

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Темніков Володимир Олександрович

УДК 004.89

ДИСЕРТАЦІЯ

МОДЕЛІ І МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ
ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ

Спеціальність 05.13.06 – «Інформаційні технології»

Подається на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Науковий консультант
Козловський Валерій Валерійович,
доктор технічних наук, професор,
перший проректор
Національного авіаційного університету



Київ – 2019

АНОТАЦІЯ

Темніков В.О. Моделі і методи контролю та управління функціональністю авіадиспетчерів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний авіаційний університет, Київ, 2019.

Безпека польотів (БП) в значній мірі залежить від людського фактора, який проявляється у вигляді помилок пілотів повітряних суден та авіадиспетчерів, що можуть бути обумовлені їх знаходженням у неналежному функціональному стані (ФС) та недостатнім професіоналізмом.

Дисертація присвячена створенню методів та інформаційної технології контролю показників та інформаційного управління функціональністю (спроможністю виконувати функціональні обов'язки на належному рівні) авіадиспетчерів в умовах невизначеності впливу зовнішніх і внутрішніх небезпечних факторів.

У роботі проведено аналіз існуючих підходів до контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів, проаналізовано стан сучасного методичного та інформаційного забезпечення процесів управління функціональністю авіадиспетчерів. На основі проведеного аналізу обґрунтовано вибір напряму наукових досліджень, який полягає в розробці моделей та методів інформаційної підтримки осіб, що приймають управлінські рішення (ОПР) в процесі проведення контрольних заходів на різних стадіях виробничої діяльності авіадиспетчерів.

На основі запропонованих моделей і методів превентивного та оперативного управління функціональністю авіадиспетчерів розроблено інформаційну технологію контролю показників та управління їх ФС та рівнем професіоналізму.

Результати досліджень формують новий науковий напрямок ІППР ОПР щодо коригуючих дій по відношенню до осіб, чий психофізіологічний ресурс має тенденцію до зниження, шляхом створення методологічних основ проведення контролю показників та управління функціональністю в умовах невизначеності впливу зовнішніх і внутрішніх небезпечних факторів.

В дисертаційній роботі вперше вирішується проблема забезпечення ІППР на основі методів вербального експертного оцінювання показників ФС та рівня професіоналізму авіадиспетчерів з використанням лінгвістичних змінних та вдосконалення методик проведення контролю ФС на основі аналізу психофізіологічного стану особи.

Отримані наукові результати є методологічною базою для розробки та впровадження ефективних засобів контролю показників й управління функціональністю авіадиспетчерів у вигляді програмних модулів оцінювання показників їхнього ФС та рівня професіоналізму.

Розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення дозволяє верифікувати запропоновані методи та моделі і провести експериментальне дослідження для підтвердження достовірності теоретичних положень та практичних розробок дисертаційного дослідження.

Результати проведених досліджень впроваджені в міжнародному аеропорту «Київ», Головному центрі спеціального контролю Національного космічного агентства України та навчальному процесі кафедри засобів захисту інформації Національного авіаційного університету.

Ключові слова: людський фактор, функціональний стан, психофізіологічний стан, інформаційна підтримка прийняття рішень, особа, що приймає управлінські рішення, інформаційна технологія, інформаційна система, авіадиспетчер

ABSTRACT

Temnikov V.O. Models and Methods for Monitoring and Managing the Functionality of Air Traffic Controllers. - Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences in the 05.13.06 - information technology. – National Aviation University, Kiev, 2019.

Flight safety (FS) largely depends on the human factor, which manifests itself in the form of errors of aircraft pilots and air traffic controllers, which may be due to pilots and air traffic controllers in inadequate functional state (FuncS) and their lack of professionalism.

The dissertation is devoted to the development of new models, methods and information technology of information support for decision-making (ISDM), the use of which allows to improve the quality of monitoring indicators and control the functionality of air traffic controllers by management decision makers (DM), to increase the effectiveness of corrective actions that are carried out by decision makers, in particular, at earlier stages to remove from work persons whose FuncS and/or level of professionalism of which ceases to meet established requirements.

Significantly complicates the solution of the tasks set is the presence of a significant influence on the FuncS of air traffic controllers of a large number of external and internal hazardous factors (often of a random nature), the uncertainty and ambiguity of many terminological and other issues of the problem area, and insufficient information security of the decision maker.

The paper analyzes the existing ways to reduce the influence of the human factor, analyzes modern methodological and information support for monitoring indicators and controlling the functionality of air traffic controllers, and proposes a concept for providing ISDM in conditions of uncertainty about the impact of external and internal hazardous factors on the FuncS. To implement the proposed

concept, an ISDM method was developed, as well as models, methods and procedures for preventive and operational control of the functionality of air traffic controllers, the use of which allows for monitoring indicators and controlling the functionality of air traffic controllers throughout their entire production activity.

In addition, algorithmic and software have been developed to verify the proposed methods and models and conduct experimental research to confirm the reliability of the theoretical provisions and practical developments of the dissertation research. The research results form a new scientific direction of the ISDM regarding corrective actions in relation to persons whose psychophysiological resource tends to decrease by creating theoretical and methodological foundations for monitoring indicators and controlling functionality under conditions of the uncertainty of the influence of external and internal hazardous factors.

The dissertation is the first to solve the problem of providing ISDM based on methods of verbal expert estimation of FuncS indicators and the level of professionalism of air traffic controllers using linguistic variables and improving methods for monitoring human FuncS based on the analysis of their psychophysiological state.

The results of the research were introduced at the Kiev International Airport, at the Main Center for Special Control of the National Space Agency of Ukraine and in the educational process of the National Aviation University and Kyiv National University of Construction and Architecture.

Keywords: human factor, functional state, psychophysiological state, information support for decision making, managerial decision-maker, information technology, information system, air traffic controller

Список публікацій здобувача

1. Tavrov D., Temnikova O., Temnikov V. Perceptual Computing Based Method for Assessing Functional State of Aviation Enterprise Employees // Advances in Intelligent Systems and Computing. Volume 836 (Recent Developments in Data Science and Intelligent Analysis of Information). – Springer, 2019. – P.61-70 (Scopus)

2. Temnikov V., Pavlenko P., Temnikov A., Temnikova O. The Methodology of Increasing the Functional Safety of Aviation Enterprises // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018 – Proceedings. – P.187-191 (Scopus)

3. Pavlenko P., Tavrov D., Temnikov V., Zavgorodniy S., Temnikov A. The Method of Expert Evaluation of Airports Aviation Security Using Perceptual Calculations // Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT 2018). – P.432-436 (Scopus)

4. Tavrov D., Temnikova O., Temnikov V., Kozlovskiy V., Temnikov A. Architecture of Computing With Words Based Information Technology for Proactive Aviation Security Control // Proceedings of 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). – IEEE Catalog Number: CFP18SUA-CDR ISBN: 978-1-5386-7195-5. – P.72-79 (Scopus)

5. Temnikov V., Kozlovskiy V., Temnikov A., Tavrov D., Temnikova O. Methods for Improving the Quality of the Functional State Control of Aviation Enterprises Employees // 2018 International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PIC S&T'2018). Conference Proceedings – IEEE Catalog Number: CFP18PIA-PRT ISBN: 978-1-5386-6609-8. – P.145-152 (Scopus)

6. Temnikov V.A., Temnikova E.L. Methods and models for increasing the level of aviation security of airports // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2018. – Issue 157. – VI(17). – P.70-73

7. Темников В.А. Моделирование процесса управления уровнем авиационной безопасности аэропортов // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2017. – Issue 148. – V(16). – P.41-43

8. Temnikov V.A., Peteichuk A.V. The concept of construction an automatic system for ATC emotional condition monitoring // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2015. – Issue 54. – III(6). – P.52-54

9. Temnikov V.A., Peteichuk A.V. The efficiency improvement of the permanent voice control over the ATC actions // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2015. – Issue 73. – III(8). – P.82-84

10. Темников В.А. Метод повышения эффективности работы системы поддержки принятия решений по управлению информационной безопасностью авиатранспортных предприятий // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип.6(46). – С.206-209

11. Темников В.А. Информационная технология построения систем поддержки принятия оперативных решений в диспетчерских службах аэропортов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип.5(45). – С.108-110

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

13. Темніков В.О., Петейчук О.В. Система голосового розпізнавання операторів при використанні встановленої фразеології // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2011. – №4(53). – С. 201-204

14. Подгорный Е.И., Рябова Л.В., Темников В.А. Способ повышения быстродействия системы контроля доступа по радужной оболочке глаза // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. – 2014. – №2(28). – С.88-92

15. Темников В.А., Темникова Е.Л. Концепции построения голосовых систем контроля доступа к информационным ресурсам для различных условий применения // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. – 2015. – №1(29). – С.102-107

16. Темников В.А., Конфорович И.В., Темникова Е.Л. Построение голосовой системы аутентификации диспетчеров с повышенными быстродействием и достоверностью работы // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. – 2015. – №2(30). – С.63-67

17. Темников В.А., Темникова Е.Л. Концепции построения голосовых систем контроля доступа к информационным ресурсам для различных условий применения // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. – Київ. – 2015. – №1(29). – С.102-107

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

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

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

21. Темников В.А., Конфорович И.В., Петейчук А.В. Контроль доступа авиадиспетчеров к информационным ресурсам по голосу // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – №15(204). – Ч.1. – С.199-203

22. Темников В.А., Темникова Е.Л., Конфорович И.В. Выбор параметров системы аутентификации человека по голосу // Інформаційна безпека. – 2012. – №2(8). – С.151-157

23. Темников В.А. Принципы проведения автоматического внутрисменного контроля доступа операторов к ресурсам информационных систем // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – №8(179). – Ч.1. – С.184-190

24. Темников В.А., Шарий Т.В., Темникова Е.Л., Конфорович И.В. Голосовая аутентификация операторов, использующих в процессе работы нормативно установленную фразеологию // Інформаційна безпека. – 2011. – №1(5). – С.125-130

25. Темников В.А., Темникова Е.Л. Параметризация автоматического контроля доступа операторов к ресурсам информационных систем по голосу // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – №9 (151). – Ч.1. – 2010. – С.143-148

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

27. Темников В.А., Темникова Е.Л. Определение психофизиологического состояния оператора в системе автоматического внутрисменного мониторинга по голосу // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – №6 (136). – Ч.1. – 2009. – С.294-297

28. Темников В.А. Повышение эффективности работы системы контроля доступа путем учета функционального состояния операторов и диспетчеров // Захист інформації. Збірник наукових праць. – Вып.16. – К.: НАУ, 2009. – С.200-203

29. Темников В.А., Семко В.В. Построение системы определения психофизиологического состояния личности для профессиональной диагностики // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - №8 (126). – Ч.1. – 2008. – С.195-200

30. Темников В.А., Пономаренко Л.В. Алгоритм текстонезависимого распознавания человека по голосу в задаче контроля и управления доступом // Захист інформації. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. – К.: НАУ, 2008. – С.71-76

31. Темников В.А., Пономаренко Л.В. Параметризация речевого сигнала при распознавании личности по голосу // Захист інформації. Збірник наукових праць. – Вып.15. – К.: НАУ, 2008. – С.167-172

32. Темников В.А., Семко В.В., Темникова Е.Л. Система обеспечения безопасности на социально-экономических и информационных объектах с учетом психофизического состояния людей // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - №5 (111). – Ч.1. – 2007. – С.119-122

33. Темников В.А., Пономаренко Л.В. Система распознавания личности как основа повышения эффективности систем контроля и управления доступом // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - №9(103). – Ч.1. – 2006. – С.64-69

34. Темников В.А., Пономаренко Л.В. Повышение эффективности систем контроля и управления доступом, построенных на основе автоматизированного распознавания личности // Захист інформації. Збірник наукових праць. – Вып.13. – Київ: НАУ. – 2006. – С.19-23

35. Темников В.А., Семко В.В. Применение технологий телемедицины для повышения безопасности транспортного сообщения // Український журнал телемедицини та медичної телематики. – 2007. – Т.5, №3. – С.303-306

36. Tavrov D., Temnikova O.L., Temnikov V. Method for Proactive Quality Control of Aviation Security of Airports Using Inverse Interval Weighted Average // Proceedings of 7th World Conference of Soft Computing (7thWConSC'18) (Baku, Azerbaijan, May 29-31, 2018). – 5 p.

37. Темников В.А., Темникова Е.Л. Повышение достоверности работы голосовых систем контроля доступа диспетчеров к информационным ресурсам // Международна научна конференция "Ukraine – Bulgaria – European Union: contemporary state and perspectives". Сборник с доклади, т.1. – Варна: Издательство «Наука и икономика», 2016. – P.242-247

38. Темников В.А., Темникова Е.Л. Построение голосовых систем контроля доступа для различных областей применения // Международна научна конференция "Ukraine – Bulgaria –European Union: contemporary state and perspectives". Сборник с доклади, т.2. – Варна – Херсон: Издательство «Наука и икономика», 2015. – P.279-283

39. Temnikov V.A., Temnikova E.L. Principles of constructing information support systems for making managerial decisions in air transport enterprises // 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., Temnikov A.V. Modeling of information systems to support management decision-making // Proceedings of the 14th International Conference of Science and Technology “AVIA-2019”. – К.: NAU, 2019. – P.2.19-2.21

41. Temnikov V.A., Temnikov A.V. Building information systems for decision support in airport control services // Proceedings of the 13th International

Conference of Science and Technology “AVIA-2017”. – K.: NAU, 2017. – P.2.59-2.61

42. V.A. Temnikov, A.V. Peteichuk The voice operators authentication by continuous speech considering the phonemes feature characteristics // Proceedings of The Fifth world congress “Aviation in the XXI-st century”, vol.1. – K.: NAU, 2012. – P.1.7.60-1.7.62

43. Temnikov V.A., Peteychuk A.V. Organization of preshift and intrashift access control of ATC to the resources of information systems // Proceedings of The Fourth world congress “Aviation in the XXI-st century”, vol.1. – K.: NAU, 2010. – P.17.22-17.25

44. Темников В.А., Темникова Е.Л., Конфорович И.В. Параметризация нейронных сетей для голосовой аутентификации операторов // XII Міжнародна наукова конференція "Інтелектуальний аналіз інформації" (IAI-2012). Збірник праць. – К.: Просвіта, 2012. – С.254-258

45. Темников В.А., Темникова Е.Л. Принципы построения систем информационной поддержки принятия решений на авиатранспортных предприятиях // XVII Міжнародна наукова конференція "Інтелектуальний аналіз інформації" (IAI-2017). Збірник праць. – К.: Просвіта, 2017. – С.222-228

46. Темніков В.О., Темніков А.В. Принципи побудови систем інформаційної підтримки прийняття рішень на авіаційних підприємствах // Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання». Матеріали конференції. – Івано-Франківськ, 2017. – С.32-35

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	18
ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З КОНТРОЛЮ Й УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ.....	34
1.1. Аналіз сучасних засобів організації контролю функціонального стану авіадиспетчерів.....	35
1.1.1. Аналіз сучасних засобів інформаційної підтримки прийняття рішень особами, що приймають управлінські рішення.....	35
1.1.2. Аналіз сучасних методів організації контролю функціонального стану авіадиспетчерів.....	37
1.2. Огляд моделей та методів управління.....	41
1.2.1. Огляд і класифікація моделей предметної області.....	41
1.2.2. Аналіз сучасних методів досліджень для використання при контролі та управлінні функціональністю авіадиспетчерів.....	47
1.2.3. Оцінювання якості роботи служби управління повітряним рухом з урахуванням ризиків.....	50
1.2.4. Оцінювання якості роботи служби управління повітряним рухом методами ймовірнісного аналізу.....	54
1.3. Огляд моделей і методів прогнозування.....	57
1.4. Особливості проблемної області.....	70
1.4.1. Аналіз факторів, що негативно впливають на якість роботи авіадиспетчерів.....	70
1.4.2. Особливості проблемної області, що визначають основні напрямки дисертаційних досліджень.....	74
1.5. Постановка задач дисертаційного дослідження.....	76
1.6. Висновки до першого розділу	77

Список використаних джерел в першому розділі.....	80
РОЗДІЛ 2. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ	
ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ.....	89
2.1. Концепція управління функціональністю авіадиспетчерів.....	89
2.1.1. Принципи забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень особами, що приймають управлінські рішення.....	89
2.1.2. Принципи побудови інформаційної технології забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень з управління функціональністю авіадиспетчерів.....	91
2.1.3. Перманентний контроль показників функціональності авіадиспетчерів.....	96
2.2. Модель та метод інформаційної підтримки прийняття рішень.....	98
2.3. Прогнозування змінення стану авіадиспетчерів.....	104
2.3.1. Урахування зовнішніх факторів у прогностичних моделях.....	104
2.3.2. Застосування динамічних функціональних схем для аналізу та прогнозування процесів переходу авіадиспетчерів зі стану в стан.....	107
2.3.3. Прогнозування знаходження авіадиспетчерів у певному стані.....	109
2.3.4. Прогнозування ймовірності переходу групи людей з одного стану до іншого.....	115
2.4. Управління функціональністю авіадиспетчерів.....	118
2.5. Робочі операції діяльності авіадиспетчерів.....	122
2.6. Процедура оцінювання оперативності управління функціональністю авіадиспетчерів.....	132
2.7. Висновки по другому розділу.....	136
Список використаних джерел в другому розділі.....	140

РОЗДІЛ 3. ПРЕВЕНТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ.....	145
3.1. Основні положення превентивного управління функціональністю авіадиспетчерів	145
3.2. Процедура превентивного управління функціональним станом авіадиспетчерів.....	149
3.3. Метод отримання агрегованої оцінки.....	155
3.4. Процедура оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на показники функціонального стану авіадиспетчерів.....	159
3.5. Особливості застосування процедури оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на показники функціонального стану авіадиспетчерів в процесі передзмінного контролю.....	165
3.6. Висновки до третього розділу	166
Список використаних джерел в третьому розділі	168
РОЗДІЛ 4. ОПЕРАТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНИМ СТАНОМ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ.....	172
4.1. Основні положення оперативного управління психофізіологічним станом авіадиспетчерів.....	172
4.2. Модель і метод оперативного управління психофізіологічним станом авіадиспетчерів протягом робочої зміни.....	177
4.3. Внутрішньозмінний контроль психофізіологічного стану та аутентифікація авіадиспетчерів за голосом.....	184
4.3.1. Принципи проведення голосового внутрішньозмінного контролю за діями авіадиспетчерів.....	185
4.3.2. Етапи проведення голосового внутрішньозмінного контролю психофізіологічного стану та аутентифікації авіадиспетчерів.....	186
4.4. Параметризація мовних сигналів в процесі проведення внутрішньозмінного голосового контролю авіадиспетчерів.....	192

4.4.1. Вибір типу параметрів мовних сигналів для їх застосування в модулях параметризації мовного сигналу підсистем розпізнавання (аутифікації) контрольованих осіб.....	192
4.4.2. Етапи параметризації «ключових» мовних фрагментів.....	195
4.5. Принципи проведення класифікації мовних сигналів в процесі внутрішньозмінного контролю психофізіологічного стану та аутифікації авіадиспетчерів.....	201
4.6. Моніторинг психофізіологічного (емоційного) стану авіадиспетчерів за «ключовими» мовними фрагментами.....	203
4.7. Методика забезпечення підвищеного рівня очищення мовного сигналу від шумів та завад.....	209
4.8. Підвищення якості роботи систем аутифікації авіадиспетчерів.....	212
4.9. Висновки до четвертого розділу.....	221
Список використаних джерел в четвертому розділі.....	225
РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.....	230
5.1. Основні положення створення системи інформаційної підтримки прийняття рішень стосовно функціональності авіадиспетчерів.....	230
5.2. Практична реалізація методів та моделей превентивного управління функціональним станом авіадиспетчерів.....	233
5.2.1. Архітектурні рішення побудови системи інформаційної підтримки прийняття рішень в процесі превентивного управління.....	233
5.2.2. Побудова системи інформаційної підтримки прийняття рішень в процесі оперативного управління.....	236
5.3. Структура бази даних та фреймова модель.....	240
5.4. Практична реалізація метода отримання агрегованої оцінки для визначення здатності авіадиспетчерів виконувати професійні обов'язки....	243

5.5. Практична реалізація процедури виявлення факторів, що мають визначальний вплив на якість роботи авіадиспетчерів.....	247
5.6. Методики.....	248
5.7. Практична реалізація результатів досліджень в області оперативного управління психофізіологічним (емоційним) станом авіадиспетчерів.....	255
5.8. Висновки до п'ятого розділу	259
Список використаних джерел в п'ятому розділі.....	260
ВИСНОВКИ.....	265
ДОДАТКИ.....	270

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ANN – artificial neural network

AR – модель авторегресії

ARIMAX – auto regression moving average external

CART – класифікаційно-регресійні дерева

CWW – перетворювач перцептивного комп'ютера

DM – decision makers

ER – модель «сутність – звязок».

ERC – матриця Event Risk Classification

ERD – діаграма ER-моделі

ES – модель експоненціального згладжування

FRMS – система управління факторами ризику, пов'язаними з втомою

FS – Flight safety

FuncS – functional state

FWA – нечітке середньозважене значення

GA – genetic algorithm

ICAO – International Civil Aviation Organization

ISDM – information support for decision-making

IWA – інтервальне зважене середнє

LWA – лінгвістичне зважене середнє

MA – модель змінного середнього

SHEL – Software-Hardware-Environment-Liveware

SVM – метод опорних векторів (support vector machine)

TF – transfer function

АБ – авіаційна безпека

БД – база даних

БДПК – база даних перманентного контролю

БЗ – база знань

БП – безпека польотів

ЕмС – емоційний стан

ІН – індекс напруження

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

КК – кепстральний коефіцієнт

ККЛП – кепстральний коефіцієнт лінійного передбачення

КЛП – коефіцієнт лінійного передбачення

ЛФ – людський фактор

МГОА – метод групового обліку аргументів

ОПР – особа, що приймає управлінські рішення

ПАРС – показник активності регуляторних систем

ПФР – психофізіологічний ресурс

ПФС – психофізіологічний стан

РОО – райдужна оболонка ока

САБ – служба авіаційної безпеки

СІППоР – система інформаційної підтримки прийняття оперативних рішень

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

СІППР – система інформаційної підтримки прийняття рішень

СКД – система контролю доступу

ССС – серцево-судина система

СУР – служба управління рухом

УПР – управління повітряним рухом

ФС – функціональний стан

ЧОТ – частота основного тону

ШНМ – штучна нейронна мережа

ВСТУП

Актуальність теми. Безпека польотів (БП) в значній мірі залежить від людського фактора (ЛФ), який проявляється у вигляді помилок пілотів повітряних суден та авіадиспетчерів, що можуть бути обумовлені їх знаходженням у неналежному функціональному стані (ФС) та недостатнім професіоналізмом (рівнем знань, навичок і вмінь).

Про необхідність рішення проблеми зниження впливу ЛФ на БП свідчить широке використання Міжнародною організацією цивільної авіації ІКАО моделі SHEL (Software-Hardware-Environment-Liveware) й зосередження на цьому уваги в багатьох документах ІКАО, таких як Дос 8984, Дос 9422, Дос 9683, Дос 9859, Дос 9966, Додатки 1 і 19 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію та інші. Зокрема, документи ІКАО фіксують велику важливість підвищення якості контролю та управління функціональністю (спроможністю виконувати функціональні обов'язки на належному рівні) авіадиспетчерів з боку осіб, які приймають управлінські рішення (ОПР) протягом усієї виробничої діяльності авіадиспетчерів, в процесі проведення різних контрольних заходів. Але його неможливо досягти без надання ОПР інформаційної підтримки при прийнятті управлінських рішень – як в процесі проведення превентивного управління функціональністю авіадиспетчерів, так і безпосередньо в процесі виконання ними функціональних обов'язків протягом робочої зміни.

На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій (ІТ) існує об'єктивне протиріччя між, з одного боку, наявністю великої кількості показників ФС і рівня професіоналізму, які необхідно контролювати, значною кількістю факторів, що впливають на ФС (в тому числі, випадкових), залученням до оцінювання різних складових ФС і рівня професіоналізму під час проведення контрольних заходів великої кількості експертів – фахівців у різних галузях медицини та техніки, а з іншого боку – відсутністю

інструментарію, який би допомагав ОПР якісно та ефективно оцінювати та контролювати ФС і рівень професіоналізму авіадиспетчерів, обирати кращих з наявних кандидатів на зайняття вакантних посад, відстежувати та прогнозувати змінення ФС авіадиспетчерів протягом усієї їхньої виробничої діяльності.

Необхідність розв'язання зазначеного протиріччя вимагає розробки нових моделей, методів та ІТ, які б дозволили проводити збір, обробку, аналіз та прогнозування змінень показників ФС (в першу чергу, такої його складової, як психофізіологічний стан) та рівня професіоналізму авіадиспетчерів на різних стадіях їхньої виробничої діяльності, при проведенні різних контрольних заходів. Їх розробка повинна бути заснована на використанні нових підходів до опису предметної області, застосуванні сучасного апарату обчислювального інтелекту, розробки нового алгоритмічного та програмного забезпечення.

Питання розробки ІТ, моделей, методів, алгоритмів, схем тощо, які охоплюють широке коло математичних та прикладних проблем інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень (ІППР), в тому числі, для підвищення ефективності контролю та управління функціональністю авіаційного персоналу з метою зниження впливу ЛФ на БП, висвітлені у роботах зарубіжних та вітчизняних авторів: С. А. Айвазяна, Р. Белмана, В. Л. Волковича, Б. М. Герасимова, В. А. Глотова, Л. Ф. Гуляницького, В. І. Іваненко, М. Г. Загоруйка, Л. Заде, Д. Канемана, Р. Л. Кіні, В. В. Козловського, О. Є. Литвиненка, О. В. Лотова, Д. М. Менделя, Л. М. Мистецького, В. С. Михалевича, Б. Г. Міркіна, В.М. Михайленка, В. Д. Ногіна, О. І. Орлова, С. А. Орловського, В. В. Павельєва, Н. Д. Панкратової, Д. А. Поспелова, Х. Райфа, Т. Сааті, Г. Саймона, Н. В. Семенової, І. В. Сергієнка, П. Словіка, Є. В. Снитюка, В. Л. Стефанюка, А. Тверські та інших.

Зважаючи, що комплексне дослідження питань застосування ІТ для зниження впливу ЛФ на БП на теренах України перебуває на початковій стадії, основна увага при проведенні дисертаційного дослідження приділялась

розробленню нових моделей, методів та ІТ, застосування яких дозволяє підвищити якість контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів протягом усієї їхньої виробничої діяльності.

Значно ускладнює вирішення поставлених завдань наявність істотного впливу на ФС авіадиспетчерів великої кількості зовнішніх і внутрішніх небезпечних факторів (часто таких, що мають випадковий характер), невизначеність та неоднозначність багатьох термінологічних та інших питань проблемної області, недостатня інформаційна забезпеченість осіб, що приймають управлінські рішення.

Отже, актуальною науково-прикладною проблемою є розробка методів інформаційної підтримки прийняття рішень з управління функціональністю авіадиспетчерів шляхом створення методологічних основ контролю показників їх ФС і рівня професіоналізму протягом усієї виробничої діяльності в умовах невизначеності впливу на ФС зовнішніх та внутрішніх небезпечних факторів з метою зниження впливу людського фактора на БП.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких викладено в дисертаційній роботі, виконувалося відповідно до державних програм та планів науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт Національного космічного агентства України, Служби безпеки України, Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України. Обраний у роботі напрям досліджень тісно пов'язаний з рядом науково-дослідних робіт, виконаних у Національному авіаційному університеті, у реалізації яких автор брав участь в якості керівника або відповідального виконавця. Отримані результати дисертаційної роботи відображені у звітах з таких НДР:

- «Створення методики та апаратно-програмної бази для моніторингу в польових умовах засобів захисту мовної інформації», шифр «140» (2004-2007рр.);

- «Методи та засоби технічного захисту інформації в сучасних умовах», шифр «59/14-02-02» (2008-2012pp.);

- «Системи контролю доступу за біометричними ознаками людини», шифр «23/14.01.04» (2013-2017pp.);

- «Інформаційна та авіаційна безпека об'єктів критичної інфраструктури», шифр «35/14.01.04» (з 2019 р.; номер держреєстрації 0119U102297).

Результати дисертаційної роботи пропонується використовувати в науково-дослідних організаціях, авіапідприємствах та Міністерстві інфраструктури України під час побудови ефективних систем управління БП.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення безпеки польотів повітряних суден цивільної авіації шляхом створення методологічних основ контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати існуючі шляхи зниження впливу ЛФ на БП, сучасне методичне та інформаційне забезпечення контролю показників та управління ФС авіадиспетчерів та обґрунтувати вибір напрямку досліджень щодо розробки моделей, методів та ІТ контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів в умовах невизначеності впливу на ФС зовнішніх та внутрішніх небезпечних факторів.

2. Запропонувати концепцію забезпечення ІППР ОПР при здійсненні контролю показників й управління функціональністю авіадиспетчерів в умовах невизначеності впливу зовнішніх та внутрішніх небезпечних факторів.

3. Розробити метод ІППР, впровадження якого дозволить забезпечити інформаційну підтримку ОПР в прийнятті рішень щодо відповідності показників функціональності авіадиспетчерів нормативним вимогам під час різних контрольних заходів.

4. Розробити процедуру контролю показників й управління ФС і рівнем професіоналізму, яка дозволить здійснювати превентивне управління функціональністю авіадиспетчерів.

5. Розробити модель та метод оперативного управління функціональністю авіадиспетчерів, впровадження яких дозволить забезпечити ІППР ОПР при здійсненні внутрішньозмінного контролю показників ФС та управління ФС і діями авіадиспетчерів протягом робочої зміни при випадкових зовнішніх впливах і зміненнях працездатності авіадиспетчерів.

6. Розробити способи підвищення якості контролю психофізіологічного стану (ПФС) та за діями авіадиспетчерів протягом робочої зміни.

7. Розробити інформаційну технологію забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень ОПР з використанням розроблених моделей і методів контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів на різних стадіях їхньої виробничої діяльності.

8. Для впровадження розроблених моделей, методів та ІТ розробити програмні засоби підсистем інформаційної системи ІППР ОПР з управління функціональністю авіадиспетчерів.

9. Провести експериментальні дослідження з метою перевірки адекватності розроблених моделей та достовірності отриманих результатів.

Об'єктом дослідження є процеси отримання, обробки та аналізу інформації для здійснення інформаційної підтримки прийняття раціональних управлінських рішень.

Предметом дослідження є моделі, методи та ІТ інформаційної підтримки прийняття рішень з управління функціональністю авіадиспетчерів в умовах невизначеності впливу на ФС зовнішніх і внутрішніх небезпечних факторів.

Методи дослідження. При проведенні досліджень використовувались такі методи: методи теорій прийняття рішень – для вирішення задач інформаційної підтримки 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 та 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. Експериментальні дослідження та перевірка на практиці проводилися з використанням сучасних методик в умовах діючого аеропорту із застосуванням сучасної комп'ютерної техніки. Достовірність висновків і результатів, доказовість рекомендацій дослідження підкріплюються використанням достовірних вихідних даних, а також експертним аналізом, проведеним на ряді українських підприємств авіаційної галузі.

Наукова новизна одержаних результатів. Результати досліджень формують новий науковий напрямок інформаційно-аналітичного супроводу процесу контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів протягом усієї професійної діяльності, який засновано на застосуванні розроблених методів та ІТ контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів на різних стадіях виробничої діяльності.

В дисертаційній роботі вперше вирішується проблема надання ОПР інформаційної підтримки при прийнятті управлінських рішень на основі методів вербального експертного оцінювання показників ФС та професіоналізму авіадиспетчерів з використанням лінгвістичних змінних та вдосконалення методик проведення контролю ФС авіадиспетчерів на основі аналізу їх психофізіологічного стану.

Наукову новизну становлять такі основні результати:

- *вперше розроблено* метод ІППР, який на основі впровадження перманентного контролю показників функціональності авіадиспетчерів протягом усієї їхньої виробничої діяльності, розрахунку й аналізу узагальнених показників функціональності та прогнозування змінень ФС і рівня професіоналізму з використанням показників, які мають визначальний вплив на функціональність, дозволяє забезпечити ОПР додатковою інформацією стосовно здатності та готовності авіадиспетчерів виконувати функціональні обов'язки, що дає можливість підвищити обґрунтованість прийняття ОПР управлінських рішень і на більш ранніх стадіях виробничої діяльності авіадиспетчерів виявити осіб, які мають недостатній фізіологічний та/або психологічний ресурс і потребують проведення з ними коригувальних заходів;

- *вперше розроблено* модель отримання агрегованої оцінки показників ФС і рівня професіоналізму авіадиспетчерів, яка на основі застосування графових моделей та перцептивних обчислень дозволяє отримати узагальнену оцінку ФС і рівня професіоналізму авіадиспетчерів, що дає можливість здійснювати превентивне управління ФС і рівнем професіоналізму авіадиспетчерів;

- *вперше розроблено* метод отримання агрегованої оцінки показників ФС і рівня професіоналізму авіадиспетчерів, який за рахунок зниження суб'єктивності експертного оцінювання та структуризації простору показників ФС і рівня професіоналізму із застосуванням моделі отримання агрегованої оцінки дозволяє отримати узагальнену оцінку ФС і рівня професіоналізму авіадиспетчерів, що дає можливість проводити їх ранжирування та класифікацію в процесі превентивного управління функціональністю авіадиспетчерів;

- *вперше розроблено* модель та метод оперативного управління функціональністю авіадиспетчерів протягом робочої зміни, які на основі

забезпечення ШПР за рахунок послідовно проведених оцінювання показників стану серцево-судинної системи (ССС) та параметрів мовних сигналів, отриманих під час сеансів аудіозв'язку між авіадиспетчерами та пілотами, діагностування та прогнозування змінень ПФС авіадиспетчерів дозволяє підвищити якість внутрішньозмінного контролю показників ФС та оперативного управління функціональністю авіадиспетчерів при випадкових зовнішніх впливах і зміненнях працездатності авіадиспетчерів;

- *вперше розроблено* метод підвищення якості контролю ПФС авіадиспетчерів, який на основі застосування розробленої системи параметрів мовних сигналів та обґрунтованого вибору їх значень дозволяє підвищити швидкодію системи інформаційної підтримки прийняття оперативних рішень (СППОР) протягом робочої зміни при забезпеченні відсотка правильної аутентифікації і визначення ФС вище 98% і дає можливість проводити внутрішньозмінний голосовий контроль емоційного стану (ЕМС) авіадиспетчерів і контроль їхнього доступу до інформаційних ресурсів в режимі реального часу;

- *удосконалено* метод параметризації мовного сигналу, який, на відміну від відомих, на основі застосування нового підходу до створення системи параметрів дозволяє зменшити кількість параметрів, які характеризують мовний сигнал, що дає можливість застосувати штучні нейронні мережі для аутентифікації та контролю ПФС авіадиспетчерів.

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблені в процесі виконання дисертаційних досліджень моделі, методи та ІТ управління доведені до практичної реалізації в інформаційно-аналітичних системах інформаційної підтримки прийняття рішень для використання в процесі управління функціональністю авіадиспетчерів. Розроблене методологічне забезпечення управління функціональністю є науково-методичною основою для розробки відповідних методик, алгоритмів та програмних продуктів.

Тема дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з виконанням концепції розвитку безпеки авіації в Україні.

Отримані наукові результати є методологічною базою для розробки та впровадження ефективних засобів контролю показників та управління функціональністю у вигляді програмних та програмно-апаратних модулів.

Практичне значення полягає у такому:

1. Впровадження методів теорії обчислювального інтелекту (у першу чергу – нечітких множин) та перцептивних обчислень дозволило підвищити якість контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів в умовах невизначеності впливу зовнішніх та внутрішніх небезпечних факторів і неповноти інформації.

2. Застосування розробленої методики проведення контролю показників ФС авіадиспетчерів на основі впровадження контролю їхнього психофізіологічного ресурсу та ПФС дозволяє покращити контроль здатності та готовності авіадиспетчерів виконувати свої функціональні обов'язки.

3. Застосування методу ІППР в процесі контролю показників ФС авіадиспетчерів впродовж всієї виробничої діяльності, а також моніторингу їх ПФС протягом робочої зміни, дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення про необхідність проведення коригувальних заходів.

4. Застосування методу параметризації мовного сигналу за рахунок зменшення кількості його параметрів дозволяє спростити та в 2-3 рази прискорити процес контролю ПФС авіадиспетчерів.

5. На основі реалізації методів контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів розроблено і впроваджено складові програмного комплексу, застосування яких забезпечує контроль показників та управління функціональністю авіадиспетчерів.

6. Застосування методу отримання агрегованої оцінки дозволяє вдосконалити методику професійного добору і надає інструмент для його проведення.

7. Застосування розробленої методики проведення занять на тренажерах дозволяє отримати додаткову інформацію, необхідну для розрахунку ймовірності знаходження авіадиспетчерів протягом зміни в певному стані.

8. Застосування розробленої структури бази даних авіадиспетчерів та методу отримання агрегованої оцінки дозволяє розробити базу даних для відстеження змінень рівня здатності авіадиспетчерів виконувати функціональні обов'язки.

9. Результати проведених досліджень впроваджені в міжнародному аеропорту «Київ», Головному центрі спеціального контролю Національного космічного агентства України, Національному авіаційному університеті та Київському національному університеті будівництва і архітектури.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійно виконаним науково-прикладним дослідженням, в якому висвітлені власні ідеї та розробки, які дозволили розв'язати поставлені завдання. Основні положення і результати дисертаційної роботи, що виносяться до захисту, отримані здобувачем самостійно. Робота містить теоретичні та методичні положення і висновки, сформульовані дисертантом особисто. Автору особисто належить методологія контролю показників та управління ФС авіадиспетчерів, усі наукові та практичні результати роботи. Шістнадцять статей опубліковано без співавторів.

З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертаційній роботі використані ідеї та положення, які є результатом індивідуальної праці автора. У наукових роботах, написаних у співавторстві, автору належать: постановка задач; [3, 4, 6, 8, 13-17, 27, 29, 32, 35, 37-41, 45, 46] – розробка моделей і методів інформаційної підтримки прийняття рішень; [1, 2, 5, 18, 20, 29, 36] – розробка й реалізація моделей і методів превентивного управління функціональністю авіадиспетчерів; [8, 9, 13-17, 19, 21, 22, 24, 25, 27, 30, 31, 33, 34, 37, 38, 42-44] – розробка й реалізація моделей і методів оперативного

управління функціональністю авіадиспетчерів. З робіт, що опубліковані у співавторстві, у роботі використовуються виключно результати, отримані особисто здобувачем.

Програмні засоби як реалізація конкретних методів, моделей і алгоритмів при вирішенні актуальних прикладних задач розроблені під керівництвом і за безпосередньої участі здобувача.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на науково–технічних конференціях та семінарах, серед яких: Міжнародна науково-технічна конференція "AVIA" (м.Київ, 2000, 2001, 2002, 2004, 2006, 2011, 2015, 2017, 2019), II Міжнародний конгрес "Розвиток інформаційного суспільства в Україні" (м. Київ, 2001), Міжнародна наукова конференція "Інтелектуальний аналіз інформації" (м. Київ, 2005, 2006, 2007, 2008, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017), Науково-практична конференція "Інтегровані інформаційні технології та системи" (м.Київ, 2005), Науково-практична конференція "Захист в інформаційно-комунікаційних системах" (м. Київ, 2006, 2008, 2009, 2010), Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та безпека в управлінні» (м. Ялта, 2006, 2007, м. Євпаторія, 2008, м. Кореїз, 2009, м. Одеса, 2010, м. Севастополь, 2011, 2012, 2013), Міжнародна науково-практична конференція "Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси" (м. Київ, 2008, 2009, 2010), Міжнародна науково-технічна конференція "Комп'ютерні системи та мережеві технології" (м. Київ, 2009, 2013), Всесвітній конгрес «Авіація у ХХІ столітті. Безпека в авіації та космічні технології» (м. Київ, 2010, 2012, 2018), Науково-технічна конференція «Безпека інформаційних технологій» (м. Київ, 2011), Міжнародна науково-технічна конференція «Системний аналіз та інформаційні технології» (м. Київ, 2014), Міжнародна науково-технічна конференція «Захист інформації і безпека інформаційних систем» (м. Львів: 2014, 2015), Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні

технології та комп'ютерна інженерія» (м. Івано-Франківськ, 2015, 2016, 2017), Scientific and Professional Conference "Advances in the natural sciences and engineering-2015" (м. Будапешт, Угорщина, 2015), Міжнародна наукова конференція "Ukraine – Bulgaria –European Union: Contemporary State and Perspectives" (м. Варна, Болгарія, 2015, 2016, 2018), Scientific and Professional Conference "Natural, Mathematical and Technical sciences" (м.Будапешт, Угорщина, 2015, 2017), Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації» (м. Київ, 2015, 2016, 2017), Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології науки та освіти: Європейські стандарти» (м. Познань, Польща, 2017), Міжнародна наукова конференція «Actual Problems of Science and Education» (м.Будапешт, Угорщина, 2018), 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (м. Київ, 2018), 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (м. Київ, 2018), 7th World Conference of Soft Computing (Baku, Azerbaijan, 2018), XVIII International Conference on Data Science and Intelligent Analysis of Information (м. Київ, 2018), 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (м.Київ, 2018), IEEE International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (м.Харків, 2018).

Публікації за темою дисертації. Результати дисертаційної роботи викладені у 113 наукових працях (46 основних з яких наведено в авторефераті), у тому числі 5 наукових статей у міжнародних рецензованих виданнях, що входять до баз даних Scopus (1 у періодичних [1] і 4 у неперіодичних [2-5] виданнях), 29 наукових статей у закордонних [6-9] і вітчизняних [10-34] фахових наукових журналах, які входять до інших міжнародних наукових баз даних (Google Scholar, Scientific Indexed Service (США), Ulrichs Web Global Serials Directory, Union Of International Associations Yearbook, SCRIBD, Academic Resource Index, General Impact Factor (ЄС), Index

Copernicus (Польща) тощо), а також 11 матеріалів і тез доповідей на міжнародних закордонних [36-39] та вітчизняних [40-46] конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, додатків, списку використаних джерел у кінці кожного розділу основної частини дисертації і має 269 сторінок основного тексту, 40 рисунків і 16 таблиць. Список використаних джерел містить 214 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 332 сторінки.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З КОНТРОЛЮ Й УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ

В першому розділі наведені результати аналізу нормативних документів та літературних джерел відносно засад інформаційної підтримки прийняття рішень, оцінювання, контролю та управління функціональністю авіадиспетчерів, зокрема:

- проаналізовані основні фактори, які впливають на якість роботи УПР співробітниками служби управління рухом (командно-диспетчерського пункту (КДП));

- особливості проблемної області, що ускладнюють вирішення завдань, поставлених в дисертаційній роботі, та визначають основні напрямки дисертаційних досліджень з управління функціональністю авіадиспетчерів;

- показано, що висока якість УПР може бути забезпечена лише як результат управління функціональністю авіадиспетчерів, відзначена особлива роль ОПР в забезпеченні високої якості УПР авіадиспетчерами;

- відзначається, що підвищення якості управління функціональністю авіадиспетчерів неможливо досягнути без застосування ефективної інформаційної підтримки ОПР при прийнятті ними управлінських рішень.

Аналіз проблемної області проводився з урахуванням положень таких нормативних документів ІКАО та України: Doc 8973/9, Doc 9859, Приложение 17 к Конвенции о международной гражданской авиации «Управление безопасностью полетов, Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации «Управление безопасностью полетов», Doc 9808, Doc 8984, Doc 30 та «Повітряний Кодекс України» [1-8].

1.1. Аналіз сучасних засобів організації контролю функціонального стану авіадиспетчерів

1.1.1. Аналіз сучасних засобів інформаційної підтримки прийняття рішень особами, що приймають управлінські рішення

Ніяка діяльність людини або створена нею система не гарантована від повної відсутності експлуатаційних помилок та їх наслідків.

У документах ІКАО [1,2] 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 основу проведення дисертаційних досліджень була закладена ідея про необхідність проведення комплексного управління функціональністю авіадиспетчерів – поєднання проактивного (превентивного, заснованого на

проактивному та прогнозному підходах до пошуку небезпечних факторів) та оперативного управління.

У документах [1,7] підкреслюється необхідність розстановки акцентів на найбільш важливих і критичних питаннях, які необхідно вирішити, щоб підвищити безпеку польотів повітряних суден. Зважаючи на те, що, відповідно до документів ІКАО [1,2,5], однією з основних загроз безпеці польотів повітряних суден є людський фактор, що проявляється у вигляді ненавмисних неправомірних дій (помилки), основна увага при проведенні дисертаційних досліджень приділялась розробленню моделей та методів управління функціональністю авіадиспетчерів на основі застосування заходів, спрямованих на зниження впливу на безпеку людського фактора, та організаційних заходів, направлених на підвищення якості роботи авіадиспетчерів, завданням яких є забезпечення якісного УПР.

У документі ІКАО [2] 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 [2,5], ненавмисні помилки співробітників служб авіапідприємств, обумовлені їх втомою, непередбачуваною зміною працездатності і переходом в неналежний емоційний стан (ЕмС), пов'язані з постійним нервово-емоційним напруженням, яке відчують авіадиспетчери під час виконання своїх функціональних обов'язків.

Відмітимо, що серед управлінських систем документ ІКАО [2] виділяє дві, що мають безпосереднє відношення до впливу людського фактора на БП повітряних суден – це система диспетчерського управління і система управління факторами ризику, пов'язаними з втомою (FRMS).

В процесі дисертаційних досліджень в якості основних напрямків протидії загрозам безпеці розглядалися підвищення якості роботи співробітників СУР, в першу чергу – дій диспетчерів УПР (авіадиспетчерів).

1.1.2. Аналіз сучасних методів організації контролю функціонального стану авіадиспетчерів

Одним з напрямків зниження впливу людського фактора на безпеку є підвищення якості контролю за ФС авіадиспетчерів з боку осіб, які приймають рішення про ступінь здатності і готовності авіадиспетчерів виконувати функціональні обов'язки.

Завдання контролю – виявлення серед практично здорових людей осіб з високим напруженням регуляторних систем і підвищеним ризиком зриву адаптації. Здоровий організм, володіючи достатнім запасом функціональних можливостей, відповідає на стресовий вплив робочим напруженням регуляторних систем. Однак, якщо людина не має достатніх функціональних резервів, навіть в умовах спокою напруженість регуляторних систем може бути високою.

Аналіз показав, що в даний час ФС авіадиспетчерів визначається в процесі проведення таких контрольних заходів:

- контроль рівня професіоналізму (рівня знань)– при прийомі на роботу і в процесі проведення періодичного контролю;
- контроль стану здоров'я, стресо- і емоційної стійкості, фізичної витривалості та інших показників психологічного, психічного, фізичного і фізіологічного стану людини – при прийомі на роботу та в процесі проведення періодичного, передзмінного і внутрішньозмінного контролю [2,5, 6].

При прийомі на роботу і в процесі періодичного контролю на основі результатів оцінювання якості ФС визначається здатність контрольованих осіб виконувати функціональні обов'язки авіадиспетчера.

В процесі передзмінного контролю на основі результатів оцінювання ФС виявляється ступінь готовності авіадиспетчера виконувати функціональні обов'язки протягом робочої зміни.

Внутрішньозмінний психофізіологічний контроль призначений для визначення параметрів поточного стану нервової системи людини, виявлення ознак відхилень у функціональній системі організму, симптомів депресії, втоми, стресового або тривожного стану протягом зміни. Результати внутрішньо змінного моніторингу дають можливість оперативно виявляти стани перенапруження, стомлення та сонливості, які можуть привести до аварійних ситуацій. Проведення моніторингу працездатності та ПФС авіадиспетчерів протягом зміни (внутрішньозмінний моніторинг) є актуальним з метою визначення:

- тривалості різних фаз працездатності кожного авіадиспетчера;
- моменту часу, коли працездатність авіадиспетчера знижується до критичного рівня;
- фізіологічної ціни діяльності.

Основними недоліками при застосуванні сучасних методів організації контролю ФС на різних етапах виробничої діяльності авіадиспетчерів є [12-14]:

1. ОПР дає позитивний висновок про можливість кандидата на зайняття вакантної посади «авіадиспетчер» виконувати функціональні обов'язки на основі позитивних висновків, даних членами лікарської і екзаменаційної комісії - фахівцями в різних областях медицини, техніки тощо. В свою чергу, члени комісії дають висновки «придатний», якщо кандидат задовольняє мінімуму вимог, що пред'являються. Це робить дуже ймовірним прийом на роботу осіб, ФС яких задовольняє лише мінімально допустимим вимогам. У ОПР, при цьому, відсутня можливість проводити ранжування кандидатів та вибирати найбільш гідних з них.

При проведенні набору і періодичного контролю експерти-лікарі в даний час оцінюють стан різних органів людини за схемою «придатна» / «не придатна» людина до виконання посадових обов'язків, що не дозволяє

проводити ранжування людей за ступенем (рівнем) здатності виконувати виробничі обов'язки та якості їх ФС – тобто вибрати кращих з кандидатів.

Зауважимо при цьому, що, як зазначається в [5], міжнародних стандартів відбору найбільш підходящих кандидатів для роботи в сфері забезпечення безпеки цивільної авіації не існує. У зв'язку з необхідністю постійно задовольняти потреби в укомплектуванні оперативним персоналом, політиці, процедурам і порядку відбору приділяється мінімальна увага. Зокрема, відсутні конкретні критерії відбору операторів за оглядом, належним чином затверджені процедури і будь-які методи психометричної оцінки.

2. У осіб, що приймають управлінські рішення за підсумками періодичного і передзмінного контролю, відсутня інформація, що дозволяє виявляти тенденції зміни якості ФС (а за підсумками періодичного контролю – також і рівня професіоналізму). Це не дозволяє протиділяти увагу розвитку негативних тенденцій на ранніх стадіях виробничої діяльності авіадиспетчерів.

3. Експерти - члени лікарських та екзаменаційних комісій в даний час оцінюють окремі фактори ФС і професіоналізму дихотомічно, тобто за схемою: задовольняють або не задовольняють показники контрольованих осіб мінімально допустимим вимогам. У них відсутній досвід виставлення диференційованих оцінок, за якими можна було б отримати агреговані оцінки якості ФС і рівня професіоналізму [5,6].

4. Те, що показники, що характеризують окремі фактори ФС і професіоналізму, не є однорідними, не дає можливості ОПР отримати узагальнену (агреговану) оцінку для кожної контрольованої особи. А це, в свою чергу, не дозволяє порівнювати між собою показники ФС і професіоналізму для вибору кращих кандидатів та виявлення негативних тенденцій їх зміни від одних контрольних заходів до інших.

5. При підведенні підсумків контрольних заходів не враховується суб'єктивний характер роботи експертів при оцінюванні факторів ФС і професіоналізму авіадиспетчерів.

