

УДК 004.89

Державний реєстраційний номер 0119U102297

Міністерство освіти та науки України

Національний авіаційний університет

ПОГОДЖЕНО:

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Заступник декана Факультету  
кібербезпеки, програмної та  
комп'ютерної інженерії  
з наукової роботи

Проректор з наукової роботи

\_\_\_\_\_ С.О.Гнатюк

\_\_\_\_\_ Є.О.Романенко

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

,

### **ЗВІТ**

з науково дослідної роботи № 35/14.01.04  
(кафедральної)

## **ІНФОРМАЦІЙНА ТА АВІАЦІЙНА БЕЗПЕКА ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ (остаточний)**

Завідувач кафедри  
засобів захисту інформації  
д.т.н., професор

В.В.Козловський

Науковий керівник  
д.т.н., доцент, с.н.с.

В.О.Темніков

Київ - 2022

## 2. Список авторів

| №пор. | ПІБ              | посада       | підпис |
|-------|------------------|--------------|--------|
| 1     | Темніков В.О.    | професор     |        |
| 2     | Німченко Т.В.    | доцент       |        |
| 3     | Козловський В.В. | зав. кафедри |        |
| 4     | Лазаренко С.В.   | професор     |        |
| 5     | Туровський О.Л.  | професор     |        |
| 6     | Шутко М.О.       | професор     |        |
| 7     | Швець В.А.       | доцент       |        |
| 8     | Щербак Т.Л.      | доцент       |        |
| 9     | Мелешко Т.В.     | ст. викладач |        |
| 10    | Темніков А.В.    | асистент     |        |

### 3. Реферат

Звіт про науково-дослідну роботу (НДР): 103 стор., 25 рис., 8 табл., 57 джерел

Робота виконана на кафедрі засобів захисту інформації Національного авіаційного університету у період з 01.06.2019 р. по 30.06.2022 р.

НДР присвячена розробці концепції, технології та методів підтримання на належному рівні та підвищення авіаційної безпеки (АБ) аеропортів і командно-диспетчерських пунктів (КДП) після їх вводу в експлуатацію, а також підвищення безпеки польотів повітряних суден. Визначені особливості проблемної області, що ускладнюють вирішення поставлених завдань.

За результатами досліджень сформовано моніторингові та корегувальні процеси забезпечення захисту аеропортів та КДП від актів незаконного втручання та зниження впливу людського фактору на рівень АБ аеропортів і якість роботи авіадиспетчерів по управлінню повітряним рухом.

Виявлено, що АБ аеропортів та КДП, як і безпека польотів повітряних суден, в значній мірі залежать від людського фактору, який проявляється у вигляді помилок співробітників служб авіаційної безпеки (САБ) та управління рухом (СУР) (авіадиспетчерів), що можуть бути обумовлені їх знаходженням у неналежному функціональному стані (ФС) та недостатнім професіоналізмом.

Обґрунтовано вибір напрямку досліджень щодо розробки технології контролю показників та управління функціональністю співробітників САБ та СУР в умовах невизначеності впливу на їхній ФС зовнішніх та внутрішніх небезпечних факторів.

Відзначена особлива роль в підтриманні на належному рівні та підвищенні АБ аеропортів та КДП після їх вводу в експлуатацію та зменшенні впливу людського фактору на безпеку польотів повітряних суден осіб, що приймають управлінські рішення.

Результати досліджень формують новий науковий напрямок інформаційної підтримки прийняття рішень (ІППР) особами, які приймають управлінські рішення, щодо коригуючих дій по відношенню до співробітників служб, чий

психофізіологічний ресурс має тенденцію до зниження, шляхом створення методологічних основ проведення контролю показників та управління їхньою функціональністю в умовах невизначеності впливу зовнішніх і внутрішніх небезпечних факторів.

В процесі виконання НДР була вирішена проблема забезпечення ІППР на основі методів лінгвістичного експертного оцінювання показників ФС та рівня професіоналізму співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) з використанням лінгвістичних змінних, перцептивних обчислень та вдосконалення методик проведення контролю ФС на основі аналізу психофізіологічного стану особи.

Розроблено процедури та методи управління ФС співробітників САБ та СУР на різних етапах їхньої виробничої діяльності, впровадження яких дозволяє знизити вплив людського фактору на АБ аеропортів та безпеку польотів повітряних суден.

Розроблене алгоритмічне забезпечення дозволило верифікувати запропоновані методи та моделі і провести експериментальні дослідження, які підтвердили достовірність теоретичних положень та практичних розробок.

При виконанні НДР використовувалися методи прийняття рішень з управління функціональністю авіадиспетчерів в умовах невизначеності впливу зовнішніх та внутрішніх небезпечних факторів; методи обчислювального інтелекту, перцептивних обчислень та експертного аналізу – для проведення оцінювання показників ФС і професіоналізму авіадиспетчерів в умовах невизначеності впливу зовнішніх та внутрішніх небезпечних факторів; методи теорії графів – для побудови графових ієрархічних моделей для проведення оцінювання показників ФС авіадиспетчерів; методи теорії розпізнавання образів та інформаційних систем – для побудови систем інформаційної підтримки прийняття рішень з управління функціональністю авіадиспетчерів.

**Ключові слова:** авіаційна безпека, інформаційна безпека, безпека польотів повітряних суден, функціональний стан, психофізіологічний рстан, служба авіаційної безпеки, авіадиспетчери

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....                                                                                                                                                      | 8  |
| ВСТУП.....                                                                                                                                                                              | 10 |
| 1 ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ АВІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ АЕРОПОРТІВ ПІСЛЯ<br>ВВОДУ ЇХ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ ТА БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ ПОВІТРЯНИХ<br>СУДЕН .....                                                         | 14 |
| 1.1 Фактори, що негативно впливають на інформаційну та авіаційну<br>безпеку.....                                                                                                        | 14 |
| 1.2 Сучасні засоби протидії загрозам авіаційній та інформаційній безпеці<br>авіапідприємств .....                                                                                       | 16 |
| 1.3 Концепція підтримання на належному рівні та підвищення АБ<br>аеропортів і КДП, а також підвищення БП повітряних суден .....                                                         | 19 |
| 1.4 Модель та метод інформаційної підтримки прийняття рішень .....                                                                                                                      | 29 |
| 1.5 Висновки до першого розділу.....                                                                                                                                                    | 34 |
| 2 ПРЕВЕНТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ<br>СПІВРОБІТНИКІВ СЛУЖБ АВІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ТА УПРАВЛІННЯ<br>РУХОМ.....                                                                        | 37 |
| 2.1 Основні положення превентивного управління<br>функціональністю співробітників служб авіаційної безпеки та<br>управління рухом.....                                                  | 37 |
| 2.2 Процедура превентивного управління функціональним<br>станом співробітників служб авіаційної безпеки та управління рухом.....                                                        | 41 |
| 2.3 Метод отримання агрегованої оцінки.....                                                                                                                                             | 46 |
| 2.4 Процедура оцінювання та аналізу впливу небезпечних<br>факторів на функціональний стан авіадиспетчерів.....                                                                          | 50 |
| 2.5 Особливості застосування процедури оцінювання та аналізу<br>впливу небезпечних факторів на показники функціонального стану<br>авіадиспетчерів в процесі передзмінного контролю..... | 55 |
| 2.6 Висновки до другого розділу.....                                                                                                                                                    | 56 |

|                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3 ОПЕРАТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИМ СТАНОМ<br>АВІАДИСПЕТЧЕРІВ.....                                                                                                                               | 59 |
| 3.1 Основні положення оперативного управління функціональним<br>станом авіадиспетчерів.....                                                                                                         | 59 |
| 3.2 Модель і метод оперативного управління функціональним<br>станом авіадиспетчерів.....                                                                                                            | 62 |
| 3.3 Висновки до третього розділу.....                                                                                                                                                               | 69 |
| 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ<br>ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.....                                                                                                          | 71 |
| 4.1 Основні положення створення системи інформаційної підтримки<br>прийняття рішень стосовно функціональності співробітників служб<br>авіаційної безпеки та управління рухом (авіадиспетчерів)..... | 71 |
| 4.2 Практична реалізація методів та моделей превентивного<br>управління функціональністю співробітників служб авіаційної<br>безпеки та управління рухом.....                                        | 74 |
| 4.2.1 Архітектурні рішення побудови системи інформаційної<br>підтримки прийняття рішень в процесі превентивного управління....                                                                      | 74 |
| 4.2.2 Побудова системи інформаційної підтримки прийняття<br>рішень в процесі оперативного управління.....                                                                                           | 77 |
| 4.3 Структура бази даних та фреймова модель.....                                                                                                                                                    | 78 |
| 4.4 Практична реалізація метода отримання агрегованої оцінки для<br>визначення здатності співробітників служб авіаційної безпеки та<br>управління рухом виконувати професійні обов'язки.....        | 81 |
| 4.5 Практична реалізація процедури виявлення факторів,<br>що мають визначальний вплив на якість роботи авіадиспетчерів.....                                                                         | 84 |
| 4.6 Методики визначення функціональності авіадиспетчерів.....                                                                                                                                       | 86 |
| 4.6.1 Методика проведення контролю ФС авіадиспетчерів.....                                                                                                                                          | 86 |
| 4.6.2 Методика професійного добору.....                                                                                                                                                             | 87 |

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 4.7 Висновки до четвертого розділу..... | 93 |
| ВИСНОВКИ.....                           | 95 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....                   | 98 |

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АБ – авіаційна безпека

АНВ – акти незаконного втручання

БД – база даних

БДПК – база даних перманентного контролю

БЗ – база знань

БП – безпека польотів

ЕмС – емоційний стан

ІБ – інформаційна безпека

ІН – індекс напруженості

ІНМ2 – інтервальна нечітка множина 2-го типу

ІППоР – інформаційна підтримка прийняття оперативних рішень

ІППпР – інформаційна підтримка прийняття рішень в процесі  
превентивного управління

ІППР – інформаційна підтримка прийняття рішень

ІС – інформаційна система

ІТ – інформаційна технологія

КДП – командно-диспетчерський пункт

ЛФ – людський фактор

НДР – науково-дослідна робота

ОПР – особа, що приймає управлінські рішення

ПАРС – показник активності регуляторних систем

ПФР – психофізіологічний ресурс

ПФС – психофізіологічний стан

САБ – служба авіаційної безпеки

СЗІ – служба захисту інформації

СПППоР – система інформаційної підтримки прийняття оперативних рішень

СППпР – система інформаційної підтримки прийняття рішень в процесі превентивного управління функціональністю авіадиспетчерів

СППР – система інформаційної підтримки прийняття рішень

ССС – серцево-судина система

СУР – служба управління рухом

УПР – управління повітряним рухом

ФС – функціональний стан

## ВСТУП

У відповідності до Закону України «Про критичну інфраструктуру» [1] захист критичної інфраструктури (сукупності об'єктів критичної інфраструктури) – це всі види діяльності, що виконуються перед або під час створення, функціонування, відновлення і реорганізації об'єкта критичної інфраструктури, спрямовані на своєчасне виявлення, запобігання і нейтралізацію загроз безпеці об'єктів критичної інфраструктури, а також мінімізацію та ліквідацію наслідків у разі їх реалізації.

Під об'єктами критичної інфраструктури у цьому Законі розуміються об'єкти інфраструктури, системи, їх частини та їх сукупність, які є важливими для економіки, національної безпеки та оборони, порушення функціонування яких може завдати шкоди життєво важливим національним інтересам.

У відповідності з Законом України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» [2] до об'єктів критичної інфраструктури, серед інших, можуть бути віднесені підприємства, установи та організації незалежно від форми власності, які провадять діяльність та надають послуги в галузях енергетики, хімічної промисловості, транспорту, інформаційно-комунікаційних технологій, електронних комунікацій, у банківському та фінансовому секторах.

При виконанні даної науково-дослідної роботи (НДР), присвяченій питанням авіаційної безпеки, у якості об'єктів критичної інфраструктури розглядалися аеропорти та командно-диспетчерські пункти (КДП).

Відповідно до [3] в контексті авіації безпека – це стан, при якому можливість заподіяння шкоди особам або майну знижена до прийняттого рівня і підтримується на цьому або нижчому рівні за допомогою постійного процесу виявлення небезпечних факторів та управління цими факторами.

Ефективна та безпечна експлуатація авіаційного транспорту не може бути забезпечена без підтримки на належному рівні та підвищення безпеки функціонування аеропортів та КДП в процесі їхньої експлуатації, основою якої є

авіаційна безпека (АБ) аеропортів та КДП, а також безпеки польотів (БП) повітряних суден.

Питанням підвищення АБ аеропортів та БП повітряних суден зараз приділяється велика увага як в Україні, так і у всьому світі. Так, у документах Міжнародної організації цивільної авіації ІКАО та України наземні об'єкти авіасполучення – аеропорти та КДП – розглядаються як критичні об'єкти, захист яких від актів незаконного втручання (АНВ) та впливу людського фактору повинен бути забезпечений на протязі всього часу їхнього функціонування після вводу в експлуатацію.

Велике значення має також забезпечення інформаційної безпеки (ІБ) аеропортів – захисту інформаційних та інформаційно-телекомунікаційних систем аеропортів та КДП від незаконного втручання з зовні, яке може призвести до виходу їх з ладу, та захист інформації, що циркулює в інформаційних системах аеропортів. Останнє, зокрема, є важливим у зв'язку з тим, що критична інформація (в тому числі, персональні дані пасажирів, співробітників аеропортів, членів льотних екіпажів тощо) можуть потрапити до злоумисників і привести до значних матеріальних втрат, а, в гіршому випадку, до загибелі людей.

Це змушує приділяти особливу увагу забезпеченню та підвищенню ефективності роботи служб аеропортів, від ефективності та надійності роботи яких залежать безпечність функціонування аеропортів – служб авіаційної безпеки (САБ), охорони, захисту інформації (СЗІ), а також співробітників КДП, які забезпечують БП повітряних суден – диспетчерів управління повітряним рухом (УПР) (авіадиспетчерів).

Підтримку на належному рівні та підвищення ІБ й АБ аеропортів в процесі їхньої експлуатації та належну якість УПР авіадиспетчерами неможливо забезпечити без застосування принципово нових підходів на основі розробки нових інформаційних технологій (ІТ), методів та моделей, а також урахування особливостей проблемної області.

НДР присвячена розробці методологічних основ підтримки на належному рівні та підвищення АБ й ІБ аеропортів в процесі їх експлуатації, а також

підвищення якості управління функціональністю співробітників служб аеропортів з метою зниження впливу людського фактору на АБ аеропортів і БП повітряних суден.

Актуальність питань теоретико-методологічного обслуговування управління функціональністю співробітників служб аеропортів та КДП в умовах наявності істотного впливу на їхній функціональний стан (ФС) зовнішніх та внутрішніх небезпечних (часто випадкових) факторів, розроблення практичних рекомендацій щодо впровадження ІТ для підвищення АБ аеропортів та якості УПР авіадиспетчерами зумовила і визначила мету та завдання НДР.

Метою досліджень є розробка технології підтримки на належному рівні та підвищення АБ аеропортів й КДП після вводу аеропортів в експлуатацію, а також підвищення якості УПР авіадиспетчерами, шляхом створення теоретичних та методологічних основ управління функціональністю співробітників служб аеропортів та КДП з боку осіб, які приймають управлінські рішення, в умовах невизначеності впливу зовнішніх і внутрішніх небезпечних факторів.

Під час виконання НДР були розроблені нові методи, моделі та інформаційна технологія, застосування яких дозволило більш ефективно протидіяти навмисним та ненавмисним (обумовленим людським фактором) загрозам АБ аеропортів і КДП та ефективності УПР.

Аналіз проблемної області проводився з урахуванням положень нормативних документів ІКАО та України, зокрема: Дос 8973/9, Дос 9859, Приложение 17 к Конвенции о международной гражданской авиации «Управление безопасностью полетов», Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации «Управление безопасностью полетов», Дос 9808, Дос 8984, Дос 30 та «Повітряний Кодекс України» [3-10].

Результати НДР пропонуються для застосування при управлінні процесами підтримки на належному рівні та підвищення АБ аеропортів, при визначенні ФС співробітників для більш достовірного визначення здатності та готовності співробітників служб авіапідприємств виконувати професійні (функціональні) обов'язки та в навчальному процесі в НАУ.

Результати НДР опубліковані в наукових журналах та доповідалися на науково-технічних та науково-практичних конференціях, в тому числі міжнародних.

## **1 ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ АВІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ АЕРОПОРТІВ ПІСЛЯ ВВОДУ ЇХ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ ТА БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН**

### **1.1 Фактори, що негативно впливають на авіаційну та інформаційну безпеку авіапідприємств**

Авіаційні події часто відбуваються при певному поєднанні цілого ряду факторів, що сприяють цій події [3, 11-13] – кожен з цих факторів сам по собі може бути не здатний викликати авіаційну подію, але є значущим елементом в ланцюжку подій. До того ж, збої у роботі можуть відбуватися при взаємодії небезпечних факторів з певними провокуючими факторами. Тому визначення причин, що викликають авіаційні події, повинно проводитися на основі дослідження всієї системи факторів. Більш того, небезпечні фактори необхідно виявляти ще до того, як вони приведуть до авіаційних подій та інцидентів.

Результати аналізу літературних джерел, присвячених вирішенню проблеми підтримки на належному рівні та підвищенню авіаційної (АБ) та інформаційної безпеки (ІБ) аеропортів та підвищенню безпеки польотів (БП) повітряних суден (якості управління повітряним рухом (УПР) авіадиспетчерами), відносно факторів, що негативно впливають на АБ та ІБ аеропортів та командно-диспетчерських пунктів (КДП), а також БП повітряних суден, узагальнені на рис.1.1. З цього рисунку ясно видно взаємозв'язок між указаними факторами.

З рис.1.1 видно, що АБ та якість УПР авіадиспетчерами залежать від грамотності роботи співробітників та керівників служб АБ (САБ), охорони, захисту інформації (СЗІ) та управління рухом (СУР). Тому в процесі досліджень увага приділялася підвищенню якості управління функціонуванням саме цих служб авіапідприємств.

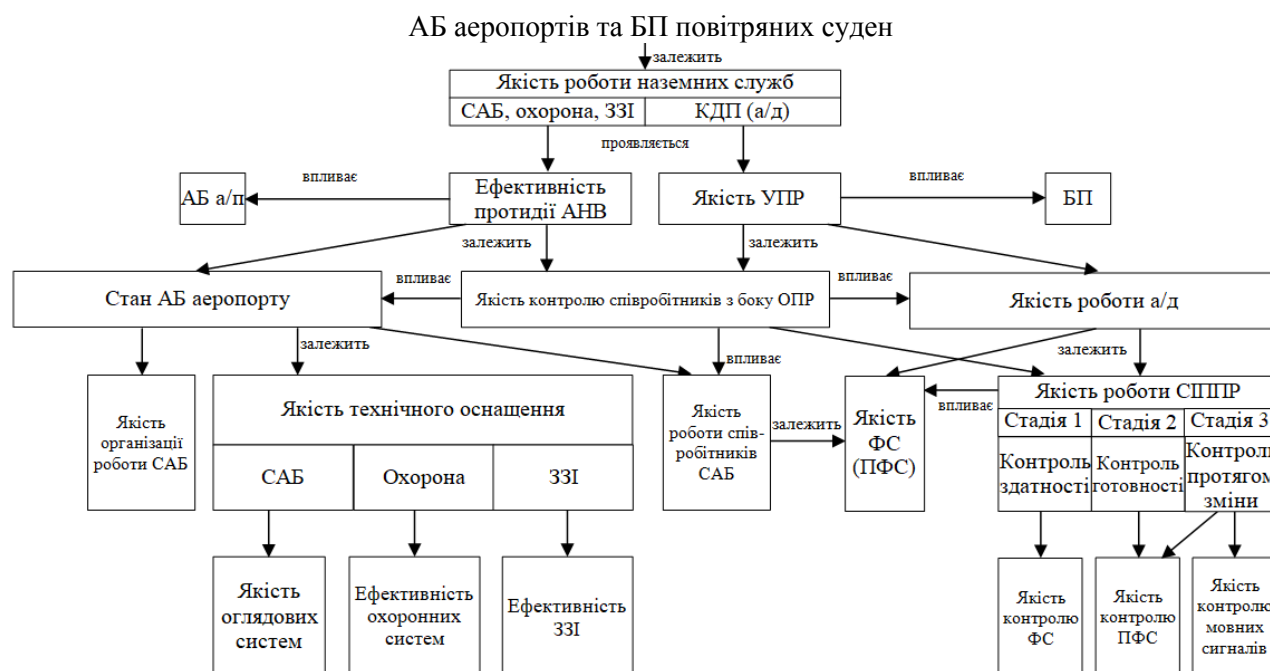


Рисунок 1.1 – Основні фактори, від яких залежить якість (ефективність) роботи служб авіапідприємства

Зазначимо, що основними функціями співробітників указаних служб є:

- співробітників САБ – догляд пасажирів, ручної поклажі, багажу, паспортний і квитковий контроль;
- співробітників охорони – захист контрольованих зон аеропортів від несанкціонованого проникнення в них зловмисників і внутрішньооб'єктовий контроль;
- співробітників СЗІ – захист інформації, що міститься в базах даних авіапідприємств і циркулює в інформаційно-телекомунікаційних системах, від загроз, які складаються в несанкціонованому доступі, спецдії та витоку технічними каналами;
- співробітників СУР (авіадиспетчерів) – управління повітряним рухом повітряних суден.

У зв'язку з тим, що одним з основних факторів, що впливають на АБ та ІБ авіапідприємств, а також БП повітряних суден, є недостатня якість роботи

указаних служб авіапідприємств, найважливішим завданням є підвищення якості їх роботи.

Аналіз показав, що якість роботи співробітників САБ, охорони, СЗІ та СУР, в першу чергу, залежить від [7, 8, 11, 14, 15]:

- функціонального стану (ФС) співробітників служб, під яким розуміється недостатній професіоналізм (рівень знань, досвіду, навичок) та незадовільні психологічний, психічний, фізичний та фізіологічний стан співробітників служб;
- якості організації роботи служб, в тому числі, якості управління роботою співробітників служб з боку осіб, що приймають рішення (ОПР) (помилки ОПР при прийнятті управлінських рішень можуть бути обумовлені суб'єктивністю, браком ресурсів, часу на прийняття рішень, невизначеністю інформації про стан співробітників, зовнішніми випадковими факторами тощо);
- якості технічного оснащення служб.

Тому в процесі виконання досліджень особлива увага приділялася розробці методів, направлених на:

- підвищення якості ФС співробітників служб авіапідприємств (в першу чергу – покращення їхнього психологічного та психофізіологічного стану);
- підвищення якості контролю за роботою співробітників служб з боку ОПР;
- покращення характеристик технічних систем та пристроїв, що застосовуються для забезпечення АБ аеропортів і УПР авіадиспетчерами.

## **1.2 Сучасні засоби протидії загрозам авіаційній та інформаційній безпеці авіапідприємств**

Відповідно до [3], в контексті авіації безпека – це стан, при якому можливість заподіяння шкоди особам або майну знижена до прийняттого рівня і підтримується на цьому або нижчому рівні за допомогою постійного процесу виявлення небезпечних факторів та управління цими факторами. Хоча усунення авіаційних подій та/або серйозних інцидентів залишається в цій області кінцевою метою людської діяльності, проте, зізнається, що авіаційні системи не можуть

бути повністю вільні від небезпечних факторів і пов'язаних з ними ризиків. Ніяка діяльність людини або створена ним система не гарантована від повної відсутності експлуатаційних помилок та їх наслідків. Таким чином, безпека є динамічною характеристикою, для забезпечення якої необхідно постійно докладати зусилля щодо зниження впливу на неї небезпечних факторів.

У документах ІКАО [3,4] позначені три методики виявлення небезпечних факторів:

а) Реагуючий підхід. Дана методика передбачає аналіз результатів або подій, що мали місце в минулому. Небезпечні фактори виявляються в процесі розслідування подій, пов'язаних з безпекою польотів. Інциденти та авіаційні події є чіткими показниками недоліків в системі і завдяки цьому можуть використовуватися для визначення небезпечних факторів, які або сприяють такій події, або мають прихований (латентний) характер.

б) Проактивний підхід. Дана методика передбачає аналіз існуючих або реально виникаючих ситуацій, які є предметом професійної діяльності підрозділів, що займаються забезпеченням безпеки, включаючи перевірки, експертизи, звіти співробітників, і пов'язані з ними процедури аналізу та оцінки. Такий підхід означає активний пошук небезпечних факторів в існуючих процесах.

в) Прогнозний підхід. Дана методика передбачає збір даних з метою виявлення можливих негативних результатів або подій в майбутньому, аналіз системних процесів і середовища, що дозволяє виявляти потенційні небезпечні фактори в майбутньому і вживати заходів щодо їх зменшення.

