of temperament and the calculation of their mental proficiency (Q_{pr}). This method is provided with three psychological tests, and two anthropometric indicators. Taking into account the

quantitative indicators of this method, and also using the method of algebra logic sets, the classification of extreme activity operators' for 36 types of rigidity (N) was implemented, which allowed to obtain the informative indicators in a certain group and increase the efficiency of creating a database for collecting and systematizing psychophysiological parameters.

For quantitative assessment of the physiological proficiency of extreme activity operators', a method for calculating the energy density coefficient (Q_{eeg}) based on the processing of EEG data has been developed, which allows for medical specialist to assess the state of the information-energy field of extreme activity operators' organism.

Based on the maintained methods a biotechnical system for the professional recruiting of extreme activity operators' was developed. This system consisting of four subsystems that provide data registration, data storage, processing of registered data, calculation of standardized parameters on the basis of pre-collected data, allows the medical specialist to implement expert decision about operators proficiency.

The normalized range for the parameters of the information-energy field was calculated with representatives of one of the groups of extreme activity operators' - antarctic winterers (polar explorers), and also non-extreme activity operator explored (the number of participants in both groups was 36, at $P = 0.95$). The level of mental proficiency of extreme activity operators' has a normalized range: $79.30\% < Q_{pr} < 84.75\%$ (for operators of non-extreme activity the parameter was $56.37\% < Q_{pr} < 69.64\%$). The results of the research showed that the method of calculating the level of mental proficiency (Q_{pr}) is sensitive during the professional recruiting of extreme activity operators', which was confirmed by the other studies results.

Thus, as among the representatives of the antarctic wintering profession, the operators of the 31th and 35th rigidity type numbers (N) most often met the results of research of the information-energy field parameters presented for certain subgroups of operators. The experiment was attended by 13 operators of the 31th and 12 operators of the 35th type of rigidity.

The calculated kephalograph parameter for antarctic winterers has the following normalized range: for the 31th temperament type $1.13 < K_{kef_31} < 2.53$; for the 35th temperament type $0.48 < K_{kef_35} < 2.16$. The calculated electroencephalogram parameter for antarctic winterers has the following normalized range: for the 31st of temperament type $0.7415 < Q_{eeg_31} < 0.7521$; for the 35th of temperament type $0,8355 < Q_{eeg_35} < 0,8431$.

As a result of software design, a cross-platform software product with a graphical interface and decision-support system for a medical specialist was developed and tested on the MatLab software environment, which implements the collection and processing of biomedical information.

The results of the dissertation were applied to the production process of the National Antarctic Scientific Center (Kyiv) and the State University "National Institute of Surgery and Transplantology O.O. Shalimova", the National Academy of Medical Sciences of Ukraine (Kyiv), as well as in the educational process at the Department of

Biocybernetic and Aerospace Medicine (BICAM) of the National Aviation University (NAU), which is confirmed by the relevant acts.

Keywords: biotechnical system, EEG, cephalography, professional recruiting, psychophysiology, decision-making system, psychological testing.

Свідоцтво про Державну реєстрацію фізичної особи - підприємця
Серія ВОО № 866503

Підписано до друку 15.02.2018
Формат 60 x 90 ¹/₁₆. Папір офсетний № 2.
Друк трафаретний.
Ум. друк арк. 0,9 арк.
Тираж 100 прим. Замовлення №296

Віддруковано в міні-типографії ФОП Степенко А.О.
02660, м. Київ, вул. Є. Сверстюка, 11Б.
тел.: (044) 223-29-39, E-mail: 2232939@ukr.net, www.raz.com.ua