6. Між моментами часу проведення періодичного контролю виконується робота (перевірка показників) на тренажерах, підвищення кваліфікації, навчання з відпрацювання спільних дій. Однак при цьому, відсутні методи, а також чіткі показники і критерії, які б можна було б застосовувати для контролю здатності співробітників продовжувати виконувати виробничі обов'язки, та показники, за якими можна було б виявляти негативні тенденції їх зміни і на ранніх стадіях коригувати.

7. Готовність співробітників служб авіапідприємств виконувати виробничі обов'язки відповідно до нормативних документів лікар визначає в процесі передзмінного медичного контролю (огляду). При цьому зауважимо, що лікар оцінює стан людини лише в даний конкретний момент, не фіксуючи показники, за якими можна було б фіксувати тенденції зміни ПФР людини.

8. Протягом зміни контролюючі особи здійснюють лише візуальний контроль за діями співробітників САБ, охорони та авіадиспетчерів, що не дає їм можливості відслідковувати зміни ФС співробітника в реальному режимі часу.

Зазначені недоліки зумовлюють необхідність:

- розробки нових методів оцінювання та аналізу ФС співробітників авіапідприємств, які б забезпечили комплексний системний підхід до визначення здатності і готовності співробітників виконувати функціональні обов'язки, а також дозволяв своєчасно вловлювати тенденцію збільшення ступеня втоми та зменшення працездатності співробітника, своєчасно фіксувати та повідомляти ОПР про настання несприятливих тенденцій в зміні ФС;

- проведення аналізу сучасних методів дослідження з метою їх застосування при розробці інформаційної технології, яка була б основою для

побудови систем інформаційної підтримки ОПР при прийнятті ними управлінських рішень.

Вищесказане свідчить про нагальну необхідність підвищувати якість управління функціональністю авіадиспетчерів, в тому числі, шляхом:

- підвищення якості відбору авіадиспетчерів;
- більш ретельного контролю за функціональністю авіадиспетчерів впродовж усієї їхньої виробничої діяльності.

Але цього неможливо досягти без розробки нових методологічних основ та технологій управління ФС людини.

Для усунення недоліків в організації роботи авіадиспетчерів і помилкових дій авіадиспетчерів в системі протидії загрозам безпеці на всіх рівнях застосовують СППР ОПР.

В основі управління функціональністю авіадиспетчерів лежить оцінювання ФС авіадиспетчерів (в тому числі – якості контрольних заходів). Тому одними з найважливіших завдань, які необхідно вирішити для забезпечення високої якості УПР, є аналіз існуючих та розробка нових методів оцінювання ФС авіадиспетчерів. Аналіз та розробку методів оцінювання необхідно проводити з врахуванням особливостей проблемної області.

1.2. Огляд моделей та методів управління

1.2.1. Огляд і класифікація моделей предметної області

Згідно узагальненої теорії моделювання класифікувати моделі можна за різними системами ознак.

По фактору часу можна виділити статичні та динамічні. Статичні – моделі, що описують стан системи в певний момент часу (одноразовий зріз інформації по даному об'єкту). Динамічні – моделі, що описують процеси зміни і розвитку системи (зміни об'єкта в часі).

За формою представлення моделі поділяються на матеріальні і абстрактні. Матеріальні – це предметні (фізичні) моделі, які завжди мають реальне втілення. Вони відображають зовнішню властивість і внутрішній устрій вихідних об'єктів, суть процесів і явищ об'єкта-оригіналу. Є основою експериментальних методів пізнання навколишнього середовища. Абстрактні (нематеріальні) не мають реального втілення; їх основу складає інформація; вони є основою теоретичних методів пізнання навколишнього середовища.

За ознакою реалізації методи діляться на уявні, вербальні та інформаційні. Уявні моделі формуються в уяві людини в результаті роздумів, висновків, іноді у вигляді деякого образу. Ця модель сприяє свідомій діяльності людини. Вербальні – це моделі, виражені в розмовній формі і використовуються для передачі думок. Щоб інформацію можна було використовувати для обробки на комп'ютері, необхідно мати строгі формальні моделі – інформаційні.

Інформаційні моделі

Інформаційні моделі – цілеспрямовано відібрана інформація про об'єкт, яка відображає найбільш істотні для дослідника властивості цього об'єкта. Інформаційні моделі діляться на системно-інформаційні (інфосистемні) і інформаційно-логічні (інфологічні).

У вузькому розумінні інформаційна модель – це модель, що описує, вивчає, актуалізує інформаційні зв'язки і відношення в досліджуваній системі. У ще більш вузькому розумінні інформаційна модель – це модель, заснована на даних, структурах даних, їх інформаційно-логічному поданні та обробці.

Як широке, так і вузьке розуміння інформаційної моделі, необхідне, і визначаються вирішуваною проблемою і доступними для її вирішення ресурсами, в першу чергу інформаційно-логічними.

Реалізувати інформаційні моделі можна у вигляді таблиць, ієрархій або мереж: табличні – об'єкти і їх властивості представлені у вигляді списку;

ієрархічні – об'єкти розподілені за рівнями; мережеві – застосовують для відображення систем, в яких зв'язки між елементами мають складну структуру.

За ступенем формалізації інформаційні моделі діляться на образно-знакові та знакові.

За формою подання образно-знакових моделей серед них можна виділити такі групи:

- геометричні моделі, що відображають зовнішній вигляд оригіналу;
- структурні моделі, що відображають будову об'єктів і зв'язки їх параметрів (таблиця, граф, схема, діаграма);
- словесні моделі, зафіксовані (описані) засобами природної мови;
- алгоритмічні моделі, що описують послідовність дій.

Знакові моделі можна розділити на такі групи:

- математичні моделі, представлені математичними формулами, що відображають зв'язок різних параметрів об'єкта, системи або процесу;
- спеціальні моделі, представлені на спеціальних мовах;
- алгоритмічні моделі.

Тип моделі залежить від інформаційної суті об'єкта, що моделюється, від зв'язків і відношень його підсистем та елементів. Межі між моделями різних типів або ж віднесення моделі до того чи іншого типу часто досить умовні.

За різними режимами використання інформаційні моделі поділяються на імітаційні, стохастичні тощо.

Для побудови інформаційної технології важливим є моделювання представлення знань та баз даних.

Моделі представлення знань

Представлення знань – це спосіб формального опису знань для зберігання, зручного доступу і взаємодії з ними, який підходить для вирішення задачі. В даний час розроблено дуже багато моделей

представлення знань. Маючи узагальнену назву, вони розрізняються по ідеям, які лежать в їх основі, з точки зору математичної обґрунтованості.

Існують два підходи до моделювання знань: емпіричний та теоретичний.

Емпіричний підхід

Емпіричний підхід до моделювання знань заснований на вивченні принципів організації людської пам'яті і моделюванні механізмів вирішення завдань людиною. На основі цього підходу в даний час розроблені і отримали найбільшу популярність такі моделі:

- продукційні моделі – модель заснована на правилах, дозволяє уявити знання у вигляді пропозицій типу: «ЯКЩО умова, ТО дія». Продукція складається з двох частин: умова – антецедент, дія – консеквент. Умови можна поєднувати з допомогою логічних функцій AND, OR. Антецеденти і консеквенти складених правил формуються з атрибутів і значень. У базі даних діючої системи зберігаються правила, істинність яких встановлена заздалегідь під час вирішення певної задачі. Правило спрацьовує, якщо при зіставленні фактів, що містяться в базі даних з антецедентом правила, яке піддається перевірці, має збіг. Результат роботи правила заноситься в базу даних. Продукційна модель має недолік – при накопиченні досить великого числа (порядку декількох сотень) продукцій вони починають суперечити один одному;

- мережеві моделі (або семантичні мережі) – в інженерії знань під нею мається на увазі граф, що відображає зміст цілісного образу. Вузли графа відповідають поняттям і об'єктам, а дуги – відношенням між об'єктами. Особливістю є можливість виділити три основні типи відношень: вид-рід, елемент-клас, частина-ціле. За кількістю властивих мережі типів відношень виділяють однорідні і неоднорідні семантичні мережі. Однорідні мають один тип відношень між усіма поняттями, отже, неоднорідні мають декілька типів відношень;

- фреймова модель – ґрунтується на понятті «фрейм», під яким розуміється структура даних для представлення деякого концептуального об'єкта, це образ, рамка, шаблон, який описує об'єкт предметної області, за допомогою слотів; слоти можуть бути термінальними або бути самі фреймами, таким чином утворюючи цілу ієрархічну мережу. Фреймові моделі в 1970 році запропонував Марвін Мінській.

Умовно до групи емпіричного підходу можна включити нейронні мережі та генетичні алгоритми, які відносяться до напрямку штучного інтелекту, який носить назву «біонічний». Цей підхід базується на припущенні про те, що якщо в штучній системі відтворити структури і процеси людського мозку, то і результати вирішення задач такою системою будуть подібні результатами, що отримуються людиною. Особливістю моделей цього типу є широке використання евристик, що в кожному випадку потребує доведення правильності одержуваних рішень.

Теоретичний підхід

Другий підхід можна визначити як теоретично обґрунтований, що гарантує правильність рішень. Він, в основному, представлений моделями, заснованими на формальній логіці (обчислення висловлювань, числення предикатів), формальних граматиках, комбінаторними моделями, зокрема моделями кінцевих проектних геометрій, теорії графів, тензорними і алгебраїчними моделями. В рамках цього підходу до теперішнього часу вдавалося вирішувати тільки порівняно прості задачі з вузькою предметної області.

В основі формально логічної моделі подання знань лежить теорія предикатів першого порядку. Існує кінцева, не порожня множина об'єктів предметної області, на якій за допомогою предикатів встановлені зв'язки між об'єктами. У свою чергу, на основі цих зв'язків будуються всі закономірності і правила предметної області. Якщо представлення предметної області не

правильне, тобто зв'язки між об'єктами налаштовані не вірно або не в повній мірі, то правильна працездатність системи буде під загрозою.

Моделі бази даних

Модель бази даних - це тип моделі даних, яка визначає логічну структуру бази даних і те, яким чином дані можуть зберігатися, організовуватися і оброблятися.

Розрізняють три основні моделі бази даних - це ієрархічна, мережева і реляційна. Ці моделі відрізняються між собою за способом встановлення зв'язків між даними.

Ієрархічний підхід до організації баз даних - ієрархічні бази даних мають форму дерев з дугами-зв'язками і вузлами-елементами даних.

Мережева модель даних. У мережевих БД поряд з вертикальними реалізовані і горизонтальні зв'язки. Однак успадковано багато недоліків ієрархічної, і головний з них, необхідність чітко визначати на фізичному рівні зв'язки даних і настільки ж чітко слідувати цій структурі зв'язків при запитах до бази.

Реляційна модель даних.

Реляційна модель з'явилася внаслідок прагнення зробити базу даних якомога більш гнучкою. Дана модель надала простий і ефективний механізм підтримки зв'язків даних. Вона використовує табличний формат і є найпопулярнішим прикладом моделі бази даних.

Першим процесом етапу проектування БД є моделювання даних із врахуванням концептуальної моделі інформаційної системи. Ціль моделювання даних (створення інфологічної моделі) складається в забезпеченні розроблювача ІС концептуальною схемою бази даних у формі однієї моделі або декількох локальних моделей, що відносно легко можуть бути перетворені в будь-яку модель даних: реляційну, ієрархічну, мережну.

Найбільш розповсюдженим засобом абстрактного представлення структур баз даних є ER-модель або модель «сутність – зв'язок». Вона уперше

була введена Питером Ченом (Peter Chen) у 1976 р., а графічне представлення (нотація) цієї моделі відомо як ERD (Entity-Relationship Diagram) або ER-схема (ER-діаграма).

Під час проектування баз даних відбувається перетворення ER-моделі в конкретну схему бази даних на основі обраної моделі даних (реляційної, мережевої або ін.). За допомогою ER-моделі можна виділити ключові сутності і позначити зв'язки, які можуть встановлюватися між цими сутностями.

1.2.2. Аналіз сучасних методів досліджень для використання при контролі та управлінні функціональністю авіадиспетчерів

Було здійснено пошук і аналіз літературних джерел на предмет виявлення сучасних методів дослідження, застосування яких дозволило б:

- надати експертам, які оцінюватимуть окремі фактори, що впливають на функціональність авіадиспетчерів, зручний і комфортний інструмент формування якісної однотипної оцінки факторів функціональності;

- надати ОПР можливість проведення порівняльного аналізу показників функціональності контрольованих осіб, які узагальнюють оцінки експертів і враховують вагу (важливість) кожного фактора функціональності авіадиспетчерів.

Особливостями першої задачі є [21-26]:

- різноманітність чинників, що характеризують функціональність авіадиспетчерів;

- якісний характер оцінювання експертами функціональності авіадиспетчерів;

- суб'єктивність оцінювання експертами факторів функціональності авіадиспетчерів.

Зазначені особливості обумовлюють застосування нечітких множин в якості єдиної «одиниці виміру» якості факторів функціональності.

Для складання нечітких оцінок і «м'якого оцінювання» розроблені спеціальні технології і програми [27-32].

Аналіз літературних джерел [33-39] показав, що в якості нечітких множин при побудові методу оцінювання можуть бути застосовані нечіткі множини першого і другого типу.

Однак, застосування апарату «м'яких» обчислень стикається зі значними труднощами, зумовленими тим, що, як зазначалося вище, у більшості експертів відсутній досвід виставлення диференційованих оцінок. Значно спростити експертам оцінювання факторів ФС дозволяє використання лінгвістичного підходу [35,37-39], який базується на застосуванні методів теорії нечітких множин. При цьому, завдання перетворення слів при проведенні експертами словесного оцінювання факторів в нечіткі множини може бути вирішена при застосуванні відповідних кодуючих пристроїв. Аналіз літературних даних [35, 37,38,40] показав, що найбільш релевантним є застосування кодуючих пристроїв, що входять до складу перцептивних комп'ютерів [41].

Друга задача відноситься до області многокритеріального аналізу. До теперішнього часу розроблена та описана в літературі велика кількість методів його проведення [21-23,42,43]: шляхом безпосереднього призначення ваг критеріїв, парного порівняння критеріїв, парного порівняння альтернатив за обраним критерієм, приписування точкам простору критеріїв корисностей, переваг та ін. Однак, їх застосування не забезпечує отримання агрегованих оцінок для кожної контрольованої особи, що істотно ускладнює проведення ранжирування та виявлення негативних тенденцій зміни факторів *ФС*.

При роботі з нечіткими оцінками дослідників найчастіше застосовують класичні підходи теорії прийняття рішень, але використовують при цьому нечіткі числа [42,43]. Це призводить до ускладнення процесу призначення ваг і отримання неадекватних оцінок альтернатив. Для усунення цих недоліків в [42] запропоновано метод визначення нечітких оцінок на основі

результатів експертного оцінювання та розбиття простору критеріїв на області і нечіткі інтервали. Даний підхід застосуємо для задач пошуку альтернатив при прийнятті рішень, але це не дає можливості проведення багатокритеріального аналізу з метою отримання узагальненої оцінки кожної альтернативи.

Для проведення ранжирування альтернатив в літературних джерелах використовуються: ієрархічні матриці переваг [40], продукційні методи (засновані на правилах «if-then») [33,34] та методи середньозваженої оцінки [35,38,41]. При побудові ієрархічних матриць переваг кожна альтернатива оцінюється за деякою шкалою розподіленим чином. Застосування даної процедури утруднено при виборі з великої кількості альтернатив кращої за багатьма критеріями. Застосування правил «if-then» є контекстно-залежним і трудомістким процесом. Тому при розробці методу оцінювання ФС та рівня професіоналізму авіадиспетчерів був обраний метод середньозваженої оцінки.

Вирішити проблему, обумовлену великою кількістю різнорідних і різновагових факторів ФС в умовах невизначеності опису проблемної області дозволяє використання нового сучасного інструменту – перцептивних обчислень – методології, в якій об'єктами обчислень є слова природної мови [42-44].

Таким чином, аналіз нормативних документів і літературних даних, присвячених вирішенню проблеми проведення оцінювання ФС авіадиспетчерів, показав, що:

- незважаючи на велику кількість досліджень в цьому напрямку, завдання розробки методу оцінювання ФС авіадиспетчерів залишається вкрай актуальним;
- доцільним є застосування апарату теорії нечітких множин, включаючи лінгвістичний аспект.

Як правило, основні принципи та підходи щодо методів аналізу на практиці застосовуються у вигляді конкретних технологій управління функціональністю, реалізованих з використанням інформаційних систем.

1.2.3. Оцінювання якості роботи служби управління повітряним рухом з урахуванням ризиків

Для підвищення якості функціонування вводиться поняття ризик як міра кількості небезпеки в стані системи, в якій можливе виникнення випадкової дискретної події, наступ якої несе небажані наслідки або збиток.

У документах ІКАО ризик визначається як міра кількості небезпеки, а не як ймовірність виникнення небажаного явища, що оцінюється в теорії надійності. Ризик, як небезпека з деяким ступенем або мірою кількості цієї небезпеки і певним збитком, введений ІКАО, дозволив визначити безпеку як стан системи в такому вигляді: «Безпека – це стан системи, за яким ризик завдання збитків людям або нанесення збитків майну знижений до прийняттого рівня і підтримується на цьому або нижчому рівні за допомогою безперервного процесу виявлення джерел небезпеки та контролю факторів ризику».

Введення поняття «ризик» вимагає введення моніторингу та управління ризиком. Моніторинг та управління ризиком при управлінні безпекою дозволяє запобігти авіаційній події за допомогою виявлення факторів небезпеки, оцінки їх ризику і прийняття заходів по управлінню цим ризиком.

Як фактор небезпеки приймається умова, об'єкт або діяльність, що сприяє збою в роботі СУР.

Процес управління якістю роботи СУР з урахуванням ризиків містить два підпроцеси: оцінка ризиків та розробка заходів щодо забезпечення зниження рівня ризиків, що впливають на БП.

Оцінка ризиків [15-18] є частиною процесу управління ризиками. Достовірність оцінки ризиків визначається методичною похибкою і

достатністю (репрезентативністю) використовуваної інформації для вирішення цієї проблеми.

Недосконалість методик сприяє суб'єктивізму:

- в оцінці ризиків;
- у визначенні тяжкості наслідків;
- в обробці рекомендацій щодо попередження авіаційних подій.

Мета моніторингу якості роботи СУР складається:

- в проведенні контролю якості роботи СУР на відповідність вимогам (прийнятного рівня), політиці безпеки та затверджених цілей в області безпеки;

- в забезпеченні досягнення цільового рівня безпеки з прийнятним ризиком за результатами моніторингу;

- в забезпеченні управління ФС авіадиспетчерів.

У зв'язку з цим моніторинг безпеки повинен бути заснований:

- на кількісних показниках, одержуваних безпосередньо з ідентифікації небезпек;

- на кількісних показниках, заснованих на впливі людського фактора на БП.

У якості параметрів для моніторингу необхідно обирати параметри, які мають найбільшу інформативну цінність. Так, параметри, засновані на оцінці ризиків, містять більш повну інформацію про рівень безпеки, бо вони формуються при відстеженні:

- загального ризику подій, пов'язаних з технічним обслуговуванням;
- загального ризику подій, пов'язаних з втомою;
- ризику операцій в аеропорту;
- фінансових ризиків - ризики значних фінансових втрат;
- ризику для репутації - ризик нанесення шкоди репутації авіакомпанії;
- ризиків БП – ризик нанесення шкоди в результаті навмисних дій, що загрожують БП повітряних суден.

Головна мета управління ризиками в завданні моніторингу якості БП полягає в забезпеченні інформацією, яка б дозволила змінити стан БП так, щоб всі ризики залишалися на прийнятному рівні при заданому рівні ризику.

В управлінні ризиками можна виділити три елементи: виявлення небезпек, оцінка ризиків та зниження ризиків.

Процес виявлення небезпек здійснюється, в основному, на зборі та аналізі даних по БП. Виявлені небезпеки представляються як вхідні дані для рівня БП при оцінці ризиків. Тому виникають труднощі з організацією моніторингу та якісного управління БП.

Зараз в Україні немає державних узгоджених показників і посібників по визначенню та оцінці ризику. Тому кожна авіакомпанія розробляє свою систему визначення і оцінки ризиків, орієнтуючись на [2].

З урахуванням рекомендацій ІКАО та робочої групи ARMS [19] узагальнена методика оцінки ризику, що базується на матриці Event Risk Classification (ERC) [20], може бути представлена в такому вигляді.

1. Формування даних за такими чинниками небезпеки на підставі результатів розслідування авіаційних подій та оцінки ефективності експлуатації.

2. Реєстрація поточної інформації за такими чинниками небезпеки в базі даних.

3. Проведення статистичного аналізу по обґрунтуванню факту виявлення небезпеки та ризику.

4. Дослідження небезпеки з урахуванням множини подій, зареєстрованих в базі даних та передбачуваних змін в діяльності авіакомпаній.

5. Визначення та класифікація фактору небезпеки, ризику подій з урахуванням матриці ERC та встановлення причин події, що сталися.

6. Визначення стану бар'єрів безпеки, оцінки ефективності бар'єрів, що залишилися після подолання (знищення) деяких з них. Ризик вимірюється за допомогою спеціальної матриці ERC.

7. Встановлення факту, наскільки важкими могли бути наслідки, якби ланцюг подолання бар'єрів розвивався далі.

8. Проведення оцінки ризику подій з використанням матриці ERC.

9. Визначення сумарного індексу ризику по матриці ERC. Індекс ERC дозволяє отримувати обґрунтовану кількісну порівняльну оцінку ризику та раціонально розподіляти виділені ресурси на його зниження.

Дослідження показують, що ризик як міра небезпеки повинен оцінюватися через міру невизначеності появи негативного результату і міру наслідків.

З огляду на ці особливості, оцінку рівня безпеки можна проводити шляхом порівняння потенційного (розрахункового) ризику \hat{R} , \check{R} з рівнем прийняттого ризику \hat{R}_* , \check{R}_* через прогнозовані наслідки (збитки - H_R) та інші показники властивостей рідкісних небезпечних (ризикових) подій, використовуючи співвідношення

$$\hat{R} = (\mu_1, H_R / \Sigma_0),$$

$$\check{R} = f(\hat{R} | \Sigma_0),$$

де μ_1 – міра ризику 1-го роду, що позначає невизначеність (або випадковість) появи (виникнення) ризикового події R з негативним результатом H_R ;

H_R – міра наслідків або збитку (ціна ризику - «тяжкість» шкоди);

Σ_0 – умови досвіду або характеристики ситуації при експлуатації системи, що включають клас небезпеки, модель небезпеки системи, структуру дерева відмов, граф зміни станів, стан катастрофічних відмов системи та т.п. ;

\check{R} – інтегральний ризик при нечітких оцінках, тобто кількість небезпеки в заданому стані.

Для оцінки ризику ІКАО пропонує використовувати матрицю ризику розміром 5×5 , тобто таблицю співвідношення частоти P та серйозності S наслідків небезпечної події, яка використовує для розрахунку ризику R формулу: $R = P * S$.

Однак, як показує практика, застосування матриці ризику за ІКАО є важким. Крім того, методологія ІКАО принципово ускладнює виконання моніторингу ризику. Наприклад, якщо розрахувати загальний ризик за типом подій і скласти величини ризику окремих подій, то ймовірність при додаванні буде враховуватися двічі, тоді як серйозність тільки один раз.

Методологія ІКАО для умов України вимагає досконалості, так як матриця ризику за ІКАО не завжди сприяє прийняттю оптимальних рішень, особливо при негативній кореляції показників ймовірності P і серйозності S наслідків небезпечної події.

1.2.4. Оцінювання якості роботи служби управління повітряним рухом методами ймовірнісного аналізу

Методи ймовірнісного аналізу дозволяють кількісно оцінити рівень безпеки, використовуючи у якості критерія оптимальності значення рівня безпеки мінімум значення параметра Z :

$$Z = \arg \min Z(R) = \operatorname{argmin} [X(R)+Y(R)] ,$$

де $X(R)$ – приведені витрати на забезпечення безпеки, яка характеризується ризиком R ; $Y(R)$ – прямі збитки, обумовлені ризиком R .

При відносно малих ризиках для багатьох небезпечних об'єктів вважається справедливою лінійна залежність

$$Y(R) = a r,$$

де a – ціна ризику; r – ймовірність події.

До числа факторів, що ускладнюють формалізацію процесу розрахунку показника якості роботи авіадиспетчера відносять:

1. Неприйнятність для суспільства високих значень ризику.

2. Індивідуальне ставлення до ризику.
3. Масштаби наслідків.
4. Недостовірність значень ймовірностей менш 10^{-9} , бо такі величини виходять за межі досвіду.

При оцінці якості роботи авіадиспетчера з використанням методів ймовірнісного аналізу нормування ризику здійснюється на основі принципу ALAP (as low as possible – так низько, як тільки можливо). Така оцінка дозволяє досягти компромісу між вимогами до безпеки і практичними можливостями забезпечення необхідного рівня безпеки.

Для оцінки ризику заподіяння шкоди використовуються відомості про результати експлуатації та випробувань продукції, публікації, бази даних, відгуки фахівців та експертів. Вид небезпеки ідентифікується на основі аналізу поточного значення ризику щодо допустимого рівня, який регламентується науково обґрунтованими нормами безпеки та рівнем прийнятності ризику.

Аналіз ризику проводиться з використанням необхідної інформації для ідентифікації видів небезпек та оцінки ризику:

- ідентифікація відомих і прогнозованих видів небезпек;
- опис передбачуваної послідовності подій, які можуть відбутися після настання небезпечної ситуації для кожного виду ідентифікованої безпеки;
- оцінка ризику для кожного виду ідентифікованої безпеки.

Оцінка ризику в цьому випадку розглядається як результат аналізу ризику з метою визначення прийнятності ризику по кожному виду ідентифікованої безпеки відповідно до прийнятого критерія прийнятності ризику.

Однак, при використанні методів ймовірнісного аналізу виникають проблеми рідкісних подій, які полягають в наступному:

- неможливо достовірно визначити значення ймовірностей функціональних відмов, що лежать в області малих чисел $\sim 10^{-5} \dots 10^{-12}$;

- існує невизначеність значень функції розподілу щільності ймовірностей на «хвостах» розподілу ймовірностей рідкісних подій;

- відсутня стійка статистика по рідкісним подіям.

Той факт, що події, які розглядаються при оцінюванні АБ, є «рідкими» (з ймовірністю «майже нуль»), робить недоцільним застосування для вирішення задач, поставлених у дисертаційній роботі, ймовірнісних методів і обумовлює пошук інших методів досліджень.

Аналіз літературних джерел показує, що одними з методів, які можуть бути використані для оцінювання АБ при урахуванні особливостей проблемної області, є методи теорій надійності та ризику.

Аналіз базових положень теорій надійності і ризику показує наступне.

Готовність людини виконувати свої професійні обов'язки вимірюється або через ймовірність станів людини, або через значення Y_S функції алгебри логіки в разі використання процедур логічного аналізу дискретних станів людини. Для функції готовності людини виконувати свої професійні обов'язки, яка оцінюється ймовірністю виникнення відповідних станів, задаються непрямі показники готовності людини виконувати свої професійні обов'язки у вигляді нормативної ймовірності готовності або часу напрацювання до першого збою в роботі, коефіцієнтів готовності.

Нехай задана кінцева множина $E = \{e_i | i=1, \dots, m\}$ елементів $e_i \in E$, $i=1, \dots, m$ $m \ll \infty$, а також відповідна структурна схема з'єднання елементів, що визначає функціонування системи $\{e_i\} = E \cong \{e_i | i=1, \dots, m\}$ та ресурс. Даний базис є первинним прообразом (оригіналом) майбутньої системи, в якій ресурс забезпечує функціональні властивості системи у вигляді «Нормальне функціонування».

Це властивість забезпечує функціонування системи в цілому в класі систем, визначених як на чітких, так і на нечітких підмножинах. Воно може бути задано деякими особливими функціями якості «функціонування». Відповідно, в системі можливий прояв іншої зворотньої властивості:

«Порушення функціонування». Порушення функціонування визначається сукупністю інших можливих функціональних станів людини, при яких відбувається порушення функціонування.

У теорії надійності щодо властивостей E , що визначають якість системи, приймається як глобальний постулат теорії надійності незалежність елементів $e_i \in E$. Тоді можна визначити два положення.

Положення 1. Чітка множина елементів системи визначає тип E або $A \supset X$ абстрактну математичну модель (оригінал) у формі чіткої універсальної множини, опису фізичного базису системи, що складається з множини елементів E у вигляді множини X спеціальних елементів x_i , які приймають тільки два значення 0 або 1 та позначають дискретні стани цих елементів: $x_i \in X$; $x_i = (0 \text{ або } 1)$; $\{x_i\} = X$, де всі x_i незалежні та $\{x_i \sim e_i\} \Rightarrow X \sim E$.

Положення 2. В універсальній чіткій множині X всі елементи $x_i \in X$ незалежні так само, як у фізичному базисі E , але кожен елемент може мати одне з двох значень: 0 або 1.

Універсальна чітка множина може бути використана для побудови деяких моделей (або теорій) функціонування систем, наприклад, для оцінки працездатності систем за обраним критерієм безпеки системи.

Застосування моделей, побудованих за іншим принципом, призводить до такого ж висновку: одна й та сама універсальна чітка множина X породжує в нечітких підмножинах X два типи моделей систем: чіткі і нечіткі.

Вищесказане дозволяє зробити висновок, що існуючі методи оцінювання АБ аеропортів не повною мірою враховують існуючі особливості, що обумовлює необхідність розробки нового методу, що враховує особливості проблемної області.

1.3. Огляд моделей і методів прогнозування

Процес прогнозування являє собою спеціальне наукове дослідження конкретних перспектив розвитку будь-якого процесу. Згідно [1] процеси,

перспективи яких необхідно передбачати, найчастіше описуються часовими рядами, тобто послідовністю значень деяких величин, отриманих в певні моменти часу. Часовий ряд включає в себе два обов'язкові елементи – позначку часу і значення показника ряду, отримане тим чи іншим способом і відповідне зазначеній позначки часу. Кожен часовий ряд розглядається як вибіркова реалізація з нескінченної популяції, що генерується стохастическим процесом, на який впливає множина факторів [1].

Одна з класифікацій часових рядів наведена в [2]. Згідно [2], часові ряди розрізняються способом визначення значення, часовим кроком, пам'яттю і стаціонарністю та поділяються на інтервальні й моментні часові ряди.

Інтервальний часовий ряд представляє собою послідовність, в якій рівень явища (значення часового ряду) відносять до результату, накопиченого або знову зробленого за певний інтервал часу. Якщо ж значення часового ряду характеризує досліджуване явище в конкретний момент часу, то сукупність таких значень утворює моментний часовий ряд. Залежно від частоти визначення значень часового ряду вони поділяються на рівновіддалені і нерівновіддалені часові ряди; залежно від характеру описуваного процесу – на часові ряди довгої і короткої пам'яті [3].

Часові ряди також прийнято розділяти на стаціонарні та нестаціонарні. Стаціонарними є такі часові ряди, які залишаються в рівновазі щодо постійного середнього рівня. В [1] зазначено, що там, де прогнозування має важливе значення, багато часових рядів не мають природного середнього значення, тобто є нестаціонарними. Нестационарні часові ряди для вирішення завдання прогнозування часто приводяться до стаціонарних за допомогою різницевого оператора [1].

Залежно від часу, на якому необхідно визначити значення часового ряду, задачі прогнозування, поділяються на такі категорії: довгострокове, середньострокове й короткострокове прогнозування.

При прогнозуванні часових рядів можливі два варіанти постановки задачі. У першому варіанті для отримання майбутніх значень досліджуваного часового ряду використовуються доступні значення тільки цього ряду. У другому варіанті для отримання прогнозних значень можливе використання не тільки фактичних значень шуканого ряду, а й значний набір зовнішніх факторів, представлених у вигляді часових рядів. У загальному випадку часові ряди зовнішніх факторів можуть мати розподілення за часом відмінне від розподілення шуканого часового ряду [4].

При прогнозуванні часового ряду потрібно визначити модель прогнозування (функціональну залежність, що адекватно описує часовий ряд). Мета створення моделі прогнозування полягає в отриманні такої моделі, для якої середнє абсолютне відхилення істинного значення від прогнозованого прагне до мінімального для заданого горизонту, який називається часом попередження. Після того, як модель прогнозування часового ряду визначена, потрібно обчислити майбутні значення часового ряду, а також їх довірчий інтервал.

Однією з найпоширеніших моделей прогнозування є авторегресії змінного середнього, що інтегрується, з урахуванням зовнішнього фактора (auto regression moving average external, ARIMAX) [1], [5], [6].

Згідно [7], на даний час налічується понад 100 класів моделей прогнозування. Число загальних класів моделей, які в тих чи інших варіаціях повторюються в інших, набагато менше. Частина моделей і відповідних методів відноситься до деяких процедур прогнозування. Частина методів представляє набір прийомів, що відрізняються від базових або один від одного кількістю приватних прийомів і послідовністю їх застосування.

В аналітичному огляді [7] всі методи прогнозування поділяються на дві групи: інтуїтивні та формалізовані.

Інтуїтивне прогнозування застосовується тоді, коли об'єкт прогнозування або занадто простий, або, навпаки, настільки складний, що

аналітично врахувати вплив зовнішніх факторів неможливо. Інтуїтивні методи прогнозування не передбачають розробку моделей прогнозування і відображають індивідуальні судження фахівців (експертів) щодо перспектив розвитку процесу. Інтуїтивні методи засновані на мобілізації професійного досвіду і інтуїції. Такі методи використовуються для аналізу процесів, розвиток яких або повністю, або частково не піддається математичної формалізації, тобто для яких важко розробити адекватну модель. Крім того, в даний час широко поширене застосування експертних систем, в тому числі з використанням нечіткої логіки [8], інтуїтивних методів прогнозування [9].

До інтуїтивних (експертних) методів належать, наприклад, такі:

- метод експертних оцінок;
- метод історичних аналогій;
- метод передбачення за зразком;
- нечітка логіка;
- моделювання сценаріями.

Моделі прогнозування поділяються на статистичні моделі і структурні моделі. У статистичних моделях функціональна залежність між майбутніми та фактичними значеннями часового ряду, а також зовнішніми факторами задана аналітично. До статистичних моделей належать такі групи: регресійні моделі; авторегресійні і моделі експоненціального згладжування.

Структурні моделі

У структурних моделях [10] функціональна залежність між майбутніми та фактичними значеннями часового ряду, а також зовнішніми факторами задана структурно. До структурних моделей належать такі групи: нейромережеві моделі; моделі на базі ланцюгів Маркова і моделі на базі класифікаційно-регресійних дерев [11].

Регресійні моделі

Існує багато задач, які потребують вивчення відношень між двома і більше змінними. Для вирішення таких задач використовується регресійний

аналіз [12]. В даний час регресія отримала широке застосування, включаючи задачі прогнозування та управління. Метою регресійного аналізу є визначення залежності між вихідної змінної і множиною зовнішніх факторів (регресорів). При цьому коефіцієнти регресії можуть визначатися за методом найменших квадратів або методом максимальної правдоподібності [12].

Лінійна регресійна модель. Найпростішим варіантом регресійної моделі є лінійна регресія. В основу моделі покладено припущення, що існує дискретний зовнішній фактор $X(t)$, який впливає на досліджуваний процес $Z(t)$, при цьому зв'язок між процесом і зовнішнім фактором лінійна. Модель прогнозування на підставі лінійної регресії описується рівнянням

$$Z(t) = \alpha_0 + \alpha_1 X(t) + \varepsilon_t$$

де α_0 і α_1 – коефіцієнти регресії; ε_t – помилка моделі. Для отримання прогнозних значень $Z(t)$ в момент часу t необхідно мати значення $X(t)$ в той же момент часу t , що рідко виконувано на практиці.

Множинна регресійна модель. На практиці на процес $Z(t)$ впливають цілий ряд дискретних зовнішніх факторів $X_1(t), \dots, X_S(t)$. Тоді модель прогнозування має вигляд

$$Z(t) = \alpha_0 + \alpha_1 X_1(t) + \alpha_2 X_2(t) + \dots + \alpha_S X_S(t) + \varepsilon_t$$

Недоліком даної моделі є те, що для обчислення майбутнього значення процесу $Z(t)$ необхідно знати майбутні значення всіх факторів $X_1(t), \dots, X_S(t)$, що майже неможливо на практиці.

В основу нелінійної регресійної моделі покладено припущення про те, що існує відома функція, що описує залежність між вихідним процесом $Z(t)$ та зовнішнім фактором $X(t)$

$$Z(t) = F(X(t), A)$$

В рамках побудови моделі прогнозування необхідно визначити параметри функції A . Наприклад, можна припустити, що

$$Z(t) = \alpha_1 \cos(X(t)) + \alpha_0$$

Для побудови моделі досить визначити параметри $A = [\alpha_1, \alpha_0]$. Однак на практиці рідко зустрічаються процеси, для яких вид функціональної залежності між процесом $Z(t)$ і зовнішнім фактором $X(t)$ заздалегідь відома. У зв'язку з цим нелінійні регресійні моделі застосовуються рідко.

Модель групового обліку аргументів (МГУА) була розроблена Івахтенко А.Г. [13]. Модель описується рівнянням, званим опорної функцією:

$$Z(t) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^s \alpha_i X_i(t) + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \alpha_{i,j} X_i(t) X_j(t) + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s \sum_{k=1}^s \alpha_{i,j,k} X_i(t) X_j(t) X_k(t) + \dots$$

Використовуючи опорну функцію, будують різні варіанти моделей для деяких або всіх аргументів. Наприклад, будуються поліноми з однією змінною, поліноми зі всілякими парами змінних, поліноми зі всілякими трійками змінних і т.д. Для кожної моделі визначаються її лінійні коефіцієнти $\alpha_{i,j,k,\dots}$ методом регресійного аналізу. Серед всіх моделей вибираються кілька (від 2 до 10) найкращих. При цьому якість моделей визначається, наприклад, середньоквадратичним відхиленням чи іншим критерієм. Якщо серед обраних є модель, якості якої досить для використання отриманих прогнозних значень, то процес перебору моделей припиняється. Інакше відібрані моделі використовуються як аргументи $X_1(t), \dots, X_s(t)$ для опорних функцій наступного етапу ітерації. Тобто вже знайдені моделі беруть участь у формуванні більш складних.

Авторегресійні моделі

В основу авторегресійних моделей закладено припущення про те, що значення процесу $Z(t)$ лінійно залежить від деякої кількості попередніх значень того ж процесу $Z(t-1), \dots, Z(t-p)$.

Авторегресійна модель змінного середнього. В області аналізу часових рядів модель авторегресії (autoregressive, AR) і модель змінного середнього (moving average, MA) є однією з найбільш використовуваних [1], [14].

Згідно роботі [1], модель авторегресії є виключно корисною для опису деяких часових рядів, що зустрічаються на практиці. У цій моделі поточне значення процесу виражається як кінцева лінійна сукупність попередніх значень процесу і імпульсу, який називається «білим шумом»,

$$Z(t) = C + \phi_1 Z(t-1) + \phi_2 Z(t-2) + \dots + \phi_p Z(t-p) + \varepsilon_t$$

Дана формула описує процес авторегресії порядку p , який в літературі часто позначається $AR(p)$, тут C – дійсна константа, ϕ_1, \dots, ϕ_p – коефіцієнти, ε_t – помилка моделі. Для визначення ϕ_i і C використовують метод найменших квадратів або метод максимальної правдоподібності [12].

Іншим типом моделі, що має велике значення в описі часових рядів і часто використовується спільно з авторегресією, є модель ковзаючого середнього порядку q і описується рівнянням

$$Z(t) = \frac{1}{q} (Z(t-1) + Z(t-2) + \dots + Z(t-q)) + \varepsilon_t$$

Модель ковзаючого середнього є по суті справи фільтром низьких частот. Потрібно відзначити, що існують прості, зважені, кумулятивні, експоненціальні моделі змінного середнього.

Згідно [1], для досягнення більшої гнучкості в підгонці моделі часто доцільно об'єднати в одній моделі авторегресії і ковзне середнє. Загальна модель позначається $ARMA(p, q)$, поєднує в собі фільтр у вигляді ковзаючого середнього порядку q і авторегресії фільтрованих значень процесу порядку p .

Якщо в якості вхідних даних використовуються не самі значення часового ряду, а їх різниця d -того порядку (на практиці d необхідно визначати, проте в більшості випадків $d \leq 2$), то модель носить назву авторегресії проінтегрованого ковзаючого середнього. У літературі цю модель називають $ARIMA(p, d, q)$ (autoregression integrated moving average).

Розвитком моделі $ARIMA(p, d, q)$ є модель $ARIMAX(p, d, q)$, яка описується рівнянням

$$Z(t) = AR(p) + \alpha_1 X_1(t) + \dots + \alpha_s X_s(t)$$

де $\alpha_1, \dots, \alpha_S$ — коефіцієнти зовнішніх факторів $X_1(t), \dots, X_S(t)$. У даній моделі найчастіше процес $Z(t)$ є результатом моделі $MA(q)$, тобто відфільтрованими значеннями вихідного процесу. Далі для прогнозування $Z(t)$ використовується модель авторегресії, в якій введені додаткові регресори зовнішніх факторів $X_1(t), \dots, X_S(t)$.

Моделі експоненціального згладжування

Моделі експоненціального згладжування розроблені в середині ХХ століття і до сьогоднішнього дня є широко поширеними в силу їх простоти і наочності.

В основу експоненціального згладжування закладена ідея постійного перегляду прогнозних значень в міру надходження фактичних. Модель ES привласнює експоненціально спадні ваги спостереженнями в міру їх старіння. Таким чином, останні доступні спостереження мають більший вплив на прогнозне значення, ніж старші спостереження.

$$\begin{aligned} Z(t) &= S(t) + \varepsilon_t, \\ S(t) &= \alpha \cdot Z(t-1) + (1-\alpha) \cdot S(t-1), \end{aligned}$$

де α — коефіцієнт згладжування, $0 < \alpha < 1$; початкові умови визначаються як $S(1) = Z(0)$. У даній моделі кожне наступне згладжені значення $S(t)$ є зваженим середнім між попереднім значенням тимчасового ряду $Z(t)$ і попереднього згладженого значення $S(t-1)$.

Модель Хольта або подвійне експоненціальне згладжування застосовується для моделювання процесів, що мають тренд. В цьому випадку в моделі необхідно розглядати дві складові: рівень і тренд [14]. Рівень і тренд згладжуються окремо

$$\begin{aligned} Z(t) &= S(t) + \varepsilon_t; \\ S(t) &= \alpha \cdot Z(t-1) + (1-\alpha) \cdot (S(t-1) - B(t-1)); \\ B(t) &= \gamma \cdot (S(t-1) - S(t-2)) + (1+\gamma) \cdot B(t-1). \end{aligned}$$

Тут α — коефіцієнт згладжування рівня, γ — коефіцієнт згладжування тренда.

Модель Хольта-Вінтерса або потрійне експоненціальне згладжування застосовується для процесів, які мають тренд і сезонну складову. Моделі експоненціального згладжування найбільш популярні для довгострокового прогнозування.

Нейромережеві моделі

В даний час найпопулярнішою серед структурних моделей є модель на основі штучних нейронних мереж (artificial neural network, ANN) [15].

За допомогою нейронних мереж можливо моделювання нелінійної залежності майбутнього значення часового ряду від його фактичних значень і від значень зовнішніх факторів. Нелінійна залежність визначається структурою мережі і функцією активації.

Моделі на базі ланцюгів Маркова

Моделі прогнозування на основі ланцюгів Маркова (Markov chain model) припускають, що майбутній стан процесу залежить тільки від його поточного стану і не залежить від попередніх [16]. У зв'язку з цим процеси, що моделюються ланцюгами Маркова, повинні ставитися до процесів з короткою пам'яттю.

При побудові ланцюга Маркова визначається множина станів і ймовірності переходів. Є поточний стан процесу S_i , то як майбутній стан процесу вибирається такий стан S_j , ймовірність переходу в яке (значення λ_{ij}) максимальна.

Структура ланцюга Маркова і ймовірності переходу станів визначають залежність між майбутнім значенням процесу і його поточним значенням.

Моделі на базі класифікаційно-регресійних дерев

Класифікаційно-регресійні дерева (classification and regression trees, CART) є ще однією популярною структурною моделлю прогнозування часових рядів [17]. Структурні моделі CART розроблені для моделювання процесів, на які впливають як безперервні зовнішні фактори, так і категоріальні. Якщо зовнішні фактори, що впливають на процес $Z(t)$,

неперервні, то використовуються регресійні дерева; якщо чинники категоріальні, то - класифікаційні дерева. У разі, якщо необхідно враховувати фактори обох типів, то використовуються змішані класифікаційно-регресійні дерева.

CART моделює залежність майбутньої величини процесу $Z(t)$ за допомогою структури дерева, а також граничних констант і підмножин.

Інші моделі та методи прогнозування

Крім класів моделей прогнозування, розглянутих вище, існують менш поширені моделі і методи прогнозування. Головним недоліком моделей і методів, згаданих нижче, є недостатня методологічна база, тобто недостатньо докладний опис можливостей як моделей, так і шляхів визначення їх параметрів.

В основу методу опорних векторів (support vector machine, SVM) покладена класифікація [18], вироблена за рахунок переведення вихідних часових рядів, представлених у вигляді векторів, в простір більш високої розмірності і пошуку розділяючої гіперплощини з максимальним зазором в цьому просторі. Алгоритм SVM працює в припущенні, що чим більша різниця або відстань між цими паралельними гіперплощинами, тим менше буде середня помилка класифікатора. При цьому задача прогнозування вирішується таким чином, що на етапі навчання класифікатора виявляються незалежні змінні (зовнішні фактори), майбутні значення яких визначають в який з визначених раніше підкласів потрапить прогноз $Z(t)$ [14].

Генетичний алгоритм (genetic algorithm, GA) був розроблений і часто застосовується для вирішення задач оптимізації, а також пошукових задач. Однак деякі модифікації GA дозволяють вирішувати задачі прогнозування.

В [19] зазначено, що алгоритм прогнозування на основі GA дозволяє приділити належну увагу більше ніж 15 зовнішнім факторам, використовуючи базовий GA. Принцип роботи заснований на тому, що вихідні значення процесу $Z(t)$ і зовнішніх факторів $X_1(t), \dots, X_S(t)$ розкладають

в набори, що складаються з 0 і 1, які називають генотипами. Далі застосовують ряд перетворень: схрещування і мутирування для формування перетворених наборів, які називаються фенотипами. Вихідні та отримані набори досліджуються з використанням функції пристосованості. Якщо рішення вийшло незадовільним, то знову проводиться схрещування і мутирування, в результаті чого виходить ще більш нові набори (нове покоління), які знову оцінюються. Ітеративний процес триває до тих пір, поки рішення не буде задовільним.

Модель на основі передатних функцій (transfer function, TF) застосовується для прогнозування процесу $Z(t)$ з урахуванням зовнішнього фактора $X(t)$ [20]. Рівняння, що відображає залежність майбутнього значення має вигляд

$$Z(t) = v(B)X(t) + \eta(t)$$

де B — оператор зсуву $BZ(t) = Z(t-1), \dots, B^k Z(t) = Z(t-k)$. Часовий ряд $\eta(t)$ характеризує зовнішнє збурення. При цьому функція $v(B)$ має вигляд:

$$v(B) = v_0 + v_1 B + v_2 B^k + \dots$$

Коефіцієнти функції v_i описують динамічні відношення між процесами $Z(t)$ і $X(t)$.

Переваги і недоліки моделей

Регресійні моделі і методи. До переваг даних моделей прогнозування відносять простоту, гнучкість, а також однаковість їх аналізу та проектування. При використанні лінійних регресійних моделей результат прогнозування може бути отриманий швидше, ніж при використанні інших моделей. Крім того, перевагою є прозорість моделювання, тобто доступність для аналізу всіх проміжних обчислень. Основним недоліком нелінійних регресійних моделей є складність визначення виду функціональної залежності, а також трудомісткість визначення параметрів моделі.

Недоліками лінійних регресійних моделей є низька адаптивність і відсутність здатності моделювання нелінійних процесів [19].

Авторегресійні моделі і методи. Важливими перевагами даного класу моделей є їх простота і прозорість моделювання, однаковість аналізу і проектування. Недоліками даного класу моделей є: велике число параметрів моделі, ідентифікація яких неоднозначна, і ресурсомісткість [21]; низька адаптивність моделей, а також лінійність і, як наслідок, відсутність здатності моделювання нелінійних процесів, що часто зустрічаються на практиці [22].

Моделі і методи експоненціального згладжування. Перевагами даного класу моделей є простота і однаковість їх аналізу та проектування. Даний клас моделей частіше інших використовується для довгострокового прогнозування. Недоліком даного класу моделей прогнозування є відсутність гнучкості.

Нейромережеві моделі і методи. Основною перевагою нейромережевих моделей є нелінійність, тобто здатність встановлювати нелінійні залежності між майбутніми та фактичними значеннями процесів. Іншими важливими перевагами є: адаптивність, масштабованість (паралельна структура ANN прискорює обчислення) і однаковість їх аналізу та проектування. При цьому недоліками ANN є відсутність прозорості моделювання; складність вибору архітектури, високі вимоги до несуперечності навчальної вибірки; складність вибору алгоритму навчання і ресурсомісткість процесу їх навчання [23].

Моделі і методи на базі ланцюгів Маркова. Простота і одноманітність аналізу і проектування є перевагами моделей на базі ланцюгів Маркова. Недоліком даних моделей є відсутність можливості моделювання процесів з довгою пам'яттю.

Моделі на базі класифікаційно-регресійних дерев. Перевагами даного класу моделей є: масштабованість, за рахунок якої можлива швидка обробка надвеликих обсягів даних; швидкість і однозначність процесу навчання дерева (на відміну від ANN), а також можливість використовувати

категоріальні зовнішні фактори. Недоліками даних моделей є неоднозначність алгоритму побудови структури дерева; складність питання «останова», тобто питання про те, коли варто припинити подальші розгалуження; відсутність однаковості їх аналізу та проектування.

На теперішній час найбільш поширеними моделями прогнозування є авторегресійні моделі (ARIMAX), а також нейромережеві моделі (ANN).

Комбіновані моделі

Однією з популярних сучасних тенденцій в області створення моделей прогнозування є створення комбінованих моделей і методів. Подібний підхід дає можливість компенсувати недоліки одних моделей за допомогою інших і спрямований на підвищення точності прогнозування, як одного з головних критеріїв ефективності моделі.

Однією з перших робіт в цій області є [24]. У ній пропонується підхід, в якому прогнозування часового ряду здійснюється в два етапи. На першому етапі на підставі моделей розпізнавання образів (pattern recognition) виділяються гомогенні групи (patterns) часового ряду. На наступному етапі для кожної групи будується окрема модель прогнозування.