В [3] відзначається, що небезпечні фактори існують на всіх рівнях функціонування підприємств авіаційної галузі і можуть бути виявлені під час інспекцій та перевірок.

В основу проведення досліджень була закладена ідея про необхідність проведення комплексного управління безпекою авіапідприємств – поєднання превентивного (заснованого на проактивному та прогнозному підходах до пошуку небезпечних факторів) та оперативного управління.

У документах [3,9] підкреслюється необхідність розстановки акцентів на найбільш важливих і критичних питаннях, які необхідно вирішити, щоб удосконалити систему забезпечення безпеки. Зважаючи на те, що, відповідно до документів ІКАО [3,4,7], основними загрозами АБ і ІБ аеропортів та КДП, а також УПР є навмисні дії зловмисників, які здійснюють акти незаконного втручання (АНВ) в діяльність аеропортів, і людський фактор (ЛФ), що проявляється у вигляді ненавмисних неправомірних дій (помилки) співробітників авіапідприємств, основна увага при проведенні досліджень приділялась розробленню моделей та методів управління АБ аеропортів та якості УПР авіадиспетчерами на основі застосування заходів, спрямованих на зниження впливу на безпеку ЛФ, та організаційних заходів, направлених на підвищення якості роботи співробітників служб авіапідприємств, завданням яких є забезпечення АБ аеропортів та якісного УПР.

У документі ІКАО [4] відзначається, що на початку 1990-х років вперше було визнано, що люди, від правильності дій яких залежить безпека, працюють в складних експлуатаційних умовах, що включають численні фактори, що впливають на їх поведінку. Як указано в [4,7], ненавмисні помилки співробітників служб авіапідприємств, обумовлені їх втомою, непередбачуваним зміненням працездатності і переходом в неналежний емоційний стан (ЕмС), пов'язані з постійним нервово-емоційним напруженням, яке відчувають співробітники служб під час виконання своїх функціональних обов'язків.

Відмітимо, що серед управлінських систем документ ІКАО [3] виділяє дві, що мають безпосереднє відношення до впливу людського фактору на БП повітряних суден – це система диспетчерського управління і система управління факторами ризику, пов'язаними з втомою (FRMS).

В процесі досліджень в якості основних напрямків протидії загрозам безпеці розглядалися протидія несанкціонованим діям зловмисників, які здійснюють АНВ в діяльність аеропортів, з боку співробітників САБ, охорони, СЗІ та підвищення якості роботи співробітників СУР, в першу чергу – дій авіадиспетчерів.

На рис.1.2 узагальнені основні напрями підвищення АБ аеропортів та якості УПР авіадиспетчерами (БП повітряних суден).



Рисунок 1.2 – Основні напрями підвищення АБ аеропортів та БП ПС

### 1.3 Концепція підтримання на належному рівні та підвищення АБ аеропортів і КДП, а також підвищення БП повітряних суден

В процесі виконання НДР була розроблена концепція підтримання на належному рівні та підвищення АБ аеропортів і КДП, а також підвищення БП повітряних суден в умовах невизначеності впливу зовнішніх й внутрішніх небезпечних факторів та слабкої структурованості проблемної області.

Основними складовими концепції є такі:

1. Концепція базується на положенні, що основою підтримання на належному рівні та підвищення АБ аеропортів після їх вводу до експлуатації та КДП, а також підвищення БП повітряних суден є підвищення якості роботи відповідних служб аеропортів та КДП.

2. Якість роботи служб залежить від:

- якості ФС співробітників служб аеропортів та КДП (в першу чергу – їхнього психологічного та психофізіологічного стану);
- якості контролю за роботою співробітників служб з боку ОПР;
- характеристик технічних систем та пристроїв, що застосовуються для забезпечення АБ аеропортів і УПР авіадиспетчерами.

Це обумовлено тим, що знаходження співробітників служб авіапідприємств, в тому числі авіадиспетчерів, в неналежному ФС призводить до ненавмисних помилок, які є одними з основних причин аварій і авіаційних подій [3-5].

3. В основу проведення досліджень було закладено ідею про необхідність проведення комплексного (превентивного та оперативного) управління ФС.

Основними завданнями превентивного управління ФС співробітників служб є виявлення небезпечних факторів на якомога ранніх стадіях, визначення ступеню їх впливу на безпеку, нейтралізація дії небезпечних факторів, прогнозування змінень ФС співробітників служб за результатами навчань і перевірок на тренажерах та виявлення негативних тенденцій змінень для запобігання небажаних процесів, не чекаючи їх прояву.

Оперативне управління ФС співробітників служб аеропортів та КДП полягає в оперативному управлінні ним в процесі виконання співробітниками служб своїх функціональних обов'язків протягом робочої зміни, оперативному реагуванні на змінення параметрів, що характеризують ФС співробітників, з застосуванням систем інформаційної підтримки прийняття оперативних рішень ОПР.

Комплексний підхід до управління функціональністю (функціональним станом та рівнем професіоналізму) співробітників служб авіапідприємств призводить до:

- покращення кадрового складу служб, заснованому на більш ретельному відборі кандидатів на вакантні посади;
- забезпечення більш ретельного контролю ФС співробітників служб, у першу чергу – авіадиспетчерів, в процесі періодичного та передзмінного

контролю з метою більш ефективного виявлення їх рівня здатності і готовності виконувати функціональні обов'язки;

- забезпечення більш якісного контролю психофізіологічного стану (ПФС) співробітників служб (у першу чергу це стосується авіадиспетчерів) під час виконання ними функціональних обов'язків протягом робочої зміни з боку ОПР.

4. Одним з найважливіших завдань, що вирішувались в процесі виконання досліджень, полягало в розробці моделей та методів, які дозволяють забезпечити більш якісний контроль ФС співробітників служб, та технології інформаційної підтримки прийняття рішень (ІППР), що забезпечує можливість ОПР приймати більш обґрунтовані управлінські рішення.

ІППР ОПР полягає в здійсненні комплексу заходів, направлених на інформаційну підтримку ОПР при прийнятті ними управлінських рішень під час (за результатами) проведення таких контрольних заходів [5-8]:

- що здійснюються при прийомі на роботу, періодичному, передзмінному контролю та контролі під час роботи авіадиспетчера на тренажерах – ІППР в процесі превентивного управління (ІПППР);

- запропонованого нового виду контролю – перманентного контролю функціональності авіадиспетчерів – ІППР із застосуванням спеціально створюваної бази даних перманентного контролю (БДПК);

- внутрішньозмінного контролю, в процесі якого здійснюється оперативне управління ФС авіадиспетчера – інформаційна підтримка прийняття оперативних рішень (ІППоР).

Узагальнена схема інформаційних зв'язків у процесі прийняття рішень з управління функціональністю авіадиспетчерів як суб'єктів предметної галузі наведена на рис. 1.3.

Основними складовими структури, представленої на рис.1.3, є:

- суб'єкт (структура рис.1.3 є універсальною – вона може бути застосована при забезпеченні ІППР ОПР, що здійснює управління функціональністю не тільки авіадиспетчерів, а й інших осіб, які, у відповідності

до «Переліку робіт, де є потреба у професійному доборі» Міністерства охорони здоров'я України [23], повинні проходити профвідбір);

- ОПР, що проводить керуючі (корегуючі) дії у випадку, коли суб'єкт втрачає (може втратити) спроможність виконувати функціональні обов'язки;
- система ІППР, що, в загальному випадку, включає блок обробки і аналізу інформації, базу знань (БЗ) та базу даних (БД).

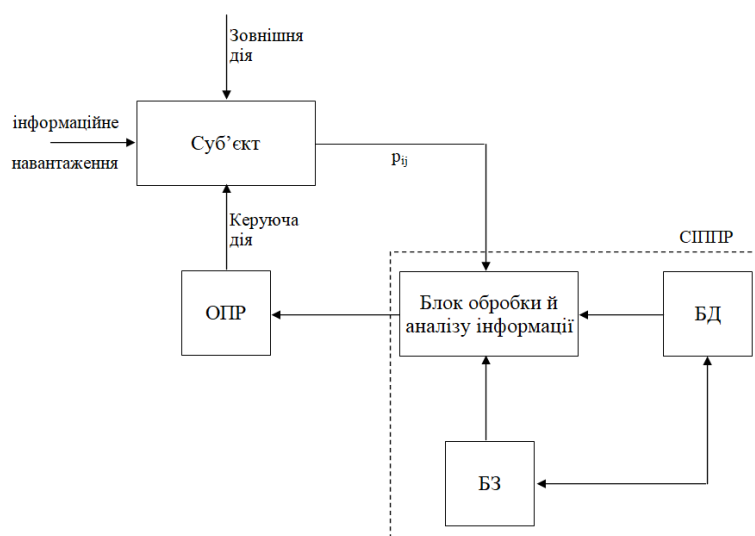


Рисунок 1.3 – Узагальнена схема інформаційних зв'язків у процесі прийняття рішень по управлінню функціональністю авіадиспетчерів

5. Функціонування системи ІППР (СІППР) на різних стадіях контролю ФС авіадиспетчерів здійснюється на базі єдиного алгоритму дій над інформацією, що містить збір, обробку інформації й етап підготовки інформації для передачі ОПР, що включає аналіз інформації та прогнозування змінень ФС суб'єктів.

На рис.1.4 наведена базова функціональна схема проведення контролю та управління ФС авіадиспетчерів на різних стадіях контролю та управління (під час різних контрольних заходів).

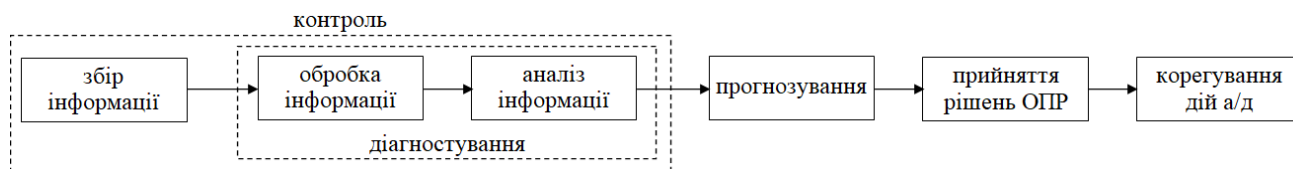


Рисунок 1.4 – Функціональна схема проведення контролю та управління ФС авіадиспетчерів

Управлінська процедура являє собою сукупність правил, що послідовно реалізуються при виконанні організаційних, інноваційних та інших операцій, що приводить до розв'язання завдань, які стоять перед об'єктом або суб'єктом управління [13, 14].

З рис.1.4 видно, що під контролем розуміється послідовне проведення отримання та діагностування (обробка та аналіз) інформації, а прогнозування, на основі якого ОПР приймає рішення та здійснює коригування дій авіадиспетчера, проводиться за результатами аналізу інформації (показників ФС, рівня професіоналізму авіадиспетчера тощо).

6. Для здійснення контролю ФС авіадиспетчерів на різних стадіях контролю (під час різних контрольних заходів) створюється єдиний простір показників ФС суб'єктів.

7. ФС і рівень професіоналізму авіадиспетчерів визначаються як вектори значень їх показників, в якості яких використовуються узагальнені показники функціональності авіадиспетчерів, а також окремі показники, що характеризують стан здоров'я, психологічний стан та рівень знань суб'єктів тощо.

Для оцінювання ФС та рівня професіоналізму при проведенні професійного добору, періодичного та передзмінного контролю використовуються такі узагальнені показники:

- агрегована оцінка ФС/рівня професіоналізму, яка розраховується та представляється у вигляді лінгвістичної змінної або нечіткого інтервалу [15-17];

- показники стану регуляторних систем організму людини (стану серцево-судинної системи людини (ССС)) – показник активності регуляторних систем організму людини (ПАРС) та індекс напруженості (ІН ) проф. Баєвського Р.М. [18, 19].

Для оцінювання ФС протягом робочої зміни використовується ІН проф. Баєвського Р.М. (показник стану СССР).

8. ІППР надається ОПР під час проведення:

- «стаціонарного» контролю, метою якого є визначення здатності і готовності суб'єктів виконувати функціональні обов'язки при прийомі на роботу, періодичному та передзмінному контролі;

- перманентного контролю, метою якого є неперервне відстеження показників суб'єктів для прогнозування можливого виходу показників за межі встановлених значень;

- внутрішньозмінного контролю, метою якого є контроль ФС під час виконання ними функціональних обов'язків.

Дані, отримані за результатами «стаціонарного» та перманентного контролю, призначені для проведення превентивного, а дані, отримані в процесі внутрішньозмінного контролю, – оперативного управління ФС авіадиспетчерів.

На рис.1.5 наведена концептуальна схема ІППР із зазначенням моделей і методів, які розроблені для втілення етапів проведення контролю показників й управління ФС авіадиспетчерів.

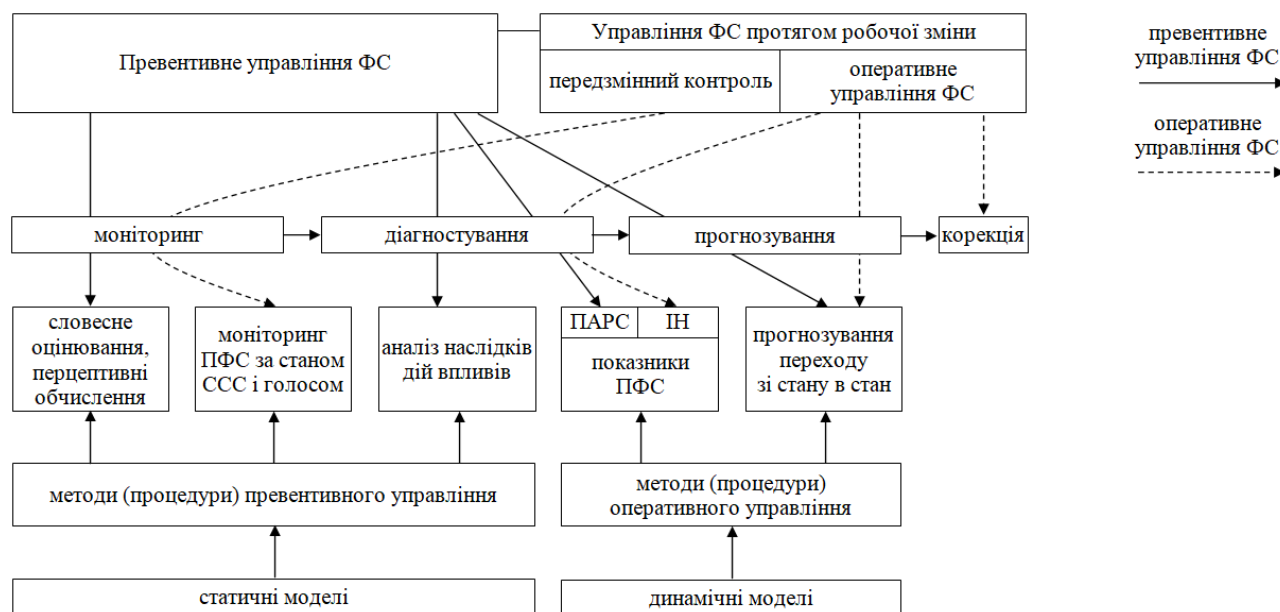


Рисунок 1.5 – Концептуальна схема ІПРП

На рис.1.6 наведена узагальнена схема ІПРП з управління ФС авіадиспетчерів в умовах впливу на суб'єкт зовнішніх та внутрішніх небезпечних факторів випадкового характеру для таких трьох типів контрольних заходів:

- 1) контроль здатності авіадиспетчерів виконувати функціональні обов'язки (під час прийому на роботу, періодичного контролю та перевірки на тренажерах);
- 2) контроль готовності авіадиспетчерів виконувати функціональні обов'язки (під час передзміінного контролю);
- 3) внутрішньозміінний контроль.

Основою узагальненої схеми ІПРП є послідовне проведення вибору типу контрольних заходів, моделі та методу, розробленого із застосуванням вибраної моделі, та представлення ОПР варіантів рішення.

9. Одним із шляхів підвищення якості контролю за ФС авіадиспетчерів є проведення перманентного контролю їхнього ФС протягом виробничої діяльності осіб з метою виявлення негативних тенденцій змінення ФС. Вказаний контроль пропонується здійснювати з використанням розробленої інформаційної системи, котра містить спеціально побудовану базу даних – БДПК, в яку стікається вся

інформація про ФС кожного авіадиспетчера, що отримана в процесі проведення різних контрольних заходів [7, 14, 20, 21].

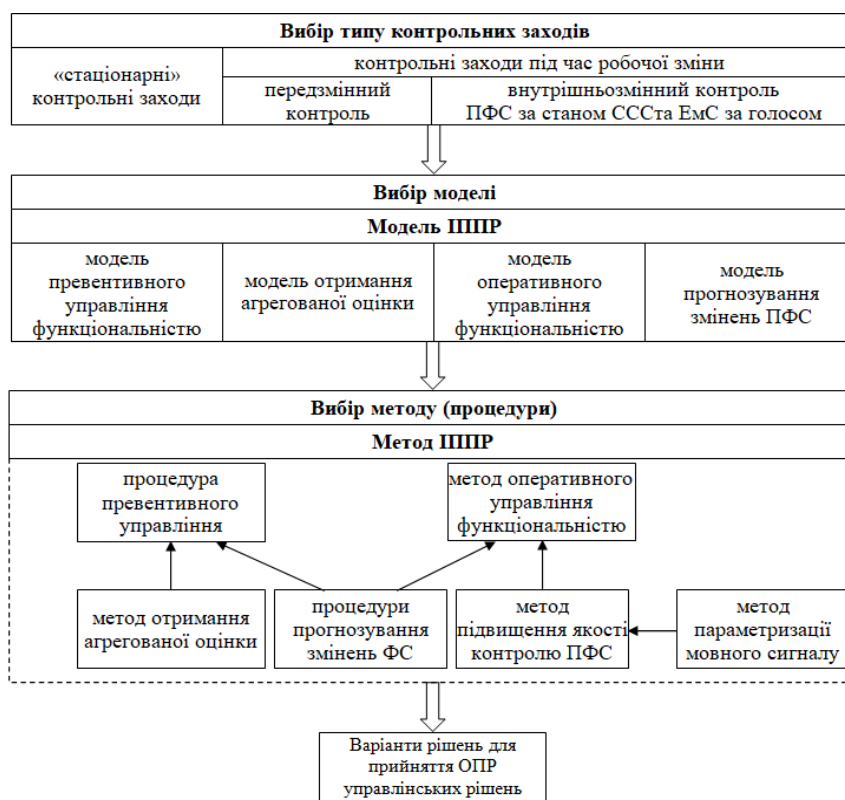


Рисунок 1.6 – Узагальнена схема ІППР з управління ФС авіадиспетчерів

В процесі перманентного контролю ФС виявляються особи, стан яких має несприятливу тенденцію змінення. Застосування пропонованого виду контролю дозволить своєчасно (на ранніх етапах виробничої діяльності співробітників служб авіапідприємств) виявити та усунути від виконання функціональних обов’язків осіб з початковими формами захворювання і зниженою працездатністю.

Для забезпечення перманентного контролю ФС розроблено інформаційну систему, основою якої є єдина база даних, до якої стікаються результати різних контрольних заходів (які проводяться під час прийому на роботу, періодичного та передзмінного контролю тощо) – база даних перманентного контролю (БДПК) ФС.

Узагальнена структурна схема процесу перманентного контролю ФС авіадиспетчерів із застосуванням БДПК наведена на рис.1.7.

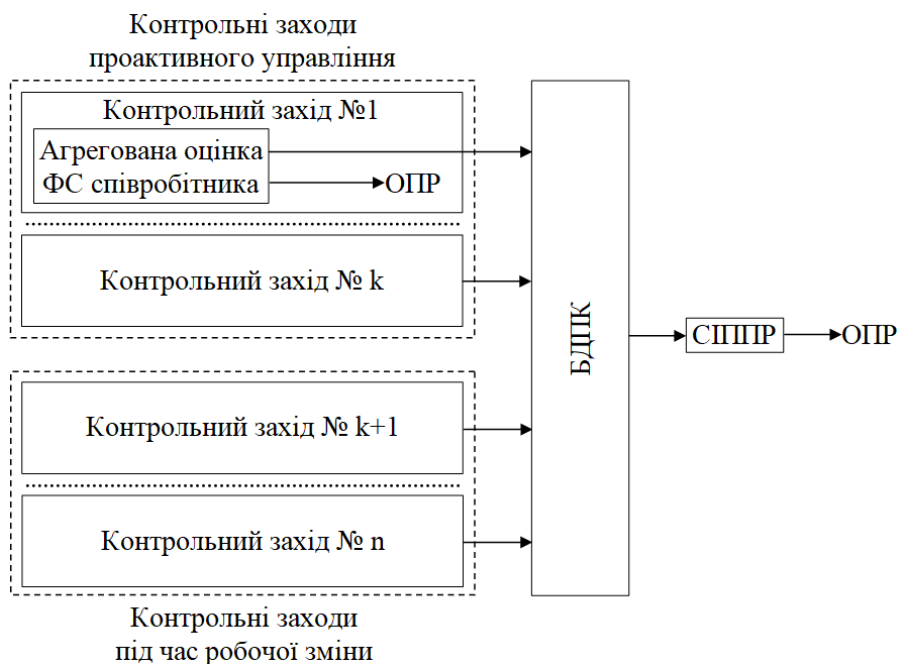


Рисунок 1.7 – Узагальнена структурна схема процесу перманентного контролю ФС авіадиспетчерів

На рис.1.7 виокремлено контрольні заходи превентивного управління (зокрема, при прийомі на роботу, проведенні періодичного контролю тощо, засновані на аналізі агрегованих оцінок ФС авіадиспетчерів, отриманих в результаті перцептивних обчислень експертних оцінок вхідних небезпечних факторів) та такі, що здійснюються під час робочої зміни (в тому числі, передзмінний та післязмінний контроль).

Дані, що зосереджуються в БДПК, обробляються СППР і надходять ОНР, які приймають рішення про ступінь готовності осіб виконувати функціональні обов'язки. За результатами контролю ОНР повинні видати рекомендації з підтримки ФС особи на рівні, необхідному для її виробничої діяльності, і оцінити необхідність проведення реабілітаційних заходів.

Для практичної реалізації запропонованого перманентного контролю ФС авіадиспетчерів було розроблено структурну схему процесу наповнення БДПК, представлену на рис. 1.8.

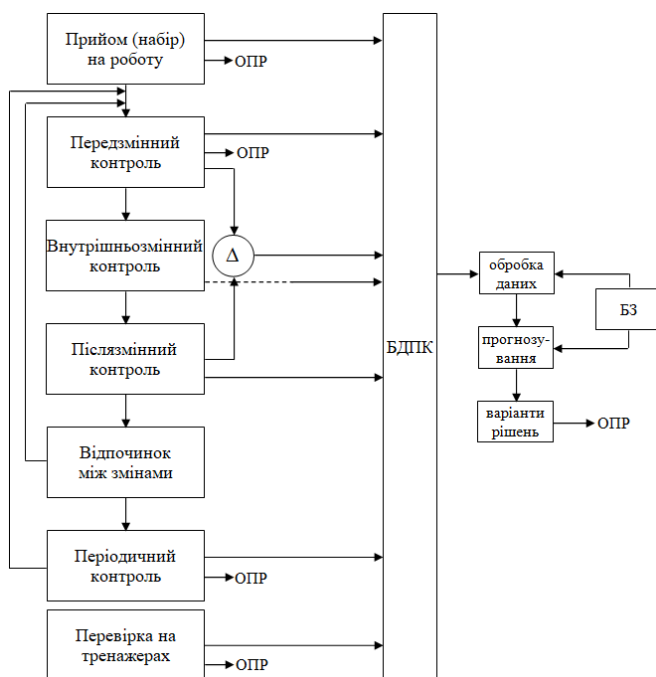


Рисунок 1.8 – Структурна схема процесу наповнення бази даних перманентного контролю ФС авіадиспетчерів

Джерелами інформаційного наповнення БДПК є:

а) агреговані оцінки ФС авіадиспетчерів, розраховані за експертними оцінками вхідних факторів під час прийому на роботу, періодичного контролю та перевірки на тренажерах із застосуванням методів оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на ФС;

б) кількісні показники ПФС співробітників служб (ПАРС та ІН), розраховані за результатами, як контрольних заходів превентивного управління ФС, так і таких, що здійснюються під час робочої зміни;

в) результати розрахунку різниць значень індексів напруженості, одержаних під час передзмінного та післязмінного контролю, що характеризують змінення (часто погіршення) ПФС під час робочої зміни.

Аналіз змінень ФС в процесі виробничої діяльності особи здійснюється на основі обробки даних, що зосереджуються в БДПК, з використанням СППР та бази знань. До складу СППР входять підсистеми обробки та аналізу даних, які генерують варіанти рішень для ОПР.

#### **1.4 Модель та метод інформаційної підтримки прийняття рішень**

В якості моделі прийняття рішень пропонується використовувати ER-модель «сутність-зв'язок».

Модель «сутність-зв'язок» в нотації П. Чена [22] поєднує в собі моделі двох рівнів, описує концептуальну структуру системи прийняття рішень та представляє собою формальну конструкцію, яка може бути використана для подальшої деталізації інформаційної моделі прийняття рішень.

Основними поняттями ER-моделі є сутність, зв'язок і атрибут. Сутність – це реальний або представлений об'єкт, інформація про який повинна зберігатися і бути доступною. При цьому ім'я сутності – це ім'я типу, а не деякого конкретного примірника цього типу. Зв'язок – це графічно зображена асоціація, що встановлюється між двома сутностями. Вона характеризується потужністю, яка показує, скільки сутностей беруть участь у зв'язку. Атрибутом сутності є будь-яка деталь, яка служить для уточнення, ідентифікації, класифікації, числової характеристики або вираження стану сутності.

Модель ІППР ОПР у вигляді ER-нотації наведена на рис.1.9.

Для реалізації моделі рис.1.9 розроблено метод ІППР, який включає вісім етапів:

Етап 1. Отримання показників (в тому числі, біометричних) від профільних експертів або шляхом сканування часових залежностей (електрокардіограм).

Етап 2. Формування масиву даних для визначення ФС і рівня знань (професіоналізму) авіадиспетчерів.

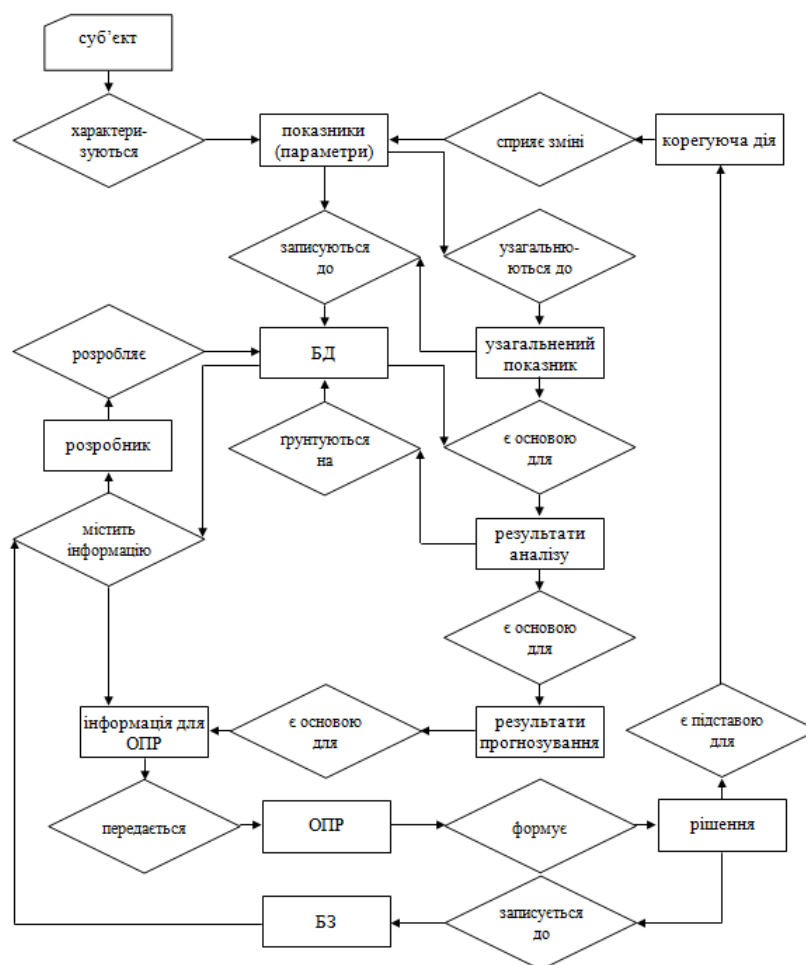


Рисунок 1.9 – Модель ІППР ОПР у вигляді ER-нотації

Обробка інформації від експертів з метою формування масиву даних для:

- отримання узагальненого показника від декількох експертів (коли кілька експертів оцінюють один і той же показник);
- отримання агрегованої оцінки при превентивному управлінні;
- розрахунок показників ПФС проф. Баєвського Р.М. (ПАРС та ІН);
- отримання показників для перманентного контролю ФС.

Множина показників ФС, які контролюються в процесі превентивного та оперативного управління ФС авіадиспетчерів, формується на основі показників стану здоров'я та психофізіологічних показників стану людини, наведених у нормативних документах ІКАО [3-8, 14] та України [10], зокрема, «Переліку робіт, де є потреба у професійному доборі» [23].

Значення показників, отриманих у результаті проведення звітних заходів (вимірювань, тестування тощо), запишемо, як  $p_{ij}$ , де  $i$  – це номер відповідного заходу, а  $j$  – номер показника у сформованому масиві. Тоді усі показники однієї особи, отримані під час одного заходу можна записати як вектор-стовпчик значень показників  $\overline{p_{ij}}$ :

$$\overline{p_{ij}} = \begin{pmatrix} p_{i1} \\ p_{i2} \\ \dots \\ p_{ik} \end{pmatrix}, \quad (1.1)$$

де  $k$  – кількість знятих показників.

Етап 3. Розробка бази даних (БД), до складу якої входить база даних перманентного контролю (БДПК).

Етап 4. Виявлення показників ФС та рівня професіоналізму, які мають визначальний вплив на показники функціональності.

Етап 5. Знаходження узагальнених показників ФС та рівня професіоналізму, що включає визначення ваг, побудову графової моделі, розрахунок агрегованої оцінки (для деяких видів контролю) із застосуванням методу отримання агрегованої оцінки.

Для отримання узагальненого показника з урахуванням ваг кожному з показників ставиться у відповідність своя вага  $b_j$ :

$$\left( \begin{array}{c|c} p_{i1} & b_1 \\ \vdots & \vdots \\ p_{ik} & b_k \end{array} \right). \quad (1.2)$$

Тоді отримання узагальненого показника  $A_i$  можна записати так:

$$\left( \begin{array}{c|c} p_{i1} & b_1 \\ \vdots & \vdots \\ p_{ik} & b_k \end{array} \right) \rightarrow A_i, \quad (1.3)$$

де « $\rightarrow$ » – операція узагальнення.

Етап 6. Підготовка та аналіз даних для прогнозування змінень ФС та рівня професіоналізму авіадиспетчерів.

Вектор-рядок даних, необхідних для розрахунку тенденцій змінення окремих або узагальнених показників, можна записати таким чином:

- для окремих показників:

$$\bar{p}_j = (p_{1j}, p_{2j}, \dots, p_{nj}); \quad (1.4)$$

- для узагальнених показників:

$$\bar{A} = (A_1, A_2, \dots, A_n), \quad (1.5)$$

де  $n$  – кількість контрольних заходів.

Увесь об'єм показників людини, отриманий під час усіх заходів, запишемо у вигляді матриці показників  $P$ :

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & \dots & p_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{1k} & \dots & p_{nk} \end{pmatrix}. \quad (1.6)$$

За допомогою вектору-стовпчика ваг  $\bar{b}$  та операції узагальнення « $\rightarrow$ » матрицю показників  $P$  можна перетворити на вищенаведений вектор-рядок  $\bar{A}$ .

Таким чином:

$$\left( \begin{array}{ccc|c} p_{11} & \dots & p_{n1} & b_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ p_{1k} & \dots & p_{nk} & b_k \end{array} \right) \rightarrow \bar{A} = (A_1, A_2, \dots, A_n). \quad (1.7)$$

Етап 7. Прогнозування змінень ФС та рівня професіоналізму авіадиспетчерів з використанням розробленої БДПК.

На різних стадіях контролю та управління функціональністю (виробничої діяльності) авіадиспетчерів прогнозування змінень ФС та рівня професіоналізму здійснюється на основі виявлення та аналізу тенденцій змінення окремих та узагальнених показників (в тому числі, показників психофізіологічного стану людини ПАРС й ІН) та аналізу ймовірності переходу авіадиспетчерів з одного

стану до інших (з використанням результатів контролю показників їхнього психофізіологічного стану під час роботи на тренажерах).

Етап 8. Формування пропозицій для ОПР (включає ранжування та класифікацію) за результатами прогнозування змінень ФС і рівня професіоналізму.

ФС авіадиспетчерів характеризується набором (комплексом) показників.

Показниками ФС є агреговані оцінки (узагальнені показники) стану, які розраховуються та представляються у вигляді лінгвістичних змінних або нечітких інтервалів. Основою отримання агрегованих оцінок є графові ієрархічні моделі та перцептивні обчислення (перцептивний комп'ютер) [24-29].

Показники ФС та рівня професіоналізму авіадиспетчерів:

- агреговані оцінки ФС та рівня професіоналізму у вигляді інтервальних параметрів і параметрів нечітких множин;
- показники ПФС (параметри стану ССС людини).

Сукупна оцінка ФС авіадиспетчерів визначається на основі експертного оцінювання:

- вхідних показників, що впливають на ФС та рівень професіоналізму авіадиспетчерів;
- ступеня впливу окремих вхідних показників на кінцевий результат (агреговану оцінку).

Експерти оцінюють вхідні показники і ступінь їх впливу на агреговану оцінку, даючи оцінку за допомогою лінгвістичних змінних.

Процес превентивного управління ФС полягає у послідовному проведенні таких дій:

- моніторинг існуючої ситуації, що включає експертне оцінювання вхідних показників, показників ФС авіадиспетчерів;
- діагностування існуючої ситуації, яке включає одержання агрегованої оцінки ФС авіадиспетчерів з використанням розробленого методу отримання агрегованих оцінок та аналіз ФС;

- прийняття рішень ОПР на основі інформації, отриманої на попередніх етапах;
- проведення коригування ФС авіадиспетчерів на основі прийнятих рішень.

### **1.5 Висновки до першого розділу**

1. В процесі досліджень, проведених в процесі виконання НДР, були виявлені та досліджені фактори, які негативно впливають на АБ та ІБ аеропортів та КДП, а також на БП повітряних суден.

Виявлено, що основними загрозами АБ аеропортів та БП повітряних суден є навмисні дії зловмисників, які здійснюють АНВ і людський фактор, що проявляється у вигляді ненавмисних неправомірних дій (помилки) співробітників служб авіапідприємств (в першу чергу – співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів)).

Аналіз проводився з урахуванням положень таких нормативних документів ІКАО та України: Дос 8973/9, Дос 9859, Додатки 17 та 19 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію «Управління безпекою польотів», Дос 9808, Дос 8984, Дос 30 та «Повітряний Кодекс України» [3-10].

2. АБ аеропортів та КДП в значній мірі залежить від функціональності співробітників САБ, охорони, СЗІ й СУР та якості організації роботи цих служб, в тому числі, якості управління роботою співробітників служб з боку ОПР.

3. Основними шляхами зменшення впливу на БП людського фактору є:

- підвищення ефективності роботи ОПР, що визначають здатність і готовність авіадиспетчерів виконувати професійні (функціональні) обов'язки, а також осіб, які контролюють доступ зазначених співробітників на їх робочі місця і запобігають доступу на робочі місця несанкціонованих осіб і осіб, що знаходяться в неналежному фізичному, психофізіологічному або інших видах стану; підвищення ефективності роботи ОПР досягається, в тому числі, шляхом підвищення якості їх інформаційного та технічного оснащення;

- підвищення ефективності контролю ФС авіадиспетчерів протягом робочої зміни і його (ФС) корекція в разі знаходження особи в неналежному стані.

4. Основними особливостями проблемної області, які визначають основні напрямки досліджень з управління процесами забезпечення АБ аеропортів та високої якості УПР авіадиспетчерами, є:

- невизначеність впливу зовнішніх та внутрішніх інформаційних і випадкових факторів на ФС співробітників служб авіапідприємств;
- суттєва залежність працездатності співробітників служб авіапідприємств від зовнішніх і внутрішніх факторів;
- недостатня інформованість ОПР про ФС співробітників служб.

5. Розроблено концепцію підтримання на належному рівні та підвищення АБ аеропортів і КДП, а також підвищення БП повітряних суден, в умовах невизначеності впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на функціональність співробітників служб, від правильності дій яких залежить АБ аеропортів та КДП. Концепція заснована на створенні єдиного інформаційного простору показників функціональності, а також проведенні перманентного контролю ФС та рівня професіоналізму авіадиспетчерів.

6. Розроблено метод та модель інформаційної підтримки ОПР в прийнятті ними управлінських рішень. Застосування методу дає можливість проведення ОПР контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів протягом усієї їхньої виробничої діяльності та забезпечує проведення ОПР ефективних коригувальних заходів на якомога більш ранніх стадіях виробничої діяльності авіадиспетчерів.

7. Основою контролю показників та управління ФС авіадиспетчерів є комплексний багатоетапний багатопрофільний контроль показників функціональності авіадиспетчерів на протязі всієї їхньої виробничої діяльності.

8. Для забезпечення якісного управління процесами функціонування аеропортів та КДП повинен бути забезпечений комплексний характер контролю показників й управління ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів), який

полягає в сумісному системному застосуванні методів превентивного та оперативного управління ФС.

9. Основними завданнями превентивного управління ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) є виявлення небезпечних факторів на можливо більш ранніх стадіях, визначення ступеню їх впливу на безпеку та нейтралізація дії небезпечних факторів.

Основою технології превентивного управління ФС співробітників служб аеропортів та КДП є метод отримання агрегованої оцінки. Для полегшення роботи експертів застосовуються методи теорії перцептивних обчислень, що дають можливість експертам проводити вербальну (лінгвістичну) оцінку якості вхідних показників (вузлів). Лінгвістичні оцінки і апарат теорії нечітких множин нівелюють недоліки й складнощі, що пов'язані зі слабкою структурованістю проблемної області.

10. Оперативне управління ФС авіадиспетчерів полягає в оперативному управлінні ним в процесі виконання авіадиспетчерами своїх функціональних обов'язків, оперативному реагуванні на змінення параметрів, що характеризують ФС, із застосуванням систем інформаційної підтримки прийняття оперативних рішень ОПР.

Задача проведення оперативного управління ФС авіадиспетчерів розв'язується з використанням методу оперативного управління ФС авіадиспетчерів протягом робочої зміни, який полягає в послідовному проведенні моніторингу, прогнозування та корекції ПФС особи, основою яких є оцінювання та аналіз стану її ССС. Застосування методу дозволяє здійснювати оперативне управління ФС при випадкових зовнішніх впливах і неконтрольованих зміненнях працездатності авіадиспетчерів в умовах невизначеності впливу інформаційних та випадкових факторів на ПФС людини та неповноти інформації у ОПР.

## **2 ПРЕВЕНТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ СПІВРОБІТНИКІВ СЛУЖБ АВІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ТА УПРАВЛІННЯ РУХОМ**

### **2.1 Основні положення превентивного управління функціональністю співробітників служб авіаційної безпеки та управління рухом**

1. Основними напрямками досліджень та розробок, на основі яких здійснене підвищення якості превентивного управління функціональністю співробітників служб авіаційної безпеки (САБ) та управління рухом (СУР), є такі:

- удосконалення методик оцінювання показників функціонального стану (ФС) осіб з метою підвищення якості контролю ФС, більш достовірного виявлення рівня здатності і готовності людей виконувати виробничі (посадові) обов'язки;

- розробка методів підвищення якості роботи систем інформаційної підтримки прийняття рішень (СППР) для поліпшення інформованості осіб, які приймають рішення про прийом на роботу, допуск / недопуск на робочі місця співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) тощо, про їх ФС;

- створення «єдиного центру» (спеціальної бази даних – бази даних перманентного контролю (БДПК)), в який стікається вся інформація про ФС кожного співробітника (в тому числі, отримана в процесі періодичного, передзмінного контролю і роботи на тренажерах); аналіз цієї інформації дозволить виявити негативні тенденції змінення ФС.

2. Весь масив контрольних заходів з метою більш достовірного виявлення здатності і готовності людини виконувати покладені на нього виробничі (функціональні) обов'язки пропонується розділити на дві стадії, які розрізняються, в першу чергу, особливостями прийняття рішень особами, які приймають управлінські рішення (ОПР), та структурою СППР:

- стадія 1 – контроль здатності співробітників САБ та СУР (кандидатів на зайняття вакантних посад) виконувати функціональні обов'язки;

- стадія 2 – контроль готовності авіадиспетчерів виконувати функціональні обов'язки.

В даний час здійснюються такі види контролю ФС авіадиспетчерів, які дозволяють виявити їх здатність та готовність виконувати функціональні обов'язки:

- при прийомі (наборі) на роботу;
- періодичний контроль;
- передзмінний контроль;
- контроль під час роботи на тренажерах.

Рішення про відповідність ФС особи вимогам нормативних документів (здатності людини виконувати виробничі обов'язки) ОПР приймає на підставі результатів експертного оцінювання різних факторів, що впливають на ФС, членами лікарських комісій - фахівцями в області різних спеціальностей [3, 4, 7].

Особливості контролю показників ФС при проведенні контрольних заходів в процесі превентивного управління ФС указані в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Особливості контролю показників ФС при проведенні контрольних заходів

| № | Вид контролю                                                                                                      | Що контролюється |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1 | При прийомі на роботу:<br>- медичний і психофізіологічний контроль;<br>- контроль знань (професіоналізму)         | Здатність        |
| 2 | Періодичний:<br>- медичний і психофізіологічний контроль;<br>- контроль знань (професіоналізму)                   | Здатність        |
| 3 | Контроль під час роботи на тренажерах:<br>- контроль фізичного стану;<br>- медичний і психофізіологічний контроль | Здатність        |
| 4 | Передзмінний: медичний і психофізіологічний контроль                                                              | Готовність       |

Процес проведення контрольних заходів в тому вигляді, в якому він проводиться зараз, як зазначалося вище, має багато недоліків [30-33]:

а) в процесі набору і періодичного контролю визначається лише ступінь відповідності мінімуму вимог, що пред'являються («придатний» - «не придатний»); це підвищує ймовірність прийому на роботу людей, показники ФС яких задовольняють лише мінімальним вимогам. При прийомі на роботу відповідність ФС нормативам встановлюється як сукупність висновків «придатний», зроблених кожним членом комісії одноосібно (тобто визначається лише відповідність мінімуму вимог, що висуваються), що не дозволяє проводити ранжування співробітників, яке забезпечило б вибір найбільш гідних з них, і підвищує ймовірність прийому на роботу людей, показники ФС яких задовольняють лише мінімальним вимогам;

б) у зв'язку з відсутністю ранжирування кандидатів на заняття вакантних посад відсутня можливість вибору найбільш гідних кандидатів; розроблений підхід, який полягає в ранжируванні кандидатів за рівнем їх професіоналізму (рівню знань), стану здоров'я, психологічних показників, дозволяє виправити вказаний недолік методик, що використовуються в даний час для проведення контролю ФС при прийомі на роботу;

в) під час проведення передзмінного контролю основна увага приділяється медичним показникам на шкоду психологічним.

3. Метою застосування процедур оцінювання впливу небезпечних факторів на показники ФС авіадиспетчерів та отримання агрегованої оцінки для превентивного управління показниками ФС авіадиспетчерів є забезпечення більш повної інформованості ОПР відносно здатності та готовності авіадиспетчерів виконувати професійні (функціональні) обов'язки з метою:

- підвищення якості контролю ФС авіадиспетчерів з боку ОПР при прийомі на роботу, періодичному та передзмінному контролі;

- забезпечення можливості на більш ранніх етапах виробничої діяльності відсторонювати від роботи тих авіадиспетчерів, чиї виробничі якості не відповідають (перестають відповідати) вимогам, що пред'являються.

4. Основою розроблених принципів управління показниками ФС авіадиспетчерів є структурування процесу контролю ФС авіадиспетчерів, доцільність якого обумовлена специфікою процесів контролю ФС на різних етапах виробничої діяльності авіадиспетчерів, – весь масив контролю ФС авіадиспетчерів поділений на стадії відповідно до ступеню схожості (подібності) проблем проведення процесу управління та способів їх вирішення. Вказане структурування процесу контролю ФС авіадиспетчерів дало можливість більш прискіпливо підійти до процесів контролю ФС авіадиспетчерів з боку ОПР при проведенні різних контрольних заходів, що дозволило значно вдосконалити процес управління ФС [30-33].

5. Важливим елементом системи управління ФС авіадиспетчерів є спеціально розроблена складова єдиної бази даних (БД) СІППР – БДПК, в якій зберігаються результати контролю ФС.

Застосування розробленої БДПК дає можливість здійснювати перманентний контроль ФС особи протягом всієї їхньої виробничої діяльності. Важливою метою розроблення спеціальної складової БД є своєчасне виявлення і усунення з посади осіб, ФС яких має негативну тенденцію змінення, осіб з початковими формами захворювання і зниженою працездатністю.

6. Для підвищення якості контролю за ФС авіадиспетчерів пропонується удосконалити методику проведення контролю ФС шляхом підвищення якості контролю психофізіологічного стану (ПФС).

В якості показника, що характеризує ПФС людини пропонується прийняти її «психофізіологічний ресурс», який визначається на основі оцінювання стану серцево-судинної системи (ССС) людини. Такий підхід обумовлений тим, що стан СССР є інтегральною характеристикою, що дозволяє оцінити стан регуляторних систем організму людини та її адаптаційні можливості.

Рівень психофізіологічного ресурсу розраховується за показниками ПФС людини. В якості таких показників пропонується використовувати показники, запропоновані проф. Р.М.Баєвським [18, 19, 34], які засновані на аналізі роботи регуляторних систем організму людини.

## 2.2 Процедура превентивного управління функціональним станом співробітників служб авіаційної безпеки та управління рухом

Функціональна схема превентивного управління ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) та ER-модель, що їй відповідає, наведені відповідно на рис.2.1 та рис. 2.2.

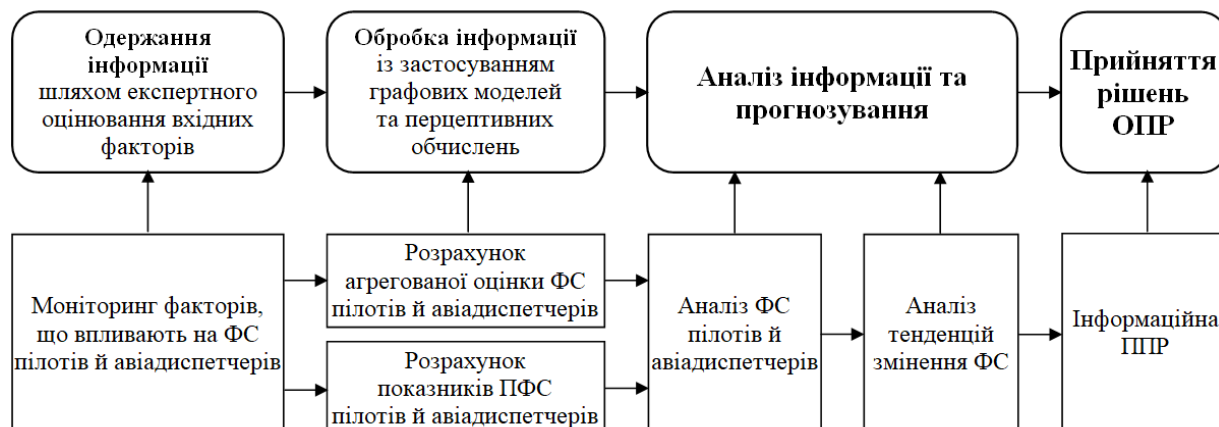


Рисунок 2.1 – Функціональна схема превентивного управління ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів)

ER-модель рис.2.2 демонструє, як показники ФС та рівня професіоналізму співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) «об'єднуються» в узагальнені показники, які заносяться до графової моделі й БДПК і надалі стають підґрунтям аналізу інформації, що надходить до ОПР [35, 36]. Перетворення інформації на даному етапі описуються моделлю й методом отримання агрегованої оцінки та узагальненого показника активності регуляторних систем (ПАРС) людини.



Етап 1. Отримання вхідної інформації про стан різних показників стану здоров'я, психофізіологічних показників тощо.

В процесі виконання етапу здійснюється моніторинг факторів, що впливають на ФС (вхідних факторів).

Етап 2. Обробка інформації.

В процесі виконання етапу здійснюється розрахунок узагальнених показників, що характеризують ФС (агрегованої оцінки ФС та показників ПФС).

На рис. 2.3 наведена функціональна схема процесу обробки інформації із застосуванням графової моделі.