В огляді моделей прогнозування [25] розглядається такі типи комбінацій: нейронні мережі + нечітка логіка; нейронні мережі + ARIMA; нейронні мережі + регресія; нейронні мережі + GA + нечітка логіка і регресія + нечітка логіка.

У більшості комбінацій моделі на основі нейронних мереж застосовуються для вирішення завдання кластеризації, а далі для кожного кластера будується окрема модель прогнозування на основі ARIMA, GA, нечіткої логіки тощо. В роботі стверджується, що застосування комбінованих моделей, що виконують попередню кластеризацію і подальше прогнозування всередині певного кластера, є найбільш перспективним напрямком розвитку моделей прогнозування [26].

Застосування комбінованих моделей є напрямом, який при коректному підході дозволяє підвищити точність прогнозування. Головним недоліком комбінованих моделей є складність і ресурсомісткість їх розробки: потрібно розробити моделі таким чином, щоб компенсувати недоліки кожної з них, не втративши переваг.

Хороший результат дає об'єднання формалізованого та інтуїтивного (експертного) прогнозування. На підставі складного алгоритму обчислюються майбутні значення часового ряду, а далі, експерт перевіряє ці цифри на адекватність. На цьому етапі експерт може внести ручні коригування, які при його високій кваліфікації, здатні позитивно вплинути на якість прогнозу.

Можна зробити такі висновки з даного огляду:

1) встановлено, що до теперішнього часу розроблено дуже багато моделей для вирішення задачі прогнозування часового ряду, серед яких найбільшу застосовність мають авторегресійні і нейромережеві моделі;

2) виявлено переваги і недоліки розглянутих моделей. Встановлено, що істотним недоліком авторегресійних моделей є велика кількість вільних параметрів, що вимагають ідентифікації; недоліками нейромережевих моделей є її непрозорість моделювання і складність навчання мережі.

1.4. Особливості проблемної області

1.4.1. Аналіз факторів, що негативно впливають на якість роботи авіадиспетчерів

У зв'язку з тим, що одним з основних факторів, що впливають на функціональність авіадиспетчерів, є недостатня якість роботи служб авіапідприємств, завдання яких полягає у забезпеченні якісного управління повітряним рухом (СУР).

Аналіз показав, що якість роботи авіадиспетчерів, в першу чергу, залежить від:

- ФС (що включає психічний, фізичний та фізіологічний стани) та професіоналізму (тобто рівня знань, досвіду, навичок);

- якості управління роботою авіадиспетчерів з боку ОПР (помилки ОПР при прийнятті управлінських рішень можуть бути обумовлені суб'єктивністю, браком ресурсів, часу на прийняття рішень, невизначеністю інформації про стан авіадиспетчерів, зовнішніми випадковими факторами тощо);

- якості технічного оснащення служб.

Тому в процесі виконання дисертаційних досліджень особлива увага приділялася розробці моделей та методів управління функціональністю авіадиспетчерів, направлених на:

- підвищення якості ФС авіадиспетчерів (в першу чергу – покращення їхнього психологічного та психофізіологічного стану);

- підвищення якості контролю за роботою авіадиспетчерів з боку ОПР.

Аналіз причин незадовільного психологічного та психофізіологічного стану авіадиспетчерів

Основними причинами незадовільного психологічного та психофізіологічного стану авіадиспетчерів є:

- низька психоемоційна стійкість;

- незадовільний стан здоров'я;

- стомлення, до якого призводять невизначеність, значний обсяг та суперечливість інформації, яку повинен обробляти авіадиспетчер в процесі роботи, різна форма її подання авіадиспетчерам.

Зростання швидкостей польоту і істотне погіршення маневрених можливостей сучасних повітряних суден, що призводять до скорочення часу для прийняття авіадиспетчерами рішень та великий обсяг вирішуваних задач, що є причиною підвищеної завантаженості авіадиспетчера, негативно

впливають на психічний та емоційний стан авіадиспетчерів. При цьому відмітимо, що незадовільний психологічний стан авіадиспетчерів в значній мірі пояснюється їх знаходженням в стані нервно-емоційного напруження.

Наслідком змінення психологічного та емоційного стану авіадиспетчерів (переходу стану авіадиспетчерів зі стану «норма» до інших станів) можуть бути часові затримки в прийнятті рішень, запізнілі або помилкові дії, зменшення або повна втрата продуктивної працездатності, в результаті чого може виникнути аварійна ситуація.

Крім того, стан авіадиспетчерів може змінитися внаслідок неконтрольованого змінення працездатності. Це пов'язано з тим, що працездатність людини змінюється впродовж робочої зміни, проходячи декілька фаз.

В процесі роботи спочатку відбувається наростання працездатності (фаза впрацьовування, під час якої системи організму здійснюють пошук адекватного реагування на пропоноване навантаження). При цьому, за рахунок нерационального наростання напруженості фізіологічних процесів, що лежать в основі діяльності, може бути досягнута короткочасна надмірно висока працездатність.

Поступово встановлюється високий рівень працездатності, при цьому має місце повна компенсація витрат організму (фаза оптимальної працездатності).

Через деякий час фаза оптимальної працездатності переходить в фазу субкомпенсації (збереження високого рівня працездатності, але вже при неповній компенсації витрат організму).

Внаслідок виснаження внутрішніх ресурсів людини і неузгодженості в роботі систем, що забезпечують його діяльність, наростає стомлення, знижується ефективність роботи. Специфіка прояв втомі залежить від виду навантаження, локалізації її впливу, часу, необхідного для відновлення оптимального рівня працездатності.

Продовженням фази субкомпенсації є фаза декомпенсації, в процесі якої знижується увага, сприйняття, пам'ять, порушуються точність і координація відповідних реакцій, знижується працездатність.

При продовженні роботи ця фаза може перейти в фазу зриву, яка характеризується значним розладом регуляторних механізмів організму і завершується відмовою від діяльності, порушенням уваги, сприйняття.

Тривалість і вираженість перерахованих фаз працездатності залежать від багатьох факторів: віку, характеру роботи, організації діяльності, досвіду роботи, мотивації, типу вищої нервової діяльності людини та ін.

Однією з характеристик ФС є фізіологічна ціна діяльності, яка визначається як зміни, що відбуваються в ФС людини в процесі його цілеспрямованої діяльності протягом певного (заданого) проміжку часу. Важливим критерієм фізіологічної ціни діяльності є оцінка напруги в діяльності центральної нервової системи та ймовірність виходу хоча б одного з фізіологічних параметрів за допустимі межі.

При постійному дефіциті функціональних резервів у людини виникає стан функціональної напруги. У цьому стані всі основні функції організму не виходять за межі норми, але витрати функціональних резервів на підтримку нормального рівня функціонування систем і органів збільшуються. Такі стани з різним ступенем напруги регуляторних систем називаються донозологічними.

Подальше підвищення ступеня напруги вимагає від людини додаткової мобілізації резервів і призводить до перенапруження регуляторних механізмів - стана незадовільної адаптації. У цьому стані більш значними стають зміни в роботі окремих органів і систем людини. Починають проявлятися симптоми преморбидного стану.

Вищенаведене свідчить про необхідність постійного відстеження фізіологічного та психологічного стану людини, в першу чергу - ступеня його стомлення.

Судити про змінення ПФС авіадиспетчерів протягом зміни можна за результатами вимірювання показників ПФС на початку і кінці зміни - за результатами передзмінного і післязмінну контролю, а більш повне представлення про стійкість регуляторних систем організму авіадиспетчера можна отримати на основі аналізу реакції регуляторних систем його організму на вплив розумового (інформаційного) навантаження (функціональні проби). Одним з варіантів такого аналізу можуть бути випробування в форматі «до прикладення навантаження - безпосередньо після закінчення прикладення навантаження - після короткочасного відпочинку».

1.4.2. Особливості проблемної області, що визначають основні напрямки дисертаційних досліджень

Нижче перераховані та проаналізовані основні особливості проблемної області, що визначають основні напрямки досліджень з управління функціональністю авіадиспетчерів.

1. Невизначеність впливу зовнішніх та внутрішніх інформаційних і випадкових факторів на якість роботи СУР.
2. Суттєва залежність працездатності авіадиспетчерів від зовнішніх і внутрішніх факторів.
3. Неточність, неповнота, невизначеність, недостовірність даних, що описують об'єкти проблемної області.

При описі об'єктів дослідники стикаються з двома властивостями, які, здавалося б, суперечать один одному: великою кількістю ознак, що описують об'єкт, і неповнотою опису об'єкта. Велика кількість ознак породжується складністю таких об'єктів, багатогранністю проблеми. На них можна дивитися з різних точок зору, виділяючи різні аспекти з різним ступенем деталізації.

Опис проблеми проводиться, як правило, експертами-фахівцями в даній області, незнайомими з математичними методами теорії управління. Відомості, отримані від них, суб'єктивні, залежать від думки експерта, який бачить проблему з точки зору своєї спеціальності, тому система ознак і їх оцінок у них різна, що породжує їх різноманіття.

Оцінки і описи експертів, отримані за спеціальними методиками вилучення знань, дозволяють оцінити ступінь недостовірності тієї чи іншої оцінки і врахувати її в моделі, скоротити розмірність простору ознак, але не забезпечують повноти опису.

Самі описи, оцінки значень ознак, носять, зазвичай, якісний вербальний характер, оцінити ступінь їх недостовірності не представляється можливим, а без цього неможливо боротися з недостовірністю моделі.

4. Динамічність.

Структура і функціонування об'єкта змінюється з плином часу, тобто об'єкт еволюціонує. Управління такими системами повинно бути адаптивним, здатним змінюватися зі зміною об'єкта. При цьому об'єктами управління в наших системах є не тільки штучні системи, а й люди, характеристики яких важко врахувати при моделюванні об'єкта управління.

5. Недостатня інформованість ОПР про стан авіадиспетчерів, що заважає їм в прийнятті обґрунтованих управлінських рішень.

Наведені особливості проблеми, що вирішується в дисертаційній роботі, обумовлюють:

- доцільність застосування, в першу чергу, таких методів досліджень, як методів теорій прийняття рішень та систем обчислювального інтелекту, експертного аналізу, методів теорії розпізнавання образів;

- необхідність розробки інформаційних систем підтримки ОПР в прийнятті управлінських рішень.

1.5. Постановка задач дисертаційного дослідження

З наведених результатів аналізу стану проблеми, що вирішується в дисертаційній роботі, впливає актуальність вирішення задачі розробки методів і засобів підвищення функціональності авіадиспетчерів, спрямованих на:

- поліпшення організації роботи СУР;
- виявлення і виключення причин, що обумовлюють негативний вплив людського фактора на безпеку і пом'якшення його негативних наслідків;
- підвищення ефективності роботи осіб, які контролюють роботу авіадиспетчерів, і в першу чергу – на підвищення їх інформованості (якості інформаційної підтримки прийняття рішень ОПР).

Значно ускладнюють процес управління функціональністю авіадиспетчерів невизначеність, неоднозначність і неповнота даних, на основі яких приймаються рішення ОПР – умов, в яких здійснюється діяльність авіадиспетчерів, параметрів зовнішніх і внутрішніх (в тому числі – випадкових) факторів, що впливають на їх ФС.

Найважливішим аспектом рішення проблеми забезпечення БП є розробка методологічної та інформаційно-технологічної бази побудови комплексу мір, направлених на перманентне підвищення якості роботи СУР.

Для підвищення якості (ефективності) управління функціональністю авіадиспетчерів в дисертаційній роботі повинні бути проведені:

- розробка концепції проактивного (превентивного) та оперативного адаптивного управління функціональністю авіадиспетчерів;
- розробка комплексу методів, направлених на управління функціональністю авіадиспетчерів;
- розробка комплексу методів, направлених на зниження впливу людського фактора на БП повітряних суден.

Підвищення БП забезпечується за рахунок розробки і практичної реалізації моделей, методів і технологій, застосування яких дозволяє

удосконалити систему управління СУР, завданням якої є забезпечення і підтримання на належному рівні високої якості УПР.

Основними напрямками вирішення поставлених завдань є підвищення організації роботи СУР та зниження впливу людського фактора на БП.

Тому основними напрямками дисертаційних досліджень є:

1. Аналіз сучасного стану проблеми забезпечення БП, а також підвищення якості роботи диспетчерів УПР (авіадиспетчерів) як важливої складової забезпечення БП:

- аналіз існуючих шляхів підвищення функціональності авіадиспетчерів і якості УПР авіадиспетчерами;

- аналіз проблеми впливу людського фактора на якість УПР та існуючих способів його зниження;

- аналіз існуючих методів оцінювання *функціональності авіадиспетчерів*.

2. Розробка шляхів підвищення якості управління роботи авіадиспетчерів і, в першу чергу, одного з етапів управління – оцінювання функціональності авіадиспетчерів.

Основою рішення поставлених завдань є розробка нових методів і технологій підвищення якості управління роботою авіадиспетчерів.

1.6. Висновки до першого розділу

1. В розділі 1 проаналізована наукова література за темою дисертаційної роботи, зокрема, проведено загальний аналіз проблем, пов'язаних з контролем показників ФС і професіоналізму та прийняттям рішень з управління функціональністю осіб, які, у відповідності до «Переліку робіт, де є потреба у професійному доборі» Міністерства охорони здоров'я України, пройшли профвідбір, у першу чергу, авіадиспетчерів.

Відзначається, що БП у значній мірі визначається якістю функціонування авіадиспетчерів, яка, в свою чергу, залежить від їх ФС

(стану здоров'я та психологічного стану) і професіоналізму (рівня знань та досвіду), а також тим, чи знаходиться на робочому місці та людина, яка має право там знаходитися.

Повинен здійснюватися та постійно удосконалюватися контроль ФС, рівня знань авіадиспетчерів та доступу зазначених осіб до інформаційних ресурсів, які вони використовують в процесі своєї роботи, з боку ОПР; причому контроль ФС треба здійснювати протягом усієї виробничої діяльності авіадиспетчерів.

Наведені результати аналізу нормативних документів та літературних джерел відносно засад побудови ІППР ОПР для проведення ними оцінювання, контролю та управління функціональністю авіадиспетчерів:

- проаналізовані основні фактори, які впливають на якість управління повітряним рухом (УПР) співробітниками служби управління рухом (командно-диспетчерського пункту);

- відзначена особлива роль ОПР в забезпеченні ФС та високої якості УПР авіадиспетчерами;

- проаналізовані існуючі підходи до управління повітряним рухом і ФС авіадиспетчерів та обґрунтовано вибір напрямку досліджень щодо розробки методології та ІТ контролю показників та управління функціональністю в умовах невизначеності впливу зовнішніх та внутрішніх небезпечних факторів;

- проаналізовано сучасне методологічне, інформаційне та організаційне забезпечення контролю показників та управління функціональністю авіадиспетчерів;

- особливості проблемної області, що ускладнюють вирішення завдань, поставлених в дисертаційній роботі, та визначають основні напрямки дисертаційних досліджень з управління функціональністю авіадиспетчерів.

Аналіз проблемної області проводився з урахуванням положень таких нормативних документів ІКАО та України: Дос 8973, Дос 8984, Дос 9422,

Doc 9683, Doc 9808, Doc 9859, Doc 9966, Doc 30, Додатки 1, 17 і 19 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію та Повітряний Кодекс України.

Як показав аналіз проблем, які супроводжують ОПР при проведенні контролю показників ФС авіадиспетчерів протягом їхньої професійної діяльності та прийнятті ОПР управлінських рішень, що їх характерною особливістю є невизначеність впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на ФС авіадиспетчерів, неоднозначність та неповнота інформації, якою користується ОПР при прийнятті управлінських рішень.

На основі проведеного аналізу стану проблематики обґрунтовано основні задачі дослідження, розв'язання яких необхідне для досягнення мети, що поставлена в дисертаційній роботі.

Проведено аналіз методів, що застосовуються в даний час для аналізу функціональності авіадиспетчерів, наведені їхні недоліки та показана недоцільність їх застосування для вирішення поставлених в дисертаційній роботі проблем;

- сучасних методів досліджень, які можуть бути використані в процесі управління функціональністю авіадиспетчерів та якістю УПР авіадиспетчерами.

2. Аналіз нормативних документів і літературних джерел показав, що, незважаючи на масштабні вкладення ресурсів у заходи по ослабленню факторів помилок, людський фактор продовжує залишатися однією з головних постійно повторюваних причин авіаційних подій.

3. Аналіз нормативних документів та літературних джерел показав, що основними факторами, від яких залежить якість (ефективність) роботи СУР, є:

- функціональний стан авіадиспетчерів;
- якість роботи осіб, які приймають управлінські рішення.

Список використаних джерел в першому розділі

1. Doc 8973/9 "Aviation Security Manual" / International Civil Aviation Organization. – 2014. – 818 p.
2. Doc 9859 "Safety Management Manual" / International Civil Aviation Organization, 3rd ed. – 2013. – 251 p.
3. Приложение 17 к Конвенции о международной гражданской авиации «Управление безопасностью полетов» // Международная организация гражданской авиации, изд.1. – 2013. – 44 с.
4. Приложение 19 к Конвенции о международной гражданской авиации «Управление безопасностью полетов» // Международная организация гражданской авиации, изд.1. – 2013. – 44 с.
5. Doc 9808 "Human factors in civil aviation security operations" / International Civil Aviation Organization. –2002. – 120 p.
6. Doc 8984 "Manual of Civil Aviation Medicine" / International Civil Aviation Organization, 3rd ed. – 2012. – 578 p.
7. Doc 30 "Ecas 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.
8. Повітряний кодекс України. – Алерта. –2019. – 88 с.
9. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: учеб.пособие: в 3 кн. / под. ред. К.Е. Кочеткова, В.А Котляревского и А.В. Забегаева. – М: Изд-во АСВ, Книга 1. – 1995. – 320 с.
10. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. – М.: ГНТБ Безопасность, 1996. – 424 с.
11. Касти Дж. Большие системы: связность, сложность, катастрофы. – М.: Мир, 1982. – 216 с.
12. Temnikov V.A., Temnikova E.L. Methods and models for increasing the level of aviation security of airports // Science and Education a New Dimension.

Natural and Technical Sciences. – Issue 157. – VI(17). – 2018. – P. 70-73.

13. Temnikov V., Pavlenko P., Temnikov A., Temnikova O. The Methodology of Increasing the Functional Safety of Aviation Enterprises // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET. Lviv, 2018. IEEE Catalog Number: CFP18SUA-CDR ISBN: 978–1–5386–2557–6. – P. 187–191.

14. Темников В.А. Метод повышения эффективности работы системы поддержки принятия решений по управлению информационной безопасностью авиатранспортных предприятий // Системи управління, навігації та зв'язку. – Вип. 6(46). – 2017. – С. 206–209.

15. Брагин В.В., Чабан Ф. Оценка риска и последствий отказов комплексной системы, конструкций, процессов. – Ярославль, 1997. – 191 с.

16. Развитие основ анализа риска и управления безопасностью // Сборник научных трудов ИАЭ им. И.В. Курчатова / А.А. Быков, В.Ф. Демин, Я.В. Шевелёв. – М.: Изд-во ИАЭ, 1989. – 236 с.

17. Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика / И.Н. Макаров, Г.Г. Малинецкий, В.В. Кульба и др. – М.: Наука, 2000. – 305 с.

18. Управление риском. Риск, устойчивое развитие, синергетика / Г.Г. Малинецкий, В.В. Кульба, С.А. Косяченко, М.Г. Шнирман и др. – М.: Наука, 2000. – 431 с.

19. Зубков Б.В., Шаров В.Д. Теория и практика определения рисков в авиапредприятиях при разработке системы управления безопасностью полетов. – М.: МГТУ ГА, 2010. – 196 с.

20. Шаров В.Д. Методология оценки и мониторинга риска событий в деятельности авиакомпании [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.klubok.net/article2444.html>.

21. Темников В.А. Метод повышения эффективности работы системы поддержки принятия решений по управлению информационной

безопасностью авиатранспортных предприятий // Системы управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип. 6(46).– С. 206–209.

22. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Дрофа. – 2006. – 175 с.

23. Бомас В.В., Судаков В.А. Поддержка субъективных решений в многокритериальных задачах. – М.: Изд-во МАИ. – 2011. – 173 с.

24. Самохвалов Ю.Я., Науменко Е.М. Экспертное оценивание. Методический аспект. – Киев: Изд-во ДУИКТ. – 2007. – 264 с.

25. The Method of Expert Evaluation of Airports Aviation Security Using Perceptual Calculations // P. Pavlenko and others. Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT 2018). – 2018. – P. 432–436.

26. Lu J., Ruan G., Wu F. Multi-objective Group Decision Making. / Imperial London College Press. – 2007. – 390 p.

27. Ходашинский И.А. Методы мягкого оценивания величин: монография / Томск: Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. – 2007. – 152с.

28. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия- Телеком. – 2007. – 288 с.

29. Элементы превентивного управления рисками при эксплуатации системных объектов / Под редакцией А. В. Спесивцева. – СПб.: Изд-во СПб ГПУ. – 2003. – 132 с.

30. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. Рига: Зинатне. – 1990. – 184с.

31. Дроздов А.В., Спесивцев А.В. Формализация экспертной информации при логико-лингвистическом оценивании сложных систем // Техническая кибернетика. – 1994. – № 2. – С.89-96.

32. Шаров В.Д., Гузий А.Г., Гладкин С.М. Возможности теории нечетких множеств при оценивании факторов риска авиационного происшествия. // Проблемы безопасности полетов. – 2007. – № 12. – С.10-18.

33. Ногин В.Д. Принцип Эджворта-Парето и относительная важность критериев в случае нечеткого отношения предпочтения // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2003. – Т. 43. – № 11. – С. 1676-1686.

34. Guillaume S. Designing Fuzzy Inference Systems From Data: An Interpretability-Oriented Review // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2001. – V.9, – №3. – P.426-443.

35. Jamei M., Mahfouf M., Linkens D. A. Elicitation and Fine-tuning of Fuzzy Control Rules Using Symbiotic Evolution // Fuzzy Sets and Systems. – 2004. – V.147. – №1. – P.57-74.

36. Wu D., Mendel J.M. Enhanced Karnik-Mendel Algorithms // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2009. – №17(4). – P.923–934.

37. Wu D., Mendel J.M. Aggregation Using the Linguistic Weighted Average and Interval Type-2 Fuzzy Sets // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2007. – №15(6). – P.1145–1161.

38. Wu D., Mendel J.M. A Comparative Study of Ranking Methods, Similarity Measures and Uncertainty Measures for Interval Type-2 Fuzzy Sets // Information Sciences. – 2009. – №179(8). – P.1169–1192.

39. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / М.: Радио и связь. – 1982. – 432 с.

40. Zadeh L.A. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning I // Information Sciences. – 1975. – №8. – P.199–249.

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

42. Zadeh L. A. From Computing with Numbers to Computing with wWords –from Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions) //

IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications. – 1999. – №46(1). – P.105–119.

43. Liu F., Mendel J.M. Encoding Words into Interval Type-2 Fuzzy Sets Using an Interval Approach // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2008. – V.16. – №6. –P.1503–1521.

44. Mendel J. M., Wu D. Perceptual Computing. Aiding People in Making Subjective Judgments/John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.– 2010.– 336p.

45. Peter Pin-Shan Chen. «The Entity-Relationship Model – Toward a Unified View of Data» (англ.)// ACM Transactions on Database Systems (TODS) : Сб. – Нью-Йорк: ACM, 1976. – Vol. 1. — P. 9-36.

46. Когаловский М.Р. Энциклопедия технологий баз данных. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 800 с.

47. Кузнецов С. Д. Основы баз данных. – 2-е изд. — М.: Интернет-университет информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. — 484 с.

48. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных = Introduction to Database Systems. — 8-е изд. — М.: Вильямс, 2005. — 1328 с.

49. Коннолли Т., Бегг К. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика = Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management. — 3-е изд. — М.: Вильямс, 2003. — 1436 с.

50. Гарсиа-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж. Системы баз данных. Полный курс = Database Systems: The Complete Book. — Вильямс, 2003. — 1088 с.

51. С. J. Date. Date on Database: Writings 2000–2006. — Apress, 2006. — 566 с.

52. Date, C. J. Database in Depth. — O'Reilly, 2005. — 240 с.

53. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем: учеб. пособие для вузов — СПб.: Питер, 2001.
54. Аксенов А.И., Гордич А.А. Основы технологий баз данных и знаний — Минск: ЧИУП, 2007.
55. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В.В. Кор-неев, А.Ф. Гареев, С.В. Васютин [и др.] — М.: Издатель С.В. Молгачева: Нолидж, 2001.
56. Кренке К. Теория и практика построения баз данных — СПб.: Питер, 2005.
57. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы — СПб: Питер, 2004.
58. Пупков К.А., Коньков В.Г. Интеллектуальные системы — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.
59. Рикарди, Грег. Системы баз данных. Теория и практика использования в Internet и среда Java / Грег Рикарди. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2001.
60. Толмачева, Е.С. Компьютерные информационные технологии: курс лекций / Е.С. Толмачева. — Минск: Современные знания, 2007.
61. Эйткен, П. Разработка приложений на VBA в среде Office XP / П. Эйткен, — М.: Вильямс, 2003.
62. Бокс Дж., Дженкинс Г.М. Анализ временных рядов, прогноз и управление. М.: Мир, 1974. 406 с.
63. Singh S. Pattern Modelling in Time-Series Forecasting // Cybernetics and Systems-An International Journal. 2000, Vol. 31, No. 1. P. 49 – 65
64. Parzen E. Long memory of statistical time series modeling // NBER-NSF Time Series Conference, USA, Davis, 2004, 10 p.
65. Jingfei Yang M. Sc. Power System Short-term Load Forecasting: Thesis for Ph.d degree. Germany, Darmstadt, Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universitat, 2006. 139 p.

66. Norizan M., Maizah Hura A., Zuhaimy I. Short Term Load Forecasting Using Double Seasonal ARIMA Model // Regional Conference on Statistical Sciences, Malaysia, Kelantan, 2010. P. 57 – 73.

67. Day-Ahead Electricity Price Forecasting Using the Wavelet Transform and ARIMA Models / A.J. Conejo [at al.] // IEEE transaction on power systems. 2005, Vol. 20, No. 2. P. 1035 – 1042.

68. Kumar M. Short-term load forecasting using artificial neural network techniques: Thesis for Master of Science degree in Electrical Engineering. India, Rourkela, National Institute of Technology, 2009. 48 p.

69. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

70. Armstrong J.S. Forecasting for Marketing // Quantitative Methods in Marketing. London: International Thompson Business Press, 1999. P. 92 – 119.

71. Self-organization in leaky threshold systems: The influence of near-mean field dynamics and its implications for earthquakes, neurobiology, and forecasting / J.B. Rundle [at al.] // Colloquium of the National Academy of Sciences, Irvine, USA, 2002. P. 2514 – 2521.

72. Jingfei Yang M. Sc. Power System Short-term Load Forecasting: Thesis for Ph.d degree. Germany, Darmstadt, Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universitat, 2006. 139 p.

73. Draper N., Smith H. Applied regression analysis. New York: Wiley, In press, 1981. 693 p.

74. Ивахненко А.Г. Обзор задач, решаемых по алгоритмам Метода Группового Учета Аргументов (МГУА) // Group Method of Data Handling [электронный ресурс]. URL: <http://www.gmdh.net/articles/rus/obzorzad.pdf> .

75. Mazengia D.H. Forecasting Spot Electricity Market Prices Using Time Series Models: Thesis for the degree of Master of Science in Electric Power Engineering. Gothenburg, Chalmers University of Technology, 2008. 89 p.

76. Yildiz B., Yalama A., Coskun M. Forecasting the Istanbul Stock Exchange National 100 Index Using an Artificial Neural Network // An International Journal of Science, Engineering and Technology. 2008, Vol. 46. P.36 – 39.

77. Zhu J., Hong J., Hughes J.G. Using Markov Chains for Link Prediction in Adaptive Web Sites // 1st International Conference on Computing in an Imperfect World, UK, London, 2002. P. 60 – 73.

78. Hannes Y.Y., Webb P. Classification and regression trees: A User Manual for Identifying Indicators of Vulnerability to Famine and Chronic Food Insecurity // International Food Policy Research Institute , 1999. 59 p.

79. Huang W., Nakamoria Y., Wang S. Forecasting stock market movement direction support vector machine // Elsevier: computers and operation research. 2005, Vol. 32. P. 2513 – 2522.

80. An Artificial Neural Network Approach for Day-Ahead Electricity Prices Forecasting / J. Catalao [at al.] // 6th WSEAS international conference on Neural networks, USA, Stevens Point, 2005. P. 80 – 83.

81. Mahfoud S., Mani G. Financial Forecasting Using Genetic Algorithms // Applied Artificial Intelligence. 1996, Vol. 10, No.6. P. 543 – 565.

82. Morariu N., Iancu E., Vlad S. A neural network model for time series forecasting // Romanian Journal of Economic Forecasting. 2009, No. 4. P. 213 – 223.

83. Pradhan R.P., Kumar R. Forecasting Exchange Rate in India: An Application of Artificial Neural Network Model // Journal of Mathematics Research. 2010, Vol. 2, No. 4. P. 111 – 117.

84. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2006. 1104 с.

85. Nogales F.J., Conejo A.J. Electricity price forecasting through transferfunction models // Journal of the Operational Research Society. 2006, Vol. 57, No. 4. P. 350 – 356.

86. Alfares H.K., Nazeeruddin M. Electric load forecasting: literature survey and classification of methods // International Journal of Systems Science. 2002, Vol 33. P. 23 – 34.

87. Fogler H.R. A pattern recognition model for forecasting // Management science. 1974, No.8. P. 1178 – 1189.

РОЗДІЛ 2

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ

2.1. Концепція управління функціональністю авіадиспетчерів

2.1.1. Принципи забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень особами, що приймають управлінські рішення

Якість роботи диспетчерів по УПР в значній мірі визначають правильність дій співробітників СУР, які, в свою чергу, істотно залежать від ФС та рівня професіоналізму. Це обумовлено тим, що знаходження авіадиспетчерів в неналежному ФС тягне за собою ненавмисні помилки, які є одними з основних причин аварій і авіаційних подій [5-7].

Знизити негативний вплив людського фактора на якість роботи СУР, зменшити ймовірність помилок, що допускаються авіадиспетчери пропонується за рахунок підвищення якості комплексного превентивного та оперативного управління функціональністю авіадиспетчерів. В основу такого підвищення покладено наступні принципи:

1. Покращення кадрового складу СУР *забезпечується* більш ретельним відбором кандидатів на вакантні посади.

2. Забезпечення більш ретельного контролю ФС авіадиспетчерів в процесі періодичного та передзмінного контролю з метою більш ефективного виявлення рівня здатності і готовності авіадиспетчерів виконувати функціональні обов'язки.

3. Забезпечення більш якісного контролю ПФС авіадиспетчерів під час виконання ними функціональних обов'язків протягом робочої зміни з боку ОПР.

Завдання, що вирішується в процесі виконання дисертаційних досліджень, полягало в розробці моделей та методів, які дозволяють це

здійснити, та інформаційної технології 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:

- що здійснюються при прийомі на роботу, періодичного, передзмінного контролю та контролю під час роботи авіадиспетчера на тренажерах – ІППР в процесі превентивного управління (ІППіР);
- запропонованого нового виду контролю – перманентного контролю функціональності авіадиспетчерів – ІППР із застосуванням спеціально створеної бази даних перманентного контролю (БДПК);
- внутрішньозмінного контролю, в процесі якого здійснюється оперативне управління ФС авіадиспетчера та його аутентифікація – інформаційна підтримка прийняття оперативних рішень (ІППоР).

Як відзначалося вище, метою контролю при прийомі на роботу, періодичного та передзмінного контролю є визначення здібності і готовності суб'єктів виконувати функціональні обов'язки, метою внутрішньозмінного контролю – контроль ФС й аутентифікація суб'єктів під час виконання ними функціональних обов'язків. Метою запропонованого перманентного контролю є неперервне відстеження показників суб'єктів для прогнозування можливого виходу показників за межі встановлених значень.

Узагальнена інформаційних зв'язків процесу прийняття рішень по управління функціональністю авіадиспетчерів як суб'єктів предметної галузі наведена на рис. 2.1.

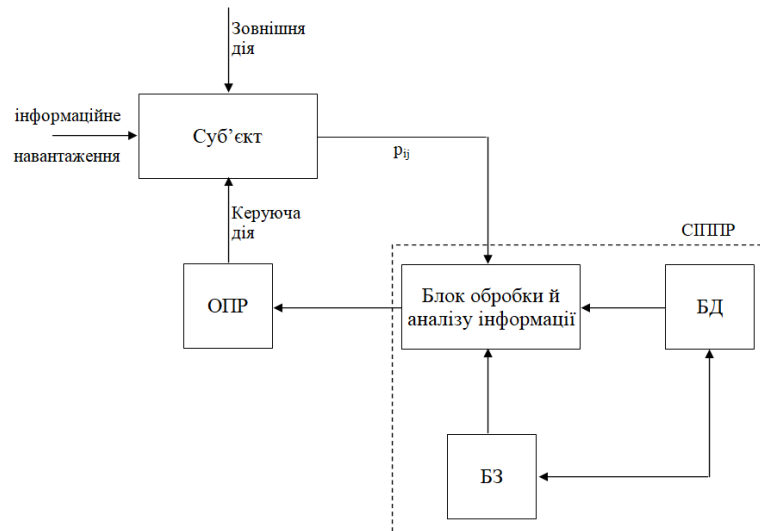


Рис. 2.1. Узагальнена схема інформаційних зв'язків процесу прийняття рішень по управління функціональністю авіадиспетчерів

Основними складовими структури, представленої на рис. 2.1 є:

- суб'єкт (структура рис. 2.1 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, повинні проходити профвідбір);
- ОПР, що проводить керуючі (корегуючі) дії у випадку 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).

2.1.2. Принципи побудови інформаційної технології забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень з управління функціональністю авіадиспетчерів

Основою концепції побудови ІТ забезпечення ІППР ОПР при прийнятті ними рішень з управління функціональністю авіадиспетчерів є такі положення:

1. ІППР ОПР заснована на результатах прогнозування змінень ФС авіадиспетчера протягом усієї його виробничої діяльності, рівня його знань тощо.

2. Функціонування системи ІППР на різних стадіях контролю функціональності 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. 2.2 наведена базова функціональна схема проведення контролю та управління функціональністю авіадиспетчерів на різних стадіях контролю та управління (під час різних контрольних заходів).

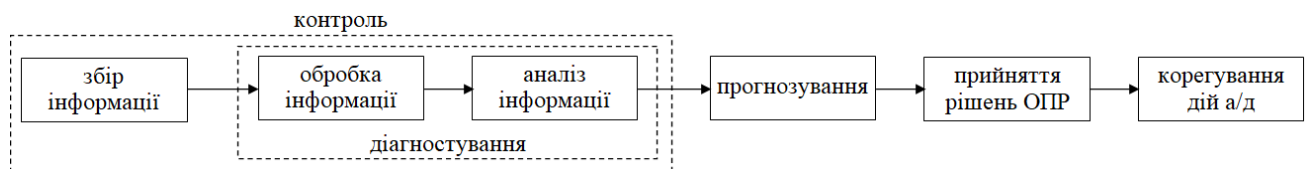


Рис. 2.2. Функціональна схема проведення контролю та управління функціональністю авіадиспетчерів

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.

З рис. 2.2 видно, що під контролем в дисертаційній роботі 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, параметрів мовного сигналу тощо).

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

4. 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, параметри мовних сигналів 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;
- показники стану регуляторних систем організму людини (стану серцево-судинної системи людини (ССС)) – показник активності регуляторних систем організму людини (ПАРС) та індекс напруженості Баєвського ІН.

Для оцінювання ФС протягом робочої зміни використовуються ІН Баєвського (показник стану ССС) і параметри мовних сигналів (в тому числі – система параметрів, розроблена в процесі дисертаційних досліджень).

5. 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 й аутентифікація суб'єктів 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 функціональністю авіадиспетчерів.

На рис. 2.3 наведена концептуальна схема ІППР із зазначенням моделей і методів, які повинні бути розроблені для втілення етапів проведення контролю показників й управління функціональністю авіадиспетчерів.

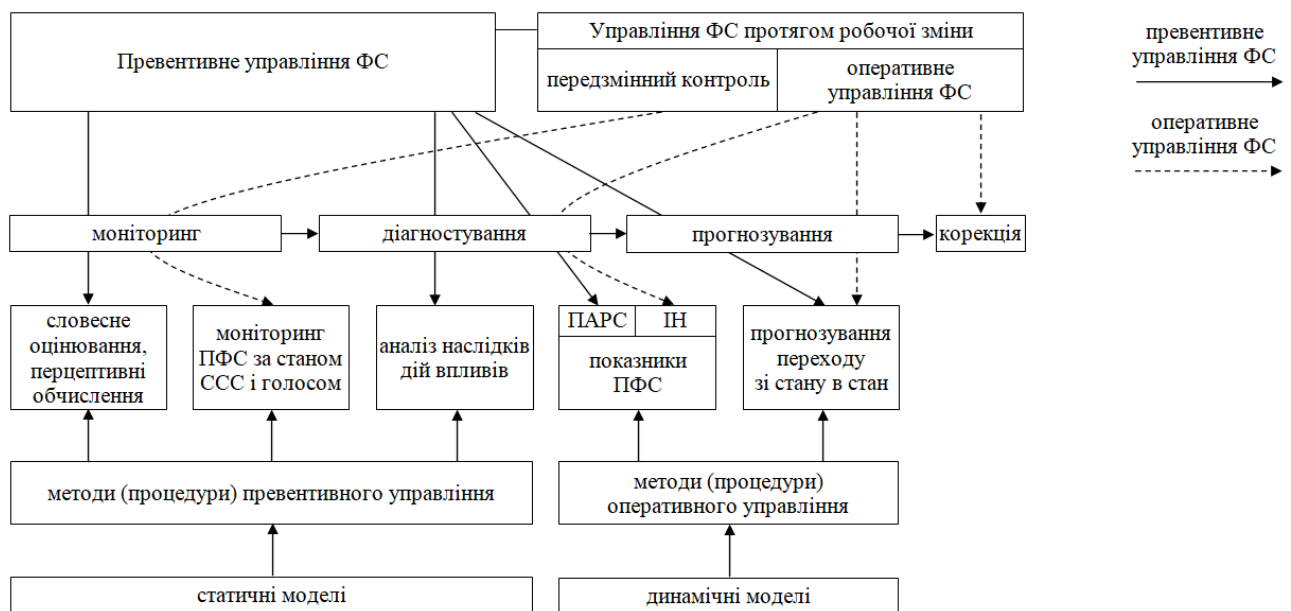


Рис. 2.3. Концептуальна схема ІППР

На рис. 2.4 наведена узагальнена схема ІППР з управління функціональністю авіадиспетчерів в умовах впливу на суб'єкт зовнішніх та внутрішніх небезпечних факторів випадкового характеру з урахуванням моделі SHELL 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 передзмінного контролю);

3) внутрішньозмінний контроль.

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

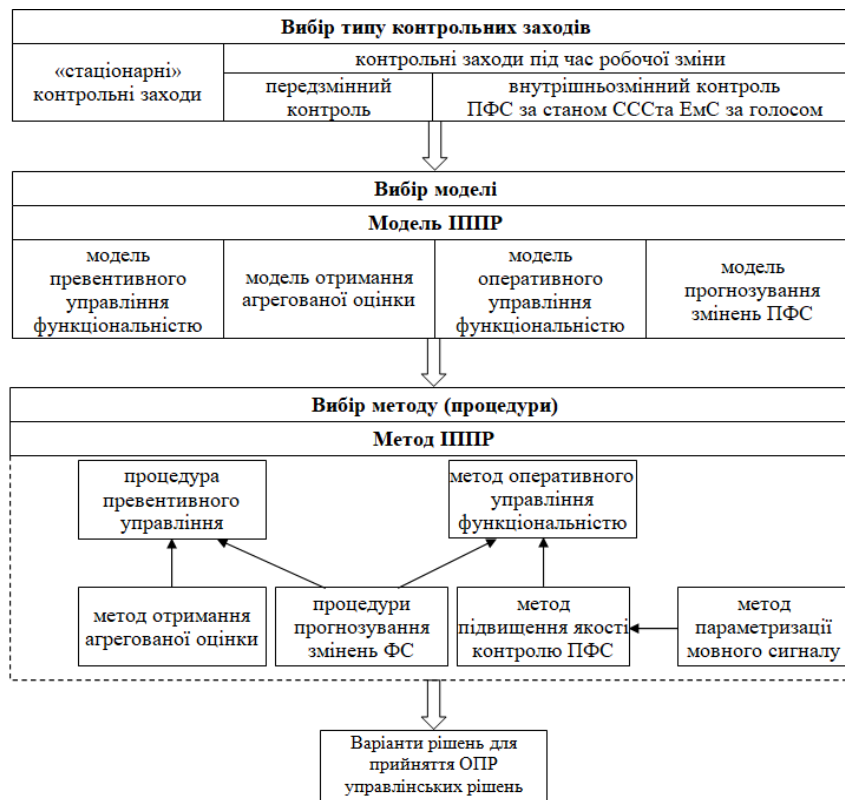


Рис. 2.4. Узагальнена схема ІППР з управління функціональністю авіадиспетчерів

Розробці саме моделей у вигляді структурних та інформаційних моделей, з метою опису етапів проведення контролю та управління функціональністю та переходу до математичного апарату для розрахунку і кількісної оцінки та розробки теоретичних основ побудови відповідних інформаційних систем і технологій присвячені наступні розділи роботи.

2.1.3. Перманентний контроль показників функціональності авіадиспетчерів

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.

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. 2.5.

На рис. 2.5 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).

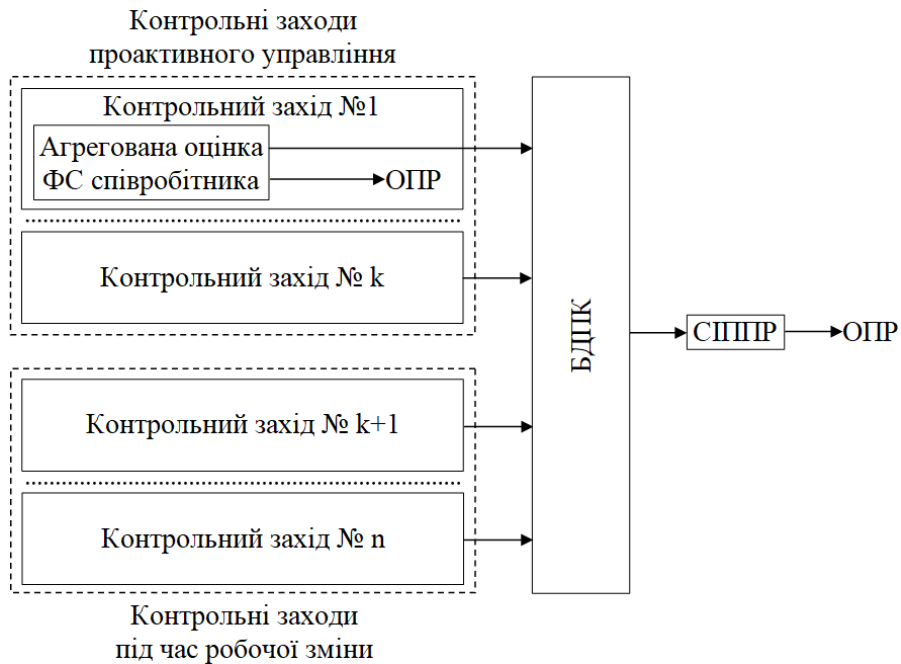


Рис. 2.5. Узагальнена структурна схема процесу перманентного контролю
ФС авіадиспетчерів

Дані, що зосереджуються в БДПК, обробляються СППР і надходять ОПР, які приймають рішення про ступінь готовності осіб виконувати функціональні обов'язки. За результатами контролю ОПР 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 процедуру інформаційного наповнення БДПК, представлену на рис. 2.6.

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 індекси напруженості, розраховані за результатами, як контрольних заходів

проактивного 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.

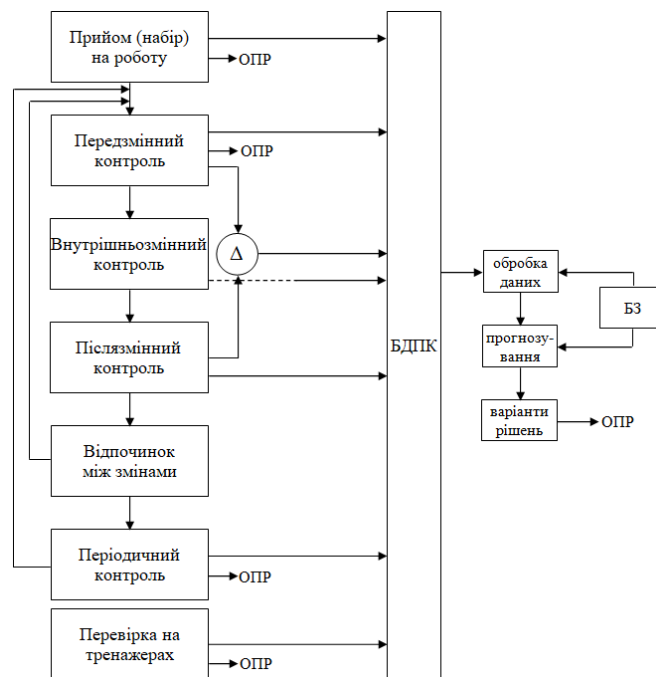


Рис. 2.6. Процедура наповнення бази даних перманентного управління ФС авіадиспетчерів

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

2.2. Модель та метод інформаційної підтримки прийняття рішень

На основі аналізу, проведеного в розділі 1, в якості моделі прийняття рішень пропонується використовувати модель «сутність-зв'язок».

Модель «сутність-зв'язок» в нотації П. Чена [68,16,18] 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.

Питання комунікацій, обробки інформації та прийняття рішень передбачають окремий детальний розгляд та формалізацію з погляду відповідних теорій, та будуть розглянуті в подальшому викладені матеріалу досліджень.

Основними поняттями ER-моделі є сутність, зв'язок і атрибут. Сутність – це реальний або представлений об'єкт, інформація про який повинна зберігатися і бути доступна. 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.

Розроблену концепцію втілює модель процесу ІППР ОПР, записана в ER-нотації (рис. 2.7).

Для реалізації моделі рис. 2.7 розроблено метод ІППР, який включає вісім етапів:

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

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

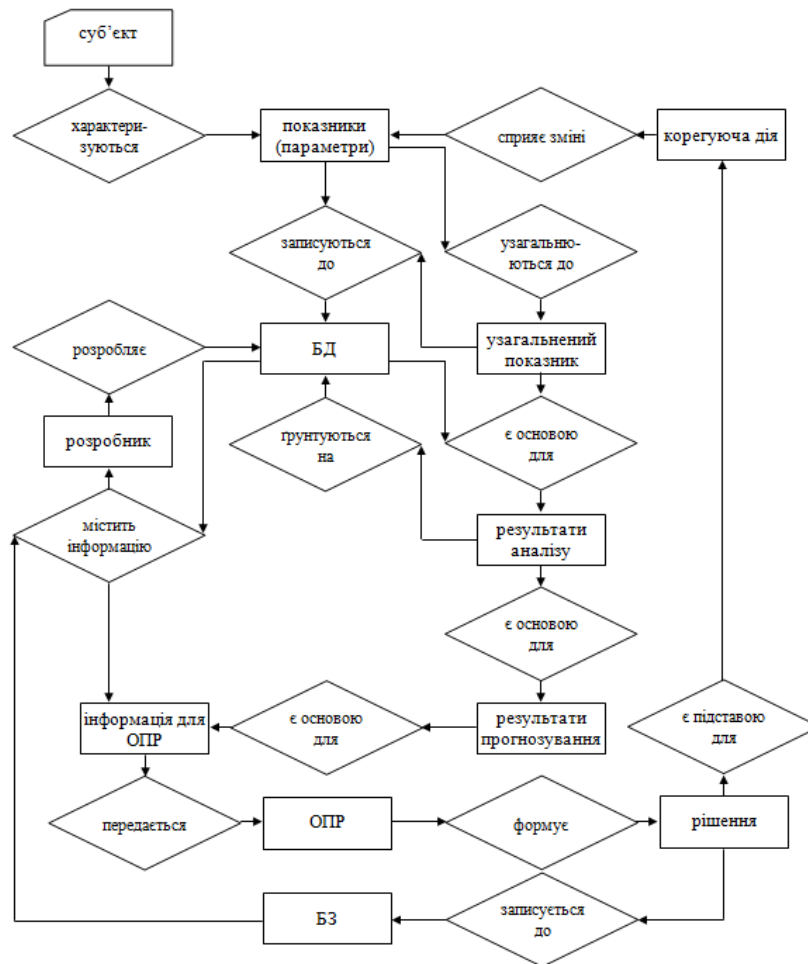


Рис. 2.7. Модель процесу ППР ОПР, записана в ER-нотації

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 Баєвського (ПАРС та ІН);
- отримання показників для перманентного контролю ФС;
- параметризації при проведенні аутентифікації авіадиспетчерів протягом робочої зміни.

Множина показників ФС, які контролюються в процесі проактивного та оперативного управління функціональністю авіадиспетчерів, формується

на основі показників стану здоров'я та психофізіологічних показників стану людини, наведених у нормативних документах ІКАО [14-16] та України [17-19], зокрема, «Переліку робіт, де є потреба у професійному доборі» [20].

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-стовбчик значень показників $\overline{p_{ij}}$:

$$\overline{p_{ij}} = \begin{pmatrix} p_{i1} \\ p_{i2} \\ \dots \\ p_{ik} \end{pmatrix}, \quad (2.1)$$

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, рівня професіоналізму, параметрів мовних сигналів тощо, 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 :

$$\left(\begin{array}{c|c} p_{i1} & b_1 \\ \vdots & \vdots \\ p_{ik} & b_k \end{array} \right). \quad (2.2)$$

Тоді отримання узагальненого показника A_i можна записати так:

$$\left(\begin{array}{c|c} p_{i1} & b_1 \\ \vdots & \vdots \\ p_{ik} & b_k \end{array} \right) \rightarrow A_i, \quad (2.3)$$

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:

- для окремих показників:

$$\bar{p}_j = (p_{1j}, p_{2j}, \dots, p_{nj}); \quad (2.4)$$

- для узагальнених показників:

$$\bar{A} = (A_1, A_2, \dots, A_n), \quad (2.5)$$

де n – кількість контрольних заходів.

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

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & \dots & p_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{1k} & \dots & p_{nk} \end{pmatrix}. \quad (2.6)$$

За допомогою вектора-стовбчика ваг \bar{b} та операції узагальнення « \rightarrow » матрицю показників P можна перетворити на вищенаведений вектор-рядок \bar{A} . Таким чином:

$$\left(\begin{array}{ccc|c} p_{11} & \dots & p_{n1} & b_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ p_{1k} & \dots & p_{nk} & b_k \end{array} \right) \rightarrow \bar{A} = (A_1, A_2, \dots, A_n). \quad (2.7)$$

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).

Показники ФС та рівня професіоналізму авіадиспетчерів:

- агреговані оцінки ФС та рівня професіоналізму у вигляді інтервальних параметрів і параметрів нечітких множин;
- показники психофізіологічного стану (ПФС) (параметри стану серцево-судинної системи людини і мовних сигналів).

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, а також вимірювання ПФР (показників стану серцево-судинної системи людини та мовних

сигналів авіадиспетчерів, які скануються під час аудіообміну авіадиспетчерів та членів льотних екіпажів);

- діагностування існуючої ситуації, яке включає одержання агрегованої оцінки ФС авіадиспетчерів з використанням розробленої процедури отримання агрегованих оцінок та аналіз ФС;

- аналіз можливих наслідків дій небезпечних факторів з використанням процедури прогнозування; в процесі прогнозування проводяться виявлення тенденцій змінення показників ФС та розрахунок ймовірності заходження авіадиспетчера в неналежному стані;

- прийняття рішень ОПР на основі інформації, отриманої на попередніх етапах;

- проведення коригування ФС авіадиспетчерів на основі прийнятих рішень.

2.3. Прогнозування змінення стану авіадиспетчерів

2.3.1. Урахування зовнішніх факторів у прогностичних моделях

Загальний ітеративний підхід до побудови моделі прогнозування складається з таких кроків [1].

Крок 1. На першому кроці на підставі попереднього власного або стороннього досвіду вибирається загальний клас моделей для прогнозування часового ряду на заданий горизонт.

Крок 2. Для безпосередньої наближення до вихідного часового ряду, розвиваються грубі методи ідентифікації підкласів моделей. Такі методи ідентифікації використовують якісні оцінки часового ряду.

Крок 3. Після визначення підкласу моделі, необхідно оцінити її параметри. На даному етапі зазвичай використовується ітеративні способи, коли проводиться оцінка фрагменту (або всього) часового ряду при різних значеннях змінних величин. Як правило, даний крок є найбільш

трудомістким в зв'язку з тим, що часто в розрахунок приймаються всі доступні історичні значення часового ряду.

Крок 4. Далі проводиться діагностична перевірка отриманої моделі прогнозування. Найчастіше вибираються фрагмент або кілька фрагментів часового ряду, достатніх по довжині для перевірконого прогнозування і подальшої оцінки точності прогнозу.

Крок 5. У разі якщо точність діагностичного прогнозування виявилася прийнятною для задач, в яких використовуються прогнозні значення, то модель готова до використання. У разі якщо точність прогнозування виявилася недостатньою для подальшого використання прогнозних значень, то можливо ітеративне повторення всіх описаних вище кроків, починаючи з першого.

Нижче наведені формалізовані кроки моделювання часового ряду.

Нехай значення часового ряду доступні в дискретні моменти часу $t = 1, 2, \dots, T$. Позначимо часовий ряд $Z(t) = Z(1), Z(2), \dots, Z(T)$. В момент часу T необхідно визначити значення процесу $Z(t)$ в моменти часу $T+1, \dots, T+P$ (T – моментом прогнозу, P – час упередження).

Крок 1. Для обчислення значень часового ряду в майбутні моменти часу потрібно визначити функціональну залежність (модель), яка відображатиме зв'язок між минулими і майбутніми значеннями цього ряду:

$$Z(t) = F(Z(t-1), Z(t-2), Z(t-3), \dots) + \varepsilon_t$$

Потрібно створити таку модель прогнозування, для якої середнє абсолютне відхилення істинного значення від прогнозованого прагне до мінімального для заданого P :

$$\bar{E} = \frac{1}{P} \sum_{t=T+1}^{T+P} |\varepsilon_t| \rightarrow \min$$

Крок 2. Окрім отримання майбутніх значень $\hat{Z}(T+1), \dots, \hat{Z}(T+P)$ необхідно визначити довірчий інтервал можливих відхилень цих значень.

Прогнозування з урахуванням зовнішніх факторів. Нехай значення вихідного часового ряду $Z(t)$ доступні в дискретні моменти часу $t=1,2,\dots,T$. Передбачається, що на значення $Z(t)$ впливає набір зовнішніх факторів. Нехай перший зовнішній фактор $X_1(t_1)$ доступний в дискретні моменти часу $t_1 = 1,2,\dots,T_1$, другий зовнішній фактор $X_2(t_2)$ доступний в моменти часу $t_2=1,2,\dots,T_2$ тощо.

У разі, якщо дискретність вихідного часового ряду і зовнішніх факторів, а також значення T, T_1, \dots, T_S різні, то часові ряди зовнішніх факторів $X_1(t_1), \dots, X_S(t_S)$ необхідно привести до єдиної шкали часу t .

В момент прогнозу T необхідно визначити майбутні значення початкового процесу $Z(t)$ в моменти часу $T+1, \dots, T+P$, враховуючи вплив зовнішніх факторів $X_1(t), \dots, X_S(t)$. При цьому вважаємо, що значення зовнішніх факторів в моменти часу $X_1(T+1), \dots, X_1(T+P), \dots, X_S(T+1), \dots, X_S(T+P)$ є доступними.

Крок 3. Для обчислення майбутніх значень процесу $Z(t)$ в зазначені моменти часу потрібно визначити функціональну залежність з урахуванням зовнішніх факторів $X_1(t), \dots, X_S(t)$, відображає зв'язок між минулими значеннями $Z(t)$ і майбутніми, а також приймаючи до уваги вплив зовнішніх факторів $X_1(t), \dots, X_S(t)$ на вихідний часовий ряд:

$$Z(t) = F(Z(t-1), Z(t-2), \dots, X_1(t), X_1(t-1), \dots, X_S(t), X_S(t-1), \dots) + \varepsilon_t$$

Потрібно створити таку модель прогнозування, для якої середнє абсолютне відхилення істинного значення від прогнозованого прагне до мінімального для заданого P .

Крок 4. Крім отримання майбутніх значень $\hat{Z}(T+1), \dots, \hat{Z}(T+P)$, визначається середньоквадратичне відхилення цих значень.

Відповідні розрахунки наведено у наступних підрозділах.

2.3.2. Застосування динамічних функціональних схем для аналізу та прогнозування процесів переходу авіадиспетчерів зі стану в стан

Процес виконання функціональних обов'язків авіадиспетчерами формально можна представити у вигляді процесу змінення станів від початкового A_0 до кінцевого $A_{кінц}$ в заданих умовах функціонування.

Можна вважати, що зміна стану відбувається дискретно під дією зовнішніх або внутрішніх впливів з двома варіантами наслідків: перший варіант – перехід до працездатного стану $A_{прі}$ з ймовірністю $P_{прі}$ (де i – номер зовнішнього або внутрішнього впливу), другий варіант – перехід до непрацездатного стану $A_{нпр}$ (втрата працездатності) з ймовірністю $P_{нпрі}$ (рис. 2.8).

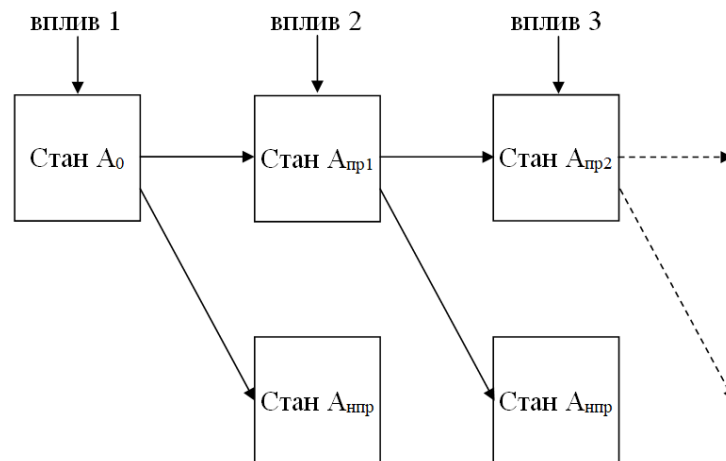


Рис. 2.8. Схема переходу авіадиспетчерів з одного стану в інший під впливом зовнішніх або внутрішніх факторів

Процес послідовного переходу авіадиспетчера зі стану A_0 в працездатні стани $A_{прі}$ визначає процес нормального функціонування авіадиспетчера. Процес переходу авіадиспетчера в непрацездатні стани $A_{нпр}$ повинен привести до відсторонення цього авіадиспетчера від роботи для відпочинку до тих пір, поки показники його ПФС не досягнуть допустимих значень.

Переходи авіадиспетчерів з одного стану до іншого відбуваються в випадкові моменти часу.

Аналіз процесів переходу авіадиспетчерів зі стану в стан заснований на розрахунку ймовірностей переходу авіадиспетчерів зі стану норми в інші стани.

Переходи авіадиспетчерів з одного стану в інший, обумовлені проявом ряду факторів, розглядаються як потік подій, що настають у випадкові моменти часу. У зв'язку з тим, що ймовірність одночасного настання двох або більше подій значно менша, ніж однієї, то потік подій будемо вважати ординарним. Потік подій не є обвальним. Таким чином, авіадиспетчер в будь-який момент часу знаходиться в одному з можливих станів, що визначаються діючими факторами.

Множина станів і можливі переходи між ними можуть бути описані за допомогою теорії графів. При прийнятті зазначених припущень ймовірність появи якої-небудь події на певному інтервалі часу можна вважати незалежною від числа подій на інших інтервалах часу, тобто потік подій можна вважати пуассонівським потоком без післядії і описувати відомим в теорії ймовірностей розподілом Пуассона.

У загальному випадку алгоритм, що моделюється, може бути записаний за допомогою операторного рівняння виду:

$$Z_i(t) = \varphi_i \left\{ t, t_0, Z_i(t_0), [t, X_{L_i}]_{t_0}^t \right\}, \quad (2.8)$$

де $Z(t)$ – поточний стан авіадиспетчера в момент часу t ; $Z(t_0)$ – його початковий стан в момент початку функціонування t_0 ; $X_L(t)$ – вектор-функція, яка визначає вхідний процес; $[t, X_L]_{t_0}^t$ – вхідне повідомлення.

У кожній реалізації на моделі вектор-функцію $X_L(t)$ вибирають з деякої відомої множини функцій $L(t)$, $t \in T$.

Модель як математичний еквівалент реальної системи по деякому показнику якості її працездатності $R(t) = M\varphi(t)$ може бути охарактеризована при фіксованому вхідному повідомленні $[t, X_{L_i}]_{t_0}^t$ виразом:

$$R(t) = M\varphi\{t, t_0, Z(t_0), [t, X_L]_{t_0}^t\}, X_L(t) = \{X_{L_1}(t), \dots, X_{L_n}(t)\}. \quad (2.9)$$

Процеси зміни станів в такій системі описуються співвідношеннями:

$$z(t) = \varphi\{t, t_0, z(t_0), [t, X_L]_{t_0}^t\}, \quad (2.10)$$

$$z(t) = \{z_1(t), \dots, z_n(t)\} z(t) \in Z, \quad (2.11)$$

де φ – оператор функціонування.

Переходи зі стану в стан обумовлені проявом ряду вищеописаних факторів. Їх сукупність слід розглядати як потік подій, що настають у випадкові моменти часу.

2.3.3. Прогнозування знаходження авіадиспетчерів у певному стані

У підрозділі із застосуванням розроблених динамічних функціональних схем запропоновано підхід до вирішення проблеми прогнозування ймовірності знаходження авіадиспетчерів у певному стані.

Одним з основних етапів ПППР в процесі і превентивного, і оперативного управління функціональністю авіадиспетчерів є прогнозування змінень їхнього функціонального (психофізіологічного) стану.

На різних стадіях контролю та управління функціональністю 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 ПФС під час занять на тренажерах).

Нижче представлена розроблена процедура прогнозування змінень ПФС під час проведення внутрішньозмінного контролю протягом робочої

зміни. Змінення ПФС авіадиспетчера під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів описано в рамках складної системи «авіадиспетчер – зовнішні та внутрішні фактори», яка є втіленням однієї з сутностей моделі SHEL. Указана система складається з деякої кількості станів, у яких може перебувати авіадиспетчер під час виконання функціональних обов'язків. Під дією зовнішніх та внутрішніх факторів авіадиспетчер може випадковим чином переходити зі початкового стану, що визначений під час беззмінного контролю, в інші стани.

Припустимо, що всі потоки подій, що переводять систему з одного стану в інший, є пуассоновськими – тоді процес, що протікає в системі, буде марківським.

Процедура прогнозування змінень ПФС авіадиспетчерів протягом робочої зміни складається з чотирьох етапів:

Етап 1. Визначення можливих станів складної системи «авіадиспетчер – зовнішні та внутрішні фактори».

Визначення можливих станів ПФС авіадиспетчерів і, як наслідок, станів складної системи «авіадиспетчер – зовнішні та внутрішні фактори» покладається на експертів з психофізіології, які формують перелік станів у залежності від потреб ОПР. Стани мають бути взаємовиключними та охоплювати увесь спектр змінень ПФС людини під час робочої зміни. Сума ймовірностей знаходження авіадиспетчера у кожному з цих станів дорівнює одиниці: $\sum_{t=0}^n P_i(t) = 1$.

Етап 2. Розрахунок ймовірностей переходу системи зі стану в стан.

Розрахунок ймовірностей переходу складної системи «авіадиспетчер – зовнішні та внутрішні фактори» зі стану в стан базується на даних, отриманих під час регулярних тематичних занять на тренажерах та звітних перевірок психологічного та психофізіологічного стану особи медичними комісіями. Регулярні заняття на тренажерах мають включати завдання на реакцію авіадиспетчера як на стресові ситуації, так і на великі масиви

інформаційного навантаження. Після виникнення кожної змодельованої стресової ситуації має фіксуватися перехід особи в інший ПФС або відсутність такого переходу. Частота змінення стану на великій вибірці тренувань вважається ймовірністю переходу особи зі стану в стан. Даний висновок може бути скореговано на підставі проведеної медичною комісією перевірки психологічного та психофізіологічного стану особи.

Етап 3. Створення графових моделей системи.

В якості моделі складної системи «авіадиспетчер – зовнішні та внутрішні фактори» пропонується графова модель, що описує систему через її можливі стани і переходи з одного стану в інший.

Позначимо через A_i деякий стан системи, а через $P_i(t)$ – ймовірність того, що в момент часу t система знаходиться в стані A_i ($i=0,1, 2, \dots, n$).

Для будь-якого моменту часу t сума ймовірностей станів дорівнює одиниці (умова нормування), тобто $\sum_{i=0}^n P_i(t) = 1$. Це обумовлено тим, що події, які полягають в тому, що в момент часу t система знаходиться в станах A_1, A_2, \dots, A_n , є несумісними і утворюють повну групу подій.

Етап 4. Визначення ймовірності знаходження системи у заданому стані як функції часу.

Крок 1. Складання системи диференціальних рівнянь Колмогорова.

Ланцюг ймовірнісних подій змінення станів складної системи «авіадиспетчер – зовнішні та внутрішні фактори» являє собою марківський процес, який описується системою диференціальних рівнянь Колмогорова щодо ймовірностей $P_0(t), P_1(t), \dots, P_n(t)$. Завдання полягає в тому, щоб визначити ймовірності $P_0(t), P_1(t), \dots, P_n(t)$ знаходження системи в тому чи іншому стані як функції часу.

При складанні системи диференціальних рівнянь Колмогорова зручно скористатися розміченим графом станів і правилом Колмогорова.

Крок 2. Розв'язання системи диференціальних рівнянь Колмогорова.

Ймовірності знаходження об'єкта в тому чи іншому стані описуються диференціальними рівняннями Колмогорова:

$$\begin{aligned}\frac{dP_1}{dt} &= \lambda_{12}P_1 + \lambda_{31}P_3; \\ \frac{dP_2}{dt} &= -(\lambda_{23} + \lambda_{24})P_2 + \lambda_{12}P_1; \\ \frac{dP_3}{dt} &= -\lambda_{32}P_3 + \lambda_{23}P_2 + \lambda_{43}P_4; \\ \frac{dP_4}{dt} &= -\lambda_{43}P_4 + \lambda_{24}P_2.\end{aligned}\tag{2.12}$$

Для розв'язання представленої системи диференціальних рівнянь слід зробити деякі зауваження:

1. Початкові умови можна представити у вигляді: при $t = 0$ $P_0 = 1$, $P_1 = 0$.

2. Чисельний розв'язок системи диференціальних рівнянь Колмогорова можливий за умови достатньої інформації про ймовірність переходу λ_j і μ_j зі стану в стан.

Розв'язками наведеної системи диференціальних рівнянь є функції залежності ймовірності знаходження авіадиспетчера у стані A_k від часу: $P_k(t)$.

Для будь-якого t можна знайти основні характеристики випадкової величини: дисперсію D_k і середньоквадратичне відхилення σ_k . Щоб визначити ці характеристики, треба знати інтенсивності потоків подій, що переводять авіадиспетчера зі стану в стан. Оскільки інтенсивності λ_{ij} та μ_{ij} нам відомі, то дисперсія визначається так:

$$D_k(t) = P_k(t)(1 - P_k(t)).\tag{2.13}$$

Знаючи дисперсію D_k , можна знайти середньоквадратичне відхилення стану A_k :

$$\sigma_k(t) = \sqrt{D_k(t)}.\tag{2.14}$$

Знаючи математичні очікування й дисперсію стану, можна оцінювати і можливості різноманітних станів системи в цілому, наприклад, ймовірність знаходження авіадиспетчера в певному незадовільному стані.

Для визначення параметрів проводять експериментальні дослідження на елементах, а якщо вдається, то і на засобах всієї системи в умовах її нормального функціонування.

Переходи зі стану в стан обумовлені проявом ряду факторів, описаних в лінгвістичних моделях авіадиспетчерів. Їх сукупність слід розглядати як потік подій, що настають у випадкові моменти часу. Ймовірність одночасного настання двох або більше таких подій значно менше, ніж одного, тому потік подій слід вважати ординарним.

В якості моделі системи «авіадиспетчер – зовнішні та внутрішні впливи» пропонується графова модель, що описує систему через її можливі стани і переходи з одного стану в інший (рис. 2.9).

З урахуванням вищевикладеного пропонується математична модель складної системи «авіадиспетчер – зовнішні та внутрішні впливи».

Позначимо через A_i — деякий стан системи, а через $P_i(t)$ — ймовірність того, що в момент часу t система (підсистема) знаходиться в стані A_i ($i=0, 1, 2, \dots, n$).

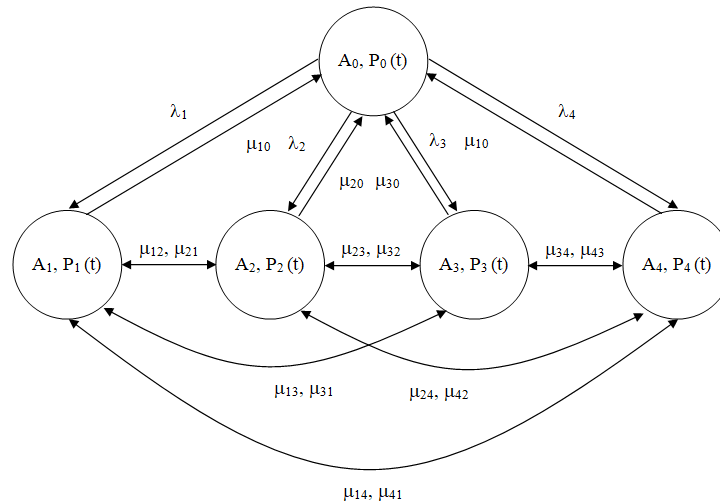


Рис. 2.9. Граф стану складної системи «авіадиспетчер – зовнішні та внутрішні впливи»: A_0 – нормальна ситуація, A_1 – напружена ситуація, A_2 – складна ситуація, A_3 – проблемна ситуація, A_4 – надзвичайна ситуація

Очевидно, що для будь-якого моменту часу t сума ймовірностей станів дорівнює одиниці (умова нормування), тобто $\sum_{i=0}^n P_i(t) = 1$, бо події, що полягають в тому, що в момент часу t система знаходиться в станах A_1, A_2, \dots, A_n несумісні і утворюють повну групу подій.

Марковський процес описується системою диференціальних рівнянь Колмогорова щодо ймовірностей $P_0(t), P_1(t), \dots, P_n(t)$. Завдання полягає в тому, щоб визначити ймовірності $P_0(t), P_1(t), \dots, P_n(t)$ знаходження системи в тому чи іншому стані як функції часу. Вирішити зазначену систему можна шляхом переходу до задачі Коші і застосування перетворень Лапласа або чисельних методів.

При складанні системи диференціальних рівнянь Колмогорова зручно скористатися розміченим графом станів і правилом Колмогорова. Тоді система диференціальних рівнянь Колмогорова для повного графа станів матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dP_0}{dt} &= -\lambda_{\Sigma}P_0 + \mu_{10}P_1 + \mu_{20}P_2 + \mu_{30}P_3 + \mu_{40}P_4 \\ \frac{dP_1}{dt} &= \lambda_1P_0 + \mu_{21}P_2 + \mu_{31}P_3 + \mu_{41}P_4 - (\mu_{10} + \mu_{12} + \mu_{13} + \mu_{14})P_1 \\ \frac{dP_2}{dt} &= \lambda_2P_0 + \mu_{12}P_1 + \mu_{32}P_3 + \mu_{42}P_4 - (\mu_{20} + \mu_{22} + \mu_{23} + \mu_{24})P_2 \\ \frac{dP_3}{dt} &= \lambda_3P_0 + \mu_{13}P_1 + \mu_{23}P_2 + \mu_{43}P_4 - (\mu_{30} + \mu_{32} + \mu_{33} + \mu_{34})P_3 \\ \frac{dP_4}{dt} &= \lambda_4P_0 + \mu_{14}P_1 + \mu_{24}P_2 + \mu_{34}P_3 - (\mu_{40} + \mu_{42} + \mu_{43} + \mu_{44})P_4 \end{aligned}$$

Якщо λ_j і μ_y (ймовірності переходу) постійні з плином часу t , тоді система диференціальних рівнянь є системою лінійних диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами. Якщо λ_j і μ_y – функції часу, то це система лінійних диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами.

Слід зробити деякі зауваження:

1. Початкові умови можна представити у вигляді: при $t = 0$ $P_0 = I$, $P_1 = 0$.

3. Кількісне рішення системи диференціальних рівнянь Колмогорова можливо за умови достатньої інформації про ймовірність переходу λ_j и μ_j .

Рішення конкретних завдань, пов'язаних з функціонуванням авіадиспетчерів, можливо тільки в тому випадку, якщо проведена певна формалізація завдання.

Кількісне рішення системи диференціальних рівнянь Колмогорова можливе за умови достатньої кількості статистичних даних про ймовірності переходу системи з одного стану в інший. Для отримання статистичних даних, необхідних для вирішення рівнянь Колмогорова і визначення на їх основі ймовірностей переходів авіадиспетчера з одних станів до інших, повинен бути проведений комплекс робіт на тренажерах, під час яких повинні моделюватися можливі варіанти дій зовнішніх та внутрішніх факторів.

2.3.4. Прогнозування ймовірності переходу групи людей з одного стану до іншого

Розроблений підхід до вирішення проблеми прогнозування ймовірності переходу групи людей (наприклад, співробітників однієї служби) з одного стану до іншого заснований на використанні ймовірнісних моделей, що найбільш повно враховують стохастичну природу динаміки змінення ФС людини-оператора. Випадкові процеси описують динаміку змінення ФС за допомогою теорії безперервних марковських процесів.

Служба авіапідприємства розглядається як складна система S , що складається з великої кількості N однорідних елементів (наприклад, авіадиспетчерів, об'єднаних в СУР, або співробітників САБ, об'єднаних в САБ), кожен з яких може випадковим чином переходити зі стана в стан. Припустимо, що всі потоки подій, що переводять систему S з одного стану в

інший, є пуассоновським, тоді процес, що протікає в системі, буде марковським.

Якщо відомі ймовірності станів одного елемента P_1, P_2, \dots, P_n , як функції часу, то відомі і математичні очікування станів m_1, \dots, m_n і їх дисперсії $\sigma_1, \dots, \sigma_n$.

Ймовірності можуть бути знайдені шляхом рішення диференціальних рівнянь Колмогорова для ймовірностей станів, для чого треба знати інтенсивності потоків подій, що переводять кожен елемент зі стану в стан. Найчастіше замість диференціальних рівнянь для ймовірностей станів використовують рівняння безпосередньо для математичних очікувань станів.

При цьому вважають, що математичне очікування кожного стану пропорційно ймовірності цього стану і задовольняє тим же диференціальним рівнянням, але інтегрованим при початкових умовах, відповідних до математичного очікування станів.

Заправдемо до розгляду випадкову величину $X(t)$ – число одиниць, що знаходяться в момент t в стані E . Для будь-якого моменту t загальна кількість всіх станів дорівнює загальній чисельності елементів, тобто

$$\sum_{k=1}^n X_k(t) = N.$$

Для будь-якого t можна знайти основні характеристики випадкової величини $X(t)$: математичне очікування $m_k(t) = M[X_k(t)]$ і дисперсію $D_k(t) = D[X_k(t)]$. Щоб визначити ці характеристики, треба знати інтенсивності потоків подій, що переводять елемент зі стану в стан.

Нехай інтенсивності λ_{ij} нам відомі, тоді чисельність кожного стану $X(t)$ можна представити як суму випадкових величин, кожна з яких пов'язана з окремим i -м елементом

$$X_k^{(i)}(t) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i \text{ – ий елемент в момент часу } t \text{ знаходиться в стані } E \\ 0, \text{ якщо не знаходиться} \end{cases}.$$

Для будь-якого моменту t загальна чисельність станів E дорівнює сумі випадкових величин

$$X_k(t) = \sum_{i=1}^k X_k^{(i)}(t) .$$

Якщо інтенсивності λ_{ij} не випадкові, то величини $X_k^1(t), X_k^2(t) \dots X_k^N(t)$ для окремих елементів незалежні між собою. Тоді за теоремою складання математичних очікувань і теоремою додавання дисперсій

$$m_k(t) = \sum_{i=1}^N M[X_k^{(i)}(t)] ,$$

$$D_k(t) = \sum_{i=1}^N D[X_k^{(i)}(t)] .$$

Для будь-якого t математичне очікування і дисперсія чисельності будь-якого стану E виражаються через число елементів N і ймовірність P стану за формулами

$$m_k(t) = NP_k(t),$$

$$D_k(t) = NP_k(t)(1 - P_k(t)).$$

Знаючи дисперсію $D_k(t)$, можна знайти середнє відхилення стану E

$$\sigma_k(t) = \sqrt{NP_k(t)(1 - P_k(t))} .$$

Звідси можна визначити діапазон практично можливих значень математичних очікувань: $m_k(t) \pm \sigma_k(t)$.

Ймовірності знаходження об'єкта в тому чи іншому стані описуються диференціальними рівняннями Колмогорова [11]:

$$\frac{dp_1}{dt} = \lambda_{12}p_1 + \lambda_{31}p_3;$$

$$\frac{dp_2}{dt} = -(\lambda_{23} + \lambda_{24})p_2 + \lambda_{12}p_1;$$

$$\frac{dp_3}{dt} = -\lambda_{32}p_3 + \lambda_{23}p_2 + \lambda_{43}p_4;$$

$$\frac{dp_4}{dt} = -\lambda_{43}p_4 + \lambda_{24}p_2.$$

Помноживши ліву і праву частину кожного рівняння на число елементів N і вводячи в лівих частинах N під знак похідної, маємо:

$$\begin{aligned}\frac{d(Np_1)}{dt} &= \lambda_{12}Np_1 + \lambda_{31}Np_3; \\ \frac{d(Np_2)}{dt} &= -(\lambda_{23} + \lambda_{24})Np_2 + \lambda_{12}Np_1; \\ \frac{d(Np_3)}{dt} &= -\lambda_{32}Np_3 + \lambda_{23}Np_2 + \lambda_{43}Np_4; \\ \frac{d(Np_4)}{dt} &= -\lambda_{43}Np_4 + \lambda_{24}Np_2.\end{aligned}$$

Або переходячи до середніх станів:

$$\begin{aligned}\frac{d(m_1)}{dt} &= \lambda_{12}m_1 + \lambda_{31}Nm_3; \\ \frac{d(m_2)}{dt} &= -(\lambda_{23} + \lambda_{24})m_2 + \lambda_{12}m_1; \\ \frac{d(m_3)}{dt} &= -\lambda_{32}m_3 + \lambda_{23}m_2 + \lambda_{43}m_4; \\ \frac{d(m_4)}{dt} &= -\lambda_{43}m_4 + \lambda_{24}m_2.\end{aligned}$$

Інтегруючи ці рівняння, можна отримати математичні очікування станів $m_1(t), m_2(t), m_3(t), m_4(t)$ й дисперсій $D_k(t) = NP_k(t)(1 - P_k(t))$ або, з урахуванням $m_k(t) = NP_k(t)$, отримаємо

$$D_k(t) = m_k(t)\left(1 - \frac{m_k(t)}{N}\right), \quad \sigma_k(t) = \sqrt{D_k(t)}.$$

Знаючи математичні очікування і дисперсію стану, можна оцінювати і можливість різноманітних станів системи в цілому, наприклад, ймовірність того, що математичне очікування деякого стану буде укладено в певних межах.

2.4. Управління функціональністю авіадиспетчерів

Дослідження практичних ситуацій виробничої діяльності авіадиспетчерів [20, 21] дозволило зробити висновок, що побудова моделей управління їхньою функціональністю потребує їхньої інтерпретації і як задач із чітко структурованими умовами, так і задач, умови та показники якої мають слабоструктурований характер [23].

Питанням опису та аналізу моделей управління (в тому числі, прийняття рішень) присвячено велику кількість наукових робіт, оскільки

питання є актуальним як з погляду теоретичних досліджень [24 – 30], так і для прикладних досліджень, основною метою яких є розроблення та практична реалізація експертних систем для інформаційної підтримки прийняття рішень. Проблема полягає у відсутності формалізованих інформаційних моделей процесів прийняття рішення та управління, що дозволило б їх практичну реалізацію в інформаційних системах прийняття рішень у досліджуваній предметній області. Більшу частину праць присвячено не опису процесів управління та прийняття рішень, тобто інформаційної моделі сутності рішення, а саме методам пошуку рішень за різних умов, наприклад, в умовах невизначеності.

У вузькому розумінні управління розглядається як вибір кращого рішення з численних альтернатив [26]. Зважаючи на підходи до формалізації процесів управління та ІППР в роботі управління розглядається як процес, який починається з виникнення проблемної ситуації і завершується вибором рішення, тобто вибором дії, яка спрямована на усунення проблемної ситуації [12]. Функціональна схема процесу управління, яка реалізує представлений підхід, наведена на рис. 2.10.

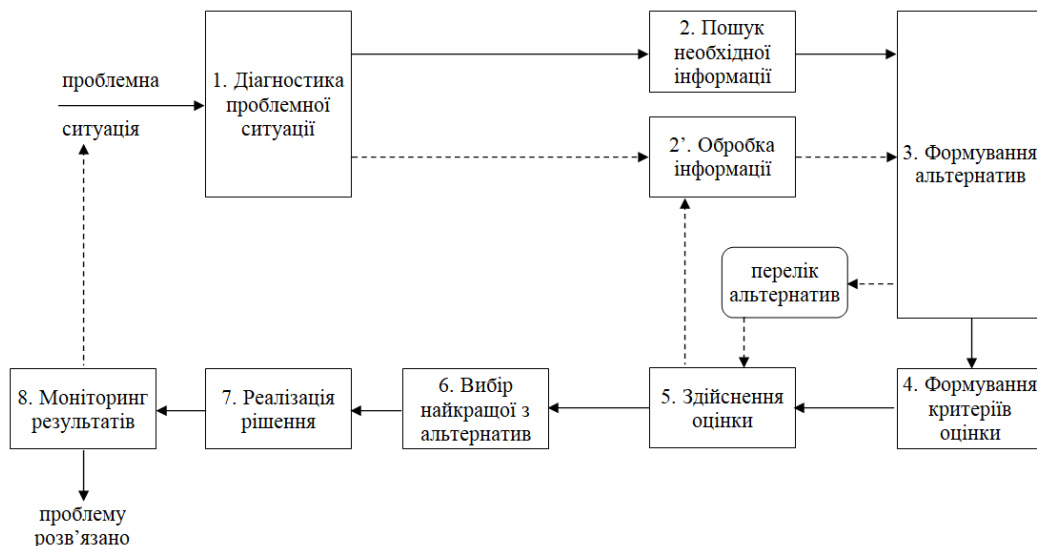


Рис. 2.10. Функціональна схема процесу управління, яка реалізує представлений підхід

На рис. 2.10 показано спрощений процес управління, але його складність є очевидною через велику кількість етапів управління (діагностування, оброблення інформації, формування альтернатив тощо) [28].

Фундаментальні теорії управління були побудовані на тому погляді, що оптимальні рішення вибираються основі тільки критерію оптимальності [29]. Кращим вважалося такий результат управління (результат рішення), який забезпечує максимум (або мінімум) обраного критерію. На теперішній час у більшості випадків якість управління (рішень), спрямованих на розв'язання практичних завдань, характеризується багатьма критеріями. Тому приймати рішення необхідно, ґрунтуючись на декількох критеріях.

На процесі управління та ІППР впливає багато різноманітних факторів, починаючи із зовнішнього середовища і закінчуючи особистими характеристиками ОПР [20, 21].

Рішення є основою коригуючи дій, впливу на авіадиспетчера - об'єкт управління, важливою ланкою формування та реалізації управління і складає основу реалізації функцій ОПР [30]. Ключовою характеристикою, яка описує процес управління, є модель управління, яка, виходячи з класичної теорії управління, описується трьома основними видами: класичною (раціональною), поведінковою та ірраціональною моделями [31].

Класична модель спирається на поняття раціональності управлінських рішень. Передбачається, що ОПР повинна бути абсолютно об'єктивною і логічною, мати чітку мету, усі її дії в процесі прийняття рішень спрямовані на вибір найкращої альтернативи.

Отже, основні характеристики класичної моделі зводяться до [31]:

- є чітка мета прийняття рішення;
- є повна інформація про ситуацію, в якій відбувається прийняття рішення;
- є повна інформація про всі можливі альтернативи і наслідки їх реалізації;

– є раціональна система впорядкування переваг за ступенем їх важливості.

Мета ОПР завжди полягає у тому, щоб зробити вибір, який максимізує результат діяльності. Отже, класична модель передбачає, що умови управління повинні бути визначеними. Проте на практиці на процес прийняття рішень впливають численні обмежуючі та суб'єктивні фактори. Сукупність таких факторів у процесі прийняття рішень враховується у поведінковій моделі.

На відміну від класичної, поведінкова модель передбачає:

- відсутність повної інформації про ситуацію, що має місце;
- відсутність повної інформації про можливі альтернативи;
- не здатність ОПР передбачити наслідки реалізації можливих альтернативних рішень [27].

Ірраціональна модель ґрунтується на тому, що рішення приймаються ще до того, як досліджуються альтернативи. Ірраціональна модель найчастіше застосовується для розв'язання задач в умовах дефіциту часу.

Ірраціональну модель можна описати відповідними сутностями в межах моделі виробничої діяльності авіадиспетчерів: психофізіологічними аспектами та рівнем обґрунтування рішення, які можуть бути формалізовані на основі існуючих підходів (наприклад, застосування нечітких множин) та використані в методах і процедурах ІППР.

Зміст процесу управління на основі інформаційної моделі сутності «рішення» визначається такими сутностями та їх характеристиками: визначеністю засобів та методів розв'язання задач, рівнем контролю, рівнем обґрунтування рішення. Комбінації оцінок атрибутів сутності «модель рішення» можуть бути використані як вхідні дані для класифікаційного аналізу [21].

2.5. Робочі операції діяльності авіадиспетчерів

Якість роботи авіадиспетчера можна оцінити показником, що характеризує його здатність виконувати певні операції безпомилково і своєчасно в заданих або позаштатних умовах протягом встановленого відрізка часу. У безпомилковості роботи проявляється психофізіологічний аспект якості роботи, а в своєчасності - його організаційний аспект, тобто якість поведінки авіадиспетчерів у виробничій системі.

Основою технології процесів є процедури ухвалення рішень, комунікацій та обробки інформації, як необхідні елементи для виконання безпосередньо операції. Тобто елементами структурної моделі професійної діяльності, які поєднують всі елементи моделі в єдину інформаційну систему, виступають комунікації та моделі (процедури) прийняття рішення.

Основою технології робіт, що повторюються, служить операція. Вона являє собою однорідну, логічну, неподільну частину процесу виконання роботи або управління. Поняття операція і процедура є ключовими у вивченні технології професійної діяльності. Поряд із цим поняття операція має широкий зміст і охоплює будь-які доцільні дії людини — виробничі, технологічні, управлінські тощо.

Операція — це будь-яка дія, захід (або система заходів), об'єднані єдиним задумом та спрямовані на досягнення відповідної мети. Комплекс дій, що виконуються в межах однієї операції, може складатися з кількох елементів (задач), тому операцію можна розглядати і як сукупність елементів (задач) трудових процесів, які виконуються працівниками. В основі побудови операцій має бути покладено, перш за все, цільову завершеність дії стосовно виконавця.

Таким чином, операція (задача), є базовим елементом професійної діяльності, яка повинна бути формалізована у вигляді структурної моделі в загальному вигляді для подальшого інформаційного моделювання в межах побудови методології аналітичної оцінки професійної діяльності.

Найпростішим показником безпомилковості роботи авіадиспетчерів є ймовірність P_{ji} готовності i -го авіадиспетчера до виконання операції j -го типу, яка обчислюється як відношення:

$$P_{ji} = \frac{N_{ji}}{n_{ji}},$$

де N_{ji} – число операцій j -го типу, виконаних i -им авіадиспетчером протягом деякого (заданого) проміжку часу; n_{ji} – число операцій з N_{ji} , виконаних безпомилково.

Найпростішим показником якості організації робіт є ймовірність r_{ji} готовності i -го авіадиспетчера до виконання операції j -го типу:

$$r_{ji} = \frac{m_{ji}}{M_{ji}},$$

де M_{ji} – число операцій j -го типу, виконаних i -им авіадиспетчером протягом деякого (заданого) проміжку часу; m_{ji} – число операцій з M_{ji} , виконаних своєчасно.

Для авіадиспетчерів r_{ij} характеризує їх готовність до виконання своїх професійних обов'язків в заданих умовах роботи і оцінюється показником безвідмовності функціонування авіадиспетчерів у відповідних умовах.

Виробничий процес для i -го авіадиспетчера може складатися з V_i операцій, для яких відомі ймовірності R_{ji} і r_{ji} , причому, j -а операція може повторюватися i -им авіадиспетчером Z_{ji} раз.

Ймовірність безпомилкової роботи i -го авіадиспетчера P_{ji} при виконанні виробничого завдання знаходиться як добуток:

$$P_{ji} = \prod_{j=1}^{V_i} p_{ji}^{d_{ji}}$$

Ймовірності готовності i -ого авіадиспетчера до виконання виробничого завдання, що складається з V_i операцій з допуском за всіма видами операцій r_{ji} можна оцінити як добуток:

$$r_{ji} = \prod_{j=1}^{V_i} r_{ji}^{d_{ji}}.$$

Якщо вважати, що психофізіологічні та організаційні чинники незалежні один від одного, то ймовірність своєчасного і безпомилкового виконання завдання i -м авіадиспетчером можна визначити за формулою:

$$F_i = P_i \cdot r_i.$$

Аналіз характеру операцій, що виконуються авіадиспетчером під час робочої зміни, дозволяє виявити групи одиночних операцій, що утворюють деяку визначену послідовність і мають ознаки початку і кінця їх виконання, і однотипові операції, необхідність виконання яких виникає з певною періодичністю.

Нижче наведені етапи функціональної діяльності авіадиспетчерів і особливості їх роботи під час виконання ними функціональних обов'язків.

Авіадиспетчер під час своєї професійної діяльності виконує роль оператора, який керує об'єктами. Діяльність авіадиспетчера як оператора зводиться до чотирьох послідовно реалізованих етапів.

Етап 1. Пошук, сприйняття і декодування інформації.

На цьому етапі діяльності авіадиспетчера превалюють елементи стеження за поведінкою керованого об'єкта. Специфіка даного етапу діяльності вимагає від людини швидкого переходу від одних видів представлення інформації до інших і підвищеної уваги. На цьому етапі:

1) швидкість переходу від одного виду представлення інформації до іншого – максимальна;

2) підвищена увага φ_{max} призводить до граничної навантаженні на рецептори Hr_{max} і до швидкої втоми, тобто максимальної швидкості зменшення градієнта працездатності B , що формально може бути представлено як:

$$\varphi_{max} \rightarrow Hr_{max} \rightarrow -\left[\frac{dB}{dt}\right]_{max}.$$

Етап 2. Оцінка інформації і виділення сукупності інформативних ознак.

На цьому етапі в діяльності людини-оператора (авіадиспетчера) превалюють елементи аналізу фактичної інформації, отриманої від керованого об'єкта або процесу, порівняння її з інформацією, прийнятої за еталонну для заданого режиму роботи об'єкта або режиму управління. На даному етапі здійснюються:

- 1) порівняння фактичних і номінальних значень параметрів управління і оцінка ступеня відхилення фактичних значень від номінальних;
- 2) порівняння похідних і оцінка їх відхилень;
- 3) вибірка з пам'яті номінальних значень параметрів управління в межах допустимого періоду часу.

Складність роботи авіадиспетчера на даному етапі визначається кількістю параметрів, за сукупністю значень яких робиться висновок про стан керованого об'єкта.

Етап 3. Формування концептуальної моделі діяльності і прийняття рішення.

На цьому етапі специфічність діяльності авіадиспетчера виражається в необхідності прийняття рішення про вид управління, яке доцільно реалізувати в обстановці, що склалася при наявності помилкової або нестачі релевантної інформації про керований об'єкт і зводиться до вибору одного з рішень.

Виконання операції передбачає використання моделей та методів дослідження, наявності необхідної інформації та певної кваліфікації співробітника, який виконує операцію, приймає рішення та здійснює комунікації для отримання результату. Кожний отриманий результат, як і сама операція передбачає певний рівень відповідальності перед співробітником, який отримує результат та середовищем, в якому здійснюється операція. Слід відмітити суттєвий вплив робочого середовища в частині психологічних та фізіологічних умов і відповідальності співробітника в процесі виконання функціональних обов'язків.

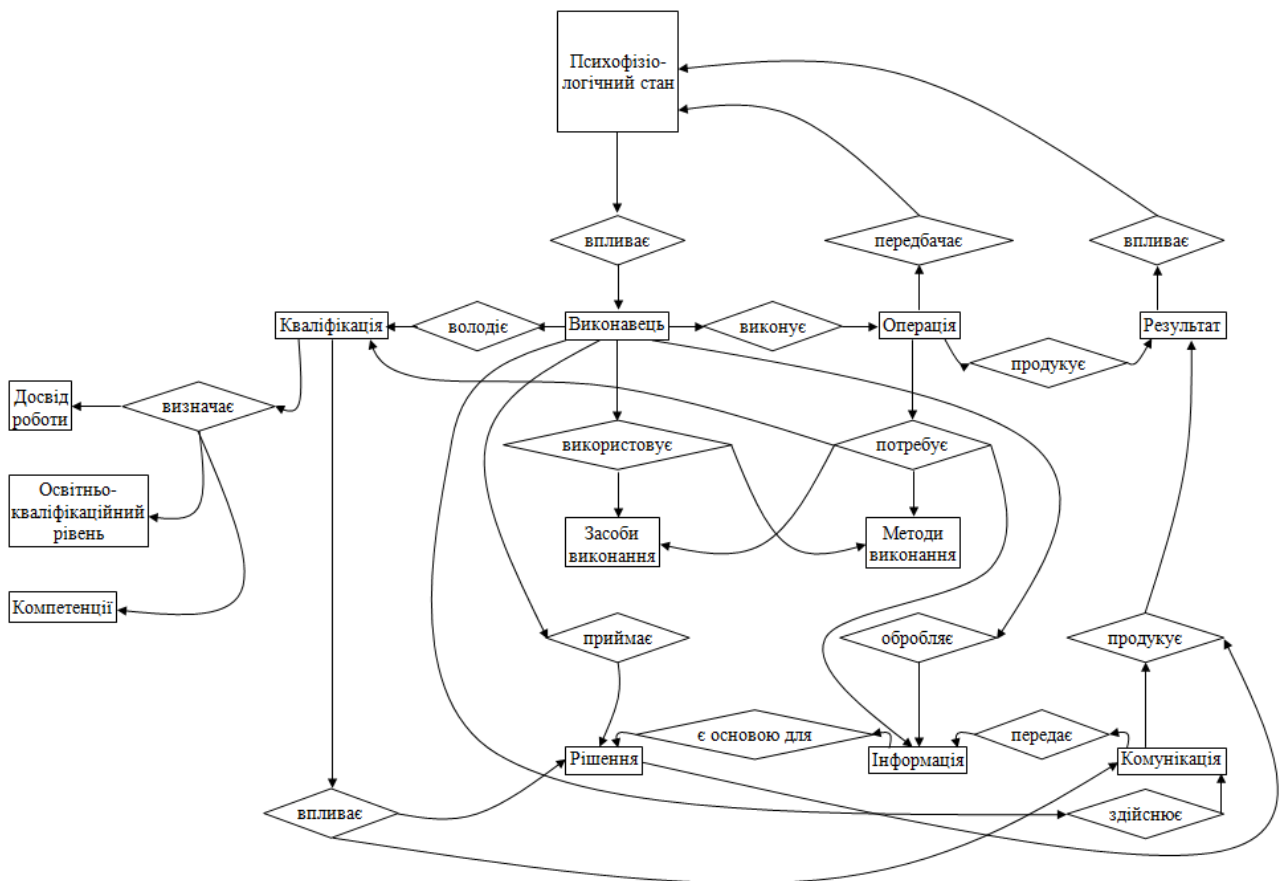


Рис. 2.11. Концептуальна модель діяльності авіадиспетчера

Суттєвий вплив на прийняття рішення має кваліфікація, яка в свою чергу визначається отриманою освітою, досвідом роботи, професійною компетентністю та компетенцією співробітника.

Модель передбачає наявність окремих результатів у сутностях «Операція» і «Рішення». Так результатом операції може бути матеріальна сутність; результатом рішення – видання наказу, розпорядження тощо; результатом комунікацій – зміна поведінки іншого співробітника, отримання ним нової інформації наприклад в процесі інструктажу.

Етап 4. Практична реалізація прийнятого рішення.

Специфіка цього етапу полягає в тому, що під час цього етапу підводиться підсумок діяльності авіадиспетчера протягом трьох попередніх етапів. Помилки, допущені на даному етапі, можуть звести нанівець всю роботу авіадиспетчера, виконану ним на попередніх етапах.

Оцінювати якість функціональної діяльності авіадиспетчера на різних етапах пропонується наступним чином.

Комплексна оцінка якості діяльності авіадиспетчера на першому і другому етапах може бути здійснена за чисельними значеннями одного або декількох показників якості реалізації процедури спостереження, наприклад, за середньоквадратичним відхиленням помилки стеження, за кількістю максимально допустимих відхилень параметрів стеження за заданий інтервал часу, за дисперсією і математичним сподіванням помилок стеження тощо.

На третьому етапі якість роботи авіадиспетчера може бути оцінений за часом формування раніше невідомого алгоритму, необхідного для управління, або часу вибору необхідної послідовності дій, що управляють на основі одного або декількох приватних алгоритмів з числа відомих.

Важливість четвертого етапу діяльності авіадиспетчера пропонується враховувати шляхом додання чисельних показників якості його роботи відповідних ваг, відповідно «вартості» кожної помилки авіадиспетчера на цьому етапі, і необхідному психологічному рівню його підготовки при допустимому значенні ймовірності помилкового або несвоєчасного формування керуючих впливів.

Зауважимо, що при появі аварійних ситуацій під час зміни професійна діяльність співробітників служб авіапідприємств (в першу чергу це відноситься до авіадиспетчерів) починає включати такі етапи:

- етап 1 – виявлення наявності аварійної ситуації;
- етап 2 – оцінка ситуації;
- етап 3 – ідентифікація ситуації;
- етап 4 – прийняття рішення;
- етап 5 – реалізація прийнятого рішення і його контроль.

Послідовність операцій враховується при розробці алгоритмічних моделей дій L . В теорії масового обслуговування деякий сумарний потік

заявок на операції $\varphi(t)$, що утворюється послідовністю елементарних потоків стандартних операцій, визначається як:

$$\varphi(t) = \sum_{k=1}^n \varphi_k(t), \quad k=1, \dots, n,$$

де $\varphi_k(t)$ – елементарні потоки операцій під час t ; n - число елементарних потоків, що утворюють сумарний потік.

Час, що витрачається на обслуговування потоків $\varphi(t)$ і алгоритму $L(t)$ становить:

$$t_n = t_\varphi + t_L,$$

де t_φ і t_L – час, що витрачається на обслуговування потоку $\varphi(t)$ і алгоритму $L(t)$ відповідно.

У загальному випадку тривалість пауз між операціями в кожному елементарному потоці T_k і час, що витрачається авіадиспетчером на їх виконання, τ_k мають випадковий, характер, описуваний щільностями ймовірностей їх розподілу $fT_k(t)$ та $f\tau_k(t)$.

Оцінка якості діяльності авіадиспетчера базується на формалізованому поданні процесу його функціонування у вигляді алгоритму діяльності, виконуваного на тлі операцій з обслуговування сумарного потоку $\varphi(t)$.

Процес функціонування авіадиспетчера можна розбити на деяке число L щодо самостійних за своїм функціональним призначенням тактів функціонування. Розглядаючи результати виконання кожного такту функціонування як незалежні події, ймовірність своєчасного і безпомилкового функціонування авіадиспетчера може бути записана у вигляді:

$$P_L = \prod_{j=1}^L [p_j + (1-p_j)p_{uj}],$$

де p_{uj} – ймовірність своєчасного виправлення помилкових дій, яка характеризує ступінь ефективності контролю дій авіадиспетчера з боку ОПР.

Основними факторами, що впливають на якість функціонування авіадиспетчера в заданих умовах, є тривалість та інтенсивність його роботи.

Інтенсивність роботи авіадиспетчера в такті функціонування оцінюється інтенсивністю виконання операцій:

$$t_j = t_{nj}/t_{pj},$$

де t_{nj} – час, необхідний авіадиспетчеру для виконання обсягу операцій, що предписується протягом такту функціонування, t_{pj} – загальний час в такті функціонування, який визначається з умов виконання робочого завдання.