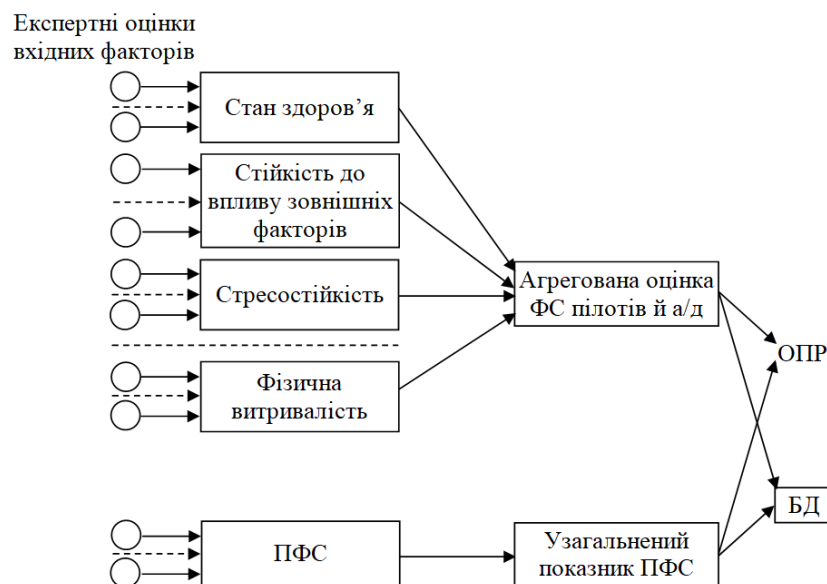


Рисунок 2.3 – Функціональна схема процесу обробки інформації

Функціональна схема рис.2.3 представляє собою графову ієрархічну розподілену модель, побудовану на базі навантаженого нечіткого орієнтованого графа, і відображає той факт, що в процесі превентивного управління (зокрема, при прийомі на роботу та періодичному контролі) контролюється весь комплекс складових ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) (кандидатів на зайняття вакантних посад): стан здоров'я, стійкість до впливу зовнішніх факторів, стресостійкість, якість пам'яті, швидкість реакції, комунікабельність, емоційна стійкість, фізична витривалість тощо [26-28, 37, 38].

Новим елементом превентивного управління ФС авіадиспетчерів є удосконалення психофізіологічного контролю шляхом введення додаткового контролю ПФС (стану серцево-судинної системи) із застосуванням показників роботи регуляторних систем організму людини.

Аналіз змінення ФС людини, відповідно до теорії проф. Баєвського Р.М. [18, 19, 34], ґрунтується на оцінці ступеня напруження регуляторних систем організму, по якій можна судити про адаптаційні можливості всього організму. У якості ознаки, що забезпечує ефективний контроль напруження регуляторних систем і не піддається при цьому регулюванню з боку людини, пропонується використовувати стан серцево-судинної системи. Він може бути оцінений за параметрами електрокардіограми і пульсу.

Найбільш простим і доступним методом є аналіз ритму серця. Змінення ритму серця – універсальна оперативна реакція цілісного організму на будь-який вплив факторів зовнішнього середовища.

Обчислюються інтегральні параметри: індекс напруженості регуляторних систем (ІН) і ПАРС.

Етап 3. Аналіз інформації.

Аналіз узагальнених показників ФС (агрегованих показників, ПАРС та ІН) з метою виявлення негативних тенденцій їх змінення (з застосуванням БДПК).

Виділяємо два види аналізу:

- аналіз впливу вхідних показників на показники ФС авіадиспетчерів (агрегований показник);
- виявлення показників, що мають визначальний вплив на показники ФС авіадиспетчерів.

Аналіз впливу вхідних показників на показники ФС авіадиспетчерів здійснюється з використанням розробленої процедури.

Задачею процедури оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на рівень професіоналізму та ФС авіадиспетчерів є методологічне забезпечення отримання вихідної інформації для подальшого прогнозування прояву небезпечних факторів.

Основні положення процедури оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на рівень професіоналізму та ФС авіадиспетчерів полягають в наступному:

1. Від експертів – фахівців в різних областях знань (в тому числі, різних областях медицини) отримати результати оцінювання ними факторів, що впливають на ФС авіадиспетчерів (вхідних показників).

2. За результатами експертного оцінювання вхідних показників на основі функціональної схеми рис.2.3 розрахувати узагальнену (агреговану) оцінку ФС авіадиспетчерів.

3. Основними етапами аналізу існуючої ситуації (послідовності дій по забезпеченню ефективного превентивного управління ФС авіадиспетчерів), у відповідності з розробленою процедурою оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів, є:

- визначення ступеня впливу різних вхідних показників і складових ФС авіадиспетчерів на кінцевий результат (агреговану оцінку стану);
- виявлення факторів, що визначають ФС авіадиспетчерів.

4. Процедура оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на ФС авіадиспетчерів в процесі превентивного управління базується на розробленому методі отримання агрегованої оцінки.

В процесі превентивного управління визначаються наслідки можливих змін показників факторів, що впливають на ФС авіадиспетчерів.

У реальних, навіть у високонадійних системах, при певних обставинах можливе виникнення випадкової події (аварії, аварійної ситуації), настання якої несе небажані наслідки (людські втрати або матеріальні збитки). Їх причиною може бути наявність прихованої небезпеки, яка «чекає» умов для свого прояву у вигляді результату розвитку ланцюгів подій за певними схемами (шляхами).

Процес змінення станів визначається умовами праці авіадиспетчерів і їхнім ФС в кожен момент часу. На функціонування систем впливають:

- режим роботи авіадиспетчерів;
- неповнота інформації ОПР про ФС авіадиспетчерів;

- випадкові змінення працездатності авіадиспетчерів;
- стрімке збільшення інформаційного навантаження;
- зовнішні випадкові фактори;
- метеоумови тощо.

Оцінка наслідків можливих помилок авіадиспетчерів проводиться із застосуванням статичних моделей ФС авіадиспетчерів, побудованих на основі функціональної схеми, зображеної на рис.2.3.

Етап 4. Прогнозування змінення ФС при дії зовнішніх та внутрішніх факторів.

Етап 5. Прийняття ОПР управлінських рішень по виконанню корегувальних дій.

### **2.3 Метод отримання агрегованої оцінки**

Для отримання агрегованої оцінки показників ФС авіадиспетчерів розроблено метод, який складається з дев'яти етапів [26-28].

Етап 1. Отримання показників від профільних експертів.

При цьому експерти можуть оцінювати якість показників, що характеризують стан здоров'я, психологічний та фізичний стан авіадиспетчерів у вигляді чисельних значень, інтервалів або лінгвістичних змінних. При застосуванні розробленого методу здійснюється переведення значень показників до єдиного формату.

Етап 2. Узагальнення інформації, отриманої від кількох експертів по кожному з вхідних показників з використанням методів експертного аналізу.

Етап 3. Формування масиву даних для визначення ФС і рівня знань (професіоналізму) авіадиспетчерів.

На цьому етапі здійснюється групування (систематизація) даних по формату їх представлення експертами.

Етап 4. Кодування значень кожного з показників.

Подолати невизначеності опису предметної області, пов'язані з суб'єктивним людським мисленням, і отримати кількісну оцінку в форматі, зрозумілому для людини, дозволяє застосування нечітких множин [17-21].

В результаті виконання етапу отримуємо значення всіх вхідних змінних системи нечіткого виведення, тобто множини  $V = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ . У загальному випадку кожне  $a_i \in X_i$ , де  $X_i$  – універсум лінгвістичної змінної  $\beta_i$ . Ці значення можуть бути отримані зовнішнім по відношенню до системи нечіткого виведення способом. Далі розглядається кожна з підумов вигляду " $\beta_i \in \alpha$ " системи нечіткого виведення, де  $\alpha$  – деякий терм з відомою функцією приналежності  $\mu(x)$ . При цьому значення  $a_i$  використовується як аргумент, тим самим знаходиться кількісне значення  $\beta_i' = \mu(a_i)$ . Це значення і є результатом кодування підумови " $\beta_i \in \alpha$ ".

Етап 5. Розробка розрахункової моделі.

У відповідності до розробленого методу в якості моделі використовується графова модель (рис. 2.4).

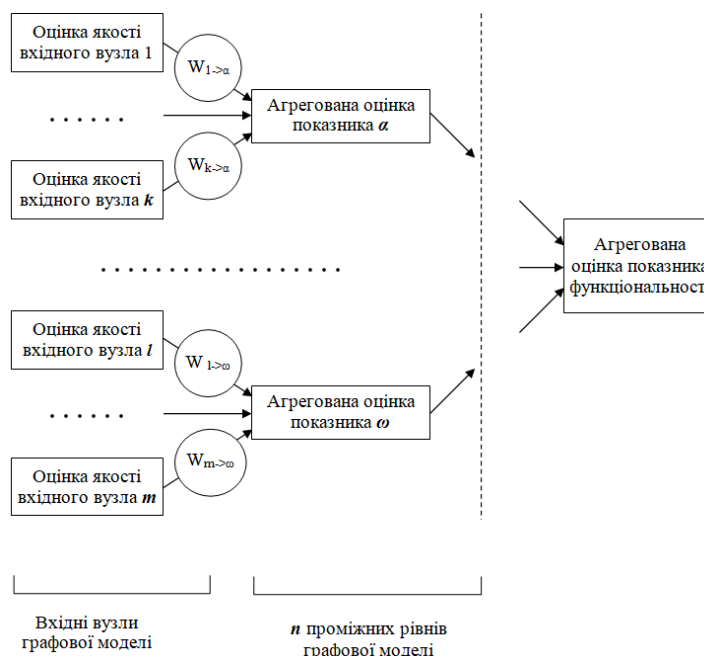


Рисунок 2.4 – Графова модель отримання агрегованої оцінки

Етап 6. Розрахунок ваги сполучних дуг для кожного вхідного вузла графової моделі.

Етап 7. Розрахунок проміжних агрегованих оцінок.

У випадку, коли вхідні вузли представляються лінгвістичними змінними, розрахунок проводиться з використанням перцептивних обчислень (перцептивного комп'ютера).

Функціональна схема застосування перцептивних обчислень при проведенні оцінювання представлена на рис. 2.5.

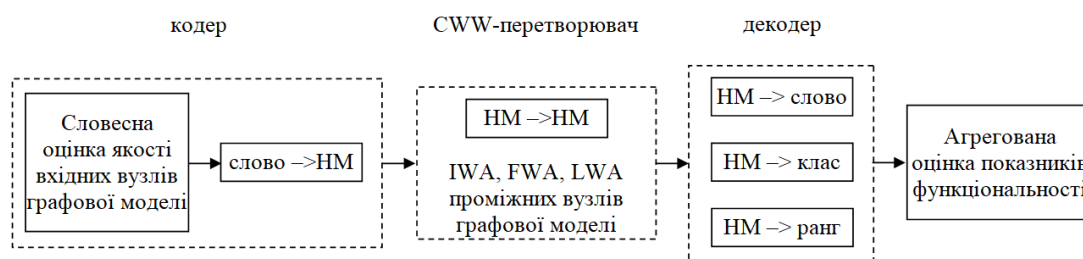


Рисунок 2.5 – Функціональна схема застосування перцептивних обчислень при проведенні оцінювання

На цьому етапі розрахунок агрегованих оцінок для певного рівня ієрархічної графової моделі здійснюється за правилом визначення зваженого середнього [17-21].

У разі подання показника і ваги сполучних дуг у вигляді інтервалів  $[a_i, b_i]$  та  $[c_i, d_i]$  ( $i = 1, \dots, n$ ) розраховується інтервальне зважене середнє (IWA), яке може бути записано як

$$y_{IWA} = [y_l, y_r] = \frac{\sum_{i=1}^n X_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}, \quad (2.1)$$

Ліву та праву межі інтервалу (2.1) можна розрахувати за такими формулами:

$$y_l = \frac{\sum_{i=1}^L a_i d_i + \sum_{i=L+1}^n a_i c_i}{\sum_{i=1}^L d_i + \sum_{i=L+1}^n c_i}, \quad y_r = \frac{\sum_{i=1}^R b_i c_i + \sum_{i=R+1}^n b_i d_i}{\sum_{i=1}^R c_i + \sum_{i=R+1}^n d_i}, \quad (2.2)$$

де  $L \in [1, n-1]$  і  $R \in [1, n-1]$  – точки перемикавання, які можуть бути знайдені, наприклад, з використанням вдосконалених алгоритмів Карника-Менделя [20].

Якщо критерії  $X_i$  та ваги сполучених дуг  $W_i$  моделюються з застосуванням нечітких множин типу 1, розраховуємо нечітке середньозважене значення FWA, яке може бути обчислено з використанням теореми розкладання  $\alpha$ -cut, згідно з якою кожна нечітка множина  $A$  може бути предсталена як

$$A = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \alpha A, \quad (2.3)$$

де  $\mu_{\alpha A}(x) = \alpha \cdot \mu_A(x)$ , а  $\alpha A = \{x | \mu_A(x) \geq \alpha\} \in \alpha\text{-cut } A$ .

Обчислювати FWA пропонується проводити у такій послідовності:

1. Для кожного  $\alpha \in \{\alpha_1, \dots, \alpha_m\}$ , обчислюються  $\alpha$ -cuts  $x_i$  та  $w_i$ .
2. Для кожного  $\alpha \in \{\alpha_1, \dots, \alpha_m\}$  обчислюється  ${}^\alpha Y_{FWA} = [{}^\alpha y_l, {}^\alpha y_r]$  як IWA відповідних  $\alpha$ -cuts.

3. Для отримання  $Y_{FWA}$  сполучаються всі ліві  $({}^\alpha y_l, \alpha)$  та праві  $({}^\alpha y_r, \alpha)$  координати.

Етап 8. Декодування.

Розглядається кожна з вихідних лінгвістичних змінних  $w_j \in W$  і нечітка множина, що відноситься до неї. Результат декодування для вихідної лінгвістичної змінної  $w_j$  визначається у вигляді кількісного значення  $y_i \in R$ . Етап декодування вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних будуть визначені підсумкові кількісні значення в формі деякого дійсного числа, тобто у вигляді  $y_1, y_2, \dots, y_s$ , де  $s$  – загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних в базі правил системи нечіткого виведення.

Для виконання чисельних розрахунків на етапі декодування доцільно використовувати метод лівого модального значення. В такому випадку ліве модальне значення розраховується за формулою:

$$y = \min(x_m), \quad (2.4)$$

де  $x_m$  – модальне значення (мода) нечіткої множини відповідної вихідної змінної після акумуляції. Іншими словами, значення вихідної змінної визначається як

мода нечіткої множини для відповідної вихідної змінної або найменша з мод (найлівіша), якщо нечітка множина має кілька модальних значень.

У загальному випадку вихід перцептивного комп'ютера може бути представлений у вигляді одного з варіантів: слова, найбільш схожого на вихід CWW-перетворювача, класу, до якого належить вихід CWW-перетворювача, рангу конкуруючих альтернатив або числа (тоді процес декодування стає процесом дефазифікації).

Етап 9. Отримання загальної агрегованої оцінки на основі LWA.

## **2.4 Процедура оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на функціональний стан авіадиспетчерів**

Основою процедури оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на ФС авіадиспетчерів є метод отримання агрегованої оцінки ФС.

Метою розробки процедури було отримання аналітичного інструменту для подальшого його використання для підвищення якості контролю ФС авіадиспетчерів з боку ОПР при прийомі на роботу, періодичному (стадія 1 контролю ФС) та передзмінному контролю (стадія 2 контролю ФС).

Забезпечення більш повної інформованості ОПР відносно здатності та готовності авіадиспетчерів виконувати професійні (функціональні) обов'язки буде сприяти можливості на більш ранніх етапах виробничої діяльності відсторонювати від роботи тих авіадиспетчерів, чиї виробничі якості не відповідають (перестають відповідати) вимогам, що пред'являються.

У процесі контролю ФС при прийомі на роботу та періодичному контролю перевіряється весь комплекс складових ФС авіадиспетчерів (кандидатів на зайняття вакантних посад): стан здоров'я, стійкість до впливу зовнішніх факторів, стресостійкість, якість пам'яті, швидкість реакції, комунікабельність, емоційна стійкість, фізична витривалість та ін. Перевагою метода є те, що при його застосуванні при прийомі на роботу з'являється можливість проведення ранжирування претендентів на займання посад за якістю їх ФС.

Визначення готовності авіадиспетчера виконувати свої виробничі обов'язки на стадії 2 проводиться ОПР (лікарем) під час проведення їм передзмінного контролю ФС (тобто безпосередньо на початку робочої зміни).

Особливістю проведення передзмінного контролю в даний час є його проведення одним лікарем-експертом, який одноосібно приймає рішення про готовність співробітника виконувати виробничі обов'язки, виходячи з факту задоволення мінімальним вимогам. При цьому, відповідно до нормативних документів, під час проведення передзмінного контролю основна увага приділяється медичним показникам на шкоду психологічним.

Перевагою розробленого підходу є підвищення обґрунтованості висновків лікаря - експерта щодо готовності людини до роботи шляхом удосконалення методики проведення передзмінного контролю на основі ускладнення психофізіологічної складової контролю та надання додаткових даних для їх включення до спеціальних баз даних.

Особливістю завдань, які необхідно вирішити для забезпечення БП, що зумовлюють їх складність, є:

- істотна залежність правильності та обґрунтованості дій авіадиспетчерів від якості знань, умінь і навичок та стану здоров'я, стресо- і емоційної стійкості тощо;

- невизначеність впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на працездатність людини;

- неповнота і неоднозначність (а іноді і суперечливість) інформації у ОПР, необхідної для обґрунтованого прийняття рішень з управління діями авіадиспетчерів.

Процес прийняття рішень відносно ФС авіадиспетчерів показано на рис.2.6. Процес прийняття рішень є ієрархічним та розподіленим, оскільки він здійснюється шляхом об'єднання незалежних експертних оцінок вхідних показників.

Відповідно до розробленої процедури, оцінювання та аналіз впливу вхідних факторів на ФС авіадиспетчерів на стадії 1 пропонується проводити у такій послідовності.

*Крок 1.* Експерти (наприклад, лікарі - члени лікарської комісії, які проводять медичний огляд при прийомі на роботу та під час періодичного медичного контролю) оцінюють ФС авіадиспетчерів (здобувачів відповідних посад). Оцінюються такі складові поняття «функціональний стан»:

- фізіологічний стан (характеризується показниками стану органів слуху, зору, внутрішніх органів, шкіряних покривів тощо);
- психологічний стан (характеризується показниками якості пам'яті, швидкості реакції, комунікабельності, емоційної стійкості та т.п.);
- психічний стан (характеризується показниками стану центральної і вегетативної частин нервової системи людини, які можуть бути одержані при визначенні реакції на вплив на певні ділянки тіла людини, стійкості психіки людини на тестові впливи і т.п.);
- фізичний стан (характеризується показниками фізичної витривалості, ступеню реакції на тестові фізичні навантаження та т.п.).

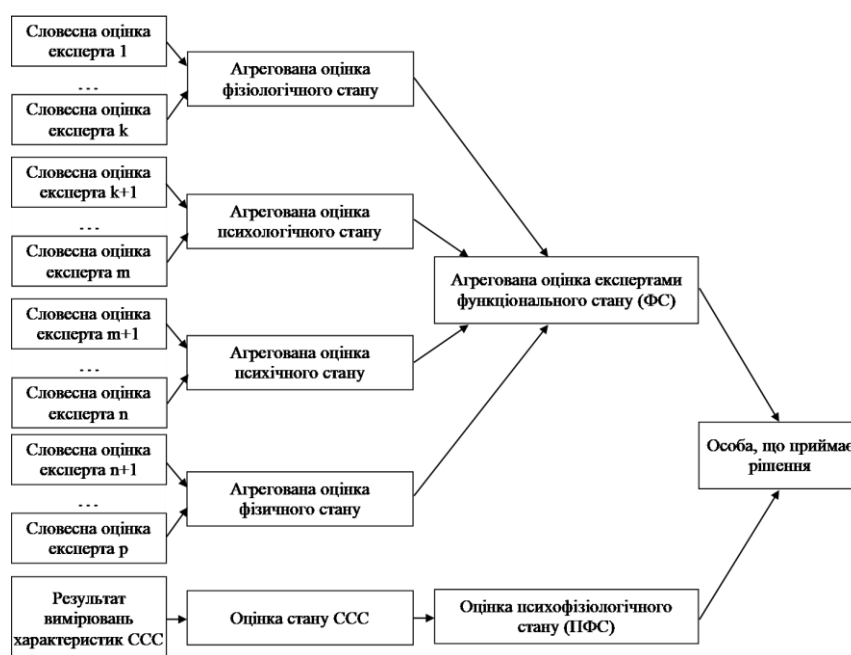


Рисунок 2.6 – Ієрархічний розподілений процес прийняття рішень при визначенні ФС авіадиспетчерів

Важливо відзначити, що на рис.2.6 до складу факторів включено додатковий фактор «оцінка стану серцево-судинної системи», який дозволяє визначити ПФС людини та її адаптаційні можливості. Зараз визначення варіабельності серцевого ритму – мінливості тривалості інтервалів послідовних циклів серцевих скорочень за певні проміжки часу – визнано найбільш інформативним неінвазивним методом кількісної оцінки ПФС людини.

При прийомі на роботу та проходженні періодичного контролю стан ССС може бути оцінений із застосуванням ПАРС, який дозволяє диференціювати різні ступені напруги регуляторних систем організму людини і оцінювати адаптаційні можливості організму. ПАРС обчислюється в балах за спеціальним алгоритмом, що враховує статистичні показники, показники гістограми розподілу тривалостей кардіоінтервалів і дані спектрального аналізу кардіоінтервалів [18, 19, 34].

ПФС обстежуваної людини за результатами розрахунку ПАРС може бути віднесено до одного з класів: стан норми (стан задовільної адаптації), стан функціональної напруженості, стан перенапруження (стан незадовільної адаптації) та ін. З урахуванням значення ПАРС приймається рішення про здатність людини виконувати посадові обов'язки.

*Крок 2.* Для складання загального рейтингу кандидатів експертні оцінки агрегуються з використанням різних відносних ваг.

У відповідності до методу отримання агрегованої оцінки експертне оцінювання якості вхідних показників та ваг сполучних дуг пропонується проводити у вигляді словесного оцінювання з використанням кодових книг, розроблених на основі пропозицій (оцінок) багатьох експертів - фахівців різного профілю.

Розроблена модель агрегації експертних лінгвістичних оцінок на основі перцептивних обчислень (із застосуванням перцептивних комп'ютерів) представлена на рис. 2.7.

У перцептивном комп'ютері для оцінки ФС введені два рівня ієрархії:

- рівень агрегованої оцінки складових ФС: агрегована оцінка кожної складової ФС розраховується шляхом обчислення LWA оцінок окремих вхідних факторів;

- рівень агрегованої оцінки ФС: агрегована оцінка ФС розраховується шляхом обчислення LWA агрегованих оцінок складових ФС.

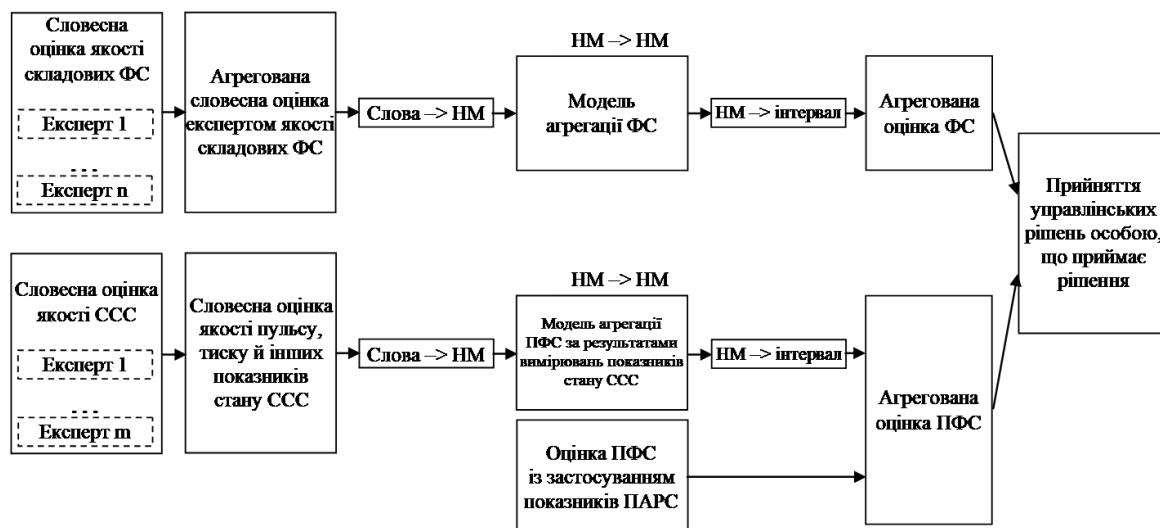


Рисунок 2.7 – Модель агрегації ФС співробітників САБ та СУР  
(авіадиспетчерів)

Моделі ІНМ2 для кожного слова пропонується створювати з використанням інтервалів.