Величина t_{nj} – складна випадкова функція, значення якої залежить як від тривалості складових такту функціонування, так і від ступеня стомленості. Використовуючи метод канонічних розкладів [5], ймовірнісні характеристики t_{nj} , як випадкової функції, що має нормальний закон розподілу, представляються у вигляді:

$$M(t_{nj}) = \pi_j(Q)M(t_j); \sigma(t_{nj}) = r_j(Q)\sigma(t_j),$$

де $\pi_j(Q)$ та $r_j(Q)$ – показники зміни характеристик випадкової величини t_{nj} внаслідок втоми $r_j(Q) = \{1 \dots \pi_j(Q) > 1$; $M(t_j)$ і $\sigma(t_j)$ – математичне очікування і середньоквадратичне відхилення часу, необхідного для виконання операцій i -го такту функціонування авіадиспетчера без урахування стомлення.

Значення $M(t_j)$ і $\sigma(t_j)$ визначаються на підставі правил композиції нормальних законів розподілу випадкових величин:

$$M(t_j) = \sum_{i=1}^m a_i t_i; \sigma(t_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i \sigma_i^2},$$

де t_i і σ_i – математичне очікування і середнє квадратичне відхилення часу виконання одиниці функціонування i -го типу; a_i – число одиниць функціонування i -ого типу, що входить в такт; m – число типів одиниць функціонування в такті.

Погіршення характеристик працездатності авіадиспетчера в міру накопичування втоми проявляється як збільшення необхідного часу на виконання операцій, що приписуються. Тому при прийнятому підході інтенсивність діяльності авіадиспетчера, при виконанні одних і тих же операцій збільшується у міру накопичення втоми.

Ступінь втоми оцінюється в балах за наступною шкалою оцінок показника Q : 1-4 – мала; 5-7 – помірна; 8-10 – сильна; 11-12 – дуже сильна ступінь втоми. Значення показника Q в процесі роботи авіадиспетчера визначається за рекурентним співвідношенням:

$$Q_j = Q_{j-1} + \Delta Q_j,$$

де Q_{j-1} – значення показника Q в кінці виконання тактів j і $j-1$ відповідно; ΔQ_j – значення показника Q в кінці чергового такту.

Динаміку стомлення будемо описувати диференціальним рівнянням:

$$\frac{dQ}{dt} = C_{lj}Q.$$

На підставі рішення диференціального рівняння отримуємо формулу:

$$\Delta Q_l = C_T(\exp(C_{lj}T_j) - \exp(C_{lj}T_{j-1})),$$

де T – загальна тривалість роботи авіадиспетчера; T і T_{j-1} – тривалість роботи в кінці відповідних тактів; C_{lj} і C_T – постійні, які залежать від інтенсивності і умов роботи авіадиспетчера протягом такту функціонування, а також вибору шкали балів показника Q .

Параметр C_{lj} характеризує темп накопичення стомлення, він може змінюватися від такту до такту в залежності від різних факторів, що впливають на авіадиспетчера. Вибір значення C_{lj} в кожному такті функціонування проводиться відповідно до моделі, розробленої на основі результатів аналізу процесів зміни працездатності людини, викладених в розділі 1.

Основними положеннями, що обґрунтовують побудову моделі, є такі.

Біологічний механізм адаптації організму людини прагне забезпечити необхідну мобілізацію ресурсів організму шляхом відповідної активації психофізіологічних процесів. При цьому можуть бути виділені два рівні такої мобілізації: відповідні витрати нормально відновлюваних ресурсів організму і витраті важко відновлюваних ресурсів.

Існує два граничних значення показника інтенсивності: показник \underline{t}_1 , відповідний межі між першим і другим рівнями мобілізації ресурсів організму, і показник \underline{t}_2 , який відповідає істотному погіршенню якості діяльності авіадиспетчера, коли навіть другий рівень мобілізації не здатний забезпечити необхідну якість функціонування авіадиспетчера.

Таким чином, за рівнем інтенсивності можуть бути виділені три режими функціонування авіадиспетчера:

- нормальний – при $\underline{t}_j \leq \underline{t}_1 (t_{nj} \leq t_{pj} \underline{t}_1)$;
- екстремальний – при $\underline{t}_1 << \underline{t}_j \leq \underline{t}_2 (t_{pj} \underline{t}_1 << t_{nj} \leq t_{pj} \underline{t}_2)$;
- надекстремальний – при $\underline{t}_j >> \underline{t}_2 (t_{nj} >> t_{pj} \underline{t}_2)$.

Значення показників \underline{t}_1 і розглядаються, як випадкові. Внаслідок цього межі розглянутих режимів мають властивість розмитості.

Виходячи з прийнятої моделі зміни працездатності авіадиспетчера, ймовірність своєчасного і безпомилкового виконання j -го такту функціонування авіадиспетчера і показник темпу накопичення втоми можна уявити як:

$$p_j = p_{1j}p_{\delta 1} + p_{2j}p_{\delta 2} + p_{3j}p_{\delta 3}; \quad c_{1j} = K_m(p_{1j} + \frac{T_1}{T_2}p_{2j} + \frac{T_1}{T_3}p_{3j}),$$

де p_{1j} , p_{2j} , p_{3j} – ймовірність роботи авіадиспетчера в j -ом такті функціонування на 1, 2, і 3-му режимах функціонування відповідно ($p_1 + p_2 + p_3 = 1$); K_m – масштабуючий коефіцієнт; T_1 , T_2 , T_3 – допустимий час роботи на 1,2 і 3-му режимах функціонування; $p_{\delta 1}, p_{\delta 2}, p_{\delta 3}$ – ймовірність безпомилкового виконання такту функціонування.

Значення $p_{\delta 1}$, $p_{\delta 2}$, $p_{\delta 3}$ визначаються на основі результатів експериментальних досліджень.

Для розрахунку значень p_j необхідна така інформація:

- часові характеристики одиниць функціонування, що входять в такт функціонування;
- закони розподілу $f_1(\underline{t}_1)$ и $f_2(\underline{t}_2)$;

- значення ймовірностей p_{61}, p_{62}, p_{63} ;
- значення допустимого часу роботи на 1,2 і 3-му режимах функціонування T_1, T_2, T_3 .

Ці дані можуть бути отримані на підставі аналізу результатів експериментальних досліджень або експертних оцінок. Наприклад, експертним шляхом можуть бути визначені діапазони зміни граничних значень показника інтенсивності $[\underline{t}_{1min}, \underline{t}_{1max}]$ та $[\underline{t}_{2min}, \underline{t}_{2max}]$.

Вважаючи закони розподілу значень показників \underline{t}_1 і \underline{t}_2 нормальними, можна визначити їх математичні очікування $M(\underline{t}_1), M(\underline{t}_2)$ і середні квадратичні відхилення $\sigma(\underline{t}_1), \sigma(\underline{t}_2)$:

$$M(\underline{t}_1) = (\underline{t}_{1min} + \underline{t}_{1max}) / 2; \quad M(\underline{t}_2) = (\underline{t}_{2min} + \underline{t}_{2max}) / 2;$$

$$\sigma(\underline{t}_1) = (\underline{t}_{1max} - \underline{t}_{1min}) / 6, \quad \sigma(\underline{t}_2) = (\underline{t}_{2max} - \underline{t}_{2min}) / 6$$

Таким чином, розроблена модель дозволяє отримувати кількісну оцінку якості діяльності авіадиспетчера в залежності від її характеру, умов і тривалості функціонування авіадиспетчера.

2.6. Процедура оцінювання оперативності управління функціональністю авіадиспетчерів

Суть процедури полягає в оцінюванні та аналізі оперативності реалізації заходів з управління функціональністю авіадиспетчерів у випадку виявлення суттєвих змінень їхнього психофізіологічного чи емоційного стану або непроходження особою процесу аутентифікації.

Оперативність управління функціональністю авіадиспетчерів у разі виявлення її змінень залежить від оперативності проведення дій, основними з яких є такі:

1. Аналіз змінень показників функціональності авіадиспетчера.
2. Віднесення ФС авіадиспетчера до певного типу та прогнозування його подальшого змінень.

3. Розробка рекомендацій по поверненню ФС авіадиспетчера до стану «норма» (у разі негативного прогнозу).

4. Передача їх ОПР.

5. Реалізація заходів оперативного управління функціональністю авіадиспетчера, яка включає:

а) вимірювання параметрів, що характеризують стан ССС, із застосуванням портативних електрокардіографів;

б) розрахунок ІН Баєвського;

в) оцінювання реального ПФС авіадиспетчера;

г) короточасний відпочинок авіадиспетчера;

д) повторне вимірювання параметрів, що характеризують стан ССС, розрахунок ІН та оцінювання ПФС авіадиспетчера;

е) у разі негативного результату відсторонення авіадиспетчера від роботи до закінчення робочої зміни й передача справи по інстанціям у відповідності з нормативними документами.

У разі виявлення несанкціонованої заміни авіадиспетчера на робочому місці проводяться відповідні заходи по виправленню порушення.

Нехай початковим моментом часу дослідження є час виявлення змінення функціональності авіадиспетчера, кінцевим – час відпрацювання оперативних заходів щодо забезпечення відновлення початкового стану (стану «норма»).

Якщо $\Delta t_i = (t_i - t_{i+1})$ – сумарний час реагування СІППоР у разі виявлення змінення стану авіадиспетчера, то показник, за яким може бути оцінено оперативність управління функціональністю авіадиспетчера, визначається як:

$$\Delta t_i = t_{ian} + t_{икл} + t_{инер} + t_{иреал} ,$$

де t_{ian} – час аналізу змінення функціональності авіадиспетчера; $t_{икл}$ – час віднесення ФС авіадиспетчера до певного типу та прогнозування змінення функціональності авіадиспетчера; $t_{инер}$ – час розробки рекомендацій та

передачі інформації ОПР; t_{ireal} – час реалізації заходів реагування по усуненню змінення функціональності авіадиспетчера.

При цьому для переходу авіадиспетчера зі стану S_i в стан S_{i+1} значення t_{ian} , $t_{икл}$, $t_{инер}$ та t_{ireal} будуть визначатися особливостями реалізації комплексу способів аналізу, класифікації та прогнозування змінень функціональності авіадиспетчера і показниками продуктивності засобів обчислювальної техніки. Тоді

$$t_{ian} = f(M_1, M_2, M_3, M_4),$$

$$t_{икл} = f(M_1, M_2, M_3, M_4),$$

$$t_{инер} = f(M_5, M_6),$$

$$t_{ireal} = \min f(M_3, M_5, M_6).$$

де M_1 – множина показників, що характеризують змінення функціональності авіадиспетчера; M_2 – множина показників, що характеризують способи аналізу, класифікації та прогнозування змінення функціональності авіадиспетчера; M_3 – множина показників, що характеризують вплив зовнішніх та внутрішніх факторів на ПФС авіадиспетчера; M_4 – множина класів змінення функціональності авіадиспетчера; M_5 – показник продуктивності засобів обчислювальної техніки; M_6 – показник швидкості передачі інформації ОПР.

Відповідно до виразів для t_{ian} , $t_{икл}$, $t_{инер}$ та t_{ireal} параметр Δt_i визначається як

$$\Delta t_i = t_{ian} + t_{икл} + t_{инер} + t_{ireal} = F(M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6). \quad (2.15)$$

Отже, суммарний час реагування СППОР Δt_i не є постійною величиною.

Позначимо через T_i час дії впливу фактора на ПФС авіадиспетчера, який залежить від виду впливу, і через N – кількість впливів, що діють в певній послідовності. При дії незв'язних впливів на ПФС авіадиспетчера, що викликають змінення їхньої функціональності, змінення будуть виявлені за умови

$$\Delta t_i \leq T_i \quad (2.16)$$

для кожного $i \in \{1, \dots, N\}$.

Загальний підхід до вирішення подібних задач на основі використання байєсівського критерію наведено в [12]. Однак умова зв'язності впливів, що відповідає поетапній дії впливів, є достатньою для замінення нерівності (2.16) менш строгою

$$\sum_{i=1}^N \Delta t_i \leq \sum_{i=1}^N T_i, \quad (2.17)$$

де $\sum_{i=1}^N T_i = T$ – загальний час зв'язних впливів.

Вимоги (2.17) до оперативності виявлення впливів, що призводять до змінення ПФС авіадиспетчера, будуть, по суті, вимогами до реалізації комплексу заходів, що забезпечує виконання хоча б однієї з умов (2.16).

На практиці прийняття рішення (2.17) істотно ускладнено у зв'язку з необхідністю багаторазового визначення часу T_i .

З метою розширення області практичного застосування розробленого методу оперативного управління функціональністю авіадиспетчерів доцільно ввести параметр

$$t_{\text{дир}} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N}, \quad (2.18)$$

де $t_{\text{дир}}$ – директивний час реагування на змінення ПФС авіадиспетчера. Тоді $\Delta t_i \leq t_{\text{зад}}$.

Оперативність реагування на змінення функціональності авіадиспетчера пов'язана з вдосконаленням процедур аналізу, класифікації та прогнозування змінень.

Представлений спосіб оцінювання оперативності управління функціональністю авіадиспетчерів дозволяє вирішувати завдання визначення вимог до оперативності прийняття коригуючих заходів.

2.7. Висновки до другого розділу

1. Виходячи з матеріалів аналізу та досліджень, зроблених у розділі, запропонована концепція у вигляді структурно-функціональної схеми, яка описує основні функціональні блоки та зв'язки між ними, що дозволило формалізувати задачі дослідження з метою її реалізації. Розроблено концепцію забезпечення ІППР ОПР в умовах невизначеності впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на функціональність авіадиспетчерів, яка на основі створення єдиного інформаційного простору показників функціональності, а також проведення перманентного контролю ФС та рівня професіоналізму авіадиспетчерів дозволила проводити контроль показників та управляти функціональністю авіадиспетчерів протягом усієї їхньої виробничої діяльності та забезпечити проведення ОПР ефективних коригувальних заходів на якомога більш ранніх стадіях виробничої діяльності авіадиспетчерів.

Для вирішення поставлених у дисертаційній роботі завдань розроблена концепція управління функціональністю авіадиспетчерів, основними складовими якої є:

- вербальне (лінгвістичне) оцінювання окремих показників функціональності;
- урахування динамічності ФС авіадиспетчерів.

У свою чергу, основними шляхами зменшення впливу на БП людського фактора 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 стану авіадиспетчерів протягом робочої зміни і його (стану) корекція в разі знаходження особи в неналежному стані.

2. Розроблено метод інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень, заснований на положеннях концепції забезпечення ПППР, який на основі впровадження перманентного контролю показників функціональності авіадиспетчерів протягом усієї їхньої виробничої діяльності, розрахунку й аналізу узагальнених показників функціональності та прогнозування змінень ФС і рівня професіоналізму з використанням результатів виявлення показників ФС та рівня професіоналізму, параметрів мовних сигналів тощо, які мають визначальний вплив на показники функціональності, дозволяє забезпечити ОПР додатковою інформацією стосовно здатності та готовності авіадиспетчерів виконувати функціональні обов'язки, що дає можливість підвищити обґрунтованість прийняття ОПР управлінських рішень і на більш ранніх стадіях виробничої діяльності авіадиспетчерів виявити осіб, які мають недостатній фізіологічний та/або психологічний ресурс і потребують проведення з ними коригувальних заходів.

3. Здатність людини виконувати професійні (посадові) обов'язки обумовлюють два аспекти: наявність у особи необхідних знань, умінь і навичок (належного професіоналізму) та необхідної якості ФС. Контроль здатності і готовності особи виконувати професійні обов'язки включає в себе оцінювання ПФР людини:

1) при прийомі на роботу і під час періодичного контролю для визначення здатності особи виконувати професійні обов'язки;

2) під час передзмінного медичного та психофізіологічного контролю з метою виявлення осіб, непридатних в даний момент за поточним ФС, рівнем працездатності і станом здоров'я для виконання професійних обов'язків.

4. Для можливості оперативної корекції ФС авіадиспетчера під час робочої зміни проводиться перманентний внутрішньозмінний контроль.

5. Одним з основних показників ФС авіадиспетчера є тенденції змінення його показників на різних етапах виробничої діяльності.

6. Для оцінювання якості ФС авіадиспетчера застосовується поняття «психофізіологічний ресурс».

7. В процесі дисертаційних досліджень розроблена технологія управління функціональністю авіадиспетчерів, основними складовими якої є наступні положення.

7.1. Основними значущими складовими частинами процесу проактивного (превентивного) управління ФС авіадиспетчерів є:

- оцінювання та аналіз ФС авіадиспетчерів як їх складової частини;
- прогнозування можливого прояву небезпечних факторів у майбутньому;
- запобігання негативного впливу небезпечних факторів на ФС співробітників служб.

7.2. Основними значущими елементами процесу оперативного адаптивного управління ФС авіадиспетчерів є такі положення:

- основою методу оперативного адаптивного управління ФС авіадиспетчерів є послідовне здійснення моніторингу, аналізу, прогнозування та корекції ПФР, обраного в якості основного показника ФС людини;
- в якості основного напрямку підвищення ФС авіадиспетчерів вибрано підвищення якості контролю за їх діями та ФС;
- одним з найважливіших напрямків оперативного адаптивного управління ФС авіадиспетчерів є підвищення якості роботи СППоР ОПР.

7.3. Таким чином, висока якість управління функціональністю авіадиспетчерів забезпечується шляхом застосування сукупності (блоків) методів та моделей:

- проактивного (превентивного) управління ФС авіадиспетчерів;

- оперативного адаптивного управління ПФС авіадиспетчерів;
- підвищення якості проактивного (превентивного) та оперативного адаптивного управління ФС авіадиспетчерів.

8. Для реалізації процесу проактивного управління ФС авіадиспетчерів проведені:

- аналіз предметної області з метою виявлення факторів, що впливають на ФС авіадиспетчерів, і ступеня цього впливу;
- аналіз способів проведення експертного оцінювання факторів, що впливають на ФС авіадиспетчерів;
- розробка моделей та методу одержання агрегованої оцінки якості ФС авіадиспетчерів;
- розробка методів проактивного управління ФС авіадиспетчерів;
- розробка методів оперативного адаптивного управління ФС авіадиспетчерів.

9. В процесі управління ФС авіадиспетчерів здійснюються такі аналітичні, прогнозні та управлінські дії:

- оцінювання ФС авіадиспетчерів;
- прогнозування ФС авіадиспетчерів під впливом інформаційних та випадкових факторів;
- прийняття рішень для досягнення необхідного ФС авіадиспетчерів;
- оперативне управління по забезпеченню ФС авіадиспетчерів в рамках діючих вимог.

10. Шляхи вирішення завдань, спрямованих на оцінку та поліпшення стану ФС авіадиспетчерів наведені в розділах 3-4.

11. В процесі досліджень були розроблені методи побудови систем інформаційної підтримки прийняття оперативних рішень (СІППоР), застосування яких дозволяє оперативно реагувати на зміни працездатності

співробітника внаслідок втоми, випадкового змінення ПФС, емоційного сплеску та т.п. Опис цих методів представлений в розділі 4.

12. Концептуальна модель в нотації «Сутність – Взаємозв’язок» описує структуру складної системи – «Операція» як базового елементу професійної діяльності, розроблена на основі аналізу існуючих моделей та підходів і представляє собою формальну конструкцію, яка може бути використана для подальших досліджень в рамках формалізації підходів щодо розробки інформаційної моделі професійної діяльності.

13. Застосування розроблених методів дозволяє вдосконалити психофізіологічний контроль шляхом введення додаткового контролю показників регуляторних систем організму людини та емоційного стану (ЕМС) на основі аналізу параметрів стану серцево-судинної системи та голосу (для авіадиспетчерів – аналіза мовних сигналів під час аудіообміну з членами льотних екіпажів).

Список використаних джерел в другому розділі

1. Doc 9859 "Safety Management Manual" / International Civil Aviation Organization, 3rd ed .– 2013. – 251 p.

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

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

4. Баевский Р.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.И. Кириллов, С.З. Клецкин. – М.: Наука. – 1984. – 220 с.

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

6. Zadeh L.A. The Concept of a Linguistic Variable and its Application to

Approximate Reasoning I // Information Sciences. – 1975. – №8. – P.199–249.

7. Wu D., Mendel J.M. Aggregation using the Linguistic Weighted Average and Interval Type-2 Fuzzy Sets // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2007. – №15(6). –P.1145–1161.

8. Mendel J. M., Wu D. Perceptual Computing. Aiding People in Making Subjective Judgments/John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.– 2010.– 336p.

9. Pavlenko P., Tavrov D., Temnikov V., Zavgorodniy S., Temnikov A. The Method of Expert Evaluation of Airports Aviation Security Using Perceptual Calculations // Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT 2018). – P.432-436.

10. Wu D., Mendel J.M. Enhanced Karnik-Mendel Algorithms // IEEE transactions on fuzzy systems. – 2009. – №17(4). – P.923–934.

11. Klir G. J., Yuan B. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic. Theory and Applications. Prentice Hall. – 1995. – 592 p.

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

13. Tavrov D., Temnikova O., Temnikov V. Perceptual Computing Based Method for Assessing Functional State of Aviation Enterprise Employees // Advances in Intelligent Systems and Computing. Volume 836 (Recent Developments in Data Science and Intelligent Analysis of Information). – Springer, 2019. – P.61-70 (Scopus)

14. Temnikov V., Pavlenko P., Temnikov A., Temnikova O. The Methodology of Increasing the Functional Safety of Aviation Enterprises // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018 – Proceedings. – P.187-191 (Scopus)

15. Pavlenko P., Tavrov D., Temnikov V., Zavgorodniy S., Temnikov A. The Method of Expert Evaluation of Airports Aviation Security Using Perceptual

Calculations // Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT 2018). – P.432-436 (Scopus)

16. Tavrov D., Temnikova O., Temnikov V., Kozlovskiy V., Temnikov A. Architecture of Computing With Words Based Information Technology for Proactive Aviation Security Control // Proceedings of 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). – IEEE Catalog Number: CFP18SUA-CDR ISBN: 978-1-5386-7195-5. – P.72-79 (Scopus)

17. Temnikov V., Kozlovskiy V., Temnikov A., Tavrov D., Temnikova O. Methods for Improving the Quality of the Functional State Control of Aviation Enterprises Employees // 2018 International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (PIC S&T'2018). Conference Proceedings – IEEE Catalog Number: CFP18PIA-PRT ISBN: 978-1-5386-6609-8. – P.145-152 (Scopus)

18. Temnikov V.A., Temnikova E.L. Methods and models for increasing the level of aviation security of airports // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2018. – Issue 157. – VI(17). – P.70-73

19. Темников В.А. Моделирование процесса управления уровнем авиационной безопасности аэропортов // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2017. – Issue 148. – V(16). – P.41-43

20. Temnikov V.A., Peteichuk A.V. The concept of construction an automatic system for ATC emotional condition monitoring // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2015. – Issue 54. – III(6). – P.52-54

21. Temnikov V.A., Peteichuk A.V. The efficiency improvement of the permanent voice control over the ATC actions // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2015. – Issue 73. – III(8). – P.82-84

22. Темников В.А. Метод повышения эффективности работы системы поддержки принятия решений по управлению информационной безопасностью авиатранспортных предприятий // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип.6(46). – С.206-209

23. Темников В.А. Информационная технология построения систем поддержки принятия оперативных решений в диспетчерских службах аэропортов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип.5(45). – С.108-110

24. Темников В.О. Принципы построения систем принятия решений в процессе управления информацией безопасностью // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип.4(44). – С.119-121

25. Темников В.О., Петейчук О.В. Система голосового распознавания операторів при використанні встановленої фразеології // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2011. – №4(53). – С. 201-204

26. Подгорный Е.И., Рябова Л.В., Темников В.А. Способ повышения быстродействия системы контроля доступа по радужной оболочке глаза // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. – 2014. – №2(28). – С.88-92

27. Темников В.А., Темникова Е.Л. Концепции построения голосовых систем контроля доступа к информационным ресурсам для различных условий применения // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. – 2015. – №1(29). – С.102-107

28. Темников В.А., Конфорович И.В., Темникова Е.Л. Построение голосовой системы аутентификации диспетчеров с повышенными быстродействием и достоверностью работы // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. – 2015. – №2(30). – С.63-67

29. Темников В.А., Темникова Е.Л. Концепции построения голосовых систем контроля доступа к информационным ресурсам для различных условий применения // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. – Київ. – 2015. – №1(29). – С.102-107

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

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

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

РОЗДІЛ 3

ПРЕВЕНТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЮ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ

3.1. Основні положення превентивного управління функціональністю авіадиспетчерів

1. Основними напрямками досліджень та розробок, на основі яких здійснене підвищення якості превентивного управління функціональністю авіадиспетчерів, є такі:

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

- розробка методів підвищення якості роботи СІППР для поліпшення інформованості осіб, які приймають рішення про прийом на роботу, допуск / недопуск на робочі місця авіадиспетчерів тощо, про їх ФС;

- створення «єдиного центру» (спеціальної бази даних – БДПК), в який стікається вся інформація про ФС кожного авіадиспетчера (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 ОПР та структурою СІППР:

- стадія 1 – контроль здатності авіадиспетчерів (кандидатів на зайняття вакантних посад) виконувати функціональні обов'язки;

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

Як зазначалося в розділі 1, 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 людини 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.

Особливості контролю показників ФС авіадиспетчерів при проведенні контрольних заходів в процесі превентивного управління ФС вказані в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Особливості контролю показників ФС при проведенні контрольних заходів

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

а) в процесі набору і періодичного контролю співробітників 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, отримання агрегованої оцінки та прогнозування прояву небезпечних факторів 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, чії 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, від правильності дій якого залежить БП, 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.

5. Важливим елементом системи управління ФС авіадиспетчерів є спеціально розроблена складова єдиної БД СППР – 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 (в першу чергу – тенденцію ПФР до зниження), 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, в дисертаційній роботі пропонується прийняти її «психофізіологічний ресурс», який

визначається на основі оцінювання стану серцево-судинної системи людини. Такий підхід обумовлений тим, що стан серцево-судинної системи є інтегральною характеристикою, що дозволяє оцінити стан регуляторних систем організму людини та її адаптаційні можливості.

Рівень психофізіологічного ресурсу (ПФР) розраховується за показниками ПФС людини. В якості таких показників пропонується використовувати показники, запропоновані проф. Р.М.Баєвським [8-10], які засновані на аналізі роботи регуляторних систем організму людини. Показники, які кількісно описують ПФС людини, наведені в розділах 4 (при превентивному управлінні ФС) та 5 (при оперативному управлінні ФС) дисертаційної роботи.

3.2. Процедура превентивного управління функціональним станом авіадиспетчерів

Функціональна схема превентивного управління ФС авіадиспетчерів та ER-модель, що їй відповідає, наведені відповідно на рис. 3.1 та рис. 3.2.

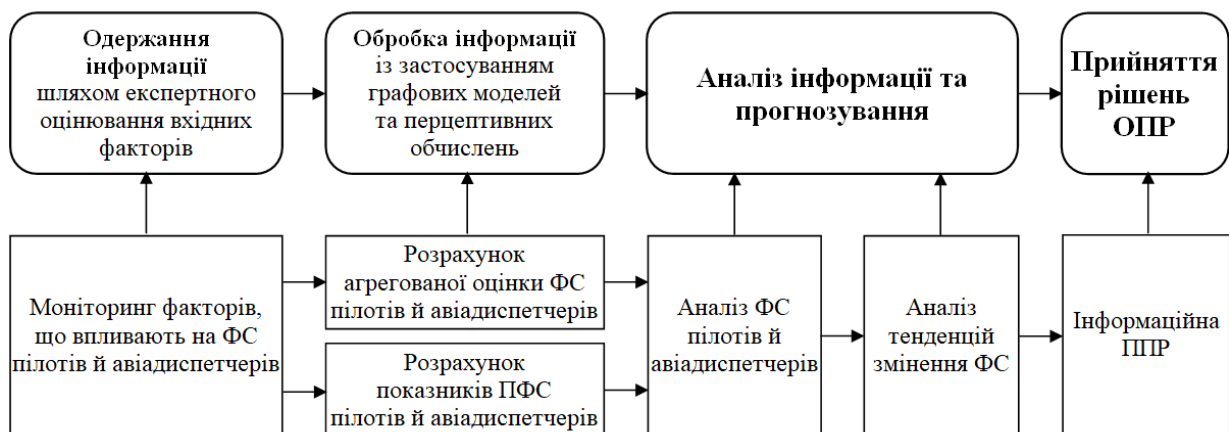


Рис. 3.1. Функціональна схема превентивного управління ФС авіадиспетчерів

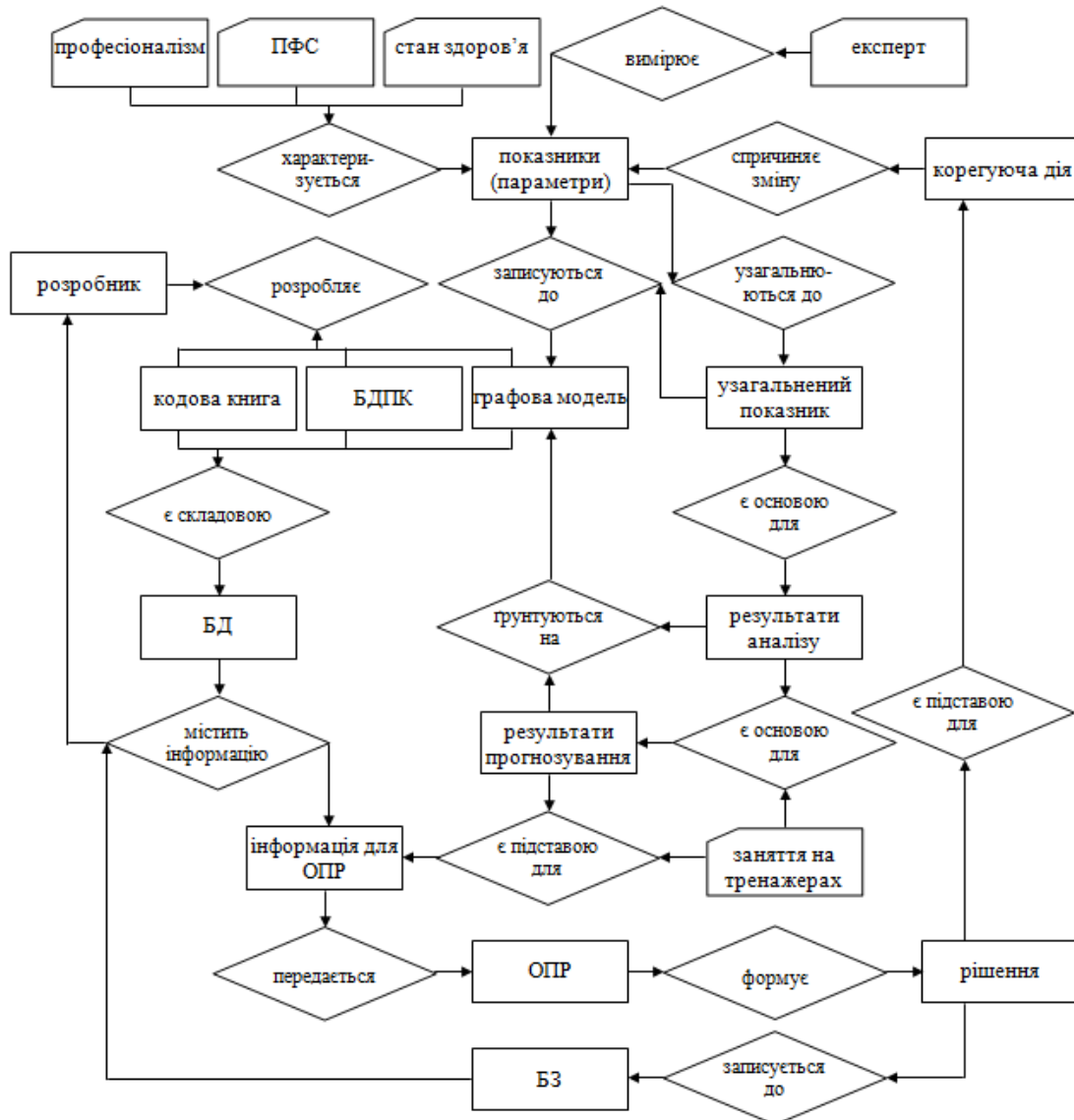


Рис. 3.2. ER-модель превентивного управління ФС авіадиспетчерів

ER-модель рис. 3.2 демонструє, як показники ФС та рівня професіоналізму авіадиспетчерів «об'єднуються» в узагальнені показники, які заносяться до графової моделі й БДПК і надалі стають підґрунтям аналізу інформації, що надходить до ОПР. Перетворення інформації на даному етапі описуються моделлю й методом отримання агрегованої оцінки та узагальненого ПАРС.

Показники авіадиспетчерів заносяться до БДПК, яка є складовою загальної бази даних та містить інформацію, на якій ґрунтуються результати

прогнозування. Також як складові загальної бази даних мають бути розроблені вищезгадана графова модель і кодова книга, що містить правила подання інформації експертами на етапі отримання показників характеристик стану здоров'я, ПФС та рівня професіоналізму авіадиспетчерів.

Процедура превентивного управління ФС авіадиспетчерів включає п'ять етапів:

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. 3.3 наведена функціональна схема процесу обробки інформації із застосуванням графової моделі.

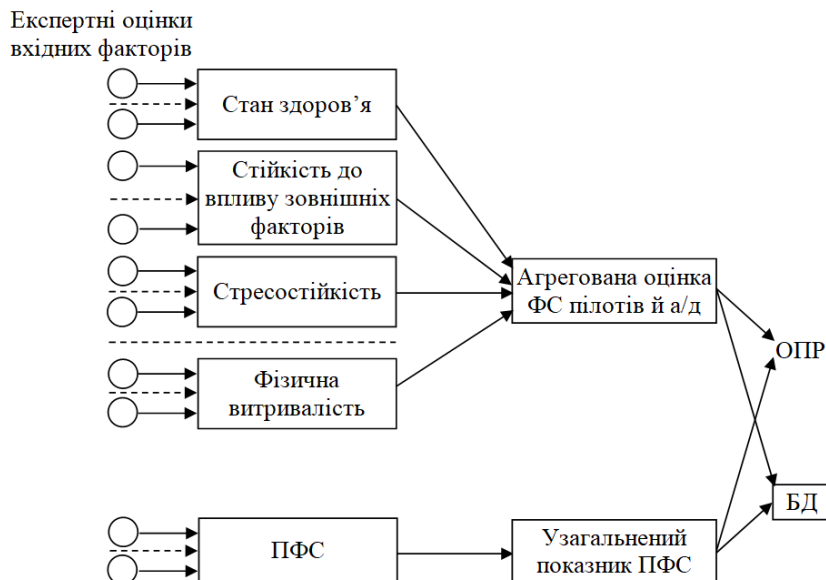


Рис. 3.3. Функціональна схема процесу обробки інформації

Функціональна схема рис. 3.3 представляє собою графову ієрархічну розподілену модель, побудовану на базі навантаженого нечіткого орієнтованого графа, і відображає той факт, що в процесі проактивного (превентивного) управління (зокрема, при прийомі на роботу та періодичному контролі) контролюється 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 тощо.

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 Баєвського Р.М. [2-4], 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.

З усього різноманіття методів аналізу ритму серця (варіабельності серцевого ритму) пропонується використовувати варіаційну пульсометрію, засновану на аналізі кардіоінтервалів, тому що в зміненні їх тривалості укладена основна інформація про стан систем, що регулюють ритм серця. Сутність варіаційної пульсометрії полягає в отриманні закону змінення кардіоінтервалів.

У процесі аналізу будуються криві розподілу – гістограми (варіаційні пульсограми). Їх основними характеристиками є: мода (найбільш часто значення кардіоінтервала, що зустрічається), амплітуда моди (число кардіоінтервалів, що відповідають значенням моди, у відсотках до обсягу вибірки) і варіаційний розмах (обчислюється по різниці максимального і мінімального значень кардіоінтервалів). Амплітуда моди відображає стабілізуючий ефект централізації управління ритмом серця, а варіаційний розмах – ступінь варіативності значень кардіоінтервалів в досліджуваному динамічному ряді.

За даними варіаційної пульсометрії обчислюються інтегральні параметри: індекс напруження регуляторних систем (ІН) і показник активності регуляторних систем (ПАРС).

На основі розрахунку і аналізу цих показників пропонується виділити такі класи ПФС: задовільної адаптації (норма), функціонального напруження, функціонального перенапруження регуляторних систем (незадовільною адаптації), виснаження (зрив адаптації).

Етап 3. Аналіз інформації.

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

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. 3.3 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. 3.3.

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

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

3.3. Метод отримання агрегованої оцінки

Для отримання агрегованої оцінки показників ФС авіадиспетчерів розроблено метод, який складається з дев'яти етапів.

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.

В результаті виконання етапу отримуємо значення всіх вхідних змінних системи нечіткого виведення, тобто множини $V^{\sim} = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$. У загальному випадку кожне $a_i \in X_i$, де X_i – універсум лінгвістичної змінної β_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 α' – 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. 3.4).

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).

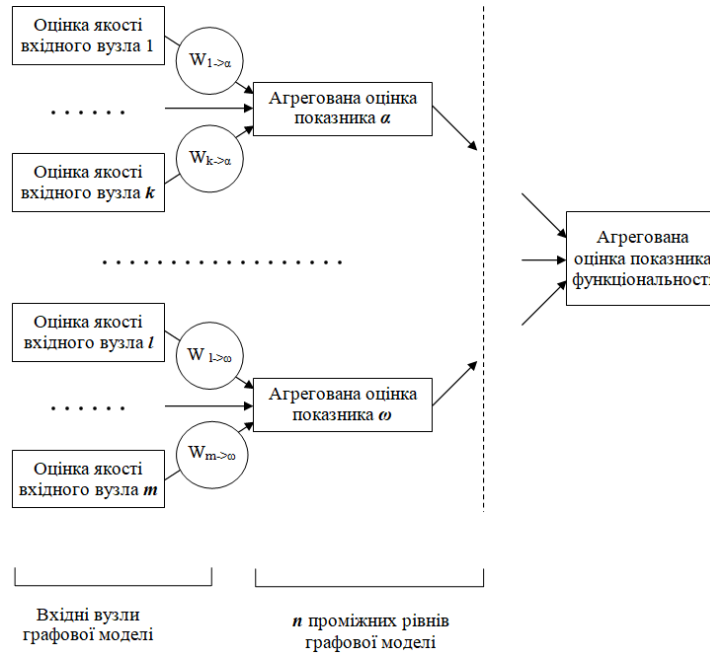


Рис. 3.4. Графова модель отримання агрегованої оцінки

Функціональна схема застосування перцептивних обчислень при проведенні оцінювання представлена на рис. 3.5.

На цьому етапі розрахунок агрегованих оцінок для певного рівня ієрархічної графової моделі здійснюється за правилом визначення зваженого середнього.

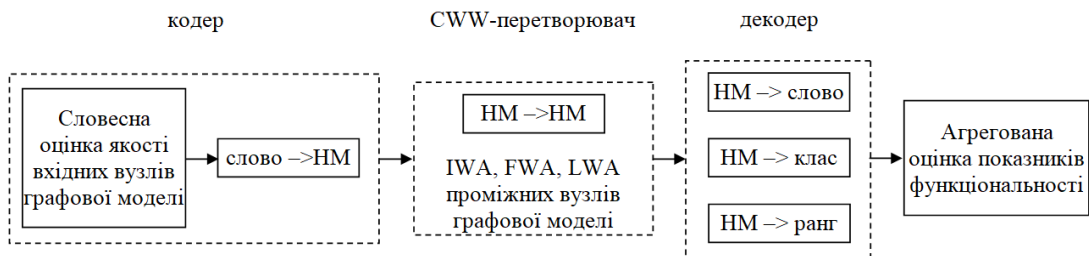


Рис. 3.5. Функціональна схема застосування перцептивних обчислень при проведенні оцінювання

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). Воно може бути записано як

$$y_{IWA} \equiv [y_l, y_r] = \frac{\sum_{i=1}^n X_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}, \quad (3.1)$$

Ліву та праву межі інтервалу (3.1) можна розрахувати за такими формулами:

$$y_l = \frac{\sum_{i=1}^L a_i d_i + \sum_{i=L+1}^n a_i c_i}{\sum_{i=1}^L d_i + \sum_{i=L+1}^n c_i}, \quad y_r = \frac{\sum_{i=1}^R b_i c_i + \sum_{i=R+1}^n b_i d_i}{\sum_{i=1}^R c_i + \sum_{i=R+1}^n d_i}, \quad (3.2)$$

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 [5].

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 α -cut, згідно з якою кожна нечітка множина A може бути предсталена як

$$A = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \alpha A, \quad (3.3)$$

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

Обчислювати FWA пропонується проводити у такій послідовності:

1. Для кожного $\alpha \in \{\alpha_1, \dots, \alpha_m\}$, обчислюються α -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 α -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 $y_j \in R$. 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

$$y = \min(x_m), \quad (3.4)$$

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.

3.4. Процедура оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на показники функціонального стану авіадиспетчерів

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

Метою розробки процедури оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на показники ФС авіадиспетчерів 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 співробітників авіапідприємств показано на рис. 3.6. Процес прийняття рішень є ієрархічним та розподіленим, оскільки він здійснюється шляхом об'єднання незалежних експертних оцінок вхідних показників.

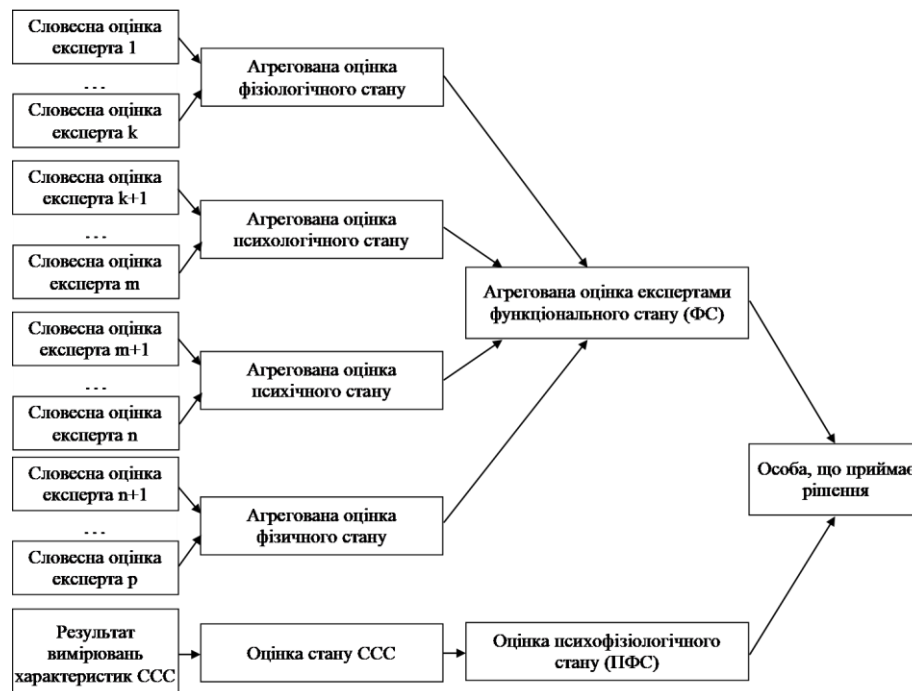


Рис. 3.6. Ієрархічний розподілений процес прийняття рішень при визначенні ФС авіадиспетчерів

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.).

Важливо відзначити, що на рис. 3.9 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 серцево-судинної системи може бути оцінений із застосуванням показника активності регуляторних систем (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.

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. 3.7.

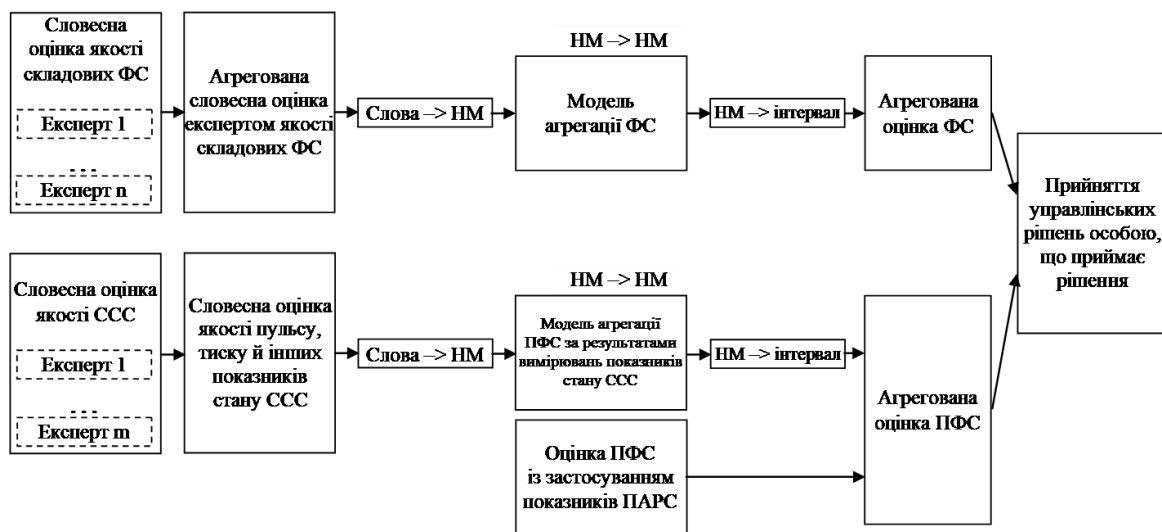


Рис. 3.7. Модель агрегації ФС авіадиспетчерів

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.

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.

Середній центроїд з ІНМ2 визначається як

$$c(\tilde{A}) = \frac{c_l(\tilde{A}) + c_r(\tilde{A})}{2}, \quad (3.5)$$

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

$$c_l(\tilde{A}) = \frac{\sum_{i=1}^L x_i \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=L+1}^n x_i \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}{\sum_{i=1}^L \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=L+1}^n \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}, \quad c_r(\tilde{A}) = \frac{\sum_{i=1}^R x_i \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=R+1}^n x_i \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}{\sum_{i=1}^R \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_i) + \sum_{i=R+1}^n \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x_i)}. \quad (3.6)$$

Тоді ранжування полягає просто в обчисленні (3.5) 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»).

Структура побудови інформаційної системи (ІС), застосування якої дозволяє практично реалізувати розроблену процедуру, представлена в розділі 5.

3.5. Особливості застосування процедури оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на показники функціонального стану авіадиспетчерів в процесі передзмінного контролю

Відповідно до концепції управління функціональністю авіадиспетчерів, представленої в розділі 2 дисертаційної роботи, в процесі передзмінного контролю (на стадії 2 контролю ФС) проводиться перевірка їх готовності 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. Баєвським 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.

3.6. Висновки до третього розділу

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

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

а) вдосконалення контролю ФС авіадиспетчерів на різних етапах їх професійної діяльності:

- визначення ступеню здатності людини виконувати посадові обов'язки авіадиспетчера 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.

В процесі контролю ФС при прийомі на роботу та періодичному контролю (проактивному управлінні ФС) послідовно проводяться отримання експертних оцінок показників різних складових ФС, розрахунок по ним агрегованої оцінки стану ФС і контроль за її змінами.

У результаті проведених досліджень було здійснено розробку теоретико-методологічних основ забезпечення управління ФС

авіадиспетчерів. При цьому основними показниками результатів дослідження є такі:

1. У розділі представлено підхід, заснований на застосуванні нечітких множин і перцептивних обчислень для вирішення одного з найважливіших етапів управління ФС авіадиспетчерів – проведення оцінювання якості ФС. Завдання експертного оцінювання зводиться до визначення рівня ФС 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. Застосування розроблених методів контролю ФС на різних стадіях виробничої діяльності дозволяє підвищити якість і ефективність роботи авіадиспетчерів і таким чином знизити вплив людського фактора на безпеку.

4. Розроблено метод контролю ФС в процесі набору та періодичного контролю співробітників служб авіапідприємств заснований на перспективному напрямку в області теорії нечітких множин – перцептивних обчисленнях, що дозволяє ранжувати співробітників за рівнем їх ПФР і, таким чином, істотно підвищити ефективність виявлення гідних кандидатів на посади, від правильності дій яких залежать БП.

5. Розроблено модель визначення ФС авіадиспетчерів, що дозволяє проводити оцінювання якості ФС та виявлення факторів, що визначають якість ФС співробітників, на основі лінгвістичних змінних.

6. Розроблено процедуру превентивного управління ФС авіадиспетчерів, яка на основі розробленої моделі ФС, за рахунок застосування перцептивних обчислень та інтервальних показників при

проведенні оцінювання ФС, дозволяє істотно підвищити ФС авіадиспетчерів в умовах невизначеності і неповноти інформації з урахуванням особливостей проблемної області.

7. Розроблено процедуру превентивного управління 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 авіадиспетчерів виконувати професійні (посадові) обов'язки.

Список використаних джерел в третьому розділі

1. Wu D., Mendel J.M. Enhanced Karnik-Mendel Algorithms // IEEE transactions on fuzzy systems. – 2009. – №17(4). – P.923–934.

2. Wu D., Mendel J.M. Aggregation using the linguistic weighted average and interval type-2 fuzzy sets // IEEE transactions on fuzzy systems. – 2007. – №15(6). –P.1145–1161.

3. Mendel J. M., Wu D. Perceptual computing. Aiding people in making subjective judgments/John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.– 2010.– 336 p.

4. Vlachos I., Sergiadis G. Subsethood, Entropy and Cardinality for Interval-Valued Fuzzy Sets – an Algebraic Derivation. Fuzzy Sets and Systems. – 2007. – №158. – P.1384–1396.

5. Doc 8973/9 "Aviation Security Manual" / International Civil Aviation Organization. – 2014. – 818 p.

6. Doc 9859 "Safety Management Manual" / International Civil Aviation Organization, 3rd ed. – 2013. – 251 p.

7. Doc 9808 "Human factors in civil aviation security operations" / International Civil Aviation Organization, 2002. – 120 p.

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

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

10. Баевский Р.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.И. Кириллов, С.З. Клецкин. – М.: Наука. – 1984. – 220 с.

11. Коломогоров А.Н. Основные понятия теории вероятностей. 2-е изд. — М.: Наука. – 1974. — 120 с.

12. 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.

13. Ворона В. А., Тихонов В. А. Системы контроля и управления доступом. – М.: Горячая линия -Телеком, 2010. – 272 с.

14. Гончар В.К. Биометрические системы и их применение // Бизнес и безопасность. – 2002. – № 6. – С. 30-31.

15. Daugman J. How Iris Recognition Works // IEEE Transactions. – 1993. – CSVT 14(1). – P.21–30.

16. Hao F., Daugman J., Zielinski P. A Fast Search Algorithm for a Large Fuzzy Database // IEEE Trans. Information Forensics and Security. – 1994. – №3(2). – P.203–212.

17. Бериков В.С., Лбов Г.С. Современные тенденции в кластерном анализе // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. – 26 с.

18. Павельева Е.А., Крылов А.С. Алгоритмы предобработки радужной оболочки глаза // Труды конференции «GraphiCon». – М., 2008. – С.314.

19. Павельева Е.А., Крылов А.С., Урмаев О.С. Развитие информационной технологии идентификации человека по радужной оболочке глаза на основе преобразования Эрмита // Системы высокой доступности. – 2009. – № 1. – С.36–42.

20. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж.-О. Ким, Ч.У.Мьюллер, У.Р. Клекка, М.С. Олдендерфер, Р.К. Блэшфилд; под ред. И.С.Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

21. Темников В.А., Конфорович И.В., Петейчук А.В. Контроль доступа авиадиспетчеров к информационным ресурсам по голосу // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – №15(204). – Ч.1. – С.199-203

22. Темников В.А., Темникова Е.Л., Конфорович И.В. Выбор параметров системы аутентификации человека по голосу // Інформаційна безпека. – 2012. – №2(8). – С.151-157

23. Темников В.А. Принципы проведения автоматического внутрисменного контроля доступа операторов к ресурсам информационных систем // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – №8(179). – Ч.1. – С.184-190

24. Темников В.А., Шарий Т.В., Темникова Е.Л., Конфорович И.В. Голосовая аутентификация операторов, использующих в процессе работы нормативно установленную фразеологию // Інформаційна безпека. – 2011. – №1(5). – С.125-130

25. Темников В.А., Темникова Е.Л. Параметризация автоматического контроля доступа операторов к ресурсам информационных систем по голосу // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – №9 (151). – Ч.1. – 2010. – С.143-148

26. Темников В.А. Мониторинг психофизиологического состояния операторов при контроле доступа к ресурсам информационных систем //

Захист інформації. Збірник наукових праць. – К.: НАУ, 2010. – Вып.17. – С.3-6

27. Темников В.А., Темникова Е.Л. Определение психофизиологического состояния оператора в системе автоматического внутрисменного мониторинга по голосу // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – №6 (136). – Ч.1. – 2009. – С.294-297

28. Темников В.А. Повышение эффективности работы системы контроля доступа путем учета функционального состояния операторов и диспетчеров // Захист інформації. Збірник наукових праць. – Вып.16. – К.: НАУ, 2009. – С.200-203

29. Темников В.А., Семко В.В. Построение системы определения психофизиологического состояния личности для профессиональной диагностики // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - №8 (126). – Ч.1. – 2008. – С.195-200

30. Темников В.А., Пономаренко Л.В. Алгоритм текстонезависимого распознавания человека по голосу в задаче контроля и управления доступом // Захист інформації. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. – К.: НАУ, 2008. – С.71-76

31. База данных CASIA-IrisV3; [http://www.cbsr.ia.ac.cn / IrisDatabase.htm](http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm).

32. Темников В.А., Пономаренко Л.В. Параметризация речевого сигнала при распознавании личности по голосу // Захист інформації. Збірник наукових праць. – Вып.15. – К.: НАУ, 2008. – С.167-172

33. Темников В.А., Семко В.В., Темникова Е.Л. Система обеспечения безопасности на социально-экономических и информационных объектах с учетом психофизического состояния людей // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - №5 (111). – Ч.1. – 2007. – С.119-122

РОЗДІЛ 4

ОПЕРАТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНИМ СТАНОМ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ

4.1. Основні положення оперативного управління психофізіологічним станом авіадиспетчерів

Як відзначалося в розділі 1, однією з основних причин помилок, що припускаються авіадиспетчерами під час виконання функціональних обов'язків, є стомлення. 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 показниками ФС авіадиспетчерів, заснованих на аналізі ПФС людини, в першу чергу – ступеню її стомлення;
- розробка систем, що надають допомогу 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 та їх аутентифікація. В основу управління ПФС авіадиспетчерів протягом робочої зміни покладений 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.

2. Емоційні стани (ЕМС) людини, не пов'язані з роботою регуляторних систем організму людини 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).

У розділі 4 представлені моделі та методи, розроблені для здійснення оперативного адаптивного управління ПФС протягом робочої зміни.

Задача оперативного адаптивного управління ФС впродовж робочої зміни полягає в забезпеченні управління ПФС авіадиспетчерів в умовах впливу на особу регулярних та випадкових факторів та непередбаченого змінення працездатності авіадиспетчера впродовж робочої зміни.

Задача вирішується з використанням методу управління ФС авіадиспетчерів, який полягає в послідовному проведенні моніторингу, прогнозування та корекції ПФС особи, основою яких є оцінювання та аналіз стану її серцево-судинної системи. Застосування методу дозволяє здійснювати оперативне управління ФС впродовж робочої зміни при випадкових зовнішніх впливах і неконтрольованих змінах працездатності авіадиспетчерів в умовах невизначеності впливу інформаційних та випадкових факторів на ПФС людини та неповноти інформації у осіб, що приймають управлінські рішення. Підвищити якість контролю ПФС авіадиспетчерів пропонується за рахунок проведення внутрішньозмінного контролю ПФС на основі аналізу параметрів мовного сигналу, отриманого в процесі аудіообміну авіадиспетчерів з членами льотних екіпажів.

На рис. 4.1 представлена узагальнена структурна схема проведення оперативного адаптивного управління ФС авіадиспетчерів під час виконання ними функціональних обов'язків.

Основними елементами структурної схеми оперативного адаптивного 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; як ФС авіадиспетчера в процесі оперативного адаптивного управління пропонується розглядати їх ПФС;

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

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

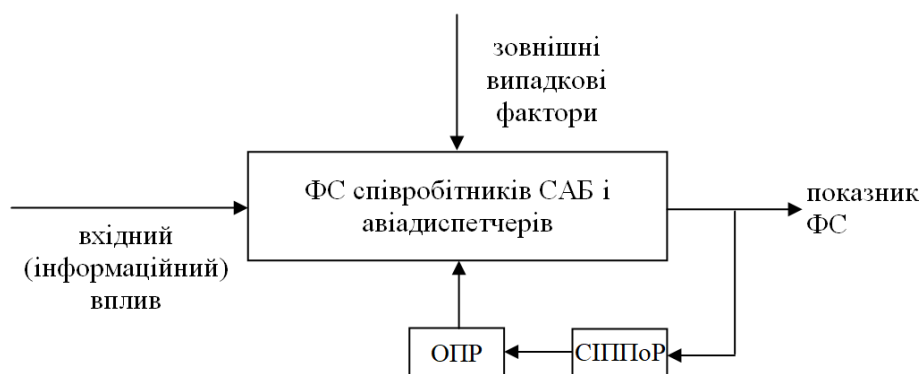


Рис. 4.1. Узагальнена структурна схема проведення оперативного адаптивного управління ФС авіадиспетчерів під час виконання ними функціональних обов'язків

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 СПШОР, який видає ОПР результат порівняння поточних показників і тих, що містяться в БД.

У теперішній час процеси функціонування систем та суб'єктів прийнято характеризувати моделями типу «чорної скрині», на вхід якої подаються інформаційні сигнали, а на виході реєструються результати реакції систем на ці сигнали.

Вхідні збурення часто є випадковими і можуть негативно впливати на якість роботи систем та суб'єктів, приводячи до змінення стану системи чи суб'єкта, а в деяких випадках до їхнього переходу до небажаних станів.

Управління якістю функціонування систем та суб'єктів можна характеризувати моделлю «вхід-вихід», яка описується кортежем [8]:

$$M_{AC} = \langle T, U, Y, \Omega_U, \Gamma \rangle,$$

де T – впорядкована множина моментів часу; U – множина значень вхідних параметрів; Y – множина значень вихідних параметрів; Ω_U – простір функцій, що описують допустимі вхідні впливи; Γ – простір функцій, що описують зміну за часом значень вихідних параметрів.

Ця модель відображає статичний стан системи чи суб'єкта.

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

Вихідними керованими змінними, що характеризують якість функціонування системи, 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:

$$\Delta Y(t) = Y(t) - Y_{необ}(t).$$

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 авіаційної системи «вхід-вихід» пропонується перейти до моделі, що враховує внутрішній стан авіаційної системи «вхід-стан-вихід»:

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

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, α – 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; β – 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 [8-9].

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

4.2. Модель і метод оперативного управління психофізіологічним станом авіадиспетчерів протягом робочої зміни

Підвищити БП на основі зниження впливу людського фактора пропонується на основі управління ФС авіадиспетчерів протягом робочої зміни.

У розділі представлені функціональна схема і метод оперативного адаптивного управління ПФС авіадиспетчерів протягом робочої зміни, застосування яких дозволяє здійснювати оперативне адаптивне управління ПФС авіадиспетчерів при випадкових зовнішніх впливах та неконтрольованих зміненнях працездатності в умовах невизначеності впливів і нестачі інформації у ОПР відносно ФС авіадиспетчерів, а також функціональна схема СІППоР, побудована на їх основі.

Метод полягає у виявленні негативних тенденцій змінення рівня стомлення та ЕМС авіадиспетчерів протягом робочої зміни, обумовлених впливом на них внутрішніх і зовнішніх факторів, і коригування ПФС авіадиспетчера на основі відсторонення від роботи (для відпочинку) авіадиспетчерів, у яких проявляється негативна тенденція змінення ПФС.

Застосування СППР дозволить відстежувати змінення ступеня стомлення та ЕМС авіадиспетчерів і, на основі аналізу отриманих даних, своєчасно виявляти і усувати від роботи тих авіадиспетчерів, у яких показники ступеня стомлення та ЕМС під впливом зовнішніх або внутрішніх факторів придбали негативну тенденцію змінення.

Метод оперативного управління ПФС авіадиспетчера полягає в послідовному виконанні таких етапів:

1. Моніторинг ПФС (ступеня стомлення та ЕМС) авіадиспетчера протягом робочої зміни.

2. Виявлення – із застосуванням СППР – негативних тенденцій змінення ПФС і передача інформації про це особі, що приймає управлінські рішення (ОПР).

3. Управлінський вплив з боку ОПР на авіадиспетчера, ступінь стомлення та/або емоційний стан яких перестав задовольняти встановленим вимогам. Воно може полягати у тимчасовому відстороненні авіадиспетчера від роботи і видачі дозволу на продовження виконання функціональних обов'язків після досягнення параметрів, котрі характеризують ПФС авіадиспетчера на рівні допустимих значень.

В якості основного показника ступеня стомлення авіадиспетчерів розглядається стан їх серцево-судинної системи. 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 напруження Баєвського, що розраховується на основі параметрів електрокардіограм [1-3].

Підвищити ефективність роботи СППоР пропонується шляхом фіксації змін параметрів мовних сигналів, що знімаються з виходу мікрофона, який використовує авіадиспетчер під час його аудіозв'язку з членами льотних екіпажів.

Як показники працездатності авіадиспетчерів розглядаються значення їх психофізіологічного ресурсу (ПФР), що визначається як різниця між показником ступеня втоми авіадиспетчера і його допустимим рівнем. Вихідним показником для аналізу змінення ПФР протягом робочої зміни є ПФР авіадиспетчера, визначений у процесі проведення передзмінного медичного і психофізіологічного контролю.

Особливості розв'язуваної задачі визначення та покращення ФС авіадиспетчерів:

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

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

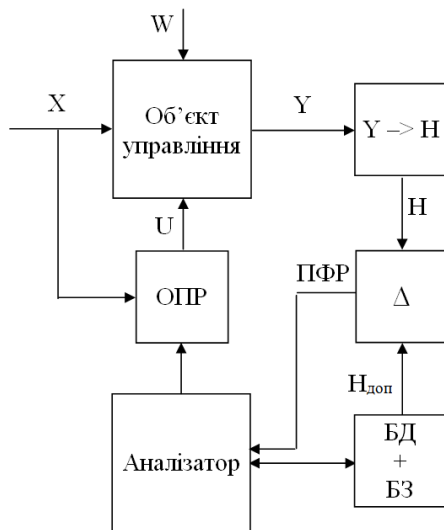
3. В якості основних складових ФС авіадиспетчерів протягом зміни розглядаються їх ПФС, під яким слід розуміти стани, пов'язані з роботою регуляторних систем організму людини (стомлення, сонливість, тривога), та емоційні стани.

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

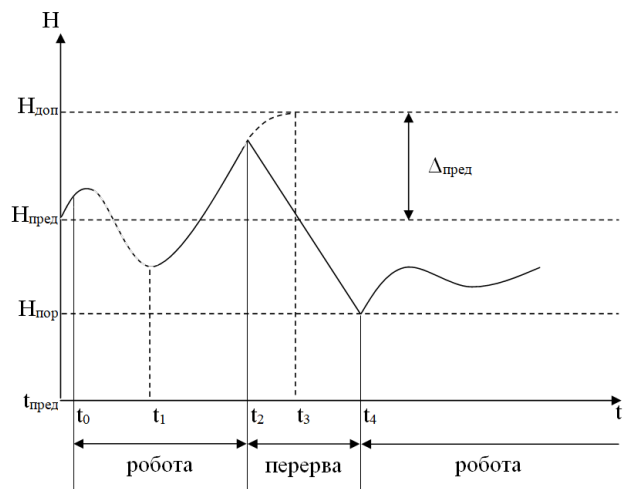
5. Можна обмежитися спрощеною класифікацією видів емоційних станів: збуджений стан – норма – стан скутості, депресивний стан.

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

В процесі проведення досліджень розроблено функціональну схему процесу оперативного адаптивного управління ПФС авіадиспетчерів (рис. 4.2,а), застосування якої дозволяє проводити оперативне адаптивне управління ПФС при випадкових зовнішніх впливах і неконтрольованому змінненні працездатності авіадиспетчерів, та метод, який на основі контролю стану серцево-судинної системи (ССС) авіадиспетчерів дозволяє здійснювати оперативне адаптивне управління ПФС впродовж робочої зміни в умовах невизначеності впливів та нестачі інформації у ОПР відносно ФС авіадиспетчерів.



а



б

Рис. 4.2. Функціональна схема процесу оперативного адаптивного управління ФС авіадиспетчерів (а) і графік, що пояснює роботу СИПР, побудованої на її основі (б)

Функціональна схема побудована на основі узагальненої функціональної схеми процесу оперативного адаптивного управління ФС авіадиспетчерів, представленої на рис. 4.2.

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 зміни.

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

Розроблена модель, що враховує зміни внутрішнього стану людини – об'єкта управління, має вигляд:

$$Y = f(X, U, W) \quad (4.19)$$

$$M = \{X, A_x, Y, B_y, S, T, \alpha, \beta\}, \quad (4.20)$$

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 зміни в часі значень вихідних параметрів, S – множина значень змінних параметрів, що характеризують ФС людини, T – впорядкована множина моментів часу, α – 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

авіадиспетчерів; β – вихідна функція, яка характеризує залежність елементів множини Y від значень вхідних параметрів і внутрішнього стану людини.

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

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 базі даних.

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, так само як і на попередніх етапах контролю, використовувати показник «психофізіологічний ресурс».

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. 4.2,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. 4.2,а фактично являє собою функціональну схему СІППоР, завданням якої є надання ОПР інформації, необхідної для більш обґрунтованого прийняття управлінських рішень.

Сигнал з виходу об'єкта управління надходить на вхід СППР, 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 зміни ПФР і ЕмС авіадиспетчера [4]. Якщо зазначена тенденція має негативний характер, то СППР подає сигнал ОПР про необхідність тимчасового відсторонення авіадиспетчера від виконання функціональних обов'язків і надання йому часу для відпочинку.

Робота аналізатора здійснюється спільно з правилами з БЗ. Робота СППР ілюструється графіком рис. 4.2,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 , СППР відстежує зміни ПФР до тих пір, поки система не зафіксує наявність постійного – протягом встановленого проміжку часу – зниження ПФР. Якщо процес зниження ПФР триває (на рис. 4.2,б це проміжок часу від моменту часу t_1 до моменту часу t_2), СППР, 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.

Одночасно з моніторингом стану серцево-судинної системи авіадиспетчерів протягом всієї робочої зміни неперервно фіксуються змінення їх частоти основного тону. Аналіз літературних джерел і проведені дослідження показують, що збільшення частоти основного тону (ЧОТ) свідчить про підвищення ступеня збудження людини, а її зменшення – про його перехід в стан скутості, депресії, що може свідчити про стомлення [5]. Відстеження змінення значень частоти основного тону за допомогою СППР дозволяє ОПР на більш ранніх стадіях виявляти можливе підвищення ступеня втоми авіадиспетчера і змінення (в тому числі, стрибкоподібне) його ЕМС.

4.3. Внутрішньозмінний контроль психофізіологічного стану та аутентифікація авіадиспетчерів за голосом

В якості ефективного засобу зменшення впливу людського фактора на якість управління повітряним рухом пропонується здійснювати перманентний голосовий контроль (моніторинг) ПФС авіадиспетчера в процесі виконання ним функціональних обов'язків [5]. Використання голосу для контролю за діями авіадиспетчера дає можливість здійснювати контроль безконтактно, дистанційно, не відволікаючи авіадиспетчера від роботи.

У підрозділі представлені основні принципи проведення та етапи автоматичного голосового контролю за діями авіадиспетчерів протягом робочої зміни (внутрішньозмінного контролю). Контроль полягає у моніторингу ПФС (емоційного стану, а також станів втоми, сонливості і тривоги) авіадиспетчерів та в їх перманентній аутентифікації за голосом, що значно підвищує ефективність контролю. Такий контроль дозволяє запобігти доступ до інформаційних ресурсів людей, які:

- знаходяться в неналежному ПФС;

- роблять спробу несанкціоновано зайняти робоче місце авіадиспетчера.

Основними вимогами до системи внутрішньозмінного контролю ПФС за голосом є забезпечення роботи системи в режимі реального часу (тобто підвищені вимоги висуваються до швидкодії системи) і проведення контролю за безперервним злитим мовленням авіадиспетчера.

4.3.1. Принципи проведення голосового внутрішньозмінного контролю за діями авіадиспетчерів

Внутрішньозмінний контроль пропонується здійснювати на основі таких принципів:

1. Контроль авіадиспетчерів проводиться за безперервним злитим мовленням на основі аналізу параметрів мовного сигналу, який фіксується, наприклад, під час аудіообміну авіадиспетчерів і членів льотних екіпажів.

2. Внутрішньозмінний контроль проводиться з урахуванням специфіки праці авіадиспетчерів (нормативно встановлена фразеологія, розміреність мови при проведенні аудіообмена тощо).

3. Для підвищення якості контролю останній проводиться багатоступінчасто:

1-ий рівень. Початковий («швидкий») контроль здійснюється шляхом аналізу параметрів мовних сигналів (зокрема, ЧОТ) безвідносно до конкретного мовного відрізка безперервної мови.

2-ий рівень. Поглиблений контроль ПФС авіадиспетчерів проводиться на основі пофонемного аналізу певних мовних фрагментів, виділених з безперервної мови авіадиспетчерів.

3-ій рівень полягає в контролі за діями авіадиспетчерів із застосуванням методів теорії розпізнавання образів та розробленої системи параметрів мовних сигналів. На цьому рівні використовується типова модель системи розпізнавання образів, що включає такі основні блоки: сканування,

попередня обробка сигналів, параметризація, класифікація та прийняття рішення [6].

4. Необхідність використання нормативно встановленої фразеології дозволяє звести моніторинг ПФС за безперервною мовою до моніторингу ПФС за окремими мовними фрагментами (командами). Проведення моніторингу за параметрами, які характеризують конкретні мовні фрагменти, є доцільним ще й тому, що, як показали проведені дослідження, значення інформативних параметрів мовного сигналу для одних і тих же фонем (алофонів) в різних мовних фрагментах можуть істотно відрізнятися.

Для аналізу з безперервної мови виділяються мовні фрагменти, часто вживані авіадиспетчерами в процесі роботи (наприклад, слова, які часто застосовуються авіадиспетчерами в процесі роботи та входять до складу професійної фразеології, встановленої нормативними документами).

За знайденими «ключовими» мовними фрагментами підсистемами визначення ПФС людини та її розпізнавання (аутифікації) проводяться відповідно визначення ПФС та аутифікація.

5. Підвищити точність визначення інформативних параметрів мовного сигналу, а отже, і достовірність визначення ПФС авіадиспетчера, можна шляхом зниження зашумленості мовного сигналу. Тому особливої актуальності набуває завдання підвищення якості фільтрації мовних сигналів.

4.3.2. Етапи проведення голосового внутрішньозмінного контролю психофізіологічного стану та аутифікації авіадиспетчерів

Внутрішньозмінний контроль за ПФС та діями авіадиспетчерів, у відповідності до теорії розпізнавання образів, пропонується проводити у послідовності, представленої на рис. 4.3.

Нижче наведено короткий аналіз кожного етапу представленої послідовності дій.

Етап 1. Сканування та дискретизація мовного сигналу.

На цьому етапі здійснюються сканування та дискретизація мовного сигналу, одержаного під час аудіозв'язку (аудіоперемовин) авіадиспетчера з членами льотних екіпажів.

Сканування здійснюється з застосуванням мікрофону, сигнал з виходу якого постійно записується на реєструючі пристрої (записи зберігаються для можливості проведення розслідувань авіаційних подій).

Дискретизація проводиться для переведення аналогового мовного сигналу в цифровий вид для подальшої передачі сигналу за провідниками до аналізуючих пристроїв.

Етап 2. Попередній («швидкий») контроль ПФС авіадиспетчера.

Задача етапу полягає в тому, щоб на можливо більш ранньому етапі проконтролювати, в якому ПФС (ЕмС) знаходиться авіадиспетчер і зафіксувати, який саме авіадиспетчер знаходиться на даному робочому місці.

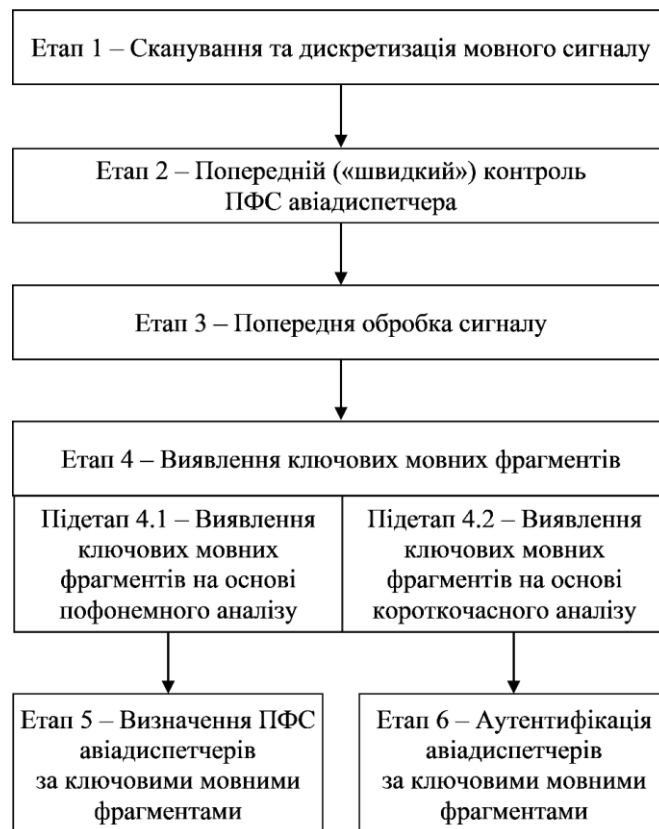


Рис. 4.3. Послідовність проведення внутрішньозмінного контролю за ПФС та діями авіадиспетчерів з боку ОПР

Ця інформація може набути цінність при проведенні розслідування авіаційної події.

«Швидкий» контроль може бути забезпечений за неперервним злитим мовленням авіадиспетчера шляхом аналізу таких параметрів мовного сигналу як ЧОТ та її похідні.

В процесі аналізу мовного сигналу фіксується, чи знаходяться ЧОТ у потрібному «коридорі» значень. Різке змінення ЕмС авіадиспетчера чи заміна авіадиспетчера на певному робочому місці призведуть до різкого змінення значень ЧОТ та її похідні, що буде зафіксовано аналізуючим пристроєм.

Більш точна інформація про ПФС авіадиспетчера та про те, який авіадиспетчер в даний момент часу знаходиться на певному робочому місці, буде одержана на етапах 5 та 6.

Етап 3. Попередня обробка сигналу.

Задача дій на цьому етапі полягає в одержанні мовних фрагментів, серед яких будуть виявлені «ключові» мовні фрагменти, за параметрами яких в подальшому будуть проводитися визначення ПФС авіадиспетчерів та їх аутентифікація.

Попередню обробку мовного сигналу пропонується проводити в такій послідовності: сегментація мовного сигналу на мовні фрагменти – «посилення» високих частот – накладення віконної функції – нормалізація за часом – шумоочищення отриманого сигналу.

Нижче позначені задачі кожного кроку та методи, на основі яких пропонується їх робити.

Крок 1. Сегментація мовного сигналу на мовні фрагменти.

Задача цього кроку – грамотно розбити неперервний мовний сигнал на сегменти (мовні фрагменти), за якими на наступному етапі будуть виявлені «ключові» мовні фрагменти.

Сегментацію пропонується проводити з застосуванням вейвлет-перетворювань.

Завдання сегментації за допомогою вейвлетів вирішується шляхом виявлення міжфонемних переходів, на яких сигнал зазнає значних змінень одночасно на багатьох масштабах дослідження і, відповідно, характеризується зростанням вейвлет-коефіцієнтів для багатьох рівнів деталізації, в той час як на стаціонарних ділянках фонем вейвлет-коефіцієнти виявляються згрупованими поблизу певних масштабів.

Пошук міжфонемних границь зводиться до пошуку моментів збільшення вейвлет-коефіцієнтів на значній кількості рівнів масштабування. Істотним є вибір вейвлетного базису, який повинен дозволяти описувати стаціонарний мовний сигнал з порівняно малим числом ненульових коефіцієнтів. Доцільно для вирішення поставленого завдання в якості вейвлет-базису використовувати вейвлети Хаара-5 або Добеши-6.

Важливим при визначенні ЕМС контрольованої особи є відсутність необхідності в розпізнаванні всіх фонем «ключового» мовного фрагмента – для визначення ЕМС достатньо розпізнати лише кілька перших голосних фонем.

Крок 2. «Посилення» високих частот мовних фрагментів.

Необхідність посилення високих частот обумовлена необхідністю вирівняти спектр мовних фрагментів – вокалізовані ділянки мови характеризуються спектром, що різко спадає. Для цього доцільно використовувати фільтр з кінцевою імпульсною характеристикою виду $H(z)=1-az^{-1}$, де коефіцієнт a вибирається з проміжку $[0.4, 1.0]$. Проведені експерименти показали, що значення коефіцієнта a доцільно прийняти рівним порядку 0,94.

Крок 3. Модуль накладання віконної функції.

Найпростіша прямокутна віконна функція є малоефективною, тому що при подальшому застосуванні дискретного перетворення Фур'є, внаслідок обмеженої тривалості сигналу, для якого воно буде застосовано (малої тривалості фреймів, на які розбивається вихідний мовний сигнал), спектр,

отриманий після перетворення, буде «розмитий». Для усунення цього ефекту використовують більш складні віконні функції. Залежно від цілей і виду вихідного сигналу можуть бути застосовані віконні функції високого та низького розширення. Прикладами перших є вікна Хеммінга, Ханна, Блекман, других – вікна Наталля, Блекман-Наталля [7].

Віконна функція вибиралася, виходячи з динамічного діапазону сигналу, так, щоб рівень бічних пелюсток спектра віконної функції був менше динамічного діапазону сигналу.

Рівні бічних пелюсток вікон Ханна і Хеммінга дорівнюють -31,5 дБ та -42 дБ відповідно. Обидва варіанти є задовільними і дають приблизно однакові результати. У підсумку перевага була віддана вікну Ханна, тому що воно має дещо більшу роздільну здатність:

$$\omega(n) = 0.5 \left(1 - \cos \left(2\pi \frac{n}{N} \right) \right), \quad 0 \leq n \leq N, \quad (4.9)$$

де n – номер відліку, N – загальна кількість відліків.

Крок 4. Нормалізація мовних фрагментів за часом.

Нестабільність темпу мови авіадиспетчера, викликана впливом таких чинників, як інтонація, акцент та ін., породжує відмінності по тривалості реалізацій мовних сигналів, а також їх окремих складових. Для коректного зіставлення мовних образів необхідно проводити їх вирівнювання по часу проголошення (довжині). Вирівнювання шляхом лінійного стиснення або розтягування однієї реалізації слова до величини іншої вирішує задачу лише частково.

Для нормалізації мовних сигналів за часом пропонується застосовувати метод DTW [8].

Крок 5. Шумоочищення мовних фрагментів.

Зниження зашумленості мовних фрагментів підвищує точність визначення інформативних параметрів мовного сигналу.

Шумоочищення, як і сегментацію мовного сигналу на мовні фрагменти, пропонується проводити із застосуванням вейвлетів, що дає можливість уніфікувати роботу модулів СІППоР, які будуть побудовані на основі принципів, що розглядаються.

В процесі проведення дисертаційних досліджень розроблено метод, застосування якого дозволило значно підвищити ефективність шумоочищення мовних сигналів.

Етап 4. Виявлення «ключових» мовних фрагментів.

Основною задачею етапу є пошук – на основі розпізнавання мовних фрагментів – та вилучення «ключових» фрагментів з мовних фрагментів, отриманих в результаті сегментації неперервної мови на етапі попередньої обробки сигналів.

Етап 4 складається з двох підетапів, на яких виявлення «ключових» мовних фрагментів здійснюється на основі пофонемного (підетап 4.1) та короткочасного (підетап 4.2) аналізу.

За виявленими «ключовими» мовними фрагментами на наступних етапах проводяться визначення ПФС авіадиспетчерів (на етапі 5) та розпізнавання (аутифікація) контрольованих осіб (на етапі 6).

Відзначимо при цьому, що:

- виявлення «ключових» мовних фрагментів на підетапі 4.1 та визначення ПФС авіадиспетчерів на етапі 5 здійснюється на основі пофонемного аналізу мовних фрагментів;

- виявлення «ключових» мовних фрагментів на підетапі 4.2 та розпізнавання (аутифікація) контрольованих осіб на етапі 6, відповідно до теорії розпізнавання образів [6], проводяться шляхом послідовного виконання параметризації, класифікації та прийняття рішень.

Особливістю аналізу є проведення класифікації мовних фрагментів та контрольованих осіб на етапах 4.2 та 6 з застосуванням штучних нейронних мереж (ШНМ), що дозволило в значній мірі уніфікувати СІППоР. Обидві

ШНМ мають практично однакову топологію і архітектуру (зокрема, в обох підсистемах як ШНМ застосовані багат шарові перцептрони з одним прихованим шаром).

Первинне виявлення «ключових» мовних фрагментів на підетапі 4.1 з подальшою перевіркою результату виявлення з використанням методів короткочасного аналізу та розпізнавання образів на підетапі 4.2 призводить до збільшення точності виявлення «ключових» мовних фрагментів.

Етап 5. Визначення ПФС авіадиспетчерів.

Визначати ПФС авіадиспетчерів пропонується за «ключовими» мовними фрагментами, виділеними підсистемою виявлення «ключових» мовних фрагментів.

В процесі виконання етапу сигнал проходить три основних підетапа – параметризацію, класифікацію та прийняття рішення.

Етап 6. Розпізнавання (аутифікація) осіб, що контролюються.

Розпізнавання здійснюється за «ключовими» мовними фрагментами.

Як і визначення ПФС авіадиспетчера, основними підетапами цього етапу є параметризація, класифікація мовного сигналу та прийняття рішення.

4.4. Параметризація мовних сигналів в процесі проведення внутрішньозмінного голосового контролю авіадиспетчерів

4.4.1. Вибір типу параметрів мовних сигналів для їх застосування в модулях параметризації мовного сигналу підсистем розпізнавання (аутифікації) контрольованих осіб

Незважаючи на відносно велику кількість матеріалів, присвячених аналізу мовних сигналів, що містяться в літературі, має місце явна нестача досліджень, присвячених обґрунтуванню вибору систем параметрів мовних сигналів і їх значень.

Складність завдання розпізнавання людини за голосом полягає у визначенні інформативних дикторозалежних параметрів, які б гарантовано її характеризували, та в розробці методів ефективного виділення цих параметрів для обробки в оптимальному математичному поданні. «Вдале» виділення інформативних параметрів є основою для прийняття системою аутентифікації достовірного рішення [5].

Нижче наведено обґрунтування необхідності та результати розробки нових параметрів мовних сигналів для їх застосування в модулях параметризації мовного сигналу підсистем розпізнавання (аутентифікації) контрольованих осіб.

1. Мовний сигнал містить такі характеристики, як тембр голосу, ритм, глибина та ін., але далеко не всі з них можна ефективно представити в формалізованому виді. Як параметри мовних сигналів в літературі пропонується використовувати, наприклад, такі параметри: частота основного тону та формантні частоти. Ці параметри досить інформативні, однак, не є надто стійкими; до того ж їх кількість часто є недостатньою для надійного визначення особи [6].

2. Більш зручним для побудови систем прийняття рішення (зокрема, їх побудови на основі ШНМ) є використання в якості параметрів мовних сигналів спектральних коефіцієнтів, коефіцієнтів лінійного передбачення (КЛП) і кепстральних коефіцієнтів.

3. Аналіз показав, що використання спектральних складових «в чистому вигляді», як правило, призводить до незадовільних результатів через велику кількість параметрів, їх сильну залежність від шумів і незначних змін вихідного мовного сигналу. Використання ж в якості параметрів мовних сигналів КЛП (особливо, якщо передбачається використовувати досить велику кількість коефіцієнтів) вимагає проведення досить великої кількості обчислень; до того ж, вони поступаються в завадостійкості кепстральним коефіцієнтам.

4. В процесі вибору параметрів було проведено порівняння «розкиду» значень КЛП та кепстральних коефіцієнтів при проголошенні контрольної фрази одним і тим же диктором кілька разів. На рис. 4.4 представлені результати такого порівняння для КЛП 10-го порядку.

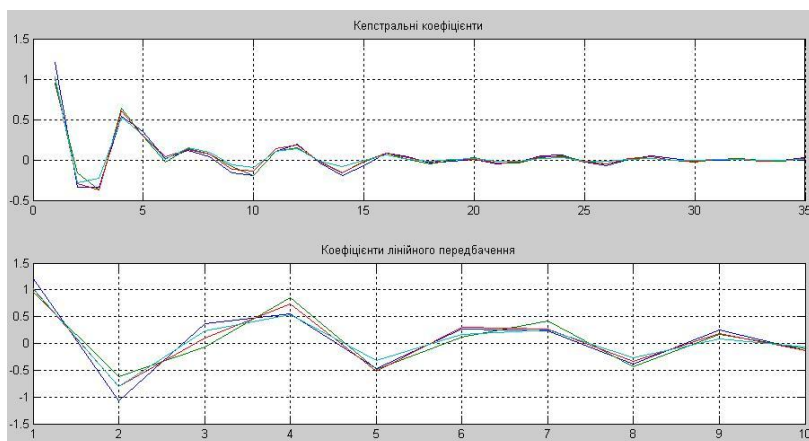


Рис. 4.4. Порівняння «розкиду» КЛП та кепстральних коефіцієнтів при неодноразовому проголошенні контрольної фрази одним і тим же диктором

З рис. 4.4 видно, що зазначений «розкид» істотно менше в разі використання кепстральних коефіцієнтів.

Вищесказане є обґрунтуванням доцільності побудова СШПоР на основі методу короткочасного аналізу [9] та вибору розрахованих пофреймово (покадрово) кепстральних коефіцієнтів в якості основи для параметризації «ключових» мовних фрагментів.

Розрахунок кепстральних коефіцієнтів може проводитися із застосуванням різних методів, зокрема, заснованих на попередньому визначенні мел-кепстральних коефіцієнтів, КЛП, коефіцієнтів перцептивного лінійного передбачення та ін.

Для розрахунку кепстральних коефіцієнтів пропонується використовувати метод, заснований на попередньому обчисленні КЛП.

5. Однак, в «чистому вигляді» застосувати кепстральні коефіцієнти в якості основи для параметризації «ключових» мовних фрагментів не представляється можливим внаслідок їх великої кількості, що не дає

можливості побудови модулів класифікації на основі ШНМ – можливість застосування ШНМ в якості основи для побудова модуля класифікації обмежується кількістю параметрів сигналів, що надходять на її входи.

Для забезпечення можливості побудови модулів класифікації підсистем виділення «ключових» мовних фрагментів на основі ШНМ було необхідно істотно зменшити кількість інформативних параметрів мовних сигналів, що подаються на вхід ШНМ. Це було досягнуто в процесі розробки нової системи інформативних параметрів, застосування якої дозволило суттєво (більш ніж на порядок) зменшити кількість вхідних параметрів (нейронів) ШНМ без будь-якого істотного зменшення вірогідності роботи.

На основі вищесказаного в процесі дисертаційного дослідження була розроблена послідовність проведення параметризації «ключових» мовних фрагментів та методика визначення їх параметрів.

4.4.2. Етапи параметризації «ключових» мовних фрагментів

Процес параметризації «ключових» мовних фрагментів включає п'ять етапів.

Етап 1. Розбиття «ключового» мовного фрагменту на фрейми.

Сегментація (розбиття) «ключових» мовних фрагментів на фрейми при малій тривалості фрейму (20...40 мс) дає можливість розглядати мовний сигнал на кожному фреймі як однорідну функцію, що необхідно для отримання хорошої спектральної картини. Довжина фрейма в значній мірі визначається частотою дискретизації. На основі результатів проведеного аналізу довжина фреймів обиралася рівною 240 відлікам при кроці, рівному 160 відлікам, при частоті дискретизації 12 кГц.

Етап 2. Розрахунок КЛП на кожному фреймі.

КЛП пропонується розраховувати автокореляційним способом за формулою [15]: $a=R^{-1}r$, де R – автокореляційна матриця у формі матриці Теплиця, r – автокореляційний вектор, a – вектор КЛП.

Коефіцієнти автокореляції розраховуються з використанням алгоритму Левінсона-Дюрбіна. КЛП розраховуються таким чином, щоб помилка в сенсі найменших квадратів була мінімальна для заданого порядку передбачення p .

Порядок лінійного передбачення, як правило, беруть в межах від 8 до 20 в залежності від цілей і способів реалізації.

Етап 3. Розрахунок кепстральних коефіцієнтів на кожному фреймі.

На кожному фреймі розраховуються кепстральні коефіцієнти. Розрахунок проводиться на основі КЛП [16], тому в результаті розрахунка одержуємо так звані кепстральні коефіцієнти лінійного передбачення (ККЛП).

Визначення ККЛП за КЛП проводимо за формулою:

$$c(n) = \begin{cases} 0, n < 0 \\ \log_{\varepsilon}(A), n = 0 \\ a_n + \sum_{k=1}^{n-1} \left(\frac{k}{n}\right) c(k) a_{n-k}, 0 < n < p \\ \sum_{k=n-p}^{n-1} \left(\frac{k}{n}\right) c(k) a_{n-k}, n > p \end{cases}, \quad (4.21)$$

де a_i – коефіцієнти лінійного передбачення, $c(i)$ – кепстральні коефіцієнти, p – порядок лінійного передбачення, n – номер кепстрального коефіцієнта, A – помилка лінійного передбачення.

Наведена формула рекурсивна, що дозволяє згенерувати бажане число коефіцієнтів для параметризації. Їх якість безпосередньо залежить від кількості КЛП.

На рис. 4.5 наведені залежності значень деяких ККЛП від номера фрейму для трьох дикторів (для кожного диктора свої залежності) для фрази «говоріть повільніше».

Експерименти, в процесі яких кілька дикторів багато разів вимовляли різні фрази, показали хорошу повторюваність значень кепстральних коефіцієнтів. В результаті було виявлено, що інформативними для проведення аутентифікації є перші 12-20 кепстральних коефіцієнтів [17].

Кількісними показниками якості параметризації можуть служити коефіцієнти кореляції кепстральних коефіцієнтів відповідних фреймів мовних фрагментів, сказаних одним диктором.

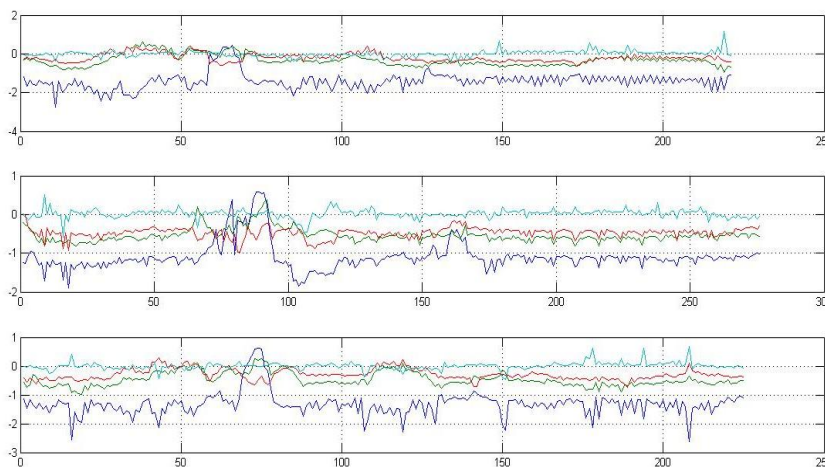


Рис. 4.5. Залежність ККЛП від номера фрейму для різних дикторів (по осі абсцис – номер фрейма, по осі ординат – значення ККЛП)

Приклад кореляцій кепстральних коефіцієнтів фреймів сигналів наведено на рис. 4.6. Середнє значення кореляції дорівнює 0,93, що є досить високим результатом.

Етап 4. Створення нових сигналів.

Нова система параметрів побудована на основі комплексного розгляду модулів параметризації і класифікації в разі побудови модуля класифікації на основі ШНМ. Застосування розробленої системи параметрів дозволило підвищити об'єктивність проведення класифікації, значно скоротити розміри векторів параметрів.

На основі проведених досліджень пропонується в якості параметрів мовних сигналів при параметризації використовувати амплітуди спектральних складових, отриманих в результаті обробки нових сигналів, складених з пофреймово визначених ККЛП, у відповідності з наведеною послідовністю дій.

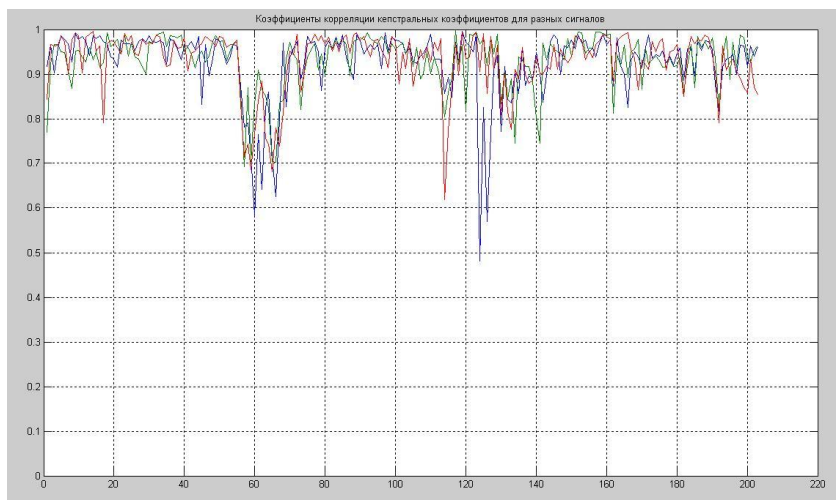


Рис. 4.6. Коефіцієнти кореляції кепстральних коефіцієнтів при неодноразовому проголошенні контрольної фрази одним і тим же диктором

Масив нових сигналів формується наступним чином: перший сигнал являє собою залежність від номера фреймів послідовно розташованих на відстані, що дорівнює довжині фрейму, значень перших ККЛП, другий сигнал – відповідно значень других ККЛП тощо.

Масив нових сигналів може бути одержаний таким чином: пофреймово одержані ККЛП записуються у вигляді матриці C_{nm} , де c_{ij} – j -ий ККЛП i -го фрейму, n – кількість фреймів, m – кількість ККЛП в кожному фреймі. Далі необхідно транспонувати матрицю C_{nm} . Тоді кожний стовпчик матриці C_{nm}^T буде новим сигналом, що складається з ККЛП.

У результаті матриця кепстральних коефіцієнтів C_{nm} перетворюється в одновимірний вектор (рис. 4.7).

Етап 5. Визначення параметрів мовного фрагменту.

До кожного з нових сигналів застосовується швидке перетворення Фур'є.

Результатом виконання етапа є спектрограма, що являє собою залежність амплітуди спектральних складових від частоти і номера ККЛП.

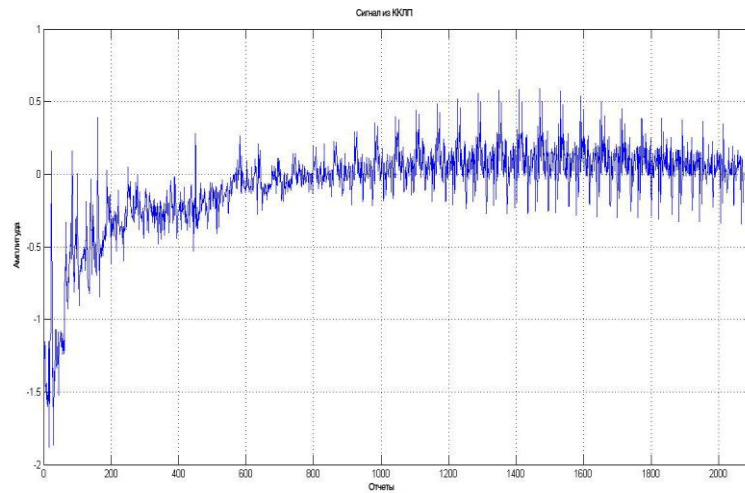


Рис. 4.7. Сигнал, складений з ККЛП (по осі абсцис – відліки нового сигналу, по осі ординат – амплітуда сигналу)

Приклад спектрограми, отриманої в результаті застосування розробленої послідовності дій, представлений на рис. 4.8.

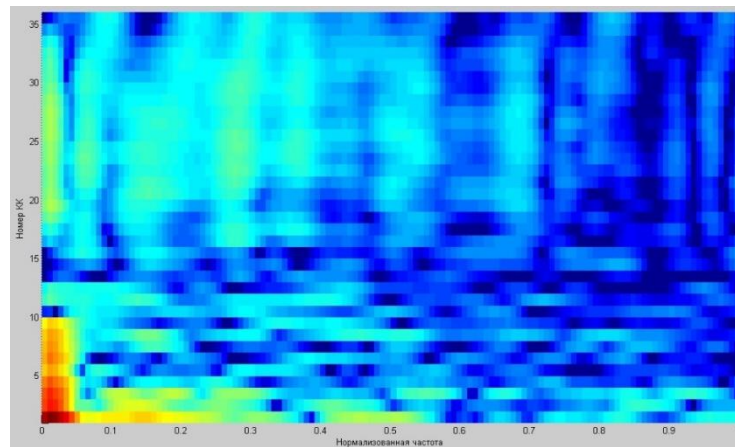


Рис. 4.8. Спектрограма для фрази «говорить повільніше» (по осі абсцис – нормалізована частота, по осі ординат – номер ККЛП)

Спектрограма має велику розмірність, але не всі її частини є однаково інформативними. Більш інформативною є низькочастотна частина (сторона) спектрограми.

Найбільше ж інформативним, як показало тестування, є перший стовпчик спектрограми (він відповідає частоті, значенням якої є величина,

зворотна тривалості вихідного мовного сигналу). Це добре видно з рис. 4.9, на якому зображена залежність відсотка правильної аутентифікації від номера стовпчика спектрограми.



Рис. 4.9. Залежність відсотка правильної аутентифікації від номера стовпчика спектрограми

Тому в якості параметрів мовних сигналів при проведенні аутентифікації (параметризації «ключових» мовних сигналів) пропонується вибирати амплітуди складових, що відповідають першому стовпчику спектрограм.

Застосування розробленої системи параметрів дозволило істотно підвищити точність аутентифікації і значно зменшити час її проведення. Останнє дозволило проводити аутентифікацію (та контроль за діями авіадиспетчерів в цілому) в режимі реального часу.

Якщо контрольована особа не проходить процедуру аутентифікації, проводиться процес ідентифікації.

У разі малої кількості контрольованих осіб (а саме такий випадок має місце при аутентифікації авіадиспетчерів) для прискорення пошуку порушника режиму доступу в розробленій СШПоР замість послідовного проведення аутентифікації та ідентифікації пропонується відразу проводити ідентифікацію авіадиспетчерів. Для цього підсистему ідентифікації пропонується будувати на основі ШНМ з декількома виходами.

Результатом розрахунків є вектор розмірності n , кожен (i -ий) елемент якого є ймовірнісним значенням того, що мовний сигнал, який надійшов на вхід ШНМ, належить i -му авіадиспетчеру. Звичайно, при цьому ускладнюється процес навчання ШНМ.

4.5. Принципи проведення класифікації мовних сигналів в процесі внутрішньозмінного контролю психофізіологічного стану та аутентифікації авіадиспетчерів

У літературі описана досить велика кількість методів обробки сигналів, на основі яких проводиться класифікація образів, зокрема, методи, засновані на обчисленні відстаней між векторами параметрів, на застосуванні прихованих марковських моделей, метод DTW та інші [11-13]. Кожен з них має свої переваги і недоліки.

У розробленій СППОР модулі класифікації підсистем розпізнавання контрольованих осіб побудовані із застосуванням ШНМ [14], що дозволяє:

- проводити класифікацію в умовах невизначеності проблемної області;
- прискорити процес класифікації, а, отже, і роботу всієї системи в цілому, в порівнянні з зазначеними методами.

Особливості застосування ШНМ в СППОР:

1. В якості вхідних факторів застосовуються інформативні параметри мовних сигналів з розробленої системи параметрів.

2. Результатом розрахунків із застосуванням ШНМ є вектор розмірності n , кожен (i -ий) елемент якого є ймовірнісним значенням приналежності мовного сигналу i -му диктору.

3. Обов'язковим є навчання ШНМ.

У процесі досліджень до ШНМ висуваються такі вимоги:

1. Якимого менша кількість застосовуваних інформативних параметрів, що характеризують мовні сигнали, при обумовлених значеннях помилок першого та другого роду (відсотка правильної аутентифікації).

2. Якімога менший необхідний час навчання при забезпеченні заданої якості проведення аутентифікації.

3. Якімога більш висока швидкість обробки мовних сигналів.

Дослідження показали, що доцільним для вирішення поставленого завдання є застосування в якості ШНМ багатошарового перцептрона з одним прихованим шаром.

Конкретні вид ШНМ і значення параметрів визначаються в процесі тестування системи за критерієм максимуму відсотка правильної аутентифікації (мінімуму помилок першого та другого роду) з урахуванням необхідного часу навчання ШНМ та швидкості обробки мовних сигналів.