У загальному випадку вихід перцептивного комп'ютера може бути представлений у вигляді одного з трьох варіантів: слова, найбільш схожого на вихід CWW-перетворювача, класу, до якого належить вихід CWW-перетворювача, або рангу конкуруючих альтернатив. Беручи до уваги обставини, зазначені у цьому розділі, використовуємо останній з підходів. Оскільки кожен вихід CWW-перетворювача є ІНМ2, для ранжирування використовуємо метод ранжирування на основі середніх центроїдів ІНМ2 [26-28, 37, 38].

Середній центроїд з ІНМ2 визначається як

$$c(\tilde{A}) = \frac{c_l(\tilde{A}) + c_r(\tilde{A})}{2}, \quad (2.5)$$

де  $c_l(\tilde{A})$  і  $c_r(\tilde{A}) \in IWA$ :

$$c_l(\tilde{A}) = \frac{\sum_{i=1}^L x_i \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=L+1}^n x_i \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}{\sum_{i=1}^L \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=L+1}^n \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}, \quad c_r(\tilde{A}) = \frac{\sum_{i=1}^R x_i \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=R+1}^n x_i \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}{\sum_{i=1}^R \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=R+1}^n \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}. \quad (2.6)$$

Тоді ранжування полягає просто в обчисленні (2.5) для кожного ІНМ2 і подальшому ранжируванні їх за отриманими середніми центроїдами.

*Крок 3.* На основі отриманого загального рейтингу кандидатів ОПР приймає рішення, вибираючи найбільш гідних кандидатів, тоді як при традиційних підходах кожна людина, як правило, оцінюється показниками «відповідає» («придатна») або «не відповідає» («не придатна»).

## **2.5 Особливості застосування процедури оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на показники функціонального стану авіадиспетчерів в процесі передзмінного контролю**

В процесі передзмінного контролю (на стадії 2 контролю ФС) проводиться перевірка їх готовності авіадиспетчерів виконувати виробничі обов'язки.

Для підвищення обґрунтованості рішень про допуск або недопуск авіадиспетчерів до роботи, у порівнянні з вимогами діючих нормативних документів, пропонується удосконалити методику проведення передзмінного контролю шляхом впровадження нових прогресивних методів визначення ФС, виявлення симптомів депресії, втоми, стресового стану, а також автоматизації обробки результатів і процесу прийняття рішення.

Вдосконалення методики проведення передзмінного контролю полягає у розрахунку агрегованого ФС з використанням перцептивних обчислень і визначенні тенденцій його змінення та визначенні ПФР.

Як показник ПФС та готовності людини виконувати професійні обов'язки пропонується застосовувати індекс напруженості регуляторних систем організму людини (запроваджений проф. Басєвським Р.М.), який розраховується за результатами визначення варіабельності серцевого ритму людини із

застосуванням електрокардіограм, знятих під час проведення передзмінного контролю.

Аналіз отримання даних допоможе лікарю поставити більш обґрунтований і вірний діагноз стану здоров'я та ФС авіадиспетчера, виявити осіб із зниженою працездатністю, зумовленою втомою, пов'язаною з недостатнім сном, надмірним фізичним навантаженням, порушенням режиму відпочинку або іншими причинами, і таким чином прийняти більш обґрунтоване рішення про ступінь готовності людини виконувати її професійні обов'язки.

Показники ФС, отримані в результаті передзмінного контролю, повинні бути внесені до БДПК.

## **2.6. Висновки до другого розділу**

В якості ефективного способу запобігання (попередження) помилок співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів), обумовлених їх перебуванням в стані нервово-емоційної напруги, пропонується поліпшення ФС співробітників та підвищення якості інформаційного забезпечення ОПР.

Підвищити якість і ефективність роботи співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) і таким чином знизити вплив людського фактору на АБ та БП повітряних суден дозволяє контроль ФС співробітників служб на різних стадіях їх виробничої діяльності.

Істотно підвищити ефективність протидії загрозам, зумовленим людським фактором, можна шляхом:

а) вдосконалення контролю ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) на різних етапах їх професійної діяльності:

- визначення ступеню здатності людини виконувати посадові обов'язки співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) при прийомі на роботу та проходженні періодичного контролю;

- визначення готовності авіадиспетчерів виконувати професійні (функціональні) обов'язки під час передзмінного контролю;

б) підвищення ефективності роботи служб, які оцінюють здатність і готовність авіадиспетчерів виконувати професійні (функціональні) обов'язки.

У процесі контролю ФС при прийомі на роботу та періодичному контролі (превентивному управлінні ФС) послідовно проводяться отримання експертних оцінок показників різних складових ФС, розрахунків по ним агрегованої оцінки стану ФС і контроль за її зміненнями.

У результаті проведених досліджень було здійснено розробку теоретико-методологічних основ забезпечення управління ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів). При цьому основними результатами дослідження є такі:

1. Представлено підхід, заснований на застосуванні нечітких множин і перцептивних обчислень для вирішення одного з найважливіших етапів управління ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) – проведення оцінювання ФС. Завдання експертного оцінювання зводиться до визначення рівня ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) на основі лінгвістичних оцінок окремих складових, в тому числі фізіологічної, психологічної, психічної та фізичної.

2. Застосований підхід, заснований на перцептивному обчисленні, дозволяє ОПР, ранжувати співробітників за їх ФС і тим самим вибирати таких, що найбільше підходять для роботи. Цей підхід явно перевершує традиційний, коли кожен кандидат позначений як «відповідає» («придатний») або «не відповідає» («не придатний») без будь-яких життєздатних засобів для їх порівняння.

3. Розроблено процедуру превентивного управління ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів), яка на основі розробленої моделі ФС, за рахунок застосування перцептивних обчислень та інтервальних показників при проведенні оцінювання ФС, дозволяє істотно підвищити ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) в умовах невизначеності і неповноти інформації з урахуванням особливостей проблемної області.

4. Розроблено процедуру оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на ФС авіадиспетчерів, яка на основі оцінювання ФС із застосуванням перцептивних обчислень та аналізу психофізіологічного ресурсу авіадиспетчерів протягом усієї їхньої виробничої діяльності дозволяє підвищити якість визначення здатності співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) виконувати професійні (посадові) обов'язки.

5. Розроблено метод отримання агрегованої оцінки ФС співробітників САБ та СУР, заснований на перспективному напрямку в області теорії нечітких множин – перцептивних обчисленнях, що дозволяє ранжувати співробітників за рівнем їх ФС і, таким чином, істотно підвищити ефективність виявлення гідних кандидатів на посади, від правильності дій яких залежать АБ аеропортів та БП повітряних суден.

### **3 ОПЕРАТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИМ СТАНОМ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ**

#### **3.1 Основні положення оперативного управління функціональним станом авіадиспетчерів**

Однією з основних причин помилок, що припускаються авіадиспетчерами під час виконання функціональних обов'язків, є стомлення [7, 8]. Тому особливу актуальність набуває рішення таких задач:

- розробка моделі, яка дає можливість прогнозувати ймовірність безпомилкової роботи людини впродовж робочої зміни;
- розробка моделей та методів оперативного управління функціональним станом (ФС) авіадиспетчерів, заснованих на аналізі психофізіологічного стану (ПФС) людини, в першу чергу – ступеню її стомлення;
- розробка систем, що надають допомогу особам, які приймають управлінські рішення (ОПР) в проведенні контролюючих дій відносно авіадиспетчерів та прийнятті більш обґрунтованих управлінських рішень.

Основними елементами внутрішньозмінного (протягом робочої зміни) контролю за діями авіадиспетчерів з боку ОПР є поточний контроль ПФС авіадиспетчерів. В основу управління ПФС авіадиспетчерів протягом робочої зміни покладено розподіл ПФС на дві складові:

1. Стани втоми, сонливості, тривоги, пов'язані з роботою регуляторних систем організму людини і якими людина управляти не може. В якості показника цих станів в процесі аналізу ПФС авіадиспетчерів пропонується використовувати стан серцево-судинної системи людини [18, 19, 34].

2. Емоційні стани (ЕмС) людини, не пов'язані з роботою регуляторних систем її організму, і якими людина може управляти. Як показник ЕмС людини в процесі аналізу ЕмС авіадиспетчерів пропонується використовувати їх голос (параметри мовного сигналу, що сканується в процесі аудіообміну між авіадиспетчером та членами льотних екіпажів).

Задача оперативного управління ФС авіадиспетчерів полягає в забезпеченні управління їхнім ПФС в умовах впливу регулярних та випадкових факторів, а також непередбаченого змінення працездатності авіадиспетчерів впродовж робочої зміни [39-42].

На рис.3.1 представлена узагальнена структурна схема проведення оперативного управління ФС авіадиспетчерів під час виконання ними функціональних обов'язків.

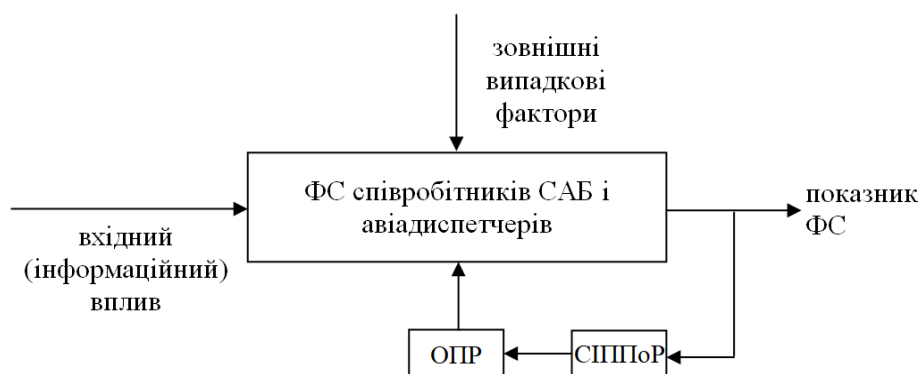


Рисунок 3.1 – Узагальнена структурна схема проведення оперативного управління ФС авіадиспетчерів під час виконання ними функціональних обов'язків

Основними елементами структурної схеми оперативного управління ФС авіадиспетчерів є:

- об'єкт управління – ФС авіадиспетчера, який піддається впродовж робочої зміни регулярній інформаційній та зовнішній (що має, в основному, випадковий характер) дії; в якості ФС авіадиспетчера в процесі оперативного управління пропонується розглядати їх ПФС;

- ОПР, завданням якого є підтримка рівня працездатності авіадиспетчера, необхідного для успішного виконання функціональних обов'язків, тобто такого ПФС, який дозволить авіадиспетчеру якісно виконувати функціональні обов'язки впродовж всієї робочої зміни;

- система інформаційної підтримки прийняття оперативних рішень (СППОР), завданням якої є надання ОПР інформації, необхідної для більш обґрунтованого прийняття управлінських рішень.

Вихідними даними об'єкта управління є параметри, що характеризують ступінь втоми авіадиспетчера протягом зміни і його ЕмС. Сигнал з виходу об'єкта управління надходить до СППОР, який видає ОПР результат порівняння поточних показників і тих, що містяться в базі даних (БД).

Особливості розв'язуваної задачі визначення та покращення ФС авіадиспетчерів:

1. Суб'єкти спостереження – авіадиспетчери – відносно здорові люди з врівноваженою (стійкою) психікою.

2. Протягом зміни на працездатність авіадиспетчерів мають негативний вплив випадкові некеровані впливи (стресові навантаження, кліматичні та інші умови, в яких працюють авіадиспетчери).

3. В якості основних складових ФС авіадиспетчерів протягом зміни розглядаються їх ПФС, під яким слід розуміти стани, пов'язані з роботою регуляторних систем організму людини (стомлення, сонливість, тривога), та емоційні стани.

4. Можна обмежитися спрощеною класифікацією станів, пов'язаних з роботою регуляторних систем організму людини: норма – задовільний стан – незадовільний стан – зрив.

5. Можна обмежитися спрощеною класифікацією видів емоційних станів: збуджений стан – норма – стан скутості, депресивний стан.

Виділяємо два види змінення ФС авіадиспетчерів за швидкістю змінення: повільні змінення стану, обумовлені роботою регуляторних систем організму людини (втомою, сонливістю, тривогою) і сплески збудження (сплески емоцій), які можуть привести до різкого падіння працездатності авіадиспетчера.

В якості основного показника ступеня стомлення авіадиспетчерів розглядається стан їх серцево-судинної системи (ССС). Це обумовлено тим, що змінення ритму серця є універсальною оперативною реакцією організму людини

на вплив на нього різних факторів. За параметрами, які характеризують варіабельність серцевого ритму, можна судити про функціональні резерви і адаптаційні можливості людини. Найбільш часто вживаним з таких параметрів є індекс напруженості (ІН) проф. Баєвського Р.М., що розраховується на основі параметрів електрокардіограм [18, 19, 34].

### **3.2. Модель і метод оперативного управління функціональним станом авіадиспетчерів**

У даному підрозділі представлені функціональна схема, модель і метод оперативного управління ФС авіадиспетчерів протягом робочої зміни, застосування яких дозволяє здійснювати оперативне управління ФС авіадиспетчерів при випадкових зовнішніх впливах та неконтрольованих зміненнях працездатності в умовах невизначеності впливів і нестачі інформації у ОПР відносно ФС авіадиспетчерів.

Метод оперативного управління ФС авіадиспетчерів полягає в послідовному проведенні моніторингу, прогнозування та корекції їх ПФС, основою яких є оцінювання та аналіз стану ССС. Застосування методу дозволяє здійснювати оперативне управління ФС при випадкових зовнішніх впливах і неконтрольованих зміненнях працездатності авіадиспетчерів в умовах невизначеності впливу інформаційних та випадкових факторів на ПФС та неповноти інформації у осіб, що приймають управлінські рішення.

Метод оперативного управління ФС авіадиспетчерів протягом робочої зміни дозволяє здійснювати оперативне управління ПФС авіадиспетчерів при випадкових зовнішніх впливах і неконтрольованих зміненнях їхньої працездатності. Метод полягає у послідовному оцінюванні показників стану ССС, діагностуванні та прогнозуванні змінень ПФС авіадиспетчерів. За результатами аналізу та прогнозування ОПР приймає рішення відносно необхідності здійснення коригувальних заходів.

Оперативне управління ФС авіадиспетчерів здійснюється у такій послідовності:

Етап 1. Оцінювання стану ССС з використанням портативного електрокардіографа.

Результатом етапу є розрахунок ІН проф. Баєвського Р.М., за значеннями якого фіксується стан ССС.

Етап 2. За значенням ІН здійснюється діагностування ступеню стомлення авіадиспетчера.

Етап 3. Прогнозування змінення ступеню стомлення в процесі подальшого виконання авіадиспетчером функціональних обов'язків.

Етап 4. Прогнозування ймовірності знаходження авіадиспетчера в певному стані на основі результатів занять на тренажерах.

Етап 5. За результатами прогнозування на етапах 3 та 4 ОПР приймає рішення відносно необхідності прийняття коригуючих заходів.

Етап 6. За результатами діагностування ЕМС та ступеню стомлення ОПР приймає рішення відносно необхідності прийняття коригуючих заходів.

Етап 7. Чергове оцінювання стану ССС (ступеня стомлення) авіадиспетчера. Повернення до етапу 1.

В процесі проведення досліджень розроблено функціональну схему процесу оперативного управління ФС авіадиспетчерів (рис.3.2,а), застосування якої дозволяє проводити оперативне управління ФС при випадкових зовнішніх впливах і неконтрольованому змінненні працездатності авіадиспетчерів в умовах невизначеності впливів та нестачі інформації у ОПР відносно ФС авіадиспетчерів.

Функціональна схема побудована на основі узагальненої функціональної схеми процесу оперативного управління ФС авіадиспетчерів, представленої на рис.3.1.

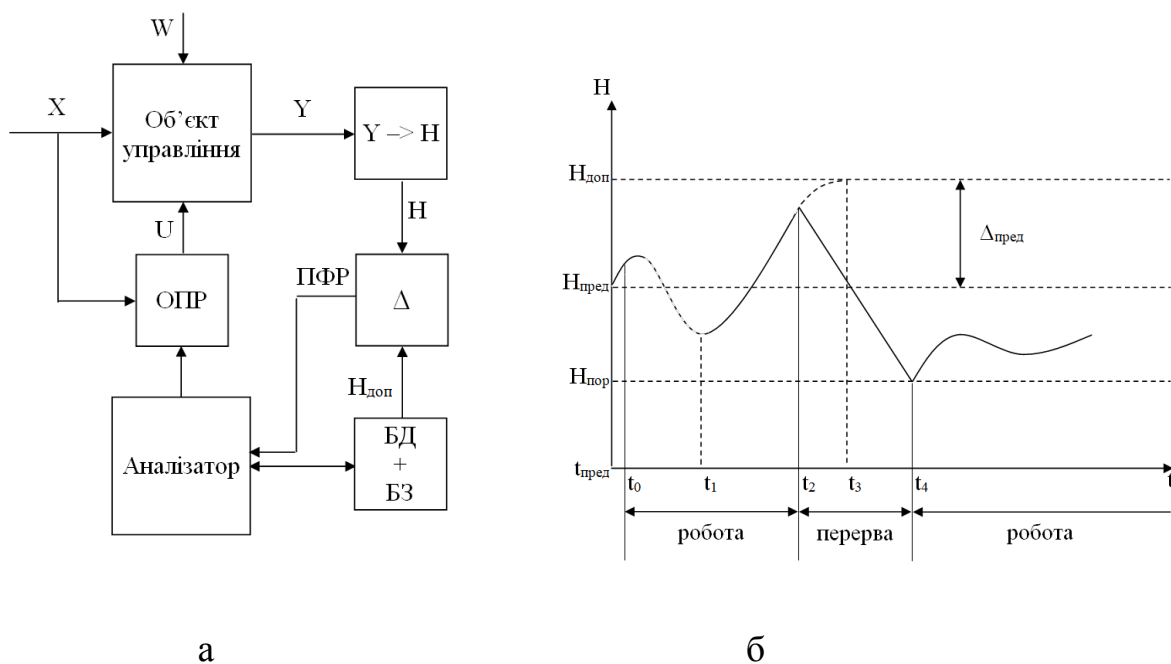


Рисунок 3.2 – Функціональна схема оперативного управління ФС авіадиспетчерів (а) і графік, що пояснює роботу СППОР, побудованої на її основі (б)

Основними підсистемами моделі є об'єкт управління і керуюча система. Об'єктом управління є людина, що піддається протягом робочої зміни впливу регулярних інформаційних та фізичних навантажень (вхідних впливів  $X$ , які можуть бути позначені своїми кількісними параметрами), а також випадковим неконтрольованим впливам (стресовим навантаженням та ін.)  $W$ . Під дією зазначених навантажень людина може перебувати в одному з регламентованих станів («норма», станах різного ступеня стомлення, сонливості, тривоги, певному емоційному стані).

Вихідними даними об'єкта управління  $Y$  є параметри, що характеризують змінення ПФС людини протягом робочої зміни.

Як і при проведенні передзмінного психофізіологічного контролю, пропонується в якості вихідних параметрів  $y(t)$  протягом робочої зміни використовувати характеристики (параметри) стану ССС. На основі цих характеристик визначається інтегральна характеристика  $H$ , що розраховується в індексах напруженості ІН проф. Баєвського Р.М.

Значення  $h(t)$  порівнюються з прийнятними (допустимими) значеннями, які регламентуються нормативними документами для різних умов роботи авіадиспетчерів, розраховуються для кожного авіадиспетчера індивідуально і представляються у відповідній БД.

Відхилення значень параметрів  $h(t)$  від допустимих значень розглядається як критерій працездатності, який дозволяє оцінити можливості авіадиспетчера виконувати професійні обов'язки. В якості такого критерію пропонується використовувати показник «психофізіологічний ресурс (ПФР)».

Вихідним показником для аналізу змінення ПФС є ПФР авіадиспетчера, визначений у процесі проведення передзмінного медичного та психофізіологічного контролю.

Завданням керуючої системи є підтримання необхідного для успішного виконання професійних обов'язків рівня працездатності людини, тобто такого функціонального (психофізіологічного) стану, щоб вона була здатна виконувати професійні обов'язки. У ролі керуючої системи виступають особи, які приймають управлінські рішення з використанням інформації з бази знань БЗ (ОПР на рис.3.2,а). Рішення проблеми ефективного управління працездатністю людини як об'єкта управління з боку керуючої системи знаходиться в області управління його станом і полягає в підвищенні якості керуючих впливів  $U$ .

Функціональна схема рис.3.2,а фактично являє собою функціональну схему СІППоР, завданням якої є надання ОПР інформації, необхідної для більш обгрунтованого прийняття управлінських рішень.

Сигнал з виходу об'єкта управління надходить на вхід СІППоР, до складу якої входять:

- блоки, які здійснюють обробку параметрів, що характеризують ступінь втоми (ПФР) авіадиспетчера і його ЕмС;
- база даних БД і база знань БЗ;
- аналізатор, функцією якого є виявлення тенденцій змінення ПФР і ЕмС авіадиспетчера. Якщо зазначена тенденція має негативний характер, то СІППоР

подає сигнал ОПР про необхідність тимчасового відсторонення авіадиспетчера від виконання функціональних обов'язків і надання йому часу для відпочинку.

Робота аналізатора здійснюється за правилами БЗ. Робота СППоР ілюструється графіком рис.3.2,б.

Під час передзмінного контролю визначається значення  $H_{пред}$ , яке, природно, не повинно перевищувати встановленого допустимого значення. В іншому випадку лікар, який здійснює передзмінний контроль, фіксує неготовність авіадиспетчера виконувати функціональні обов'язки. Різниця між значенням  $H_{пред}$  і допустимим значенням  $H_{дон}$  розглядається як ПФР авіадиспетчера  $\Delta_{пред}$  на момент початку зміни.

Починаючи з моменту виконання авіадиспетчером функціональних обов'язків  $t_0$ , СППоР відстежує змінення ПФР до тих пір, поки система не зафіксує наявність постійного – протягом встановленого проміжку часу – зниження ПФР. Якщо процес зниження ПФР триває (на рис.3.2,б це проміжок часу від моменту часу  $t_1$  до моменту часу  $t_2$ ), СППоР, після досягнення встановленого значення ПФР, подає сигнал ОПР про доцільність відсторонення авіадиспетчера від роботи для відпочинку. Якщо процес зниження ПФР не зупинити, то в момент часу  $t_3$  ПФР досягне (відповідно до прогнозу) значення  $H_{дон}$ .

Передбачається, що за час відпочинку значення ПФР буде знижуватися і в якийсь момент часу  $t_4$  досягне граничного значення  $H_{нор}$ , що дасть підставу ОПР знову допустити авіадиспетчера до виконання функціональних обов'язків.

Змінення внутрішнього стану об'єкта управління (параметрів, що характеризують змінення ПФР людини протягом зміни) обумовлює актуальність розробки моделі системи управління, яка враховує ці змінення.

У теперішній час процеси функціонування суб'єктів прийнято характеризувати моделями типу «чорної скрині», на вхід якої подаються інформаційні сигнали, а на виході реєструються результати реакції суб'єктів на ці сигнали. У цьому випадку управління якістю функціонування суб'єктів можна характеризувати моделлю «вхід-вихід», яка описується кортежем:

$$M_{AC} = \langle X, A_x, Y, B_y, T \rangle, \quad (3.1)$$

де  $X$  – множина значень вхідних параметрів;  $A_x$  – простір функцій, що описують допустимі вхідні впливи;  $Y$  – множина значень вихідних параметрів;  $B_y$  – простір функцій, що описують змінення в часі значень вихідних параметрів;  $T$  – впорядкована множина моментів часу.

Ця модель відображає статичний стан суб'єкта.

Між тим, в реальних умовах відбувається змінення внутрішнього стану суб'єктів, що унеможлиблює функціонування суб'єктів в повному обсязі. Це робить актуальною розробку динамічних моделей, які враховують змінення внутрішнього стану об'єкта управління і можливості переходу об'єктів управління із стану «норма» до інших, в тому числі – негативних, станів.

Вихідними керованими змінними, що характеризують якість ФС, є множина  $Y$  фактичних результатів виконання системою своїх функцій, яка порівнюється з множиною необхідних результатів  $Y_{необ}$ , що задає нормативні вимоги до функціонування системи в різних ситуаціях:

$$\Delta Y(t) = Y(t) - Y_{необ}(t). \quad (3.2)$$

Відхилення значень вектора, що характеризує якість функціонування системи, може розглядатися як критерій якості функціонування, який дозволяє проводити оцінки:

- поточного стану системи;
- якості її функціонування;
- рівня досконалості системи.

При такому підході для повноцінного оцінювання якості функціонування системи необхідна оцінка якості функціонування в кожній з можливих ситуацій. Такого ефекту важко домогтися при недостатньому рівні автоматизації та впровадження інтелектуальних систем управління.