Для підвищення достовірності роботи СППоР пропонується застосовувати ШНМ з декількома виходами.

При застосуванні ШНМ в підсистемі розпізнання людини на кожному виході ШНМ розраховується вектор розмірності n , i -ий елемент якого є ймовірнісним значенням того, що процедуру аутентифікації проходить конкретний (i -ий) авіадиспетчер, параметри якого занесені до відповідної бази даних. При застосуванні ШНМ з декількома виходами в підсистемі розпізнавання мовних фрагментів отримуємо вектор розмірності n , кожен (i -ий) елемент якого є ймовірнісним значенням того, що мовний фрагмент, який надійшов на вхід ШНМ, є одним з «ключових» (параметри якого занесені в базу даних «ключових» мовних фрагментів).

Застосування ШНМ з декількома виходами дозволяє прискорити процеси аутентифікації і пошуку «ключових» мовних фрагментів у безперервній мові авіадиспетчера, проводячи зазначені дії одночасно за відповідно кількома авіадиспетчерами та мовними фрагментами.

Звичайно, застосування ШНМ з декількома виходами супроводжується ускладненням процесу навчання ШНМ.

Ще одним шляхом підвищення достовірності роботи та швидкодії СППоР є обґрунтований вибір параметрів ШНМ.

Значення параметрів ШНМ розраховувалися в процесі тестування модулів параметризації та класифікації за критерієм максимуму відсотка правильно проведеної класифікації (відсотка правильної аутентифікації / правильно класифікованих сигналів). Визначалися такі параметри модулів параметризації і класифікації: довжина фрейму, кількість коефіцієнтів лінійного передбачення, застосованих при розрахунку ККЛП, кількість ККЛП, кількість нейронів в прихованому шарі ШНМ та кількість епох.

Дослідження показали, що істотний вплив на швидкодію СППОР надає кількість нейронів в прихованому шарі ШНМ – результати спільного аналізу залежності відсотка правильної аутентифікації і часу проведення класифікації від цього параметра свідчать про те, що якість аутентифікації незначно залежить від кількості нейронів в прихованому шарі, тим часом як тривалість обчислень при збільшенні кількості нейронів прихованого шару істотно зростає.

Для забезпечення роботи СППОР в режимі реального часу (досягнення цього режиму було однією з цілей досліджень і розробки системи) час обробки сигналів не повинен перевищувати усереднену тривалість «ключових» мовних фрагментів.

На практиці була досягнута середня тривалість обробки в підсистемах розпізнавання людини і виділення «ключових» мовних фрагментів з безперервної мови на рівні 25 мс, що істотно менше тривалості «ключових» мовних фрагментів. Це свідчить про забезпечення роботи СППОР в режимі реального часу.

4.6. Моніторинг психофізіологічного (емоційного) стану авіадиспетчерів за «ключовими» мовними фрагментами

Особлива увага в процесі контролю за діями авіадиспетчерів приділяється оцінюванню їх ПФС. При цьому основна кількість літератури по ПФС присвячено дослідженням в області ЕМС.

У процесі досліджень були проведені теоретичні та експериментальні дослідження, метою яких був аналіз параметрів, що характеризують мовні фрагменти, з точки зору їх ефективності для визначення ПФС (в першу чергу – ЕМС).

Дослідження показали, що для підвищення достовірності роботи СІППоР доцільно збільшувати кількість інформативних параметрів, що аналізуються. В якості інформативних пропонується застосовувати такі параметри «ключових» мовних фрагментів: ЧОТ (частота основного тону) і пов'язані з нею параметри (порізаність мелодійного контуру, дисперсія, середнє значення та ін.), формантні частоти голосних фонем і їх відношення, а також тривалість проголошення «ключових» мовних фрагментів.

Аналіз літературних джерел і результати, отримані в процесі дисертаційних досліджень, показали, що ЧОТ має досить чітку тенденцію до підвищення при зміні стану мовця по лінії «депресія, скутість - норма - збудження». Це дало підставу проводити «швидкий» контроль авіадиспетчерів шляхом перманентного розрахунку ЧОТ і перевірки, чи укладаються їх значення в «коридор», що відповідає стану авіадиспетчера «норма» (спокійного стану). Вихід значень ЧОТ за межі заданого «коридору» свідчить про те, що або місце санкціонованого авіадиспетчера зайняла стороння людина (можливо, інший авіадиспетчер), або авіадиспетчер знаходиться в неналежному ПФС.

Результати проведених експериментів свідчать про те, що ЧОТ залежить від ПФС і самопочуття диктора. З огляду на це і простеживши зміни ЧОТ, можна підвищити якість аутентифікації конкретного авіадиспетчера.

В результаті дисертаційного дослідження розроблено процедуру проведення моніторингу ПФС авіадиспетчерів, засновану на аналізі «ключових» мовних фрагментів. Її використання дозволяє більш точно визначити ПФС авіадиспетчера. Достовірність результатів моніторингу ПФС підвищується в зв'язку з тим, що, як показали проведені дослідження,

інформативні параметри мовних сигналів залежать, наприклад, від місця розташування голосних фонем в мовних фрагментах, за якими проводяться аутентифікація авіадиспетчерів і визначення їх ПФС.

У відповідності з розробленою процедурою моніторинг ПФС авіадиспетчерів проводиться за «ключовими» мовними фрагментами на основі їх пофонемного аналізу.

Основними етапами моніторингу ПФС за «ключовими» мовними фрагментами, у відповідності з розробленою процедурою, є такі:

1. Сегментація «ключового» мовного фрагменту на фонеми.
2. Розпізнавання голосних фонем.
3. Параметризація голосних фонем.
4. Класифікація мовних сигналів та прийняття рішення відносно ПФС авіадиспетчера.

Нижче коротко описані основні принципи побудови СППоР на кожному етапі.

Етап 1. Сегментація «ключових» мовних фрагментів на фонеми.

Сегментацію (розбиття) мовних фрагментів на фонеми пропонується проводити із застосуванням вейвлетів аналогічно сегментації неперервного мовного сигналу на мовні фрагменти.

Етап 2. Розпізнавання голосних фонем.

Етап 3. Параметризація голосних фонем.

Етап 4. Класифікація мовних сигналів та прийняття рішення відносно ПФС авіадиспетчера.

Класифікацію мовних сигналів та прийняття рішення відносно ПФС авіадиспетчера пропонується проводити на основі порівняльного аналізу контрольних і еталонних інформативних параметрів, що характеризують окремі (в першу чергу, голосні) фонеми, що входять до складу ключових мовних фрагментів.

Правильність визначення стану втоми авіадиспетчерів за голосом можна перевірити при проведенні післязмінного психофізіологічного контролю за ступенем напруження регуляторних систем організму авіадиспетчера, яке, в свою чергу, можна визначити за станом серцево-судинної системи як інтегрального показника [1-3] із застосуванням портативних електрокардіографів.

Як зазначалося вище, для пошуку «ключових» мовних фрагментів серед мовних фрагментів, отриманих в результаті сегментації неперервної зливої мови авіадиспетчера, можуть застосовуватися дикторонезалежні ШНМ, навчені на розпізнавання «ключових» мовних фрагментів. Застосування ШНМ дозволяє істотно підвищити точність роботи СППоР.

При цьому, ШНМ підсистем аутентифікації та виявлення «ключових» мовних фрагментів принципово можуть мати однакову топологію і архітектуру (зокрема, в обох підсистемах як ШНМ рекомендується застосовувати багат шарові перцептрони з одним прихованим шаром). Застосування ШНМ в обох підсистемах дозволило в значній мірі уніфікувати побудову СППоР.

Однак, вочевидь, що простий перебір мовних фрагментів є непродуктивним; він не дозволяє СППоР працювати в режимі реального часу.

В процесі дисертаційних досліджень розроблено процедуру пошуку (виявлення) «ключових» мовних фрагментів, застосування якої дозволяє значно прискорити цей процес. Підвищення швидкодії роботи СППоР досягається шляхом швидкого відкидання мовних фрагментів, які явно не входять до складу словника «ключових» мовних фрагментів, перед їх обробкою підсистемою визначення ПФС (ЕмС). У цьому випадку застосування ШНМ необхідно лише для перевірки гіпотез, отриманих в процесі застосування розробленого методу.

Виявлення «ключових» мовних фрагментів, за якими визначається ПФС (ЕмС), засновано на застосуванні розроблених моделей мовних

фрагментів і порівнянні їх з моделями, що містяться в створеній базі моделей. Вміст бази заповнюється за результатами попередньо проведених досліджень з розпізнавання фонем (аллофонів) і фонематичного аналізу.

В основі роботи підсистеми виявлення «ключових» мовних фрагментів лежить сегментація мовних фрагментів на фонемі і паузи з подальшим пошуком мовних відрізків, що містять в собі певну кількість голосних і приголосних фонем.

Попередньо – на етапі реєстрації авіадиспетчерів – повинна бути створена база моделей слів. У процесі попереднього відбору відбувається відкидання слів, чії моделі не відповідають моделям слів, що становлять вказану базу даних.

Для ілюстрації вищевикладеного, на рис. 4.10 наведені отримані із застосуванням програми «praat» часові залежності ЧОТ (суцільні лінії) та формантних частот (пунктирні лінії) для слова «Переключитесь» (це слово є частиною фразеологічної команди «Переключитесь на висоту», якою часто користуються авіадиспетчери). Щоб не ускладнювати сприйняття рисунка, на осях не проставлено значення часу і частоти. На рис. 4.10, зокрема, можна легко виділити глухі приголосні – вони не містять ЧОТ.

З рис. 4.10 видно, як вказане фразеологічне слово може бути представлено у вигляді послідовності фонем і пауз.

Значущим етапом при застосуванні розробленого способу підвищення швидкодії роботи СІППоР є складання моделей «ключових» мовних фрагментів для кожного авіадиспетчера. Зазначені моделі являють собою послідовності позицій, призначених для розпізнаних фонем; при цьому, під розпізнаванням розуміється як власне розпізнавання фонем (в першу чергу, голосних), так і віднесення фонем до певного класу (наприклад, класу глухих приголосних).

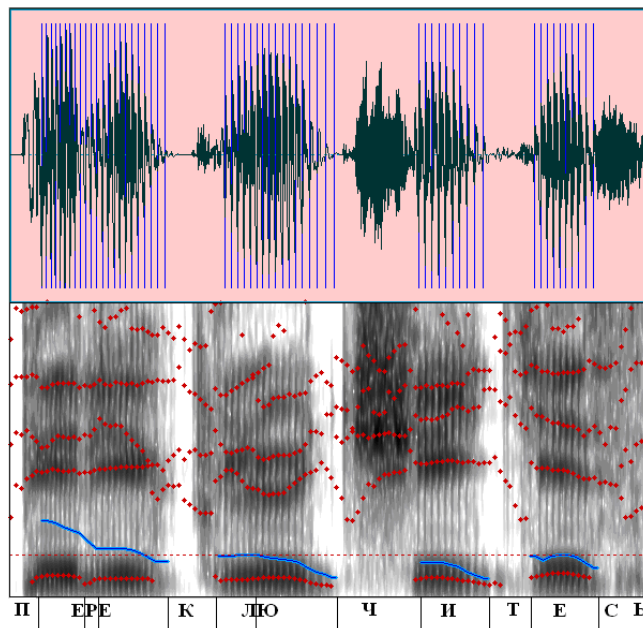


Рис. 4.10. Спектрограма слова «Переключитесь»

База моделей мовних фрагментів створюється на етапі реєстрації авіадиспетчерів. При застосуванні розробленого способу відкидаються мовні фрагменти, моделі яких не відповідають моделям мовних фрагментів, що становлять базу моделей мовних фрагментів. Важливим є відсутність необхідності розпізнавання всіх фонем мовного фрагмента – досить розпізнати (або віднести до певного класу) кілька фонем – їх послідовність складе гіпотезу, що підтверджується або відкидається ШНМ.

Таким чином, реалізація розробленого способу підвищення швидкодії роботи СППоР полягає у виконанні наступної послідовності дій:

1. Сегментація мовного фрагменту, взятого з неперервного мовлення, на фонемі.
2. Складання моделі контрольного «ключового» мовного фрагменту, побудованої за першими розпізнаними фонемами мовного фрагменту.
3. Пошук в базі моделей мовних фрагментів тих моделей, які відповідають мовному фрагменту, що надійшов для аналізу. У разі наявності в базі моделей мовних фрагментів відповідної моделі висувається гіпотеза, що аналізований мовний фрагмент є в словнику.

4. Перевірка гіпотези шляхом порівняння векторів параметрів, що характеризують обраний мовний фрагмент, з параметрами відповідного мовного фрагменту, що знаходяться в словнику (з застосуванням ШНМ).

5. При «позитивному» результаті перевірки гіпотези переходимо до проведення визначення ПФС (ЕМС) авіадиспетчера.

Застосування розробленого способу виділення «ключових» мовних фрагментів з усього масиву мовних фрагментів, що утворюється в результаті сегментації неперервного злитого мовлення, дозволяє істотно зменшити час обробки даних, що, в свою чергу, дає можливість проводити визначення ПФС (ЕМС) та аутентифікацію авіадиспетчерів в режимі реального часу. Ефективність способу залежить від якості сегментації мовних фрагментів на фонемі.

Зауважимо при цьому, що застосування розробленого способу не потребує додаткових витрат часу, тому що сегментація на фонемі і розпізнавання голосних фонем є елементами послідовності дій, що здійснюються під час визначення ПФС (ЕМС) авіадиспетчерів.

4.7. Методика забезпечення підвищеного рівня очищення мовного сигналу від шумів та завад

Високий рівень шумів аналізованого мовного сигналу обумовлює використання систем шумоочищення з підвищеним рівнем очищення.

У розділі наведена розроблена в процесі проведення дисертаційних досліджень методика забезпечення підвищеного рівня очищення мовного сигналу від шумів та завад, застосування якої призводить до підвищення якості роботи СІППоР. Розроблена методика побудована на основі технології вейвлет-перетворення даних [18,19].

Будь-який досліджуваний сигнал містить не тільки корисну інформацію $S(t)$, а й сліди деяких сторонніх впливів $N(t)$ – завади або шум. Модель такого сигналу можна записати в такий спосіб:

$$F(t)=S(t)+k*N(t), \quad (4.22)$$

де k – коефіцієнт, що задає рівень шуму або завади.

Шумовою складовою є гаусів білий шум, отже, корисний сигнал $S(t)$ буде зосереджений в низькочастотній області спектра досліджуваного сигналу $F(t)$. Шумова складова була отримана шляхом моделювання білого шуму в пакеті MatLab з кількістю відліків, що дорівнює кількості відліків корисного сигналу.

Досліджуваний зашумлений сигнал формувався шляхом таких перетворень:

$$F(t)=S(t)+0,7*N(t). \quad (4.23)$$

При вирішенні завдання очищення мовного сигналу від шуму і завад пропонується застосовувати технології вейвлет-перетворення даних [18,19], що передбачають розкладання мовного сигналу на апроксимуючі коефіцієнти, які характеризують згладжений сигнал, і деталізують коефіцієнти, що описують коливання. У зв'язку з тим, що шумова компонента більше відображується в коефіцієнтах, що деталізуються, при видаленні шуму обробляються саме вони.

Методика процесу видалення шуму з мовного сигналу реалізується в середовищі MatLab в такій послідовності:

Крок 1. Декомпозиція. Обирається вейвлет і рівень розкладання N . Проводиться вейвлет-розкладання вихідного сигналу до рівня N . Вибір використовуваного вейвлета і глибини розкладання, в загальному випадку, залежить від властивостей конкретного сигналу. Більш гладкі вейвлети створюють більш гладку апроксимацію сигналу і навпаки – "короткі" вейвлети краще відстежують піки функції, що апроксимується. Глибина розкладання впливає на величину відфільтрованих деталей.

В експерименті для розкладання вихідного досліджуваного сигналу $F(t)$ застосовувалися вейвлети Хаара, дискретні апроксимації вейвлетів Мейера, вейвлети Добеші, сімлети і койфлети при рівнях розкладання $N=l \div 8$.

Крок 2. Порогова обробка деталізуючих вейвлет-коефіцієнтів. Для кожного рівня від 1 до N вибирається поріг і проводиться м'яка порогова обробка деталізуючих коефіцієнтів.

Від вибору порогового рівня шуму (дисперсії шуму) залежить якість шумозаглушення сигналу, що оцінюється в вигляді відношення сигнал/шум. Завдання малих значень порога зберігає інформацію про шумову складову в коефіцієнтах деталізації і тому призводить лише до незначного збільшення відношення сигнал/шум. При великих значеннях порога можна втратити коефіцієнти, які несуть істотну інформацію. Пошук оптимального значення означає відшукування такого порогу, який при найменшому зсуві відновленого сигналу забезпечує найбільше значення відношення сигнал/шум.

Для вибору оптимального порогового значення в експерименті використовувалися адаптивний і евристичний критерії Штейна незміщеної оцінки ризику, універсальний і мінімаксний критерії [19].

Оскільки якість шумозаглушення сигналу залежить також і від способу застосування порогової обробки, для всіх перерахованих вище критеріїв використовувалася багаторівнева обробка, здійснювана з використанням порога, значення якого змінюються від рівня до рівня, і локальна обробка, що передбачає використання порога, змінного не тільки за рівнем розкладання, але також залежного від позиції коефіцієнтів деталізації на даному рівні.

Крок 3. Реконструкція. Проводиться вейвлет-реконструкція, що заснована на початкових апроксимуючих коефіцієнтах рівня N і модифікованих деталізуючих коефіцієнтах рівнів від 1 до N .

Крок 4. Порівняння очищеного сигналу $S^*(t)$ з вихідним сигналом $S(t)$ шляхом розрахунку коефіцієнтів кореляції $R(S(t), S^*(t))$. Розрахунки проводилися за всіма вісьмома рівнями розкладання при однакових характеристиках шумоочищення.

Крок 5. Вибір оптимальних характеристик шумоочищення на основі аналізу розрахованих коефіцієнтів кореляції $R(S(t), S^*(t))$. А саме: типу

вейвлета, рівня його розкладання, критерію розрахунку рівня порога і методу обробки.

Сигнал, отриманий в результаті шумоочищення із застосуванням вейвлет-перетворення придатний для подальшого його аналізу, оскільки виділення шумової складової проводилося максимально коректно без втрати інформативності вихідного сигналу.

При використанні вейвлет-перетворення для очищення мовного сигналу від шуму і завад важливо попередньо оцінити спектральний склад шумової компоненти, оскільки це в значній мірі впливає на вибір критерію розрахунку рівня порога і методу шумообробки.

4.8. Підвищення якості роботи систем аутентифікації авіадиспетчерів

Підвищення якості роботи систем аутентифікації авіадиспетчерів базується на прискоренні процедури пошуку еталонів в базах даних зображень райдужної оболонки ока (РОО) СІППоР. У підрозділі проаналізовано різні підходи до прискорення указаної процедури та на основі проведеного аналізу запропоновано спосіб підвищення швидкодії систем аутентифікації.

Робота систем аутентифікації заснована на скануванні, обробці та аналізі біометричних ознак людини. Одним з найбільш ефективних, як показав аналіз літературних джерел та проведені дослідження, є застосування РОО [13,14].

При цьому системи аутентифікації будуються за типовою схемою розпізнавання образів, що включає в себе підсистеми попередньої обробки зображень, параметризації, класифікації та прийняття рішень. Важливими елементами системи аутентифікації є БД зареєстрованих користувачів.

Швидкодія систем аутентифікації, що є найважливішим показником ефективності її роботи, істотно залежить від швидкодії підсистеми

класифікації, яка в значній мірі визначається часом взаємодії з БД і, в першу чергу, – тривалістю пошуку еталонів в базах даних. Це обумовлює високу актуальність вирішення проблеми прискорення цього процесу.

Зауважимо, що в процесі експлуатації систем розпізнавання людини періодично виникає завдання перевірки консистентності БД, тобто перевірка наявності в ній еталонів, що збігаються (така перевірка вимагає проведення пошуку по всій БД для кожного зразка).

У підрозділі проаналізовані відомі способи зменшення часу, необхідного для розпізнавання людини біометричними системами, побудованими на основі сканування, обробки і аналізу зображень РОО, вказані їх недоліки та наведено розроблений на основі проведених досліджень спосіб мінімізації часу пошуку еталонів в БД, застосування якого дозволяє значно прискорити процес розпізнавання людей по РОО. Вибір РОО для побудови систем розпізнавання обумовлений тим, що розпізнавання людей по цій біометричній ознаці є однією з найточніших.

Описані в літературі алгоритми розпізнавання людини по зображенню РОО побудовані на основі теорії розпізнавання образів і містять такі етапи:

1. Сканування зображення РОО.
2. Локалізація РОО (визначення меж РОО і зіниці).
3. Нормалізація зображення РОО (відображення кільця РОО в прямокутну область фіксованого розміру).
4. Параметризація РОО (представлення зображення РОО у вигляді інформативних параметрів – кодів).
5. Порівняння контрольних кодів РОО з еталонними, що зберігаються в БД.

Вперше цей широко відомий в даний час алгоритм виділення параметрів РОО був запропонований Дж.Даугманом [15]. Алгоритм Даугмана заснований на модуляції сигналу зображення РОО із застосуванням вейвлетів Габора. Інформативними параметрами РОО є їх виконавчі коди.

Час, необхідний для здійснення перших чотирьох етапів, не залежить від розміру БД. Останній етап в більшості існуючих полягає в порівнянні контрольного коду РОО користувача послідовно з кожним еталоном, що зберігається в БД, яке полягає в обчисленні відстані між ними за певними правилами і порівнянні його з граничним значенням. Спосіб обчислення відстані або заходи схожості вибираються залежно від способу обчислення еталона - наприклад, для IrisCode [15]. Даугман запропонував використовувати відносну відстань Хемінга:

$$HD(C_1, C_2) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{1i} \oplus C_{2i}), \quad (4.24)$$

де C_1, C_2 – коди РОО, N – кількість біт в коді.

Внаслідок необхідності проведення перебору всіх еталонів, що містяться в БД, процес порівняння контрольних кодів РОО з еталонними займає відносно багато часу. Спроби прискорити процес порівняння були зроблені в [16,17].

В [16] для систем розпізнавання РОО, що працюють на основі IrisCode, був розроблений спосіб швидкого пошуку FFS. Він ґрунтується на точному збігу кодів, що може бути застосовано для IrisCode, але не підходить для інших, більш ефективних, алгоритмів, таких, як перетворення Хаара. Крім того, необхідність повного збігу кодів знижує ймовірність того, що код РОО зареєстрованого користувача буде знайдений в БД. Для підвищення якості роботи системи можна проводити пошук кілька разів, однак це призводить до ще більших витрат часу на розпізнавання людини.

Спосіб, описаний в [17], заснований на обчисленні чисел Ейлера. Застосування цього способу при правильному розпізнаванні 97,2% еталонів дозволяє зменшити час пошуку в 3 рази в порівнянні з оригінальним алгоритмом Дж.Даугмана. Однак цього явно недостатньо.

Як видно з проведеного аналізу, вирішення проблеми підвищення швидкодії біометричних систем розпізнавання, як і раніше залишається актуальним.

Аналіз літературних джерел і проведені автором дослідження показали, що мінімізувати тривалість пошуку відповідного еталона в БД (а, отже, і час, необхідний для розпізнавання людини) можна двома шляхами:

- 1) за рахунок зменшення розміру кодового слова;
- 2) за рахунок зменшення необхідної кількості процедур порівняння при застосуванні методів кластеризації замість часто застосовуваного на практиці простого перебору еталонів.

Тривалість зазначеної процедури можна зменшити шляхом зниження розмірів кодового слова, яким зображення РОО описується в процесі його параметризації.

В [18] описано спосіб зменшення розмірів кодового слова через відмову при його формуванні від використання секторів по 45° в нижній і верхній частинах ока. Це робиться для виключення впливу на результат розпізнавання людини вік, вій, а також вологи і відблисків від сканера в нижній частині ока, що накопичується (аналіз показав, що на боротьбу з негативним впливом зазначених артефактів витрачається чимало часу).

В [19] пропонується додатково зменшувати розмір кодового слова, що описує РОО (а з ним і тривалість пошуку еталона в базі даних), шляхом зменшення розміру матриці зображень РОО, що зчитується. Так, наприклад, замість вихідної матриці, що включає 100 ключових точок ($S*S$) зображення, пропонується брати скорочену матрицю розміром ($S/3 * S/3$). Розмір коду помітно зменшується (він стає рівним 61), а кількість невірно визначених зображень РОО становить лише 1,5%. Малий відсоток помилок пояснюється вмістом на райдужній оболонці ока значної інформаційної надмірності у вигляді великої кількості унікальних для кожної людини ключових

елементів; при цьому, для надійного розпізнавання людини досить збігу 40% коду РОО.

Очевидним є той факт, що при скануванні з подальшим кодуванням і порівнянні одиничного коду зображення виграш за часом буде відносно малий, але при проведенні великої кількості процедур сумарне зменшення витрат часу може бути значним.

Виключити простий перебір еталонів пропонується на основі кластеризації всієї множини еталонів РОО з подальшим проведенням пошуку тільки в деякій підмножині еталонів, що зберігаються в БД.

Процес пошуку при застосуванні розробленого способу складається з двох етапів:

- на першому етапі всі зображення РОО розбиваються на компактні підмножини (кластери);
- на другому етапі з обраного на першому етапі кластера виділяється шуканий еталон.

Для розбиття множини еталонів на кластери був застосований один з ієрархічних агломеративних методів кластеризації [20], а саме – метод одиночного зв'язку. Ієрархічні агломеративні методи розрізняються, головним чином, за правилами побудови кластерів. Відомі, принаймні, дванадцять різних методів кластеризації, найбільш поширеними з яких є методи одиночного зв'язку, повного зв'язку, середнього зв'язку та метод Уорда. Головна перевага обраного методу полягає в тому, що результати його застосування інваріантні до монотонних перетворень матриці подібності. Це означає, що метод одиночного зв'язку є одним з методів, які залишають без зміни порядок чергового об'єднання елемента генеральної вибірки з останнім виділеним кластером, при відносному впорядкуванні елементів матриці подібності.

При застосуванні методу одиночного зв'язку кластери утворюються за таким правилом: об'єкт буде приєднаний до вже існуючого кластеру, якщо,

принаймні, один з його елементів знаходиться на тому ж рівні подібності, що і об'єкт, що претендує на включення в цей кластер. Таким чином, приєднання об'єкта до певного кластеру обумовлено лише наявністю єдиного зв'язку між об'єктом і кластером.

Для визначення відстані між кластерами за результатами експериментів була обрана метрика «по дальньому сусідові» (коли відстані між кластерами присвоюється максимальне значення попарних відстаней між елементами двох кластерів). Цей підхід дозволяє отримати більш збалансований розподіл об'єктів по кластерам, ніж, наприклад, використання метрики «по ближньому сусідові» (коли відстані між кластерами присвоюється мінімальне значення попарних відстаней між елементами двох кластерів), застосування якого веде до укрупнення кластерів.

У процесі дослідження було розроблено алгоритм кластеризації. Кількість кластерів в деяких випадках відомо заздалегідь, однак частіше ставиться задача визначити оптимальне число кластерів з точки зору того чи іншого критерію якості кластеризації. Рішення задачі кластеризації принципово неоднозначно, і тому є кілька причин (як вважає ряд авторів), так як не існує однозначно найкращого критерію якості кластеризації. Відомий цілий ряд евристичних критеріїв, а також ряд алгоритмів, які не мають чітко вираженого критерію, але здійснюють досить розумну кластеризації «за побудовою». Всі вони можуть давати різні результати.

Алгоритм ієрархічної кластеризації включає в себе етапи послідовного (покрокового) об'єднання кластерів і визначення відстаней між об'єднаними на кожному кроці кластерами.

Нижче наведені результати досліджень, проведених з зображеннями РОО, що містяться в базі зображень CASIO-Iris [21] на вибірці з 124 людей до 20 різних зображень РОО для кожної людини. Весь простір обраних зображень було розбите на 18 кластерів; при цьому 90% елементів містилися в 8 кластерах, а найбільш представницький кластер містив 31% елементів.

Із застосуванням алгоритму ієрархічної кластеризації була розрахована залежність кількості кластерів M від відстані між кластерами при покрокової кластеризації генеральної сукупності даних РОО. Початковий етап кластеризації є монотонний регресний процес, щодо чисельності некластеризованих об'єктів. Завершальний етап процесу кластеризації генеральної множини зображень РОО характеризується формуванням ряду великих кластерів, і подальше об'єднання в кластер можливо тільки за рахунок різкого збільшення відстані між ними, що пояснюється злиттям великих або різнорідних кластерів. Іншими словами, всі методи кластеризації спираються на вихідну «гіпотезу компактності»: в просторі об'єктів всі близькі об'єкти повинні належати до одного кластеру, а всі різні об'єкти відповідно повинні знаходитися в різних кластерах.

Аналіз показав, що вибір міри подібності несуттєво впливає на швидкодію систем розпізнавання. Тому в процесі досліджень використовувалася тільки одна міра подібності – евклідова відстань.

У табл. 4.1 представлені значення евклідової відстані між кластерами при їх різній кількості.

З порівняння результатів розрахунків, наведених в табл. 4.1, видно, що значення евклідової відстані при зменшенні кількості кластерів з чотирьох до трьох збільшується стрибком. Це дозволяє зробити висновок про доцільність прийняття для подальшого аналізу кількості кластерів, що дорівнює чотирьом. Складність виділення потрібного стрибка обумовлена наявністю великої кількості малих стрибків значень відстаней між кластерами - виходячи лише з простого візуального аналізу, неможливо вказати, який з цих стрибків "правильний". Можна лише стверджувати, що стрибок – свідомство об'єднання чергового кластера з "стороннім" об'єктом або великим кластером.

Таблиця 4.1

Евклідова відстань між кластерами при їх різній кількості

Кількість кластерів	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Евклідова відстань між кластерами	0,23	0,34	0,37	0,43	0,68	0,71	0,74	1,75	1,97	2,23

Тому для практичного застосування пропонується використовувати найпростішу формулу лінійного прогнозу значення випадкової величини монотонного процесу. Експерименти показують, що кількість кластерів, в які потрапляють зображення райдужної оболонки одного і того ж ока, істотно менше загальної кількості кластерів та кількості зображень РОО одну людину.

Для того, щоб оцінити, наскільки добре спочатку була проведена кластеризація і наскільки швидко «стабілізуються» кластери на кожному кроці кластеризації методом k -середніх, обчислювалася частка елементів, які змінили свій кластер. Для кожного зареєстрованого в БД користувача можна обчислити частоту розподілу елементів по кластерам і потім упорядкувати кластери за кількістю входжень елементів в різні кластери. Наприклад, одна людина зустрічається в 3 кластерах, причому в одному з них 14 разів, у другому – 5, в третьому – 1, що відповідає значенням частоти (0,7; 0,25 і 0,05); друга людина – 20 раз в одному кластері (відповідає частота - 1), а третій - 16 раз в одному і ще по одному разу в 4 кластерах (відповідають частоти - 0,8; 0,05; 0,05; 0,05 і 0,05). Далі усередненням цих розподілів по всім користувачам отримаємо середню частоту p_i – ймовірність того, що еталон буде знайдено в i -ому за порядком перебору кластері. Для нашого

прикладу: в першому кластері $p_1 = (0,7+1+0,8)/3 = 0,833$, в другому – $p_2 = (0,25 + 0 + 0,05)/3 = 0,1$ і т.ін..

Для оцінки тривалості пошуку вихідні зображення РОО були розподілені за кластерами. За кількістю входжень в той чи інший кластер зображень РОО кожного користувача визначалася ймовірність того, що зображення РОО користувача в процесі його розпізнавання буде виявлено в цьому кластері. Далі для кожного зразка кластери ранжувались по зростанню відстані до центру кластера. Після цього розраховувався сумарний час пошуку з урахуванням ймовірностей того, що зображення РОО потрібного користувача буде виявлено в кожному кластері. За тривалістю пошуку для різних еталонів будується розподіл і обчислюється середній час пошуку.

Загальний час пошуку дорівнює сумі таких складових:

- тривалість часу перебору всіх k елементів i -го кластера помножена на ймовірність виявлення i -го кластера;
- добуток середнього часу пошуку в найближчому $(i-1)$ кластері з j елементів на ймовірність того, що об'єкт буде знайдений в цьому ж кластері;
- середня тривалість пошуку в наступному $(i-2)$ кластері з l елементів помножена на ймовірність того, що об'єкт буде знайдений в даному кластері і т.ін..

Такий розрахунок можна провести для кожного зразка в процесі пошуку, знаючи який розмір у кожного наступного за віддаленості кластера.

У припущенні, що для кожного зразка спочатку доведеться перебирати найбільші кластери, середній час пошуку для наведених вище даних складе

$$T \leq \frac{M}{8}.$$

У той же час, повний перебір бази даних M з урахуванням рівної ймовірності того, що кожен еталон БД може виявитися потрібним елементом, буде проведений за час, що дорівнює в середньому $M/2$.

Таким чином, розбиття вибірки M на групи схожих об'єктів дозволяє спростити подальшу обробку даних і прийняття рішень, застосовуючи до кожного кластеру свій метод аналізу. В якості міри відмінності доцільно використовувати квадратичну евклідову відстань, яка сприяє збільшенню контрастності кластерів.

Проведений аналіз показав, що використання статистичних методів, зокрема, методів кластеризації, дозволяє істотно скоротити час пошуку відповідного еталона в базі даних. Але виникає питання стійкості прийнятого кластерного рішення. По суті, перевірка стійкості кластеризації зводиться до перевірки її достовірності. Тут існує емпіричне правило – стійка типологія зберігається при зміні методів кластеризації. Результати ієрархічного кластерного аналізу можна перевірити кластерним аналізом за методом k -середніх. Якщо порівнювані класифікації груп респондентів мають частку збігів більше 70% (більше $2/3$ збігів), то кластерне рішення приймається.

4.9. Висновки до четвертого розділу роботи

1. В основу управління ПФС авіадиспетчерів протягом робочої зміни покладено розподіл ПФС 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 змін 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 стан серцево-судинної

системи людини. А як показник ЕмС людини в процесі аналізу ЕмС авіадиспетчерів – їхній голос (параметри мовного сигналу, що сканується в процесі аудіообміну між авіадиспетчером та членами льотних екіпажів).

3. Розроблено функціональну схему та метод оперативного адаптивного управління ПФС 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 серцево-судинної системи 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. Представлені основні принципи проведення та етапи автоматичного голосового контролю за діями авіадиспетчерів протягом робочої зміни (внутрішньозмінного контролю). Контроль полягає моніторингу ПФС (емоційного стану, а також станів стомлення, сонливості і тривоги) авіадиспетчерів та в їх перманентній аутентифікації за голосом.

Основними вимогами до системи внутрішньозмінного контролю ПФС за голосом є забезпечення роботи системи в режимі реального часу та проведення контролю за неперервним злитим мовленням авіадиспетчера.

5. Основними елементами внутрішньозмінного голосового контролю за діями авіадиспетчерів з боку ОПР є перманентний контроль (оперативне адаптивне управління) ПФС авіадиспетчерів та їх аутентифікація.

6. Виділені 6 етапів проведення внутрішньозмінного голосового контролю за діями авіадиспетчерів: сканування та дискретизація мовного сигналу; попередній («швидкий») контроль ПФС авіадиспетчера; попередня обробка сигналу; виявлення «ключових» мовних фрагментів (етап

складається з двох підетапів – виявлення «ключових» мовних фрагментів на основі фонемного та короткочасного аналізу»; визначення ПФС та аутентифікація авіадиспетчерів за «ключовими» мовними фрагментами. В розділі наведено короткий аналіз кожного етапу.

7. Описано процедуру проведення аутентифікації/ідентифікації авіадиспетчерів як суб'єктів ергатичних систем по неперервному (злитому) мовленню з урахуванням особливостей їх роботи, які полягають, зокрема, у використанні авіадиспетчерами в процесі виконання функціональних обов'язків нормативно встановленої фразеології.

Розроблена система аутентифікації/ідентифікації побудована із застосуванням теорії розпізнавання образів на основі типової структурної схеми, що містить підсистеми попередньої обробки, параметризації і прийняття рішення (класифікації). При цьому в процесі попередньої обробки виробляються «посилення» високих частот, сегментація, накладення віконної функції і нормалізація за часом.

8. Розглянуто основи побудови СІППоР, що забезпечує дистанційний автоматичний контроль авіадиспетчерів в режимі реального часу в умовах невизначеності впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на роботу авіадиспетчерів та нестачі інформації у ОПР з урахуванням специфіки їх роботи:

- авіадиспетчер в процесі аудіообмена з членами льотних екіпажів користується нормативно встановленої професійної фразеологією;
- авіадиспетчер і члени льотних екіпажів обмін інформацією ведуть по черзі;
- мова авіадиспетчера повинна бути розміреною з ясним, чітким вимовлянням слів.

Розроблено структурну схему СІППоР та методи побудови її основних складових:

9. Для задоволення вимог, що пред'являються до системи параметрів мовних сигналів за кількістю використаних параметрів, запропоновано нову систему параметрів, побудовану на основі комплексного розгляду підсистем параметризації і класифікації при побудові підсистеми класифікації на основі ШНМ. Застосування розробленої системи параметрів дозволило підвищити об'єктивність проведення класифікації, значно скоротити розміри векторів параметрів.

В якості інформативних параметрів мовного сигналу системи голосової аутентифікації пропонується застосовувати амплітуди спектральних складових, отриманих в результаті швидкого перетворення Фур'є сигналу, складеного з попередньо отриманих ККЛП. Це дозволяє зменшити розмір векторів параметрів більш ніж на порядок. Розроблена послідовність дій по розрахунку запропонованих інформативних параметрів мовного сигналу.

Обґрунтований вибір типу і значень параметрів системи аутентифікації дозволив довести відсоток правильної аутентифікації до 98%, а час параметризації – до 0,025 с.

Порівняльний аналіз можливих варіантів вибору інформативних параметрів мовних сигналів [16] показав, що систему аутентифікації людини за голосом доцільно будувати на основі КК.

В процесі досліджень були проведені розрахунки (обчислювальні експерименти), які показали, що ККЛП мають більш високу ступінь кореляції між наборами КК, що належать до одного класу (диктора), і менший розкид значень при проголошенні контрольної фрази одним і тим же диктором в порівнянні з КЛП і спектральними складовими, і показана доцільність проведення розрахунку ККЛП на основі КЛП.

Список використаних джерел в четвертому розділі

1. Баевский Р.М. Анализ variability сердечного ритма: история и философия, теория и практика / Р.М. Баевский – Клиническая информатика и телемедицина. – №1. – 2004. – С. 54-64.
2. Баевский Р.М., Берсенева А.П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М.: Медицина, 1997. – 265 с.
3. Баевский Р.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.И. Кириллов, С.З. Клецкин. – М.: Наука. – 1984. – 220 с.
4. Таран Т.А. Искусственный интеллект. Теория и приложения / Т.А. Таран, Д.А. Зубов. – Луганськ: Вид-во Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2006. – 240 с.
5. Темников В.А. Параметризация автоматического контроля доступа операторов к ресурсам информационных систем по голосу / В.А. Темников, Е.Л. Темникова // Вестник Восточноукраинского национального университета им. В.Даля. – №9 (151). – Ч.1. – 2010. – С.143-148.
6. Рамишвили Г. С. Автоматическое опознавание говорящего по голосу. М.: Радио и связь, 1981. – 224 с.
7. Weisstein, Eric W. Hanning Function // From MathWorld – A Wolfram Web Resource. – <http://mathworld.wolfram.com/HanningFunction.html>.
8. Шарий Т.В. О проблеме параметризации речевого сигнала в современных системах распознавания речи // Вісник Донецького національного університету. Серія А. Природничі науки. – 2008. – Вип.2 (2). – С. 536-541.
9. Рабинер Л., Шафер Р. Цифровая обработка речевых сигналов. – М.: Радио и связь, 1981. – 491 с.
10. Темнікова О.Л., Темніков В.О., Конфорович І.В. Формування системи параметрів для проведення автентифікації людини за голосом // IV

наукова конференція "Прикладна математика та комп'ютинг (ПМК-2012)".
Збірник тез доповідей. – К.: Просвіта, 2012. – С.88-92.

11. Rabiner L.R. A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition // Proceedings of the IEEE. – 1989. – V. 77. – №2. – P.257-286.

12. Myers C.S., Rabiner L.R. A Comparative Study of Several Dynamic Time-Warping Algorithms for Connected Word Recognition // The Bell System Technical Journal. – September 1981. – P.156-161.

13. Sakoe H., Chiba S. Dynamic Programming Algorithm Optimization for Spoken Word Recognition // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing. – 1978. – P.52-60.

14. Темников В.А., Темникова Е.Л., Конфорович И.В. Параметризация нейронных сетей для голосовой аутентификации операторов // XII Международная научная конференция "Интеллектуальный анализ информации (ИАИ-2012)". Сборник трудов. – К.: Просвіта, 2012. – С.254-258.

15. Methods for Speech Recognition – A Project for the Spectral Analysis course ELEC 532. Rice University, May 1998. – <http://www.clear.rice.edu/elec532/PROJECTS98/speech/cepstrum/cepstrum.html>.

16. Темников В.А., Шарий Т.В., Темникова Е.Л., Конфорович И.В. Голосовая аутентификация операторов, использующих в процессе работы нормативно установленную фразеологию // Інформаційна безпека. – 2011. – №1(5). – С.125-130

17. Темнікова О.Л., Темніков В.О., Конфорович І.В. Алгоритм побудови системи параметризації для автентифікації операторів за голосом // III наукова конференція «Прикладна математика та комп'ютинг». Збірник тез доповідей. – К.: Просвіта. – С. 333-336.

18. Donoho, D.L. De-Noising by soft-thresholding // IEEE Trans. on Inform. Theory. – 1995. – V.41. – №3. – P.613-627.

19. Темников В.А., Пономаренко Л.В. Система распознавания личности как основа повышения эффективности систем контроля и управления доступом // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - №9(103). – Ч.1. – 2006. – С.64-69

20. Темников В.А., Пономаренко Л.В. Повышение эффективности систем контроля и управления доступом, построенных на основе автоматизированного распознавания личности // Захист інформації. Збірник наукових праць. – Вып.13. – Київ: НАУ. – 2006. – С.19-23

21. Темников В.А., Семко В.В. Применение технологий телемедицины для повышения безопасности транспортного сообщения // Український журнал телемедицини та медичної телематики. – 2007. – Т.5, №3. – С.303-306

22. Tavrov D., Temnikova O.L., Temnikov V. Method for Proactive Quality Control of Aviation Security of Airports Using Inverse Interval Weighted Average // Proceedings of 7th World Conference of Soft Computing (7thWConSC'18) (Baku, Azerbaijan, May 29-31, 2018). – 5 p.

23. Темников В.А., Темникова Е.Л. Повышение достоверности работы голосовых систем контроля доступа диспетчеров к информационным ресурсам // Международна научна конференция "Ukraine – Bulgaria – European Union: contemporary state and perspectives". Сборник с доклади, т.1. – Варна: Издательство «Наука и икономика», 2016. – P.242-247

24. Темников В.А., Темникова Е.Л. Построение голосовых систем контроля доступа для различных областей применения // Международна научна конференция "Ukraine – Bulgaria –European Union: contemporary state and perspectives". Сборник с доклади, т.2. – Варна – Херсон: Издательство «Наука и икономика», 2015. – P.279-283

25. Temnikov V.A., Temnikova E.L. Principles of constructing information support systems for making managerial decisions in air transport enterprises // 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

26. Temnikov V.A., Temnikov A.V. Modeling of information systems to support management decision-making // Proceedings of the 14th International Conference of Science and Technology “AVIA-2019”. – К.: NAU, 2019. – P.2.19-2.21

27. Temnikov V.A., Temnikov A.V. Building information systems for decision support in airport control services // Proceedings of the 13th International Conference of Science and Technology “AVIA-2017”. – К.: NAU, 2017. – P.2.59-2.61

28. V.A. Temnikov, A.V. Peteichuk The voice operators authentication by continuous speech considering the phonemes feature characteristics // Proceedings of The Fifth world congress “Aviation in the XXI-st century”, vol.1. – К.: NAU, 2012. – P.1.7.60-1.7.62

29. Temnikov V.A., Peteychuk A.V. Organization of preshift and intrashift access control of ATC to the resources of information systems // Proceedings of The Fourth world congress “Aviation in the XXI-st century”, vol.1. – К.: NAU, 2010. – P.17.22-17.25

30. Темников В.А., Темникова Е.Л., Конфорович И.В. Параметризация нейронных сетей для голосовой аутентификации операторов // XII Міжнародна наукова конференція "Інтелектуальний аналіз інформації" (IAI-2012). Збірник праць. – К.: Просвіта, 2012. – С.254-258

31. Темников В.А., Темникова Е.Л. Принципы построения систем информационной поддержки принятия решений на авиатранспортных предприятиях // XVII Міжнародна наукова конференція "Інтелектуальний аналіз інформації" (IAI-2017). Збірник праць. – К.: Просвіта, 2017. – С.222-228

32. Темніков В.О., Темніков А.В. Принципи побудови систем інформаційної підтримки прийняття рішень на авіаційних підприємствах // Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання». Матеріали конференції. – Івано-Франківськ, 2017. – С.32-35

РОЗДІЛ 5

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

5.1. Основні положення створення системи інформаційної підтримки прийняття рішень стосовно функціональності авіадиспетчерів

СППР – комплекс систем, що надають ОПР інформаційну підтримку прийняття 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 авіадиспетчерів.

СППР є комплексною системою інформаційної підтримки прийняття рішень ОПР в процесі превентивного управління функціональністю авіадиспетчерів (СППпР) та СППоР.

Основні положення процесу управління:

1. Здійснюється комплексний підхід до проведення контролю та управління функціональністю авіадиспетчерів, що полягає в проведенні як превентивного управління ФС і рівнем професіоналізму авіадиспетчерів, так і адаптивного управління ФС авіадиспетчерів в процесі виконання ними своїх професійних (функціональних) обов'язків.

2. Основними значущими складовими частинами процесу превентивного управління ФС авіадиспетчерів є:

А. Оцінювання та аналіз існуючих ФС та рівня професіоналізму.

Ускладнюють вирішення зазначеної задачі наступні обставини:

- ФС авіадиспетчерів залежить від великої кількості різномірних чинників;

- 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 дисертаційних 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».

В процесі дисертаційних досліджень розроблені спеціальні метод і моделі оцінювання й аналізу впливу небезпечних факторів, застосування яких дозволяє вхідні фактори і кінцеві результати (агреговані оцінки ФС авіадиспетчерів) привести до «єдиного знаменника» і, водночас, полегшити експертам проведення експертизи (виставлення експертних оцінок) якості вхідних факторів.

Б. Прогнозування можливого прояву небезпечних факторів у майбутньому.

Прогнозування здійснюється на основі аналізу наслідків можливих змін вхідних факторів. Основними розробленими напрямками прогнозування є такі:

- за результатами аналізу ступеня впливу вхідних факторів на ФС та рівень професіоналізму авіадиспетчерів;

- за результатами розрахунку ймовірності переходу авіадиспетчерів зі стану «норма» в інші стани;

- за результатами аналізу тенденцій зміни показників ФС авіадиспетчерів.

В процесі дисертаційних досліджень розроблені спеціальні метод і моделі прогнозування проявів небезпечних факторів.

В. Запобігання негативного впливу небезпечних факторів на ФС 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 авіадиспетчерів в процесі періодичного контролю і роботи на тренажерах з метою більш ретельного аналізу здатності авіадиспетчерів (кандидатів на зайняття вакантних посад) виконувати виробничі (посадові) обов'язки ;

- підвищення якості роботи СППР осіб, що приймають управлінські рішення.

В процесі дисертаційних досліджень розроблені спеціальні метод і моделі підвищення якості проактивного управління.

Розроблені в процесі дисертаційних досліджень методи та моделі оцінювання та аналізу впливу небезпечних факторів на ФС авіадиспетчерів, метод і моделі прогнозування проявів небезпечних факторів, а також метод і моделі підвищення якості проактивного управління складають сукупність (блок) методів і моделей проактивного (превентивного) управління ФС 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 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 авіадиспетчерів забезпечується шляхом застосування сукупності (блоків) методів і моделей:

- превентивного управління ФС 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 ІС управління ФС (СІППР).

5.2. Практична реалізація методів та моделей превентивного управління функціональним станом авіадиспетчерів

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

Для практичної реалізації процедури превентивного управління функціональністю авіадиспетчерів розроблена ІС управління ФС авіадиспетчерів. В процесі дисертаційних досліджень розроблено структуру, архітектура та елементний базис СІППР, побудовані з застосуванням запропонованих моделей і методів.

Структурна схема СІППР представлена на рис. 5.1.

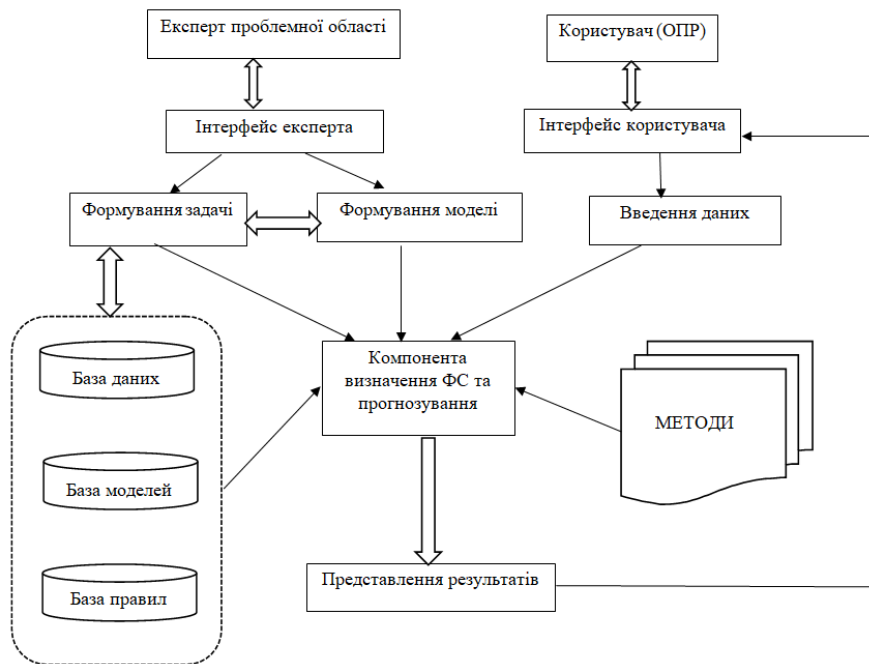


Рис. 5.1. Структурна схема СІПІР

Архітектура ІС для превентивного управління ФС авіадиспетчерів наведена на рис. 5.2.