Протиріччя між існуючою науково-методичною базою контролю станів систем та забезпечення системних вимог з безпеки і надійності експлуатації

систем призводить до необхідності її подальшого розвитку на принципово інших концептуальних засадах.

Запропонованим розв'язком даної проблеми є розробка нової моделі, заснованої на використанні математичних моделей адаптивного управління рівня функціональності системи з використанням елементів тестування.

У цьому випадку функціонування розглядається не як результат дії традиційної «чорної скрині», а як складний об'єкт, що має внутрішній стан, який саме й визначає якість функціонування системи.

Тобто замість існуючої моделі функціонування системи «вхід-вихід» пропонується перейти до моделі, що враховує внутрішній стан системи «вхід-стан-вихід»:

$$Y = f(X, U, W), \quad (3.3)$$

$$M = \langle X, A_x, Y, B_y, S, T, \alpha, \beta \rangle; \quad (3.4)$$

де  $X$  – множина значень вхідних параметрів;  $A_x$  – простір функцій, що описують вхідні впливи;  $Y$  – множина значень вихідних параметрів;  $B_y$  – простір функцій, що описують змінення в часі значень вихідних параметрів,  $S$  – множина значень змінних параметрів, що характеризують ФС людини,  $T$  – впорядкована множина моментів часу,  $\alpha$  – функція, що характеризує залежність елементів множини станів людини від вхідних параметрів (інформаційного та фізичного навантажень) і вихідних даних, отриманих під час передзмінного медичного та психофізіологічного контролю;  $\beta$  – вихідна функція, яка характеризує залежність елементів множини  $Y$  від значень вхідних параметрів і внутрішнього стану людини.

Кортеж, на додаток до зовнішніх властивостей, описує структурні властивості системи і може бути визначений через інші складові системи при використанні адаптивних методів рекурентної ідентифікації станів.

У цьому випадку найбільш природно скористатися стратегією адаптивного управління, за якого одночасно відбувається і уточнення опису системи, і управління.

Для рекурентної ідентифікації внутрішніх станів рівня функціональності системи, на відміну від існуючої методології, досить представити вибірку кількох кластерів позаштатних станів, однорідних з точки зору функціонування системи.

Особливістю систем в просторі станів, на відміну від моделей «вхід-вихід», є принципова можливість абстрактності структури і змінних моделі від спостережуваних величин в реальних умовах експлуатації.

Абстрактність моделей «вхід-стан-вихід» дозволяє інтерпретувати поведінку динамічної системи, у чому й полягає їхня основна перевага.

### **3.3 Висновки до третього розділу**

1. В основу оперативного управління ФС авіадиспетчерів протягом робочої зміни покладено розподіл ФС на дві складові:

- 1) стани стомлення, сонливості, тривоги;
- 2) емоційні стани людини.

Стани стомлення, сонливості та тривоги, на відміну від емоційних станів, пов'язані з роботою регуляторних систем організму людини, і людина указаними станами управляти не може.

Виділені два види змінень стану за швидкістю змінення: повільні змінення стану, обумовлені роботою регуляторних систем організму людини (стомленням, сонливістю, тривогою) і сплески збудження (сплески емоцій), які можуть привести до різкого падіння працездатності авіадиспетчера.

2. В якості показника станів стомлення, сонливості та тривоги авіадиспетчерів пропонується використовувати показники стану ССС людини. А як показник ЕмС людини в процесі аналізу ЕмС авіадиспетчерів – показники стану ССС та параметри мовного сигналу, що сканується в процесі аудіообміну між авіадиспетчером та членами льотних екіпажів.

3. Розроблено функціональну схему та метод оперативного управління ФС авіадиспетчерів під час робочої зміни, застосування яких дозволяє ОПР оперативно реагувати на змінення працездатності авіадиспетчерів внаслідок

стомлення, погіршення ЕмС тощо при випадкових зовнішніх впливах та неконтрольованому змінненні їх працездатності.

Метод заснований на проведенні моніторингу стану ССС і ЕмС авіадиспетчерів, виявленні негативних тенденцій їх змінення і відсторонення від роботи (для відпочинку) тих авіадиспетчерів, чії параметри, що характеризують ПФР і ЕмС, досягають неприпустимих значень.

## **4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

### **4.1. Основні положення створення системи інформаційної підтримки прийняття рішень стосовно функціональності співробітників служб авіаційної безпеки та управління рухом (авіадиспетчерів)**

Система інформаційної підтримки прийняття рішень (СІППР) – комплекс систем, що надають особам, які приймають управлінські рішення (ОПР), інформаційну підтримку при прийнятті ними рішень при проведенні різних контрольних заходів (в процесі прийому на роботу, проведення періодичного, передзмінного та внутрішньозмінного контролю). Це дозволяє вдосконалити процес прийняття управлінських рішень ОПР і таким чином підвищити якість та ефективність управління функціональністю співробітників служб авіаційної безпеки (САБ) та управління рухом (СУР) (авіадиспетчерів) [43, 44].

СІППР є комплексною системою інформаційної підтримки прийняття рішень ОПР в процесі превентивного управління функціональністю співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) (СІППР) та систем інформаційної підтримки прийняття оперативних рішень (СІППоР).

Основні положення процесу управління:

1. Здійснюється комплексний підхід до проведення контролю та управління функціональністю співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів), що полягає в проведенні як превентивного управління функціональним станом (ФС) і рівнем професіоналізму співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів), так і оперативного управління ФС авіадиспетчерів в процесі виконання ними своїх професійних (функціональних) обов'язків [31, 45-48].

2. Основними значущими складовими частинами процесу превентивного управління ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) є:

А. Оцінювання та аналіз існуючих ФС та рівня професіоналізму.

Ускладнюють вирішення зазначеної задачі наступні обставини:

- ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) залежить від великої кількості різнорідних чинників [3];
- показники, що характеризують ці фактори, оцінюються експертами - фахівцями в різних областях знань, при цьому експерти користуються різними одиницями виміру;
- експерти часто вагаються у виборі кількісних показників вимірювання різних вхідних факторів.

За результатами досліджень експертам пропонується оцінювати вхідні фактори у вигляді лінгвістичних змінних (словесно), а для отримання агрегованих оцінок станів зі словесними оцінками якості вхідних факторів проводити перцептивні обчислення – «дії зі словами» [49].

У процесі досліджень розроблена спеціальна процедура оцінювання й аналізу впливу небезпечних факторів, застосування якої дозволяє вхідні фактори і кінцеві результати (агреговані оцінки ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів)) привести до «єдиного знаменника» і, водночас, полегшити експертам проведення експертизи (виставлення експертних оцінок) якості вхідних факторів.

Б. Запобігання негативного впливу небезпечних факторів на ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів).

Дії щодо запобігання негативного впливу небезпечних факторів на кінцевий результат складаються в:

- поліпшенні функціональності авіадиспетчерів на основі підвищення якості відбору кандидатів на зайняття вакантних посад, якості оцінювання ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) в процесі періодичного контролю і роботи на тренажерах з метою більш ретельного аналізу здатності співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) (кандидатів на зайняття вакантних посад) виконувати виробничі (посадові) обов'язки ;
- підвищення якості роботи СІППР осіб, що приймають управлінські рішення.

Розроблені в процесі досліджень процедури превентивного управління ФС співробітників САБ і СУР та оцінювання й аналізу впливу небезпечних факторів на ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів), а також метод отримання агрегованої оцінки складають сукупність (блок) методів превентивного управління ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів).

3. Основними значущими елементами процесу оперативного управління ФС авіадиспетчерів є такі:

А. Основою методу оперативного управління ФС авіадиспетчерів, є послідовне здійснення моніторингу, аналізу, прогнозування та корекції психофізіологічного ресурсу (ПФР), обраного в якості основного показника ФС людини.

Б. В якості основного напрямку підвищення ФС авіадиспетчерів вибрано підвищення якості контролю за їх діями та ФС.

В. В свою чергу, підвищення якості контролю забезпечується застосуванням методів підвищення якості оперативного управління, одним з найважливіших напрямків дії якого є підвищення якості роботи СІППоР ОПР.

Таким чином, висока якість контролю та управління функціональністю співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) забезпечується шляхом застосування сукупності (блоків) методів і моделей:

- превентивного управління ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів);
- оперативного управління ФС авіадиспетчерів;
- підвищення якості превентивного та оперативного управління ФС авіадиспетчерів.

Для практичної реалізації запропонованих методів контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів розроблена інформаційна система (ІС) управління ФС – СІППр.

## 4.2. Практична реалізація методів та моделей превентивного управління функціональністю співробітників служб авіаційної безпеки та управління рухом

### 4.2.1. Архітектурні рішення побудови системи інформаційної підтримки прийняття рішень в процесі превентивного управління

Для практичної реалізації процедури превентивного управління функціональністю співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) розроблена ІС управління ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) – СІППпР. В процесі досліджень розроблено структуру, архітектуру та елементний базис СІППпР, побудовані з застосуванням запропонованих моделей і методів.

Структурна схема СІППпР представлена на рис.4.1.

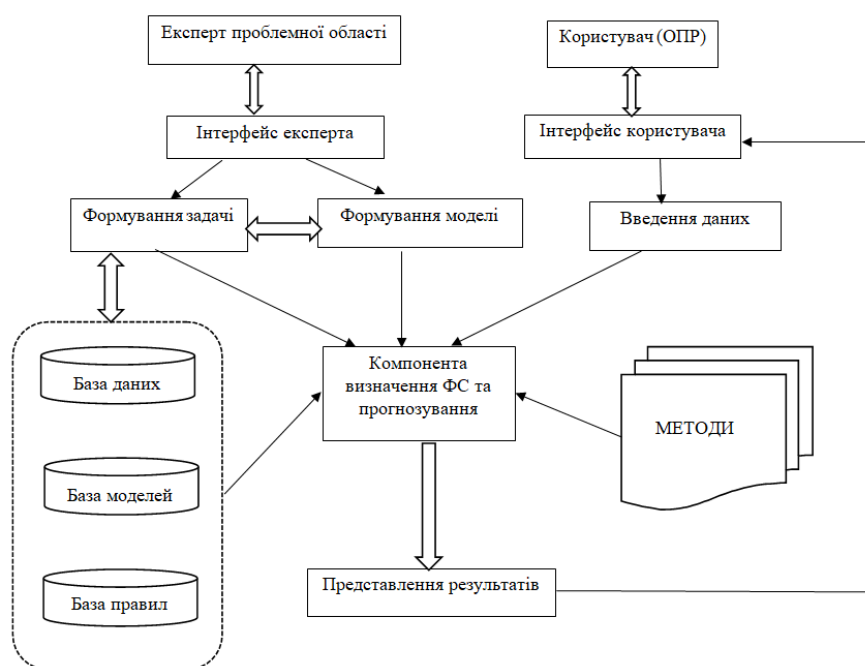


Рисунок 4.1 – Структурна схема СІППпР

Архітектура ІС для превентивного управління ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) наведена на рис.4.2.

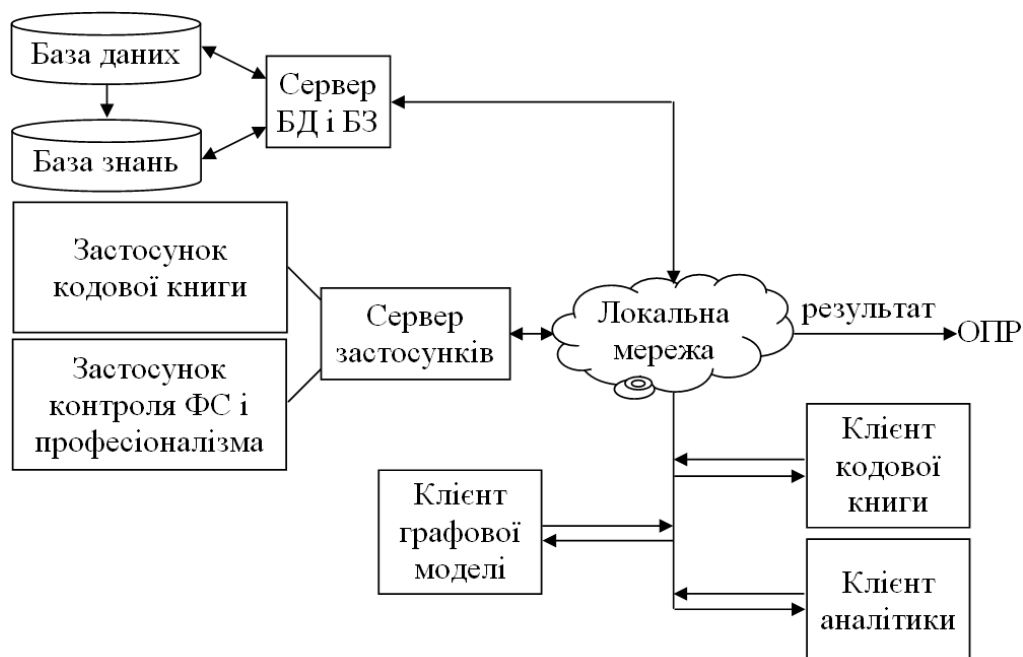


Рисунок 4.2 – Архітектура ІС для превентивного управління ФС співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів)

ІС має клієнт-серверну архітектуру з такими елементами: чотири тонких клієнтів, що надають доступ певним типам користувачів цієї ІС до сервера застосунків (прикладних програм); сервер застосунків (прикладних програм), на якому (серед інших) розміщені два застосунки (прикладні програми), які мають вирішальне значення для розв'язання завдань, що стоять перед клієнтами; база даних, в якій зберігаються всі дані, що описують параметри відповідної моделі, а також результати всіх виконаних розрахунків; сервер бази даних для полегшення роботи бази даних та локальна мережа, через яку обмінюються всі дані.

У розробленій ІС вводяться чотири різних типа користувачів для полегшення розподілу праці. Кожен користувач виконує набір дій з використанням відповідного клієнта:

- Клієнт графової моделі: користувач, який працює з цим клієнтом, є експертом в області медицини (фізіології, психології тощо). Його основне завдання – розробити графову ієрархічну модель ФС людини.

Користувачеві клієнта графової моделі, таким чином, необхідно буде вказати всі складові ФС людини (вхідні фактори моделі), групувати їх у блоки вищого рівня, пов'язувати завдання і блоки та призначати вагу кожної сполучної дуги. Слова для ваг підключення вибираються з кодової книги, що зберігається в базі даних. Кожне слово має пов'язану з ним модель заснованої на інтервальній нечіткій множині 2-го типу (ІНМ2). Варто підкреслити, що створення кодової книги не є обов'язком цього користувача, а це значить, що йому не потрібно проходити навчання по нечіткій математиці або перцептивним обчисленням (обчисленням зі словами).

- Клієнт кодової книги: основна відповідальність користувача, що працює з цим клієнтом, полягає в розробці кодової книги, що складається зі слів, які використовуються в ІС, та їхньому представленні ІНМ2. Користувач повинен провести опитування експертів в предметній області з метою отримання інформації про конкретні слова в термінах інтервалів. Потім, використовуючи клієнта, користувач запускає застосунок Codebook для перетворення значень інтервалів в представлення ІНМ2.

- Клієнт аналітики: користувач, який працює з цим клієнтом, є експертом, як в області медицини, так і в нечіткій математиці. Його основні обов'язки – проаналізувати результати оцінки загальної якості (рівня) ФС людини, визначити за допомогою слів з кодової книги рівень якості кожного фактора з графової моделі ФС. Для цього він використовує застосунок для оцінки ФС людини і застосунок контролю (оценивання) ФС сотрудников, відповідно.

- Клієнт-менеджер: користувач, який працює з цим клієнтом, є ОПР, якому необхідно діяти за рекомендаціями клієнта аналітики та приймати управлінські рішення.

#### **4.2.2 Побудова системи інформаційної підтримки прийняття рішень в процесі оперативного управління**

Для підвищення ефективності контролю за зміненням ПФС (ступеня стомлення та ЕмС) авіадиспетчерів, що здійснюється ОПР (старшим авіадиспетчером), розроблена СППоР, робота якої заснована на аналізі параметрів мовного сигналу, який формується в процесі аудіообміну авіадиспетчера з членами льотних екіпажів. Система контролю подає сигнал у випадку, коли авіадиспетчер знаходиться в неналежному ПФС (значне стомлення, сонливість, збуджений або, навпаки, депресивний емоційний стан). Висока значимість СППоР обумовлена тим, що знаходження авіадиспетчера в збудженому або депресивному стані, стані стомлення, сонливості або тривоги є однією з найбільш частих причин його помилок [45-47].

СППоР будується як інтелектуальна інформаційна система на основі комплексного застосування сучасних методів та технологій, що дає можливість підвищити ефективність оперативних управлінських рішень в умовах невизначеності факторів зовнішнього середовища та неповноти інформації у ОПР про ПФС авіадиспетчерів.

У процесі досліджень розроблена СППоР, що дозволяє проводити перманентний моніторинг їх психофізіологічного (емоційного) стану.

Функціонуючи в режимі реального часу, СППоР буде своєчасно сигналізувати про порушення в роботі авіадиспетчерів, що дозволить більш ефективно і на більш ранніх стадіях запобігати порушенням, в тому числі, відстороняти від роботи осіб, які перебувають в неналежному емоційному стані, станах стомлення, сонливості, тривоги.

Робота СППоР ОПР під час виконання авіадиспетчерами функціональних обов'язків (на етапі внутрішньозмінного контролю ПФС) заснована на аналізі показників стану їх серцево-судинної системи, а для авіадиспетчерів – також і параметрів мовних сигналів (голосу).

СППОР будуються із застосуванням методів теорії розпізнавання образів [50, 51]. Типова структурна схема СППОР наведена на рис. 4.3.

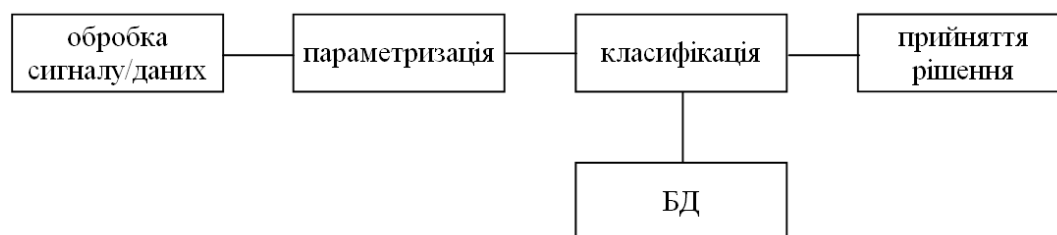


Рисунок 4.3 – Типова структурна схема СППОР

### 4.3 Структура бази даних та фреймова модель

Процедура побудови структури бази даних на основі ER-моделі виглядає наступним чином:

Крок 1. Кожна проста сутність (сутність, яка не є підтипом і не має підтипів) перетворюється в таблицю.

Крок 2. Кожен обов'язковий атрибут стає стовпцем з визначеними значеннями.

Крок 3. Компоненти унікального ідентифікатора суті перетворюють первинний ключ таблиці. До числа стовпців первинного ключа додається копія унікального ідентифікатора сутності, що знаходиться на другому кінці зв'язку.

Крок 4. Зв'язки стають зовнішніми ключами – копія унікального ідентифікатора і відповідні стовпці складають зовнішній ключ.

Крок 5. Індокси створюються для первинного ключа (унікальний індекс), зовнішніх ключів і тих атрибутів, на яких передбачається в основному базувати запити.

Крок 6. Відомо [22], що є два способи роботи за наявності взаємовиключних зв'язків:

1) якщо залишаються зовнішні ключі все в одному домені, то створюються два стовпці: ідентифікатор зв'язку та ідентифікатор сутності. Стовпець

ідентифікатора зв'язку використовується для розрізнення зв'язків, що покриваються дугою вилучення. Стовець ідентифікатора суті використовується для зберігання значень унікального ідентифікатора суті на дальньому кінці відповідного зв'язку;

2) якщо результуючі зовнішні ключі не належать до одного домену, то для кожного зв'язку, створюються явні стовпці зовнішніх ключів; всі ці стовпці можуть містити невизначені значення.

У даному випадку було використано перший спосіб.

База даних (БД) включає такі складові:

- БД, розроблені для застосування методів;
- БД перманентного контролю (БДПК).

На рис.4.4-4.6 наведено відповідно структурні схеми БД, БДПК і фреймову модель, які є способом представлення баз даних і бази знань, що його було обрано на основі аналізу моделей представлення знань.

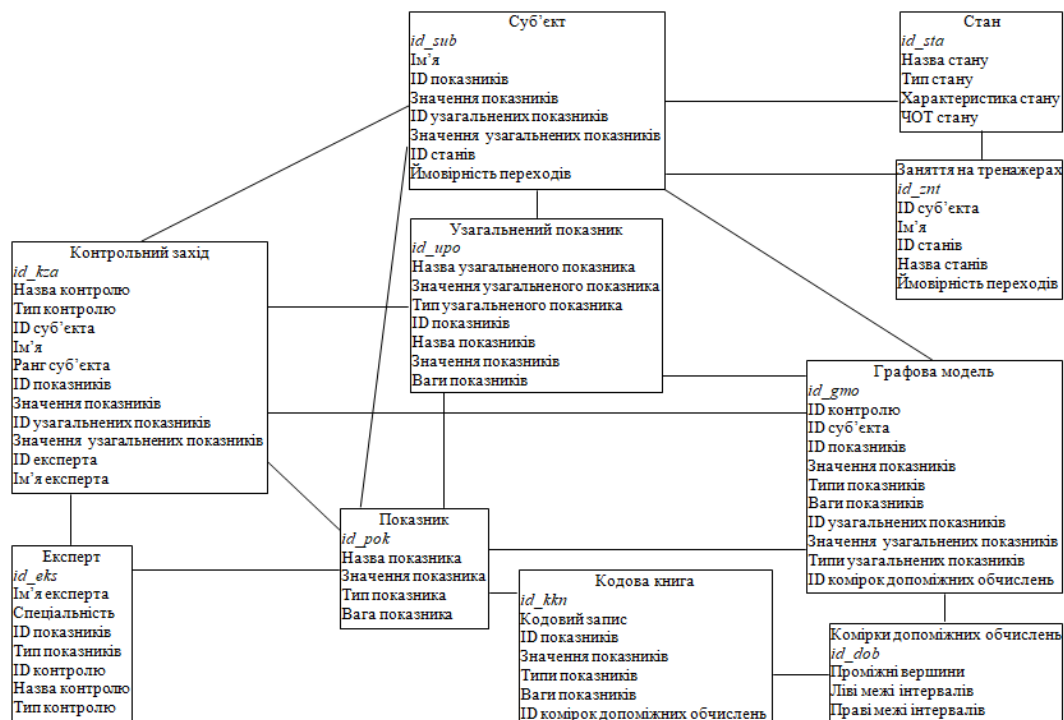


Рисунок 4.4 – Структура БД

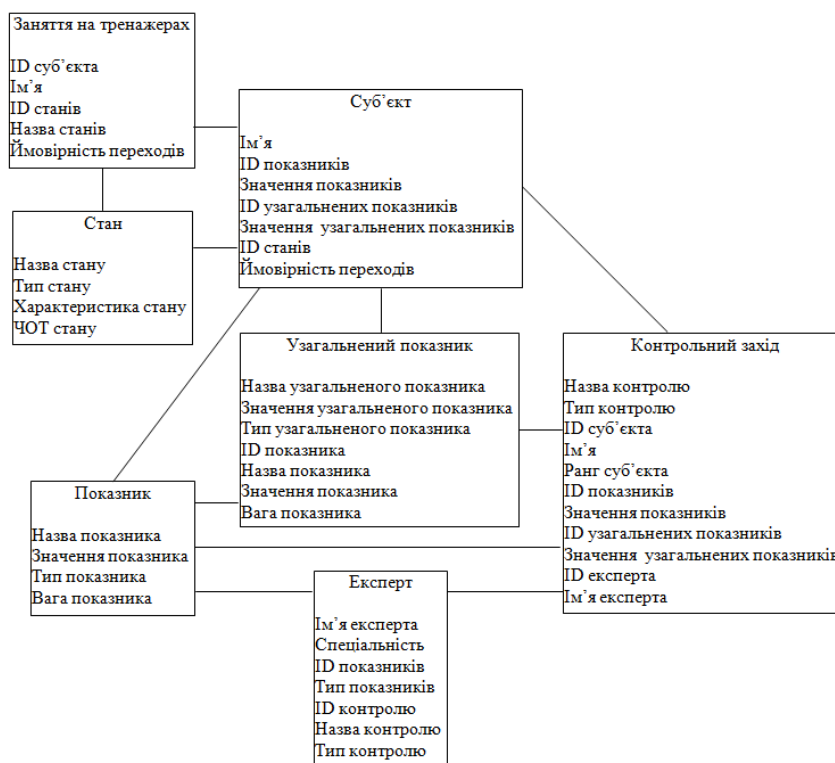


Рисунок 4.5 – Структура БДПК

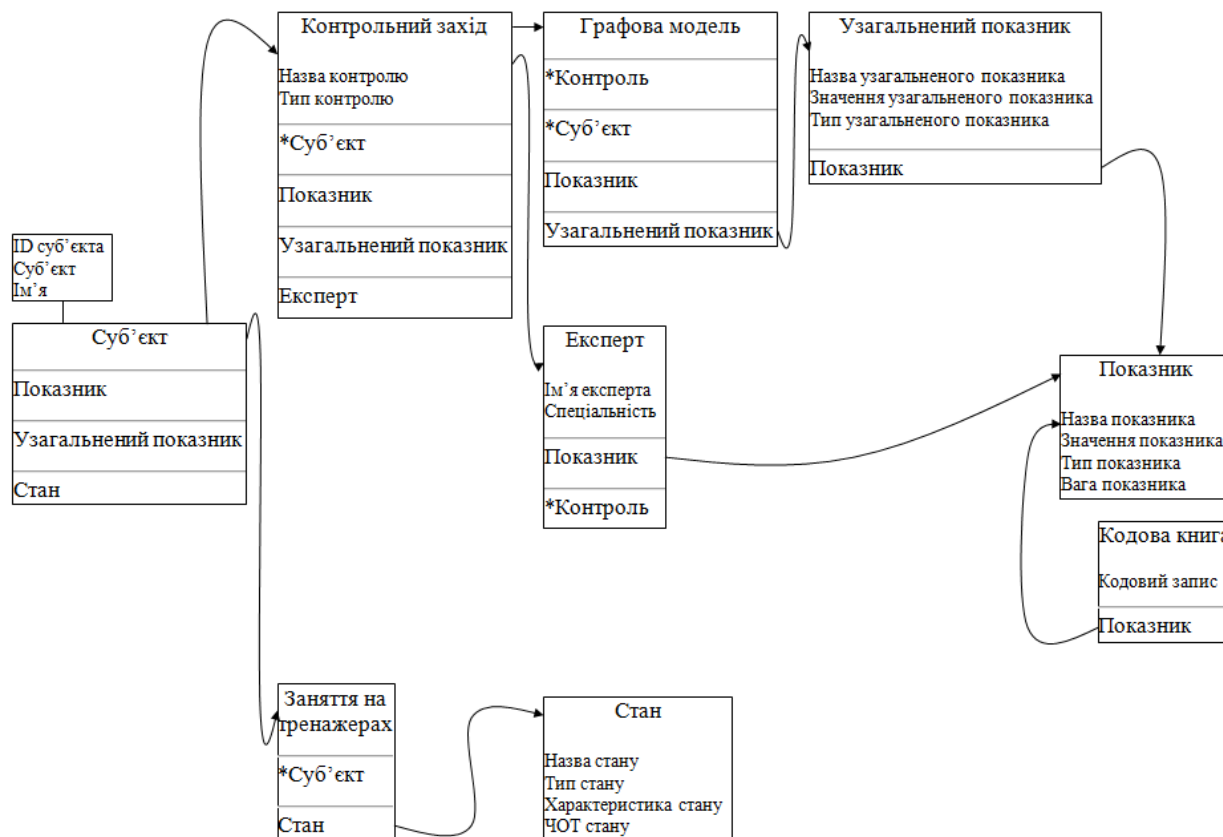


Рисунок 4.6 – Фреймова модель бази знань

Структури баз даних побудовано на основі запропонованих ER-моделей за допомогою вищенаведеної процедури. Ключовою сутністю розробленої фреймової моделі БЗ є суб'єкт управління – авіадиспетчер.

#### **4.4 Практична реалізація метода отримання агрегованої оцінки для визначення здатності співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) виконувати професійні обов'язки**

В цьому підрозділі представлені результати практичної реалізації наведеного в розділі 2 метода отримання агрегованої оцінки.

На рис.4.7 наведена побудована на основі узагальненої моделі рис.2.4 реальна графова ієрархічна модель для визначення агрегованого показника ФС, що застосовується в процесі експериментів для ранжирування претендентів на посаду співробітника САБ та авіадиспетчера за цим показником.

Вхідними факторами моделі є показники якості складових фізіологічного, психологічного, психічного, фізичного і психофізіологічного станів людини.

Основні етапи методики отримання агрегованої оцінки:

1. Експерти оцінюють вхідні фактори моделі, що впливають на різні складові стану людини, словами. В якості цих слів можуть бути прийняті, наприклад, такі слова: хороший (G), нормальний (N), задовільний (S), прийнятний (A), незадовільний (U).

Словесні оцінки також повинні бути дані вагам сполучних дуг. Як оцінки можуть бути застосовані наступні слова: істотний ефект (Es), значний (Sg), середній (Av), незначний (In), малий ефект або його відсутність (Lt).

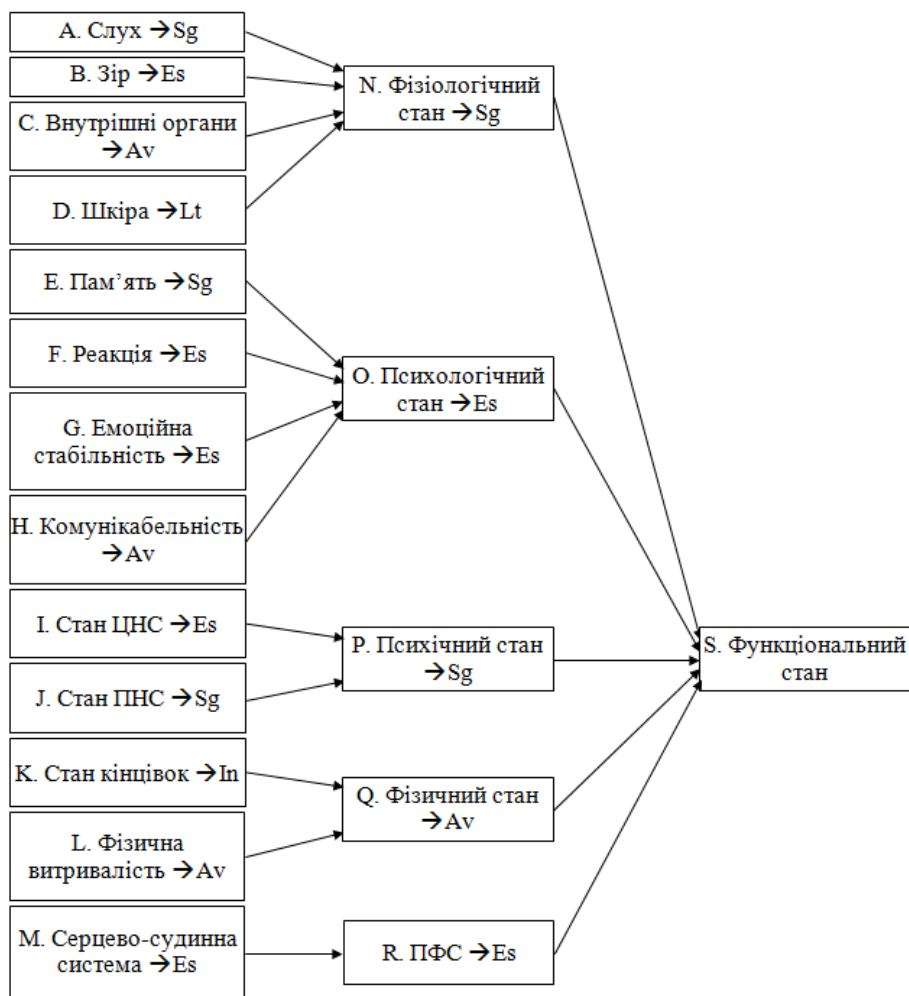


Рисунок 4.7 – Реальна графова ієрархічна модель для розрахунку агрегованого показника ФС людини

Слова як для оцінки, так і для вагів повинні бути визначеними на інтервалі  $[0, 1]$ .

2. ІНМ2-моделі для кожного слова повинні бути створені з використанням інтервального підходу [27, 28, 52-55-32]. Основна ідея цього підходу полягає в тому, щоб опитати кількох експертів домену (в предметній області) і отримати від них набір інтервалів, які, на їхню думку, найкраще відповідають кожному слову.

3. Кожен набір інтервалів, що відповідають даному слову, конвертується (перетворюється) в ІНМ2 з використанням алгоритму, описаного в [28]. Отримані результати зводяться в таблиці виду табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Статистика слів з кодової книги та їх ІНМ2-моделей

| Слово | Статистичні дані |            | Параметри трапецевідної ІНМ2 |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|-------|------------------|------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|       |                  |            |                              |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|       | $m_l$            | $m_r$      | $a$                          | $b$ | $c$ | $d$ | $e$ | $f$ | $g$ | $i$ | $h$ |  |
|       | $\sigma_l$       | $\sigma_r$ |                              |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| G     |                  |            |                              |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| ...   |                  |            |                              |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| U     |                  |            |                              |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| Es    |                  |            |                              |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| ...   |                  |            |                              |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
| Lt    |                  |            |                              |     |     |     |     |     |     |     |     |  |

У табл. 4.1  $m$  – середні і  $\sigma$  – стандартні відхилення для лівого ( $l$ ) та правого ( $r$ ) кінців отриманих інтервалів;  $a-h$  – параметри трапецієподібної функції належності ІНМ2.

Ваги для дуг функціональної схеми зводяться в таблицю виду табл.4.2.

Таблиця 4.2 – Ваги дуг в моделі ФС

| Початкова вершина | Кінцева вершина | Вага |
|-------------------|-----------------|------|
| A                 | N               | Sg   |
| B                 | N               | Es   |
| C                 | N               | Pv   |
| D                 | N               | Lt   |
| E                 | K               | Av   |
| F                 | K               | Av   |
| G                 | K               | Sg   |
| H                 | L               | Sg   |

|   |   |    |
|---|---|----|
| I | L | Av |
| N | S | Sg |
| O | S | Es |
| P | S | Sg |

Позначення початкових і кінцевих вершин представлені відповідно до рис.4.7.

4. Для розрахунку агрегованої оцінки ФС авіадиспетчерів у вигляді ІНМ2-моделі застосовуються перцептивні обчислення.

5. Використовуючи метрику подібності Жаккара [54], визначені відстані отриманого ІНМ2 до кожного слова кодової книги.

6. Підхід, заснований на перцептивних обчисленнях, дозволяє ОПР, ранжувати співробітників по їх ФС і тим самим вибирати найбільш підходящих для роботи. Цей підхід явно перевершує традиційний, коли кожен кандидат позначений як «відповідає» («придатний») або «не відповідає» («не придатний») без будь-яких життєздатних засобів для їх порівняння.

Розставити здобувачів посад за рангом (ранжиром) відповідно до агрегованих показників їх ФС дозволяє порівняння значень центроїдів. Аналіз результатів розрахунку також дає можливість ОПР визначити сильні і слабкі сторони (в частині ФС і його складових) кожного з претендентів на посаду.

#### **4.5 Практична реалізація процедури виявлення факторів, що мають визначальний вплив на якість роботи авіадиспетчерів**

На практиці важливо визначити, які чинники мають найбільший вплив на агреговану оцінку ФС авіадиспетчерів, для підвищення ефективності корегуючих дій з боку ОПР.

Для визначення факторів, що роблять істотний вплив на агреговану оцінку ФС авіадиспетчерів, необхідно вирішити зворотну інтервальную середньозважену задачу [27].

Для вирішення указаної задачі необхідно:

- 1) задати необхідну агреговану оцінку ФС авіадиспетчерів і отримати експертні оцінки відносних витрат  $c_i$  і коефіцієнтів  $\beta_i$  для кожного фактора;
- 2) шляхом розв'язання оберненої інтервальної середньозваженої задачі для всіх вершин графа, який моделює ФС даного авіадиспетчера, визначити для кожного вхідного фактора допустимі інтервали  $[a_i, b_i]$ , які повинні бути досягнуті для отримання заданої агрегированной оцінки ФС авіадиспетчерів.

Етапи:

1. Отримання від експертів ваг дуг графової моделі.
2. Отримання від експертів даних про коефіцієнти вартості – витрати, необхідні для проведення удосконалення або модернізації функціонального вузла системи.
3. Отримання від експертів даних про вагові коефіцієнти  $\beta_i$  для кожної вершини графової моделі – ступеня впливу функціонального вузла системи на процес забезпечення ФС.
4. Виходячи з заданої оцінки ФС авіадиспетчера, розрахувати рівні якості (інтервали) для вузлів попереднього рівня ( $Q$  і  $R$  з рис. 4.7). Для цього необхідно вирішити дві задачі оптимізації [56, 57]: 1) при  $a_Q \leq a_R, b_Q \leq b_R$ ; 2) при  $a_R \leq a_Q, b_R \leq b_Q$ .

Цільовою функцією є

$$f(a_Q, a_R, b_Q, b_R) = 0.85 \left( 0.8(b_Q - a_Q)^2 + 0.2 \left( \frac{a_Q + b_Q}{2} \right)^2 \right) + 0.85 \left( 0.7(b_R - a_R)^2 + 0.3 \left( \frac{a_R + b_R}{2} \right)^2 \right). \quad (4.1)$$

Обмеження нерівності для обох задач:

$$\begin{aligned} a_Q &\geq 0, \quad a_R \geq 0, \quad b_Q \leq 1, \quad b_R \leq 1, \\ a_Q &\leq b_Q, \quad a_R \leq b_R. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Обмеження у вигляді рівності:

$$\begin{aligned}
 & \text{- для задачі 1 -} & 0.80a_Q + 0.85a_R = 0.70 \cdot (0.80 + 0.85), \\
 & & 0.85b_Q + 0.70b_R = 1.00 \cdot (0.85 + 0.70). \\
 & \text{- для задачі 2 -} & 0.70a_R + 0.85a_Q = 0.70 \cdot (0.70 + 0.85), \\
 & & 0.85b_R + 0.80b_Q = 1.00 \cdot (0.85 + 0.80).
 \end{aligned}$$

5. Визначені в процесі вирішення задач 1 і 2 інтервали  $[a_Q, b_Q]$  і  $[a_R, b_R]$  зберігаються і використовуються в якості цільових значень для зворотних інтервальних середньозважених задач і обчислення інтервалів для вузлів  $L-N$ ,  $O-P$ .

6. Процес розрахунку повторюється до тих пір, поки не будуть розраховані всі значення.

#### **4.6 Методики визначення функціональності авіадиспетчерів**

##### **4.6.1 Методика проведення контролю ФС авіадиспетчерів**

Основою підходу, який використовувався при створенні даної методики, полягає у тому, що контроль ФС авіадиспетчера можна опосередковано здійснювати через контроль його психофізіологічного й емоційного станів. Сама робота з впровадження даної методики здійснюється не на території командно-диспетчерського пункту (тому що це було б пов'язано з необхідністю присутності позаштатних осіб у контрольованій зоні, що могло б створити загрозу збоїв у роботі авіадиспетчерів), а під час занять на тренажерах або поза робочим часом, що виключає таку загрозу.

Визначення ПФС авіадиспетчера (або будь-якого іншого члена авіаційного персоналу) пропонується здійснювати так:

1. Перевірка ПФС авіадиспетчера (або будь-якого іншого члена авіаційного персоналу) на початку і в кінці робочої зміни (поза робочим місцем), під час передзмінного контролю. Документування ПФС авіадиспетчера (або будь-якого іншого члена авіаційного персоналу).

2. Перевірка ступеня втоми авіадиспетчера, який заявив про втому і необхідність заміни в зв'язку з втратою працездатності.

Практична основа визначення ПФС:

1. Зняття електрокардіограми із застосуванням портативного електрокардіографа.

2. Визначення за параметрами електрокардіограм індексу напруженості ІН проф. Баєвського Р.М., за яким можна достовірно судити про ступінь втоми авіадиспетчера.

Визначення емоційного стану, у якому знаходиться авіадиспетчер у процесі імітації аудіозв'язку між ним і пілотом при занятті на тренажері складається з таких кроків:

1. Сканування мовних сигналів з виходу мікрофона в процесі аудіозв'язку (його імітації) під час занять на тренажері.

2. Обробка і параметризація мовного сигналу, метою яких є отримання масиву параметрів, придатних для використання в штучній нейронній мережі.

3. Визначення емоційного стану, у якому знаходиться авіадиспетчер, на основі застосування штучних нейронних мереж й алгоритмів кластерного аналізу; віднесення поточного емоційного стану до одного з кластерів: «пригнічений стан», «норма», «збуджений стан» тощо.

Метою застосування методики є практична демонстрація спроможності підходу до оцінювання ПФС й емоційного стану авіадиспетчера за голосом, а також отримання достатньої кількості параметрів для навчання і калібрування штучної нейронної мережі.

#### **4.6.2 Методика професійного добору**

Застосування методики професійного добору базується на розробленому методі отримання агрегованої оцінки, який надає інструмент для її впровадження.

Для оцінювання ФС і рівня професіоналізму при проведенні професійного добору використовуються такі узагальнені показники:

- агреговані оцінки ФС і рівня професіоналізму, які розраховуються й представляються у вигляді лінгвістичних змінних або нечітких інтервалів;
- показники стану регуляторних систем організму людини (стану ССС) – ПАРС та ІН проф. Баєвського Р.М.

Множина показників ФС, які контролюються в процесі превентивного управління функціональністю авіадиспетчерів, формується на основі показників стану здоров'я та психофізіологічних показників стану людини, наведених у нормативних документах ІКАО та України, зокрема, «Переліку робіт, де є потреба у професійному доборі» [23]. «Перелік...» поширюється на будь-якого суб'єкта структури інформаційних зв'язків процесу прийняття рішень з управління функціональністю.

Основа методики:

1. Сканування показників ФС і рівня професіоналізму суб'єкта та показників стану регуляторних систем організму людини.
2. Формування масиву показників суб'єкта, занесення їх до баз даних.
3. Присвоєння ваги кожному з показників (групі показників).
4. Отримання агрегованої оцінки ФС і рівня професіоналізму, розрахунок узагальнених показників ПАРС й ІН, занесення їх до баз даних.

Метою застосування методики є отримання узагальнених оцінок ФС, рівня професіоналізму й стану регуляторних систем організму авіадиспетчера, що надасть можливість проводити їх ранжирування та класифікацію в процесі прийому на роботу й заходів перманентного контролю.

Приклад розрахунків, зроблених для надання обґрунтованої можливості ранжування за агрегованою оцінкою кандидатів на роботу за функціональним станом.

Як приклад наведено результати розрахунку рангу кандидата на роботу за станом здоров'я для двох професій: авіадиспетчери та співробітники САБ. Загальна модель представлена на рис.4.7.

Вхідні вершини A-L позначають фактори, які характеризують психічний, психологічний, фізичний та фізіологічний стани досліджуваного авіадиспетчера, які представляють собою проміжні рівні графової моделі.

Застосована в процесі розрахунків кодова книга складалася з п'яти слів, що представляють лінгвістичні оцінки кожної вхідної вершини, і з п'яти слів, що представляють ваги дуг в моделі. Кожне слово було визначено на відрізок  $[0, 1]$ . Для лінгвістичних оцінок були визначені такі слова: добре (G), нормально (N), задовільно (S), прийнятно (A), незадовільно (U).

Для ваг були визначені слова: істотний ефект (Es), значний ефект (Sg), середній ефект (Av), незначний ефект (B), мало або взагалі ніякого ефекту (Lt).

Кожне слово перетворювалося в його ІНМ2-модель на основі інтервального підходу. Як приклад наведено результати розрахунку якості проведення експлуатаційних процедур із застосуванням моделі, представленої на рис. 4.7.

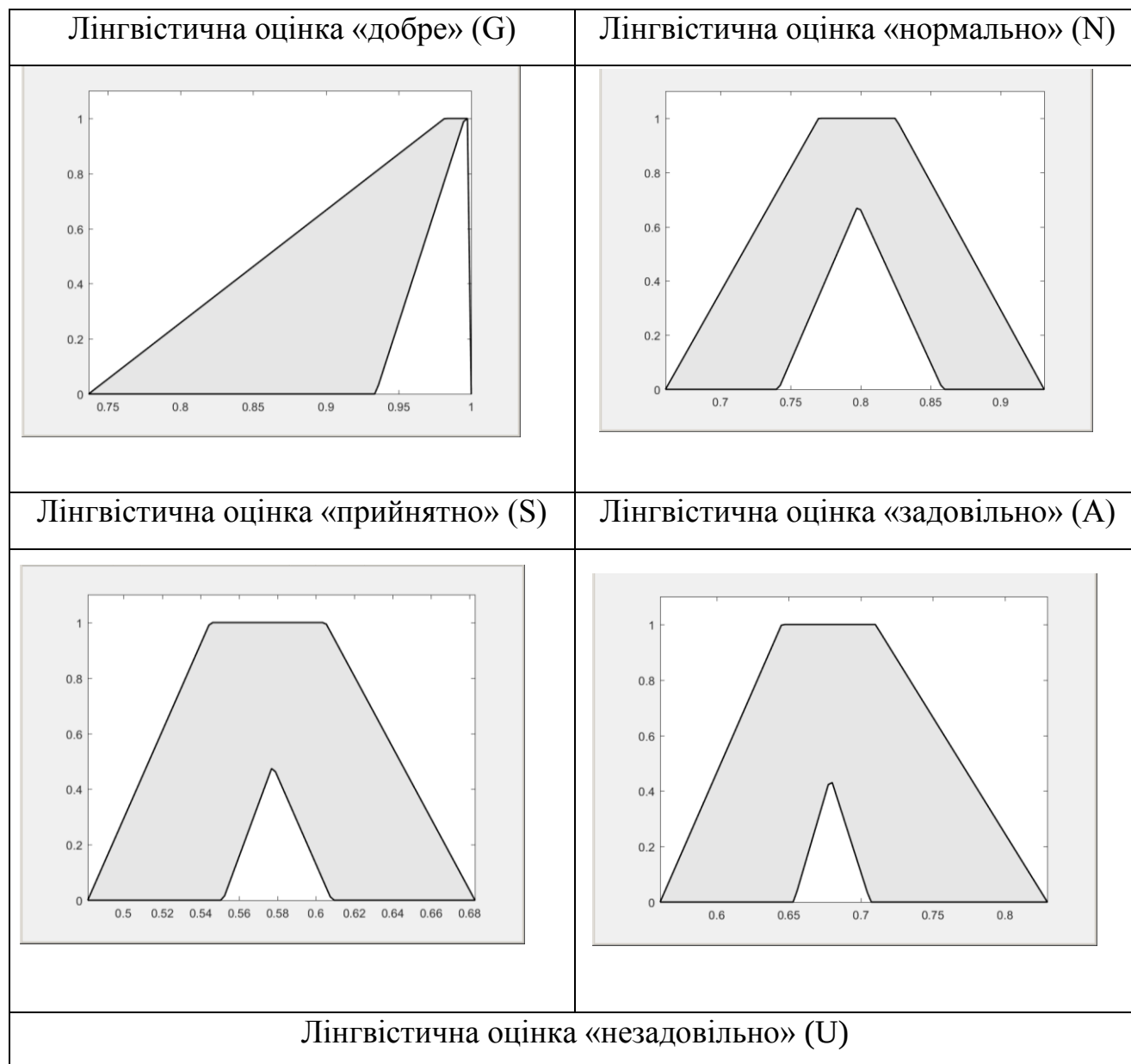
В результаті опитування двадцяти експертів, профільних лікарів, були надані інтервали, які, на їхню думку, відповідають кожному слову. Набори інтервалів для кожного слова були перетворені в ІНМ2-моделі з використанням алгоритму кодування. Отримані результати наведені в табл.4.3 та 4.4.

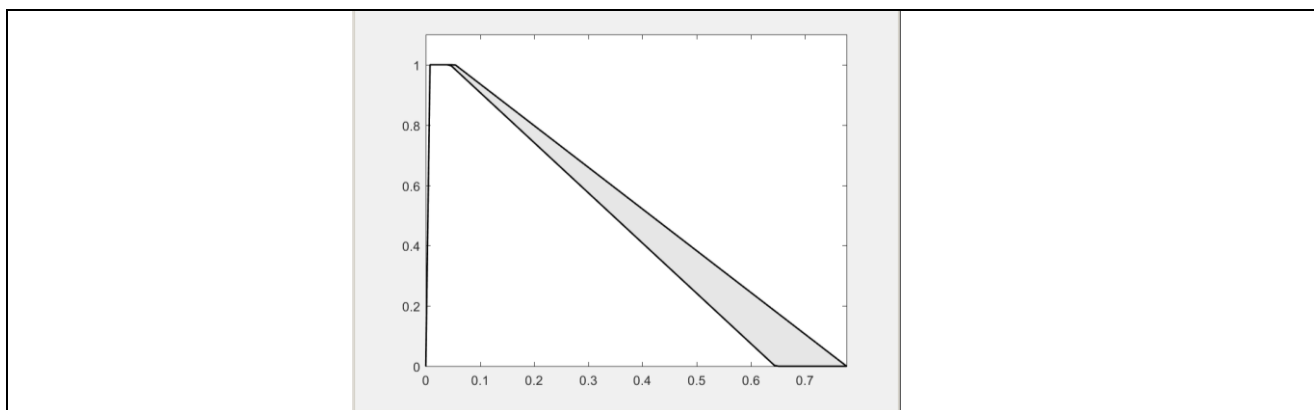
Таблиця 4.3 – Статистика слів з кодової книги та їх ІНМ2-моделей

| Сло-<br>во | Статистичні дані |            |       |            | Параметри трапецевідної<br>ІНМ2 |      |      |      |      |      |      |      |      |  |
|------------|------------------|------------|-------|------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
|            | $m_l$            | $\sigma_l$ | $m_r$ | $\sigma_r$ | $a$                             | $b$  | $c$  | $d$  | $e$  | $f$  | $g$  | $i$  | $h$  |  |
| G          | 0.88             | 0.04       | 1.00  | 0.00       | 0.74                            | 0.98 | 1.00 | 1.00 | 0.93 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |  |
| N          | 0.74             | 0.03       | 0.87  | 0.04       | 0.66                            | 0.77 | 0.83 | 0.93 | 0.74 | 0.80 | 0.80 | 0.86 | 0.68 |  |
| S          | 0.63             | 0.03       | 0.73  | 0.03       | 0.56                            | 0.65 | 0.71 | 0.83 | 0.65 | 0.68 | 0.68 | 0.71 | 0.45 |  |
| A          | 0.54             | 0.04       | 0.62  | 0.03       | 0.48                            | 0.55 | 0.61 | 0.68 | 0.55 | 0.58 | 0.58 | 0.61 | 0.49 |  |
| U          | 0.00             | 0.00       | 0.53  | 0.04       | 0.00                            | 0.00 | 0.05 | 0.78 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.65 | 1.00 |  |
| Es         | 0.88             | 0.04       | 1.00  | 0.00       | 0.74                            | 0.98 | 1.00 | 1.00 | 0.93 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |  |

|    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Sg | 0.70 | 0.07 | 0.87 | 0.04 | 0.57 | 0.72 | 0.83 | 0.93 | 0.73 | 0.78 | 0.78 | 0.86 | 0.54 |
| Av | 0.46 | 0.10 | 0.69 | 0.07 | 0.24 | 0.48 | 0.68 | 0.84 | 0.52 | 0.58 | 0.58 | 0.64 | 0.37 |
| In | 0.29 | 0.11 | 0.45 | 0.10 | 0.16 | 0.31 | 0.41 | 0.55 | 0.34 | 0.37 | 0.37 | 0.44 | 0.49 |
| Lt | 0.00 | 0.00 | 0.28 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.53 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.13 | 1.00 |

Таблиця 4.4 – Трапецієвидні інтервали ІНМ2 лінгвістичних оцінок





У табл. 4.5 показані ваги, відповідні вхідним факторам на рис. 4.7. У табл.4.6 наведено ваги, які відповідають дугам, що з'єднують вузли моделі. Ваги в табл. 4.5 та 4.6 призначені експертами та є різними для диспетчерів повітряного руху та співробітників САБ, щоб підкреслити той факт, що для різних професій модель має свої особливості.

Таблиця 4.5 – Ваги факторів здоров'я

| Фактор | Вага для авіадиспетчера | Ваги для співробітників служби АБ |
|--------|-------------------------|-----------------------------------|
| A      | Sg                      | Av                                |
| B      | Es                      | Sg                                |
| C      | Av                      | Av                                |
| D      | Lt                      | Av                                |
| E      | Sg                      | Av                                |
| F      | Es                      | Sg                                |
| G      | Es                      | Es                                |
| H      | Av                      | Es                                |
| I      | Es                      | Sg                                |
| J      | Sg                      | Sg                                |
| K      | In                      | Sg                                |
| L      | Av                      | Es                                |
| M      | Es                      | Av                                |

Таблиця 4.6 – Ваги дуг моделі, що з'єднує показники та загальний ФС

| Професія         | Показник (вага) |    |    |    |    |
|------------------|-----------------|----|----|----|----|
|                  | N               | O  | P  | Q  | R  |
| Авіадиспетчер    | Sg              | Es | Sg | Av | Es |
| Співробітник САБ | Av              | Sg | Av | Es | Sg |

У табл. 4.7 показано результат застосування перцептивних обчислень із запропонованою специфікацією до 20 модельних наборів даних: експертні оцінки по кожному фактору для 10 диспетчерів повітряного руху та експертні оцінки по кожному фактору для 10 співробітників САБ.

Останній стовпчик показує розрахований ранг для зайняття кандидатом робочого місця за загальною агрегованою оцінкою.

Таблиця 4.7 – Лінгвістичні оцінки факторів для десяти диспетчерів повітряного руху та десяти співробітників САБ, розраховані центроїди ІНМ2 та ранг

| #                 | Лінгвістична оцінка кожного фактору |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |          |       |      | Ранг |
|-------------------|-------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------|-------|------|------|
|                   | A                                   | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | Центроїд |       |      |      |
|                   |                                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | $c_l$    | $c_r$ | $c$  |      |
| Авіадиспетчери    |                                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |          |       |      |      |
| 1                 | G                                   | G | N | N | G | G | G | G | G | G | N | G | G | 0.86     | 0.97  | 0.91 | 1    |
| 2                 | N                                   | N | A | A | N | N | S | S | S | S | N | N | N | 0.70     | 0.80  | 0.75 | 8    |
| 3                 | N                                   | G | N | S | G | G | G | N | N | N | S | S | N | 0.77     | 0.87  | 0.82 | 5    |
| 4                 | G                                   | G | N | A | S | S | N | N | S | A | N | N | N | 0.72     | 0.82  | 0.77 | 7    |
| 5                 | S                                   | S | A | S | N | N | S | A | A | A | S | S | A | 0.59     | 0.70  | 0.65 | 10   |
| 6                 | G                                   | G | N | S | N | G | N | N | N | N | N | N | N | 0.78     | 0.87  | 0.83 | 4    |
| 7                 | N                                   | G | S | S | G | G | G | S | N | N | S | S | G | 0.78     | 0.89  | 0.84 | 3    |
| 8                 | S                                   | S | S | N | N | N | N | N | A | A | A | A | S | 0.63     | 0.74  | 0.68 | 9    |
| 9                 | N                                   | N | N | G | G | G | G | G | N | N | S | S | N | 0.77     | 0.86  | 0.81 | 6    |
| 10                | N                                   | N | N | G | G | G | G | N | G | G | N | N | G | 0.83     | 0.93  | 0.88 | 2    |
| Співробітники САБ |                                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |          |       |      |      |
| 1                 | G                                   | N | G | G | G | G | N | N | G | G | G | G | G | 0.85     | 0.96  | 0.91 | 1    |
| 2                 | S                                   | N | N | N | N | N | A | A | N | N | S | S | S | 0.66     | 0.77  | 0.71 | 8    |
| 3                 | N                                   | S | S | N | N | G | N | S | G | G | G | N | N | 0.77     | 0.88  | 0.82 | 6    |

|    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |      |      |      |    |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|------|------|----|
| 4  | S | N | N | N | G | G | G | N | S | S | N | N | S | 0.72 | 0.83 | 0.77 | 7  |
| 5  | A | S | S | A | S | S | A | S | N | N | S | A | A | 0.60 | 0.71 | 0.65 | 10 |
| 6  | N | N | N | N | G | G | G | G | N | G | N | N | G | 0.82 | 0.91 | 0.86 | 3  |
| 7  | N | S | S | G | N | G | S | S | G | G | G | G | N | 0.78 | 0.90 | 0.84 | 5  |
| 8  | A | A | A | S | S | S | S | N | N | N | N | N | A | 0.65 | 0.76 | 0.71 | 9  |
| 9  | N | S | S | N | N | N | N | G | G | G | G | G | N | 0.80 | 0.90 | 0.85 | 4  |
| 10 | G | N | N | G | N | N | N | G | G | G | G | G | G | 0.85 | 0.95 | 0.90 | 2  |

Наведений приклад демонструють важливість врахування всього різноманіття факторів. Також дає можливість особі, яка приймає рішення, оцінювати працівників за їх ФС та тим самим вибирати найбільш відповідних для роботи. Цей підхід явно перевершує загальноприйнятий, коли кожного кандидата позначають «підходить» або «не підходить», без жодних життєздатних засобів для їх порівняння.

Задача експертної оцінки зводиться до визначення рівня ФС співробітника на основі мовних оцінок окремих факторів, у тому числі фізіологічних, психологічних, психічних та фізичних. Подальші напрямки дослідження повинні включати розширення набору слів, що використовуються в перцептивному комп'ютері, та проведення польових досліджень, використовуючи запропонований підхід для оцінки його практичної ефективності.

#### 4.7 Висновки до четвертого розділу

1. З використанням розроблених моделей і методів контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів на різних стадіях їхньої виробничої діяльності розроблено технологію забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень ОПР, яка є основою побудови СІППР.

2. Запропоновано архітектурні засоби, які забезпечили можливість впровадження розроблених моделей та методів і стали основою для побудови підсистем ІС, призначеної для забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень ОПР з управління функціональністю авіадиспетчерів.

3. Розроблено методики проведення контролю показників ФС авіадиспетчерів і професійного добору, застосування яких дозволило на практиці реалізувати результати досліджень.

4 Проведені експериментальні комп'ютерні й імітаційні дослідження підтвердили адекватність розроблених моделей та достовірність результатів, наведених у звіті.

## ВИСНОВКИ

1. Проведено загальний аналіз проблем, пов'язаних із шляхами підвищення авіаційної та інформаційної безпеки аеропортів і командно-диспетчерських пунктів (КДП) після вводу їх в експлуатацію та безпеки польотів (БП) повітряних суден.

Аналіз проблемної області проводився з урахуванням положень нормативних документів ІКАО та України, зокрема: Doc 8973, Doc 8984, Doc 9422, Doc 9683, Doc 9808, Doc 9859, Doc 9966, Doc 30, Додатків 17 і 19 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію та Повітряного Кодексу України.

2. На основі результатів проведених досліджень запропоновано концепцію підтримання на належному рівні та підвищення авіаційної безпеки (АБ) аеропортів і КДП, а також підвищення БП повітряних суден, у вигляді структурно-функціональної схеми, яка описує основні функціональні блоки та зв'язки між ними, що дозволило формалізувати задачі дослідження з метою їх реалізації.

3. АБ аеропортів та КДП, як і БП повітряних суден, в значній мірі залежать від людського фактору, який проявляється у вигляді помилок співробітників служб авіаційної безпеки (САБ) та управління рухом (СУР) (авіадиспетчерів), що можуть бути обумовлені їх знаходженням у неналежному функціональному стані (ФС) та недостатнім професіоналізмом. Проаналізовано сучасне методологічне, інформаційне та організаційне забезпечення контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів.

За результатами досліджень сформовано моніторингові та корегувальні процеси забезпечення захисту аеропортів та КДП від актів незаконного втручання (АНВ) та зниження впливу людського фактору на рівень АБ аеропортів і якість роботи авіадиспетчерів по управлінню повітряним рухом.

Обґрунтовано вибір напрямку досліджень щодо розробки технології контролю показників та управління функціональністю співробітників САБ та СУР в умовах невизначеності впливу зовнішніх та внутрішніх небезпечних факторів.

Визначені особливості проблемної області, що ускладнюють вирішення поставлених завдань.

4. Відзначена особлива роль в підтримці на належному рівні та підвищенні АБ аеропортів та КДП після вводу їх в експлуатацію та зменшенні впливу людського фактору на БП повітряних суден осіб, що приймають управлінські рішення (ОПР) – осіб, що визначають здатність і готовність співробітників САБ та СУР виконувати професійні (функціональні) обов'язки, а також осіб, які запобігають доступ на робочі місця співробітників, що знаходяться в неналежному фізичному або психофізіологічному стані.

Визначено, що підвищення ефективності роботи ОПР досягається, в тому числі, шляхом покращення їхньої інформованості відносно ФС співробітників служб при прийнятті ними управлінських рішень.

Розроблена концепція підтримання на належному рівні та підвищення АБ аеропортів на основі створення єдиного інформаційного простору показників функціональності співробітників САБ та СУР дозволила проводити контроль показників та управляти функціональністю співробітників указаних служб протягом усієї їхньої виробничої діяльності.

5. Результати досліджень формують новий науковий напрямок інформаційної підтримки прийняття рішень (ІППР) ОПР щодо коригуючих дій по відношенню до співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів), чий психофізіологічний ресурс має тенденцію до зниження, шляхом створення методологічних основ проведення контролю показників та управління функціональністю співробітників в умовах невизначеності впливу на їх ФС зовнішніх і внутрішніх небезпечних факторів.

В процесі виконання НДР була вирішена проблема забезпечення ІППР на основі методів лінгвістичного експертного оцінювання показників ФС та рівня професіоналізму співробітників САБ та СУР (авіадиспетчерів) з використанням лінгвістичних змінних, перцептивних обчислень та вдосконалення методик проведення контролю ФС на основі аналізу психофізіологічного стану особи.

6. На основі розробленої концепції підтримання на належному рівні та підвищення АБ в процесі досліджень розроблено технологію управління функціональністю авіадиспетчерів, основними складовими якої є такі положення:

- висока якість управління функціональністю авіадиспетчерів забезпечується шляхом застосування сукупності методів та моделей превентивного, перманентного та оперативного управління ФС авіадиспетчерів;
- основними значущими складовими частинами процесу превентивного управління ФС авіадиспетчерів є оцінювання та аналіз ФС авіадиспетчерів, прогнозування можливого прояву небезпечних факторів та запобігання негативного впливу небезпечних факторів на ФС співробітників служб;
- основою оперативного управління ФС авіадиспетчерів є послідовне здійснення моніторингу, аналізу, прогнозування та корекції ФС.

Застосування розробленої технології дозволяє забезпечити ОНР додатковою інформацією стосовно здатності та готовності співробітників служб виконувати функціональні обов'язки, що, в свою чергу, дає можливість підвищити обґрунтованість прийняття ОНР управлінських рішень і на більш ранніх стадіях виробничої діяльності співробітників виявити осіб, які мають недостатній фізіологічний та/або психологічний ресурс і потребують проведення з ними коригувальних заходів.

7. Розроблено процедури та методи управління ФС співробітників служб авіаційної безпеки та управління рухом на різних етапах їхньої виробничої діяльності, впровадження яких дозволяє знизити вплив людського фактору на АБ аеропортів та БП повітряних суден.

8. Розроблене алгоритмічне забезпечення дозволило верифікувати запропоновані методи та моделі і провести експериментальні дослідження, які підтвердили достовірність теоретичних положень та практичних розробок.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України «Про критичну інфраструктуру»
2. Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України»
3. Doc 9859 "Safety Management Manual" / International Civil Aviation Organization, 3rd ed. – 2013. – 251 p.
4. Doc 8973/9 "Aviation Security Manual" / International Civil Aviation Organization. – 2014. – 818 p.
5. Приложение 17 к Конвенции о международной гражданской авиации «Управление безопасностью полетов» // Международная организация гражданской авиации, изд.1. – 2013. – 44 с.
6. Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации «Управление безопасностью полетов» // Международная организация гражданской авиации, изд.1. – 2013. – 44 с.
7. Doc 9808 "Human factors in civil aviation security operations" / International Civil Aviation Organization. –2002. – 120 p.
8. Doc 8984 "Manual of Civil Aviation Medicine" / International Civil Aviation Organization, 3rd ed. – 2012. – 578 p.
9. Doc 30 "Ecac policy statement in the field of Civil Fviation Facilitation" / International Civil Aviation Organization, ECAC.CEAC Doc No. 30 (PART I), 11rd ed. – 2009. – 170 p.
10. Повітряний кодекс України. – Алерта. –2019. – 88 с.
11. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: учеб. пособие: в 3 кн. / [под. ред. К.Е. Кочеткова, В.А Котляревского и А.В.Забегаяева.]. – М: Изд-во АСВ, кн. 1. – 1995. – 320 с.
12. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности / П.Г. Белов. – М.: ГНТБ Безопасность, 1996. – 424 с.
13. Касти Дж. Большие системы: связность, сложность, катастрофы / Дж.Касти. – М.: Мир, 1982. – 216 с.

14. Апихтін К.О. Особливості функціонального робочого стану у операторів служби керування повітряним рухом / К.О. Апихтін // Вісник ХНУ імені В.Н.Каразіна. – 2011. – № 938. – С. 16-21.

15. Пишов Г.Ю. Професіографічний аналіз праці авіадиспетчера та інженера радіонавігації, радіолокації і зв'язку / Г.Ю. Пишов, В.Б. Ластовченко // Актуальні проблеми транспортної медицини. – 2008. – № 2 (12). – С. 44-50.

16. Westin C. Automation Transparency and Personalized Decision Support: Air Traffic Controller Interaction with a Resolution Advisory System / C. Westin, C. Borst, B. Hilburn B. // IFAC-Papers. – 2016. – Vol. 49, is. 19. – P. 201-206.

17. Kirwan B. Human error data a collection as a precursor to the development of a human reliability assessment capability in air traffic management / B. Kirwan, W.H. Gibson, B. Hickling // Reliability Engineering & System Safety. – 2008. – Vol. 93, is.2. – P. 217-233.

18. Баевский Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма: история и философия, теория и практика / Р.М. Баевский. – Клиническая информатика и телемедицина. – 2004. – №1. – С. 54-64.

19. Баевский Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. – М.: Медицина. – 1997. – 265 с.

20. Кононюк А. Е. Обобщенная теория моделирования. Начала. К.1.Ч.1 / А.Е.Кононюк. – К.: Освіта України" – 2012. – 602 с.

21. Пупков К.А. Интеллектуальные системы / К.А. Пупков, В.Г. Коньков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 167 с.

22. Chen P.P-S. The Entity-Relationship Model – Toward a Unified View of Data // ACM Transactions on Database Systems (TODS). – 1976. – Vol.1. – P.9-36.

23. Наказ МОЗ України № 263/121 від 23.09.94 «Про затвердження переліку робіт, де є потреба у професійному доборі» / ДНАОП 0.03-8.06-94

24. Zadeh L. A. Fuzzy sets / L. A. Zadeh // Information and Control. – 1965. – V.8(3). – P.338-353.

25. Zadeh L.A. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning I / L. A. Zadeh // Information Sciences. – 1975. – №8. – P.199-249.
26. Wu D. Aggregation using the Linguistic Weighted Average and Interval Type-2 Fuzzy Sets / D. Wu, J.M. Mendel // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2007. – №15(6). – P.1145-1161.
27. Mendel J. M. Perceptual Computing. Aiding People in Making Subjective Judgments/ J.M. Mendel, D. Wu. – John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. – 2010. – 336 p.
28. Wu D. Enhanced Karnik-Mendel Algorithms / D. Wu, J.M. Mendel // IEEE transactions on fuzzy systems. – 2009. – №17(4). – P.923-934.
29. Klir G. J. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic. Theory and Applications. Prentice Hall / G. J. Klir, B. Yuan. – 1995. – 592 p.
30. Темников В.А. Система обеспечения безопасности на социально-экономических и информационных объектах с учетом психофизического состояния людей / В.А. Темников, В.В. Семко, Е.Л. Темникова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – №5 (111). – Ч.1. – 2007. – С.119-122.
31. Темников В.А. Принципы проведения автоматического внутрисменного контроля доступа операторов к ресурсам информационных систем / В.А.Темников // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – №8(179). – Ч.1. – С.184-190.
32. Надежность и эффективность в технике: справочник: в 3-х томах // Эффективность технических систем / [Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова.]– М.: Машиностроение. – 1988. – Т.3. – 328 с.
33. Ворона В. А. Системы контроля и управления доступом / В.А. Ворона, В.А. Тихонов. – М.: Горячая линия -Телеком, 2010. – 272 с.
34. Баевский Р.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.И. Кириллов, С.З. Клецкин. – М.: Наука. – 1984. – 220с.
35. База данных CASIA-IrisV3; <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>.

36. Колмогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей. 2-е изд / А.Н. Колмогоров. – М.: Наука. – 1974. – 120 с.
37. Vlachos I. Subsethood, Entropy and Cardinality for Interval-Valued Fuzzy Sets – an Algebraic Derivation. Fuzzy Sets and Systems / I. Vlachos, G. Sergiadis. – 2007. – №158. – P.1384-1396.
38. Hao F. A Fast Search Algorithm for a Large Fuzzy Database / F. Hao, J.Daugman, P. Zielinski // IEEE Trans. Information Forensics and Security. – 1994. – №3(2). – P.203-212.
39. Temnikov V.A. Principles of constructing information support systems for making managerial decisions in air transport enterprises / V.A. Temnikov, E.L.Temnikova // Международная научно-практическая конференция «Современные технологии науки и образования: Европейские стандарты». Сборник материалов конференции, т.1. – Херсон-Познань: Издательство ЧП Вышесмирский, 2017. – С.42-45.
40. Temnikov V.A. Modeling of information systems to support management decision-making / V.A. Temnikov, A.V. Temnikov // Proceedings of the 14th International Conference of Science and Technology “AVIA-2019”. – К.: NAU, 2019. – P.2.19-2.21.
41. Темников В.А. Принципы построения систем информационной поддержки принятия решений на авиатранспортных предприятиях / В.А.Темников, Е.Л. Темникова // XVII Міжнародна наукова конференція "Інтелектуальний аналіз інформації" (IAI-2017). Збірник праць. – К.: Просвіта, 2017. – С.222-228.
42. Темніков В.О. Принципи побудови систем інформаційної підтримки прийняття рішень на авіаційних підприємствах / В.О. Темніков, А.В. Темніков // Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання». Матеріали конференції. – Івано-Франківськ, 2017. – С.32-35.
43. Темников В.А. Информационная технология построения систем поддержки принятия оперативных решений в диспетчерских службах аэропортов

/ В.А. Темников // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип.5(45). – С.108-110.

44. Темніков В.О. Принципи побудови систем прийняття рішень в процесі управління інформаційною безпекою / В.О. Темніков // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип.4(44). – С.119-121.

45. Фролов М.В. Контроль функционального состояния человека-оператора / М.В. Фролов. – М.: Наука, 1987. – 197 с.

46. Темников В.А. Адаптивное управление психофизиологическим состоянием авиадиспетчеров в течение рабочей смены / В.А. Темников, Е.Л.Темникова, А.В. Темников // Вісник Інженерної Академії України. – 2018. – №3. – С.126-129.

47. Темніков В.О. Підвищення ефективності контролю функціонального стану співробітників служб авіапідприємств / В.О. Темніков, О.Л. Темнікова // Вісник Інженерної Академії України. – 2018. – №4. – С.13-16.

48. Темников В.А. Мониторинг психофизиологического состояния операторов при контроле доступа к ресурсам информационных систем / В.А.Темников // Захист інформації. Збірник наукових праць. – К.: НАУ, 2010. – Вип.17. – С.3-6.

49. Темников В.А. Метод экспертного оценивания функционального состояния кандидатов на занятие вакантных должностей / В.А. Темников, Е.Л.Темникова // Вісник Інженерної Академії України. – 2018. – №2. – С.259-262.

50. Рамишвили Г. С. Автоматическое опознавание говорящего по голосу / Г.С. Рамишвили. – М.: Радио и связь, 1981. – 224 с.

51. Рабинер Л. Цифровая обработка речевых сигналов / Л. Рабинер, Р.Шафер. – М.: Радио и связь, 1981. – 491 с.

52. Liu F. Encoding Words into Interval Type-2 Fuzzy Sets Using an Interval Approach / F. Liu, J.M. Mendel // IEEE transactions on fuzzy systems. – 2008. – №16. – PP.1503-1521.

53. Mendel J. M. The Perceptual Computer: an Architecture for Computing with Words / J. M. Mendel // Proceedings of Modeling with Words Workshop in the Proceedings of FUZZ-IEEE. – 2001. – PP. 35-38.

54. Jaccard P. Distribution De la Flore Alpine Dans le Bassin des Dranses et Dans Quelques Regions Voisines / P. Jaccard // Bull. Soc. Vaudoise sci. Natur. – 1991. – V.37. – Bd. 140. – S. 241-272.

55. Mendel J. M. Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple / J.M.Mendel, R.I. John, F. Liu // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2006. – V.14(6). – PP. 808-821.

56. Дж. Хедли. Нелинейное и динамическое программирование / Дж. Хедли. – М.: Мир, 1967. – 506 с.

57. Коршунов Ю. М. Математические основы кибернетики / Ю.М.Коршунов. – М.: Энергия, 1980. – 424 с.