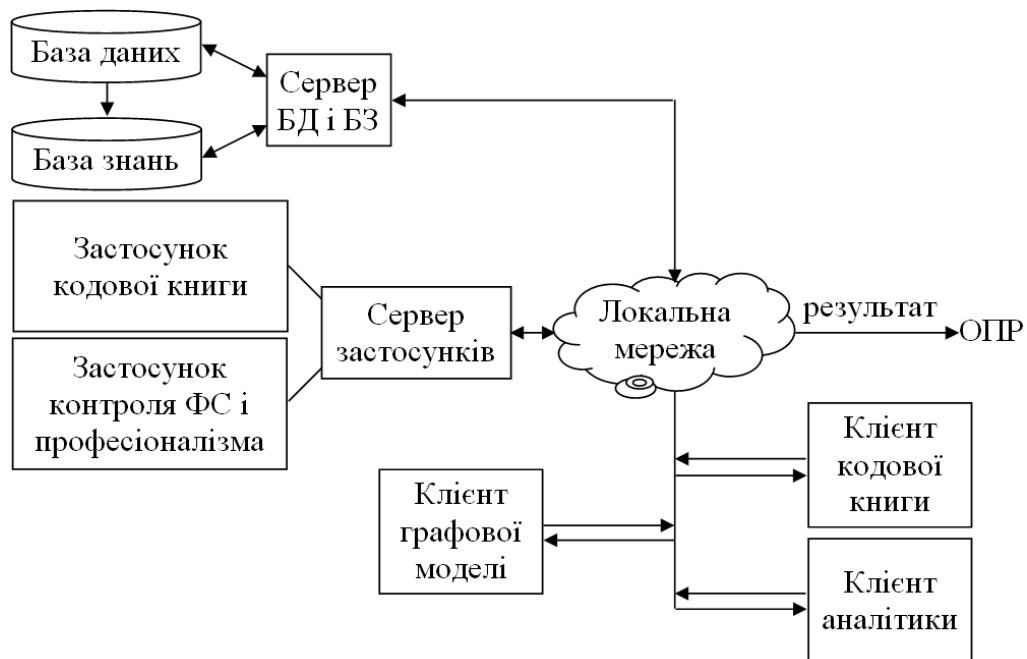


Рис. 5.2. Архітектура ІС для превентивного управління ФС авіадиспетчерів

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

5.2.2. 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 в одному з двох випадків: авіадиспетчер знаходиться в неналежному ПФС (значне стомлення, сонливість, збуджений або, навпаки, депресивний емоційний стан) та на певному робочому місці знаходиться не та людина, яка має там перебувати (порушення виявляється в процесі аутентифікації контрольованої особи). 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.

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 ФС авіадиспетчерів.

В процесі дисертаційних досліджень розроблена СІППоР, що дозволяє проводити перманентну аутентифікацію авіадиспетчерів і моніторинг їх психофізіологічного (емоційного) стану з урахуванням специфіки проведення аудіообміну між авіадиспетчером і членами льотних екіпажів. Робота СІППоР заснована на аналізі мовних сигналів, що знімаються з виходів мікрофонів, які авіадиспетчери використовують в процесі проведення аудіообміну з членами екіпажів повітряних суден.

Функціонуючи в режимі реального часу, СІППоР 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 СІППоР ОПР під час виконання авіадиспетчерами функціональних обов'язків (на етапі внутрішньозмінного контролю ФС) заснована на аналізі показників стану їх серцево-судинної системи, а для авіадиспетчерів – також і параметрів мовних сигналів (голосу).

СІППоР будуються із застосуванням методів теорії розпізнавання образів [12]. Типова структурна схема СІППоР наведена на рис. 5.3.

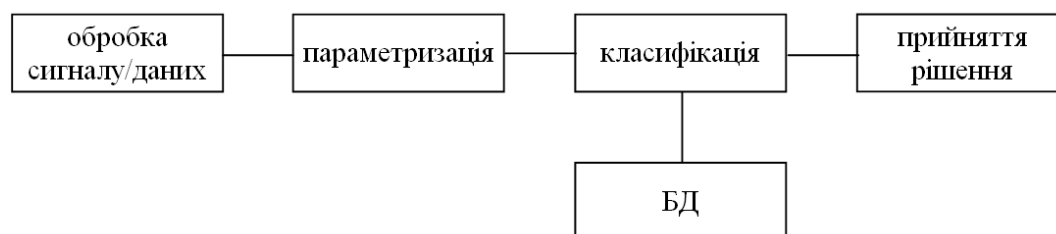


Рис. 5.3. Типова структурна схема СІППоР

Узагальнена структурна схема розробленої СІППоР, побудована у відповідності до етапів проведення контролю за діями авіадиспетчерів (див. підрозділ 4.3.2), наведена на рис. 5.4.

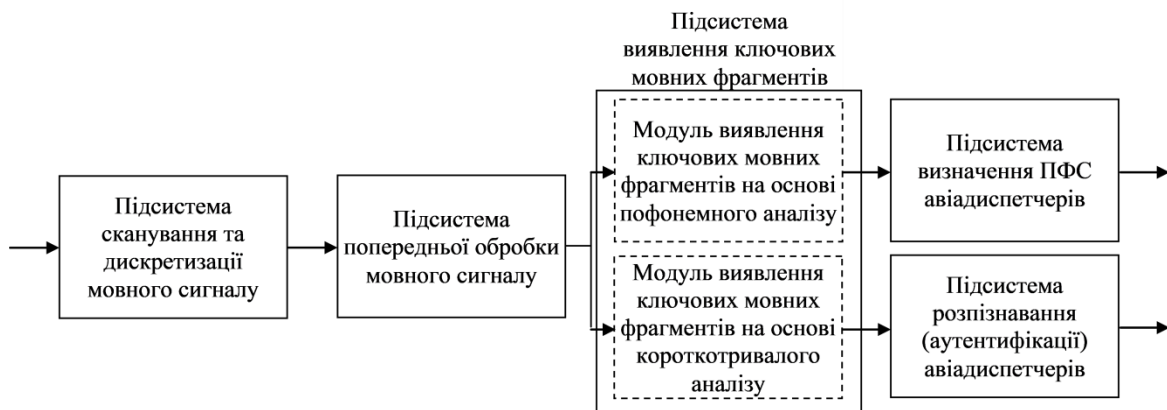


Рис. 5.4. Узагальнена структурна схема СІППоР

Нижче дано короткий опис кожної підсистеми.

Підсистема сканування та дискретизації мовного сигналу

Підсистема складається з мікрофона та модуля дискретизації мовного сигналу.

Для забезпечення «швидкого» контролю ПФС авіадиспетчерів (етап 2) підсистема може бути доповнена відповідним модулем.

Підсистема попередньої обробки мовного сигналу

Основними функціями підсистеми попередньої обробки мовного сигналу є сегментація на мовні фрагменти, серед яких в подальшому будуть виявлені «ключові» мовні фрагменти, і шумоочищення.

Дослідження показали, що тривалість мовних фрагментів повинна становити кілька сотень мікросекунд.

Відповідно до функцій етапу 3, підсистема складається з модулів сегментації мовного сигналу на «ключові» мовні фрагменти, «посилення» високих частот, накладення віконної функції, нормалізації за часом та шумоочищення.

Підсистема виявлення «ключових» мовних фрагментів

Основною функцією підсистеми є пошук та вилучення «ключових» фрагментів з послідовності мовних фрагментів, отриманих в результаті

сегментації неперервної мови на мовні фрагменти, що здійснюється у відповідному модулі підсистеми попередньої обробки мовного сигналу.

У відповідності до поділення етапу 4 на два підетапи (4.1 та 4.2), підсистема ділиться на два модуля, побудованих на основі пофонемного аналізу та короткочасного аналізу [9]. За виявленими «ключовими» мовними фрагментами на наступних етапах буде проводитися визначення ПФС авіадиспетчерів та розпізнавання (аутентифікація) контрольованих осіб.

Відзначимо при цьому, що модуль виявлення «ключових» мовних фрагментів на основі короткочасного аналізу та підсистеми визначення ПФС і розпізнавання (аутентифікації) контрольованих осіб, відповідно до теорії розпізнавання образів [6], складаються з модулів параметризації, класифікації та прийняття рішення, а також включають в себе бази даних параметрів, що характеризують мовний сигнал («ключові» мовні фрагменти), людину (контрольовану особу) або її ПФС.

Підсистема визначення ПФС авіадиспетчерів

Призначена для виявлення осіб, які перебувають в неналежному ПФС (в першу чергу – в збудженому або, навпаки, депресивному емоційному стані).

Підсистема визначає ПФС авіадиспетчера за фонемами, на які відбувається розподіл «ключових» мовних фрагментів у модулі виявлення «ключових» мовних фрагментів на основі пофонемного аналізу, і може використовувати ті ж параметри фонем.

Підсистема розпізнавання (аутентифікації) контрольованих осіб

Призначена для виявлення осіб, які несанкціоновано намагаються зайняти робоче місце авіадиспетчера.

Підсистема складається з модулів параметризації, класифікації та прийняття рішення. При цьому модуль класифікації може «працювати», використовуючи параметри, які використовувалися в процесі перевірки

правильності виявлення «ключових» мовних фрагментів у модулі виявлення «ключових» мовних фрагментів на основі короткочасного аналізу.

Такий підхід, разом з підходом до застосування параметрів фону, який був позначений у попередньому пункті, дозволяє значно прискорити проведення контролю дій авіадиспетчерів і є основою для розробки структурної схеми СППОР.

Модулі класифікації авіадиспетчерів за їх мовними сигналами для підвищення якості роботи системи в умовах невизначеності впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на роботу авіадиспетчерів та нестачі інформації у ОПР будуються із застосуванням ШНМ. Для забезпечення ефективної роботи ШНМ розроблено систему параметрів, засновану на пофреймово розрахованих кепстральних коефіцієнтах [10].

Конкретні значення параметрів системи контролю (модулей параметризації та класифікації) розраховуються в процесі тестування СППОР. В якості критерію оптимізації параметрів можуть бути обрані максимальний відсоток правильної аутентифікації або мінімальні значення помилок першого та другого роду.

5.3. Структура бази даних та фреймова модель

Процедура отримання структури бази даних з 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. Індеси створюються для первинного ключа (унікальний індекс), зовнішніх ключів і тих атрибутів, на яких передбачається в основному базувати запити.

Крок 6. Відомо [5], 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. Стовпець 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.

БД включає такі складові:

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

На рисунках 5.5-5.7 наведено відповідно структурні схеми БД, БДПК і фреймова модель, які є способом представлення баз даних і бази знань, що його було обрано на основі аналізу моделей представлення знань, наведених у першому розділі.

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

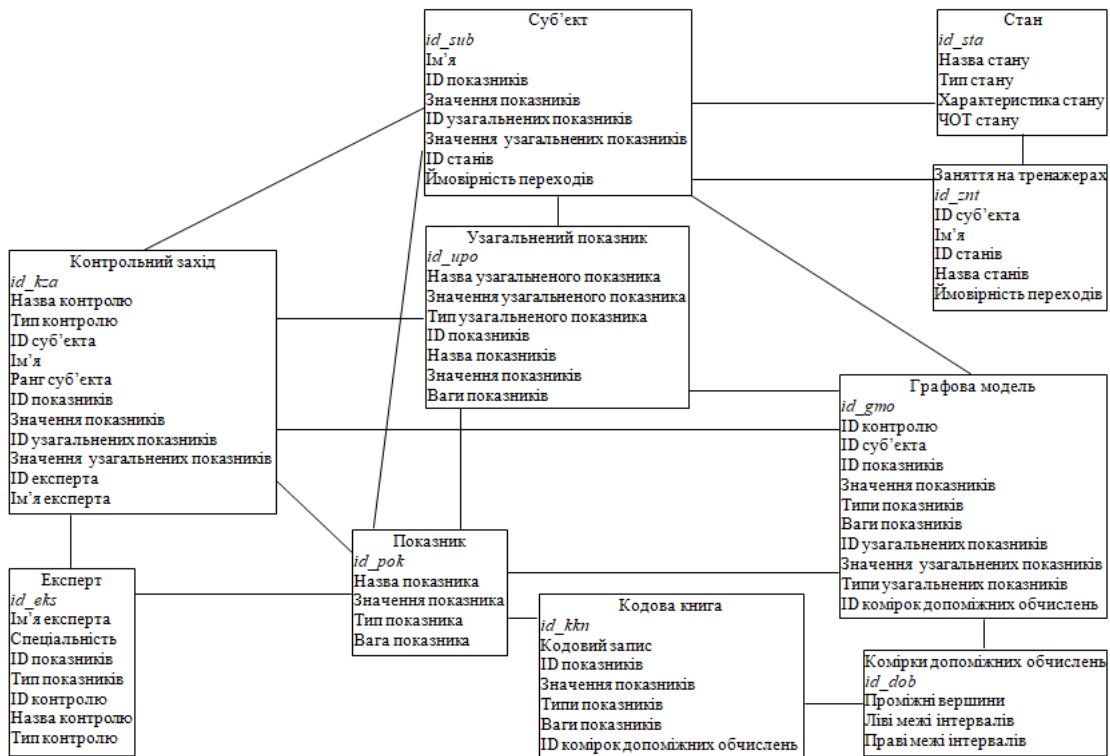


Рис. 5.5. Структура БД

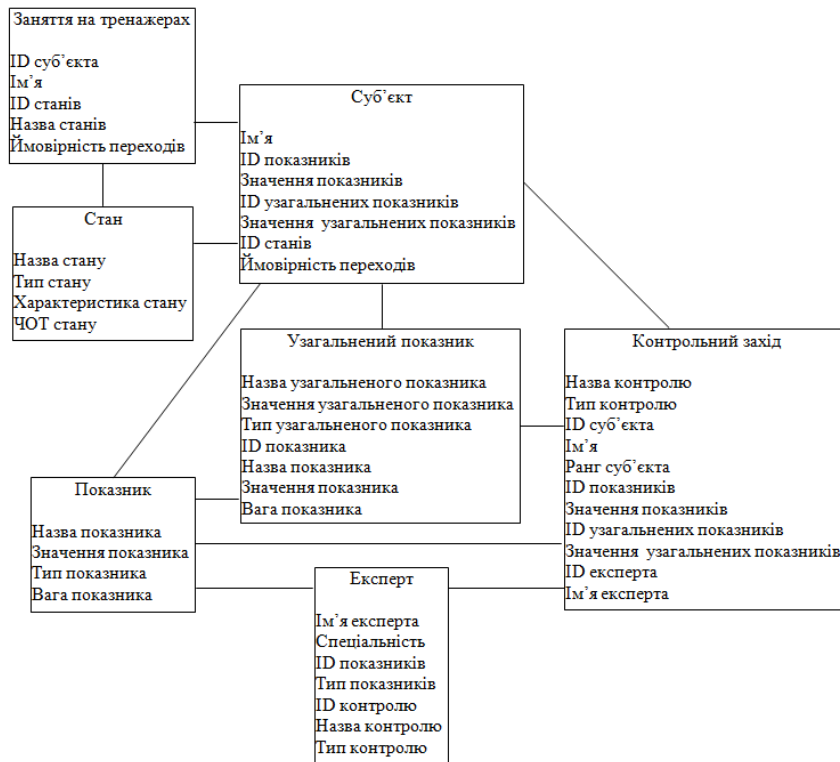


Рис. 5.6. Структура БДПК

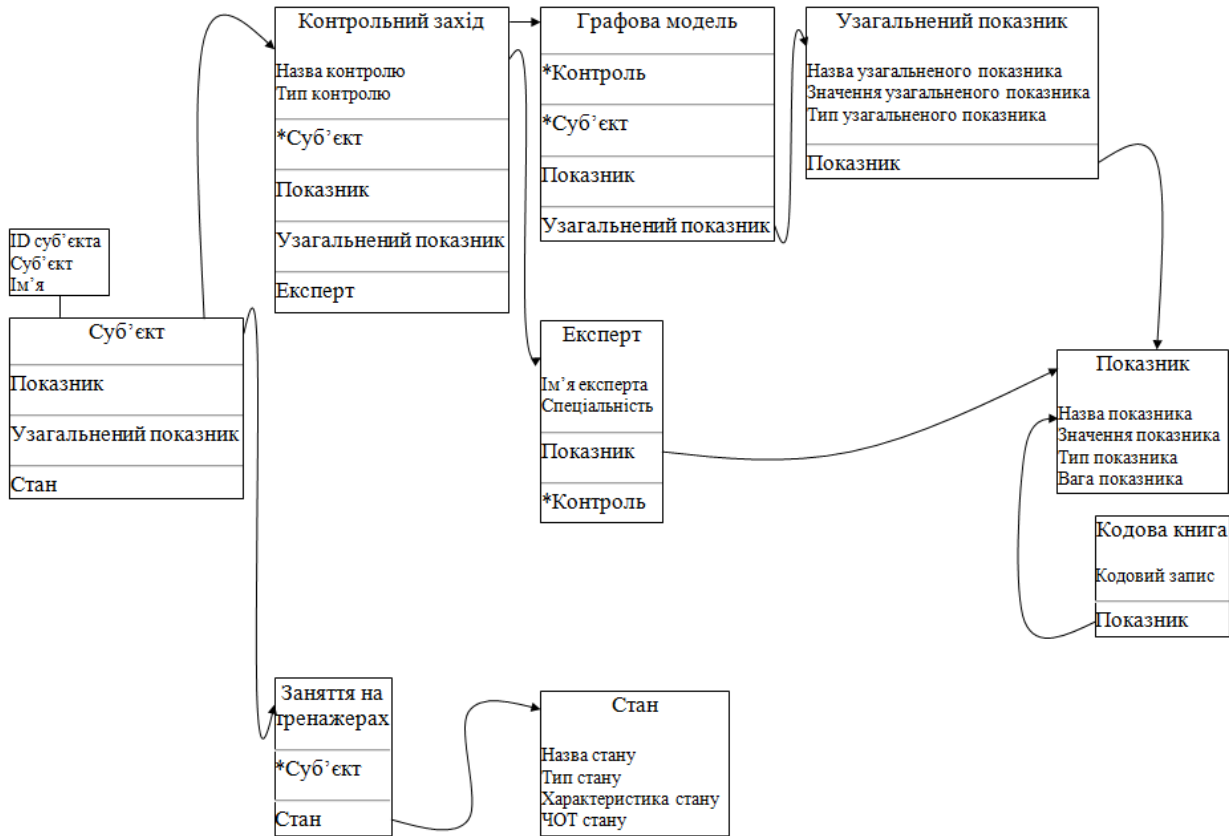


Рис. 5.7. Фреймова модель бази знань

5.4. Практична реалізація метода отримання агрегованої оцінки для визначення здатності авіадиспетчерів виконувати професійні обов'язки

В цьому підрозділі представлені результати практичної реалізації наведеного в розділі 3 метода отримання агрегованої оцінки ФС авіадиспетчерів.

На рис. 5.8 наведена побудована на основі узагальненої моделі рис. 2.3 реальна графова ієрархічна модель для визначення агрегованого показника ФС, що застосовується в процесі експериментів для ранжирування претендентів на посаду авіадиспетчера за цим показником.

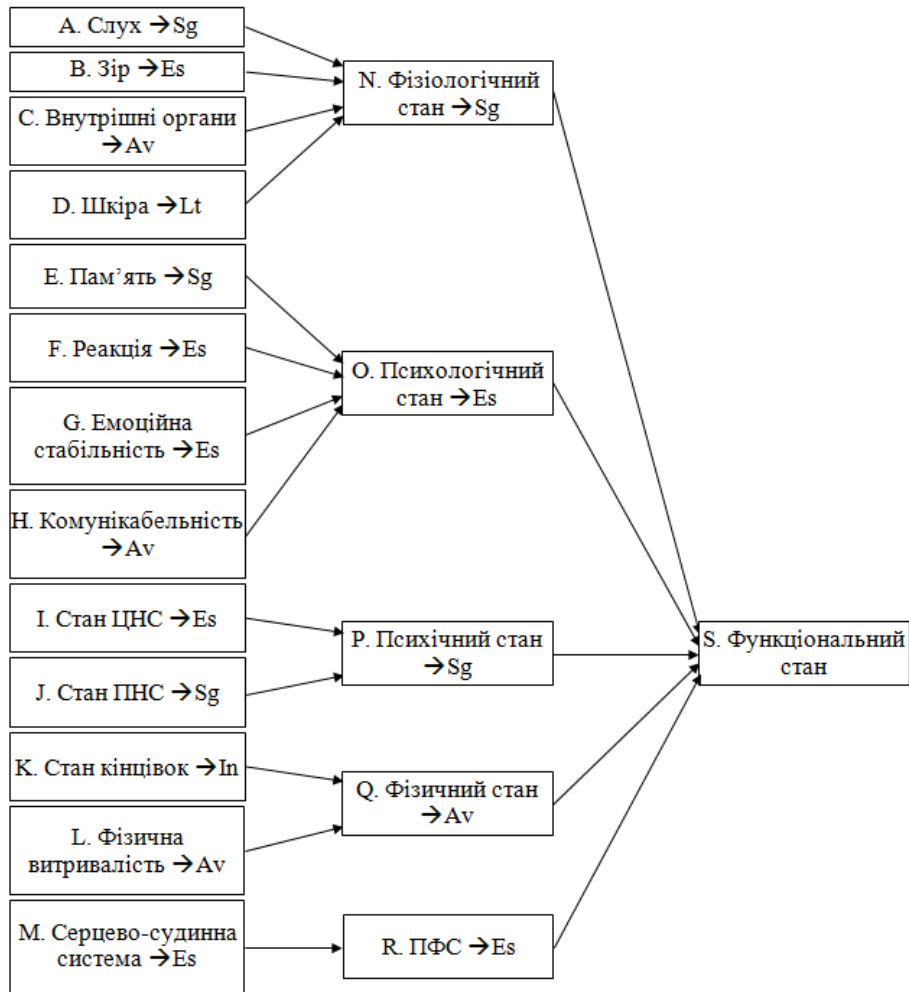


Рис. 5.8. Реальна графова ієрархічна модель для розрахунку агрегованого показника ФС людини

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).

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 [5]. 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 [3]. Отримані результати зводяться в таблиці виду табл.5.1.

Таблиця 5.1

Статистика слів з кодової книги та їх ІНМ2-моделей

Слово	Статистичні дані		Параметри трапецевидної ІНМ2							
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>i</i>
	<i>m_l</i>	<i>m_r</i>								
	σ_l	σ_r								
G										
...										
U										
Es										
...										
Lt										

В табл.5.1 m – середні і σ – 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.5.2.

Таблиця 5.2

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. 5.8.

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

5. Використовуючи метрику подібності Жаккара [4], 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.

5.5. Практична реалізація процедури виявлення факторів, що мають визначальний вплив на якість роботи авіадиспетчерів

На практиці важливо визначити, які чинники мають найбільший вплив на сукупну оцінку, для підвищення ефективності корегуючих дій.

Для визначення факторів, що роблять істотний вплив на сукупну (агреговану) оцінку ФС авіадиспетчерів, необхідно вирішити зворотну інтервальну середньозважену задачу.

Для вирішення задачі необхідно:

1) задати необхідну агреговану оцінку ФС авіадиспетчерів і отримати експертні оцінки відносних витрат c_i і коефіцієнтів β_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 β_i для кожної вершини графової моделі – ступеня впливу функціонального вузла системи на процес забезпечення ФС.

4. Виходячи з заданого цільового рівня якості АБ аеропорту, розрахувати рівні якості (інтервали) для вузлів попереднього рівня (Q і R з рис. 5.5). Для цього необхідно вирішити дві задачі оптимізації: 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

$$f(a_Q, a_R, b_Q, b_R) = 0.85 \left(0.8(b_Q - a_Q)^2 + 0.2 \left(\frac{a_Q + b_Q}{2} \right)^2 \right) + 0.85 \left(0.7(b_R - a_R)^2 + 0.3 \left(\frac{a_R + b_R}{2} \right)^2 \right). \quad (5.1)$$

Обмеження нерівності для обох задач:

$$\begin{aligned} a_Q \geq 0, \quad a_R \geq 0, \quad b_Q \leq 1, \quad b_R \leq 1, \\ a_Q \leq b_Q, \quad a_R \leq b_R. \end{aligned} \quad (5.2)$$

Обмеження у вигляді рівності:

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

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.

5.6. Методики

Технологічна практика на диспетчерських тренажерах формує основні вміння і навички з УПР в виробничих умовах. Її значення полягає в тому,

щоб на базі сучасних методів формалізації діяльності особи в системах управління розкрити сутність процесів безпосереднього управління повітряним рухом в різних зонах і на аеродромі з використанням існуючих в цивільній авіації правил польотів і УПР, а також навчити застосуванню інженерних методів аналізу, оцінки і оптимізації технологічних процесів УПР.

Заняття складається з трьох етапів, кожен з яких побудований за принципом проходження від простого до складного, що забезпечує інтеграцію теорії і практики.

Перший етап заняття – попередня підготовка. На цьому етапі вивчаються інструкції з виконання польотів в імітованій зоні, обладнання диспетчерських пультав; проходить ознайомлення із загальним технологічним процесом УПР на тренажері з довідковим матеріалом, що використовується на робочому місці.

Другий етап навчання (модульний) реалізується із застосуванням окремих технічних елементів і найпростіших операцій з метою формування першо-початкових умінь з подальшим комплексним використанням усіх засобів УПР в модульному режимі з переважанням показових занять.

На другому етапі відпрацьовуються технологія роботи і фразеологія радіообміну при вильоті ПС. Якщо результати позитивні, переходять до відпрацювання технології роботи та фразеології радіообміну при прильоті ПС. Відпрацювання умінь з УПР при прильоті та прольоті ПС здійснюється аналогічно.

Інтенсивність руху ВС на другому етапі необхідно коригувати з урахуванням запланованого обсягу технологічних операцій і фразеології радіообміну, але при обов'язковій умові взаємодії лиш з одним ПС.

На заключному етапі заняття при підготовці і виконанні контрольних вправ рекомендується організація комплексного використання всіх модулів в

контурі для відпрацювання взаємодії-дії всіх диспетчерських вузлів з метою ефективного і плавного переходу від модульного етапу до комплексного.

Третій етап заняття заснований на комплексному використанні всіх технічних засобів тренажера, а також на застосуванні знань з фразеології радіообміну англійською мовою.

Він включає відпрацювання умінь і навичок роботи з потоками ВС при збільшенні інтенсивності повітряного руху до 15-18 ПС на годину на одне робоче місце, з поступовим введенням перетинів ПС на одній висоті при пересічних маршрутах і в змінному профілі польоту, відпрацювання УПР в особливих умовах і особливих випадках польоту.

Вправи виконуються строго за суворим порядком:

- інтенсивність з 4-х ПС на годину з поступовим збільшенням інтенсивності до 18-ти ПС на годину;
- відпрацювання перетину траєкторій руху ПС - інтенсивність з 2 х ПС з поступовим збільшенням інтенсивності;
- наздоганяння менш швидкісного ПС більш швидкісним - інтенсивність з 2 х ПС з поступовим збільшенням інтенсивності на кожному робочому місці;
- імітація відмов наземних РТЗ;
- введення особливих умов польоту;
- послідовне введення особливих випадків в польоті.

Дана методика розрахована на проведення тренажерної підготовки в обсязі 524 х годин. Методика розроблена для проведення занять при наявності як найпростіших імітаторів, так і тренажерних модулів, комплексних тренажерів і тренажерів-імітаторів АС КПР (включаючи і імітатори процедурного контролю АС КПР) з робочими місцями диспетчерів АДП, ДПР, СДП, ДПК, ПДП, ДПП, РЦ, МДП, КДП МВЛ.

У вправах більшою мірою повинні відображатися елементи, що потребують від авіадиспетчерів обґрунтованих дій з розв'язання потенційно-

конфліктних ситуацій, прогнозування повітряної і метеорологічної обстановки, дотримання пріоритету при радіообміні і при роботі з наземними каналами зв'язку.

При відпрацювання того чи іншого елемента авіадиспетчери мають виконати таку кількість однотипних завдань, яка необхідна для безпомилкового виконання вправи.

Під час виконання вправ на початковому етапі ефективним є такий прийом, як доведення до логічного кінця ситуації, що виникла в результаті помилки авіадиспетчера, наприклад, виникнення небезпечного зближення між повітряними судами, що супроводжується доповідями «екіпажу» про зближення. Після цього вправа має повторитися.

Диспетчери рулювання, зазвичай, припускаються таких помилок:

- дозвіл запуску, буксирування без дозволу ОПР;
- порушення встановленої фразеології радіообміну;
- неефективний контроль або його відсутність за рухом ПС;
- несвоєчасна інформація (її відсутність) про наявність перешкод на маршруті руління;
- недоведення інформації до екіпажів про зміну метеоумов;
- передача УПР диспетчеру на невстановленому рубежі;
- порушення взаємодії з суміжними диспетчерськими пунктами.

Серед помилок, яких припускаються диспетчери СДП:

- дозвіл на вирулювання на виконавчий старт при знаходженні ПС у черзі на посадку;
- випуск і прийом ПС на інтервалах, менших за встановлені інструкціями;
- дозвіл зльоту і посадки без знання обстановки на льотної смузі;
- дозвіл зльоту при погоді нижче встановленого мінімуму;
- відсутність інформації про погоду;
- дозвіл зльоту і посадки при наявності перешкод на льотної смузі;

- порушення фразеології радіообміну між диспетчерами УПР і екіпажем ПС;

Помилки, яких припускаються диспетчери ДПК, ДПП та РЦ:

- недотримання встановлених інтервалів і правил ешелонування;
- порушення фразеології радіообміну і технології роботи;
- відсутність безперервного РЛК;
- недбале ведення графіка руху ПС;
- дозвіл маневру ПС з перетином зайнятих ешелонів;
- невчасне сповіщення про зміни маршрутів польотів або відхилення ПС від повітряних трас.

Необхідним рівнем умінь і навичок авіадиспетчера приймається рівень безпомилкового управління повітряним рухом при таких значеннях параметрів повітряного руху:

Зона УПР	λ	P	$N_{\text{ПКС}}$
РЦ УПР	22+24	6+8	4+5
ДПП	20+24	5+7	3+4
ДПК	20+22	5+6	3+4
ПДП	12+14	2	2+3

де λ - інтенсивність повітряного руху, ПС / ч; P_{max} - число ПС, які перебувають на управлінні одночасно в «піковий» період часу; $N_{\text{ПКС}}$ - число потенційних конфліктних ситуацій на годину, тобто станів повітряної обстановки, за якої невтручання диспетчера обов'язково призведе до небезпечного зближення ВС.

1. При складанні вправ для тренажера на заключних етапах підготовки в завданнях необхідно моделювати такі елементи УВС:

- «пікові» навантаження – різкі переходи від низької інтенсивності до високої і навпаки;

- управління одночасно декількома ПС з різними льотно-технічними характеристиками;

- УПР в особливих випадках і умовах польоту;

- УПР при нестійкій роботі РЛЗ, перешкодах, засміченості зв'язку.

Перші вправи націлені на тренування елементів технології роботи з управління рухом окремих ПС, при чому інтенсивність повітряного руху обмежена. Це пов'язано з тим, що на заняттях можливі випадки, коли відображена на індикаторах інформація може перевищувати можливості диспетчера з її сприйняття, а також по відпрацюванню елементів технології роботи за всіма ПР, що входять в сектор УПР.

Відпрацьовуються елементи технології роботи диспетчерів в умовах відмов окремих блоків системи: імітуються відмови в роботі відповідного обладнання (блоку апаратури).

Відмова апаратури, яка з технічних причин автономно не може бути відключена, імітується відповідними інформаційними потоками.

У ході тренувань також важливо відпрацювати попереднє і поточне планування, для чого послідовно проглядаються списки планів польоту різного виду, відпрацьовуються навички аналізу та узагальнення помилок в повідомленнях УПР, приймаються необхідні міри для ліквідації цих помилок за допомогою пультових операцій.

Під час планування повітряного руху обов'язково відпрацьовуються поточні зміни розкладу. При наявності помилок, які не дозволяють зробити однозначні висновки про проходження рейсу через підконтрольні сектори УПР, імітуються запити на повторення і уточнення заявки.

Підраховують за кожну годину число польотів цивільних повітряних суден поза розкладом і число польотів ПС інших відомств. Порівнюють погодинну завантаження секторів з нормативами пропускнуої здатності. При підвищенні нормативів пропускнуої здатності здійснюють розвантаження сектора шляхом перенесення частини рейсів з даного часового інтервалу.

Переглядають завантаження інтервалів, найближчих до перевантажених, і намічають нові інтервали входу в підконтрольні сектори УПР. При необхідності вживають заходів зі скорочення потоку повітряного руху через найбільш завантажені точки повітряних трас.

Управління повітряним рухом при виникненні особливих випадків в польоті здійснюється з метою відпрацювати дії диспетчерів при отриманні повідомлення від екіпажу ПС про відмову двигуна, пожежі, розгерметизації кабіни, напад на екіпаж, пораненні або раптовому погіршенні здоров'я членів екіпажу і пасажирів.

З метою створення ситуацій, близьких до реальних, заняття розробляються на основі матеріалів особливих випадків, які мали місце в дійсності, з додаванням ускладнень; а також на основі експериментів, проведених в науково-дослідних лабораторіях.

В результаті виконання вправи диспетчер має:

- правильно діяти при отриманні повідомлення від екіпажу про виникнення тієї чи іншої особливої ситуації;
- надати своєчасну допомогу при прийнятті екіпажем рішення про продовження польоту, екстрене зниження, посадки на запасному (відомчому) аеродромі або поза аеродромом;
- своєчасно інформувати відповідні органи про виникнення особливої ситуації і вжити заходів, ведучи безперервний радіолокаційний контроль за даними ПС;
- взаємодіяти з іншими диспетчерськими пунктами за маршрутом польоту даного ПС, точно передаючи їм характер події.

Запропонована у даному підрозділі інформація щодо понять, положень, походів становить основи умов виконання вправ на диспетчерських тренажерах є частиною єдиного цілеспрямованого процесу введення в лад фахівців служби руху, що підвищує рівень їх професійної компетенції і знижує ризик знаходження недоліків.

5.7. Практична реалізація результатів досліджень в області оперативного управління психофізіологічним (емоційним) станом авіадиспетчерів

Аутентифікація авіадиспетчерів і визначення їх ПФС можуть бути здійснені в результаті аналізу таких параметрів:

1. Частота основного тону (ЧОТ) – характеризує висоту голосу і характеристики її мінливості, мелодику мови.

2. Усереднені спектральні характеристики мови – характеризують тембр голосу.

3. Інтенсивність як одна з енергетичних характеристик мовного сигналу, відносна інтенсивність різних мовних відрізків і окремих звуків (голосних, приголосних).

4. Тривалості фонем і пауз - характеризують темп мови.

Проведений аналіз виявив такі закономірності в зміні параметрів мовного сигналу при визначенні ПФС авіадиспетчерів:

- при емоційних зрушеннях варіюються висота голосу і діапазон її зміни, вираженість мелодійного малюнка фрази, істотно змінюються темпоральні характеристики мови;

- в стані підвищеного емоційного збудження на 3-5 дБ зростає середній рівень мови, приблизно на 20% збільшується темп мови (в основному за рахунок зменшення пауз);

- в стані втоми чи депресії зростає тривалість проголошення фрази в зв'язку зі збільшенням довжини пауз і окремих звуків;

- при сильному стресі змінюються тембр голосу і інтонація мови.

Нижче наведені приклади результатів експериментального аналізу варіативності одного з найбільш часто використовуваних параметрів мовного сигналу – ЧОТ.

Визначати ЧОТ авіадиспетчера пропонується як середнє значення ЧОТ окремих фонем слів і фраз, вимовлених авіадиспетчерами, отримане з

застосуванням методу швидкої автокореляції і використання програмного забезпечення для автоматизованої обробки даних Matlab.

На рис. 5.9 наведені осцилограми мовного сигналу і значення ЧОТ для різних фонем при проголошенні шістьма дикторами фрази «Говорите в мікрофон». Результати вимірювань ЧОТ зведені в табл.5.3.

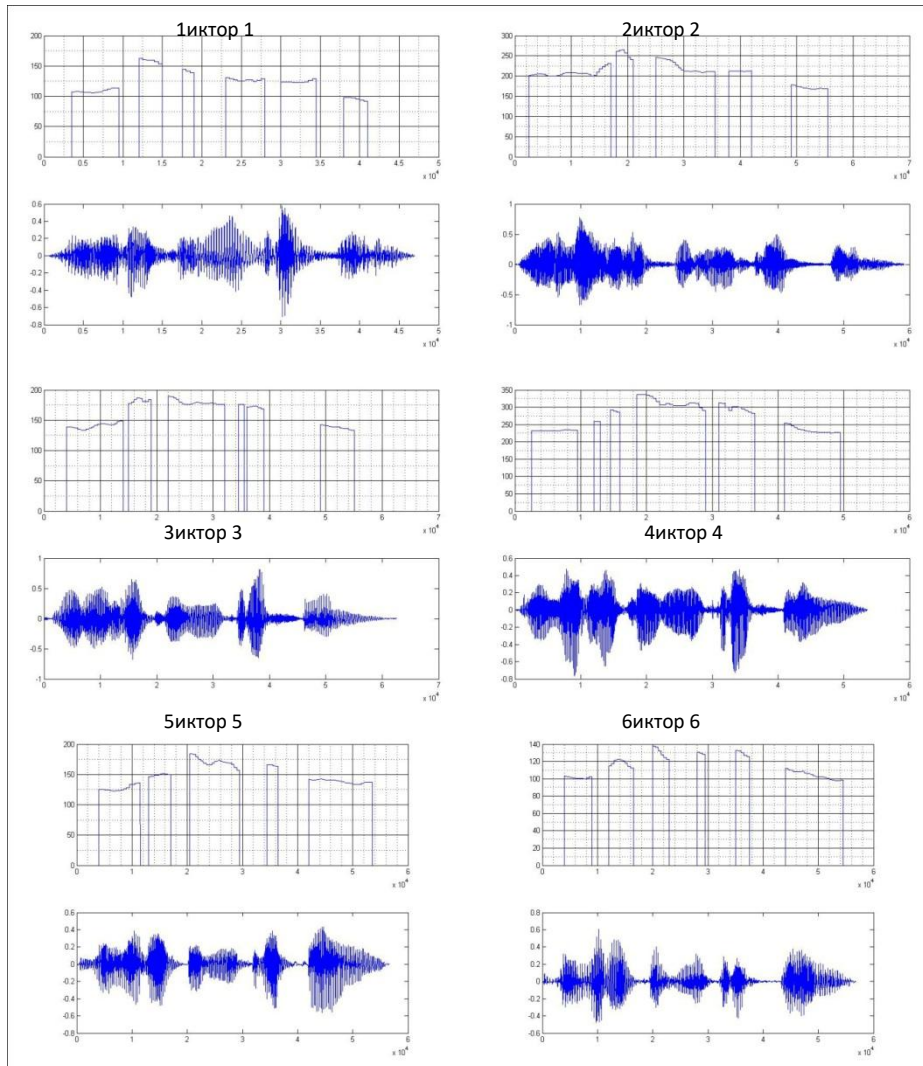


Рис. 5.9. Осцилограма (внизу) і контур ЧОТ (вгорі) фрази "Говорите в мікрофон" у виконанні шести дикторів

Кожен диктор має свої значення ЧОТ, характерні тільки для нього. Але ЧОТ не є константою і може коливатися в певних межах залежно від інтонації, постановки наголосів, емоційного стану дикторів та ін.

Таблиця 5.3

Значення ЧОТ для шести дикторів

№ диктора	Частота основного тону, Гц							Середнє значення
	О [a]	О [a]	Й [и]	Е [e]	И [и]	О [a]	О [o]	
1	107	110	159	141	126	123	95	123
2	203	205	255	237	211	211	172	213
3	136	142	182	186	177	171	138	162
4	232	233	289	331	305	294	234	274
5	124	128	149	177	169	165	138	150
6	101	101	118	130	130	129	104	116

При багаторазовому повторенні одним і тим же диктором однієї і тієї ж фрази, записаної в спокійному стані з однаковою інтонацією, значення ЧОТ дещо різняться. При цьому середньоквадратичне (нормальне) відхилення ЧОТ від середнього значення становить: $\bar{\sigma} = 4,9$ Гц ($\sim 4\%$). Слід зазначити, що це значення було отримано для записів, зроблених в "лабораторних" умовах. В реальних умовах відхилення буде ще більшими.

Таким чином, при побудові автоматичної системи аутентифікації осіб по голосу еталоном для порівняння повинно бути не конкретне значення частоти основного тону, а певний інтервал частот.

В табл.5.4 представлені максимальні і мінімальні значення ЧОТ для шести дикторів в припущенні, що значення $\bar{\sigma} = 4,9$ Гц ($\sim 4\%$) справедливі для кожного з них.

Наведені в табл.5.4 дані показують, що інтервали частот для дикторів 1 і 6, а також 3 і 5 перетинаються, що може привести до помилки другого роду в разі, якщо порушник і санкціонований користувач мають близькі значення ЧОТ. Отже, значень тільки ЧОТ недостатньо для ефективної роботи системи аутентифікації операторів за голосом.

Таблиця 5.4

Визначення порогових значень ЧОТ

№ диктора	Середнє значення ЧОТ, Гц	Нижній поріг	Верхній поріг
1	123	118,1	127,9
2	213	204,4	221,5
3	162	155,5	168,4
4	274	263	284,9
5	150	144	156
6	116	111,3	120,6

Одним із способів підвищення точності роботи системи автоматичної аутентифікації осіб за голосом може бути облік розподілу ЧОТ окремих фонем мовного відрізка для кожного диктора, наприклад, шляхом використання відносних значень ЧОТ.

Графік рис. 5.10, побудований за даними, отриманими як частне ЧОТ фонем фрази "Говорите в мікрофон" до значення ЧОТ першої фонемі, ілюструє даний підхід і робить більш помітною різницю в розподілі ЧОТ для різних дикторів. Видно, що, хоча у дикторів 1, 6 і 3, 5 середні значення ЧОТ досить близькі, ЧОТ окремих фонем істотно відрізняються.

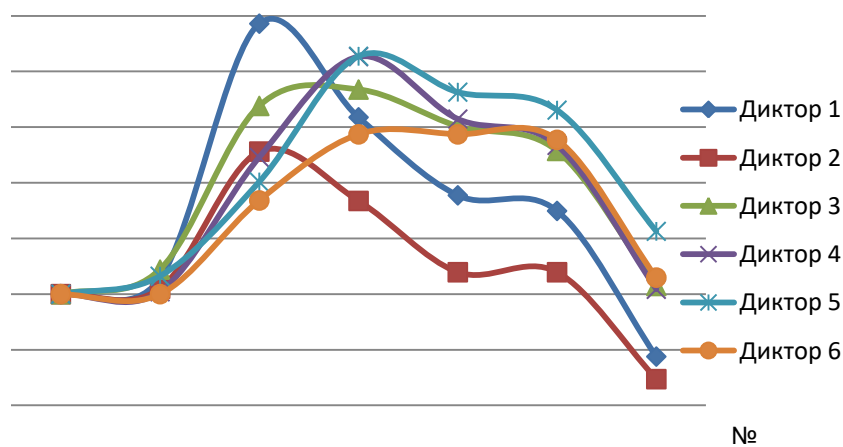


Рис. 5.10. Графік розподілу ЧОТ між окремими фонемами експериментальної фрази

Емоційна варіативність частоти основного тону: найважливішим засобом вираження емоцій, що визначають ПФС оператора, є динаміка змінення ЧОТ.

Експерименти показали, що середня частота основного тону має досить чітку тенденцію до підвищення при змінні стану оператора за напрямком: депресія - норма (зосередженість) - збудження.

Так, в стані підвищеного емоційного збудження середнє значення частоти основного тону зростає на 40-60%. Наприклад, якщо частота основного тону при стані зосередженості (норма) була 120 Гц, то в стані депресії вона знижується до 100 Гц, а при збудженні - піднімається до 200 Гц.

Крім того, змінюється і характер зміни ЧОТ – в стані норми зміна частоти під час проголошення фрази плавне, при збудженні з'являються різкі сплески, збільшується ізрізанність і діапазон зміни ЧОТ.

Приклади розрахунків, а також документи, що підтверджують впровадження результатів досліджень і розробок дисертаційних досліджень наведені в додатках.

5.8. Висновки до п'ятого розділу

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

2. Запропоновані архітектурні та програмні засоби, які забезпечили можливість впровадження розроблених моделей, методів та ІТ і стали основою для побудови підсистем інформаційної системи, призначеної для забезпечення ІППР ОПР з управління функціональністю авіадиспетчерів.

3. Розроблено методики проведення контролю показників ФС авіадиспетчерів, проведення занять на тренажерах 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 дисертаційній роботі.

Список використаних джерел в п'ятому розділі

1. Doc 9859 "Safety Management Manual" / International Civil Aviation Organization, 3rd ed, 2013. – 251 p.

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

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

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

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

6. Темников В.А., Темникова Е.Л. Определение психофизиологического состояния оператора в системе автоматического внутрисменного мониторинга по голосу // Вестник Восточноукраинского национального университета им. В.Даля. – №6 (136). – Ч.1. - 2009. – С.294-297.

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

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

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

10. Темников В.А., Темникова Е.Л. Анализ эмоционального состояния операторов при построении систем контроля доступа // III Міжнар. наук-практ. конф. "Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси". Зб. тез. – К.: НАУ, 2010. – С.65-66.

11. Темников В.А. Информационная технология построения систем поддержки принятия оперативных решений в диспетчерских службах аэропортов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип.5(45). – С.108-110

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

13. Темников В.О., Петейчук О.В. Система голосового розпізнавання операторів при використанні встановленої фразеології // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2011. – №4(53). – С. 201-204

14. Подгорный Е.И., Рябова Л.В., Темников В.А. Способ повышения быстродействия системы контроля доступа по радужной оболочке глаза // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. – 2014. – №2(28). – С.88-92

15. Темников В.А., Темникова Е.Л. Концепции построения голосовых систем контроля доступа к информационным ресурсам для различных условий применения // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. – 2015. – №1(29). – С.102-107

16. Темников В.А., Конфорович И.В., Темникова Е.Л. Построение голосовой системы аутентификации диспетчеров с повышенными быстродействием и достоверностью работы // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. – 2015. – №2(30). – С.63-67

17. Темников В.А., Темникова Е.Л. Концепции построения голосовых систем контроля доступа к информационным ресурсам для различных условий применения // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Науково-технічний збірник. – Київ. – 2015. – №1(29). – С.102-107

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

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

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

21. Темников В.А., Конфорович И.В., Петейчук А.В. Контроль доступа авиадиспетчеров к информационным ресурсам по голосу // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – №15(204). – Ч.1. – С.199-203

22. Темников В.А., Темникова Е.Л., Конфорович И.В. Выбор параметров системы аутентификации человека по голосу // Інформаційна безпека. – 2012. – №2(8). – С.151-157

23. Темников В.А. Принципы проведения автоматического внутрисменного контроля доступа операторов к ресурсам информационных

систем // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – №8(179). – Ч.1. – С.184-190

24. Темников В.А., Шарий Т.В., Темникова Е.Л., Конфорович И.В. Голосовая аутентификация операторов, использующих в процессе работы нормативно установленную фразеологию // Інформаційна безпека. – 2011. – №1(5). – С.125-130

25. Темников В.А., Темникова Е.Л. Параметризация автоматического контроля доступа операторов к ресурсам информационных систем по голосу // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – №9 (151). – Ч.1. – 2010. – С.143-148

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

27. Темников В.А., Темникова Е.Л. Определение психофизиологического состояния оператора в системе автоматического внутрисменного мониторинга по голосу // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – №6 (136). – Ч.1. – 2009. – С.294-297

28. Темников В.А. Повышение эффективности работы системы контроля доступа путем учета функционального состояния операторов и диспетчеров // Захист інформації. Збірник наукових праць. – Вып.16. – К.: НАУ, 2009. – С.200-203

29. Темников В.А., Семко В.В. Построение системы определения психофизиологического состояния личности для профессиональной диагностики // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - №8 (126). – Ч.1. – 2008. – С.195-200

30. Темников В.А., Пономаренко Л.В. Алгоритм текстонезависимого распознавания человека по голосу в задаче контроля и управления доступом

// Захист інформації. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. – К.: НАУ, 2008. – С.71-76

31. Темников В.А., Пономаренко Л.В. Параметризация речевого сигнала при распознавании личности по голосу // Захист інформації. Збірник наукових праць. – Вып.15. – К.: НАУ, 2008. – С.167-172

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень було розроблено методологічні основи здійснення контролю показників та управління ФС і рівнем професіоналізму авіадиспетчерів з метою зниження впливу людського фактора на БП. При цьому основними результатами досліджень є такі:

1. В результаті проведеного аналізу нормативних документів ІКАО та літературних джерел було встановлено, що недоліки існуючого стану БП спричинені недостатньою увагою до проявів ЛФ. Аналіз показав, що знизити вплив ЛФ на БП можна за рахунок підвищення якості контролю й управління ФС і рівнем професіоналізму авіадиспетчерів протягом усієї їхньої виробничої діяльності з боку осіб, що приймають управлінські рішення щодо здатності та готовності авіадиспетчерів виконувати функціональні обов'язки. Аналіз сучасних розробок методичного та інформаційного забезпечення контролю показників й управління ФС авіадиспетчерів в умовах невизначеності впливу на ФС зовнішніх та внутрішніх небезпечних факторів показав, що ефективним напрямком досліджень і розробок в галузі ІППР ОПР, є застосування методів вербального експертного оцінювання показників з використанням лінгвістичних змінних, перцептивних обчислень та вдосконалення методик проведення контролю психофізіологічного стану людини.

2. Розроблено концепцію забезпечення ІППР ОПР в умовах невизначеності впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на функціональність авіадиспетчерів, яка на основі створення єдиного інформаційного простору показників функціональності, а також проведення перманентного контролю ФС та рівня професіоналізму авіадиспетчерів дозволила проводити контроль показників та управляти функціональністю авіадиспетчерів протягом усієї їхньої виробничої діяльності та забезпечити

проведення ОПР ефективних коригувальних заходів на якомога більш ранніх стадіях виробничої діяльності авіадиспетчерів.

3. Розроблено метод інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень, заснований на положеннях концепції забезпечення ПППР, який на основі впровадження перманентного контролю показників функціональності авіадиспетчерів протягом усієї їхньої виробничої діяльності, розрахунку й аналізу узагальнених показників функціональності та прогнозування змінень ФС і рівня професіоналізму з використанням показників, які мають визначальний вплив на функціональність, дозволяє забезпечити ОПР додатковою інформацією стосовно здатності та готовності авіадиспетчерів виконувати функціональні обов'язки, що дає можливість підвищити обґрунтованість прийняття ОПР управлінських рішень і на більш ранніх стадіях виробничої діяльності авіадиспетчерів виявити осіб, які мають недостатній фізіологічний та/або психологічний ресурс і потребують проведення з ними коригувальних заходів.

4. Розроблено процедуру превентивного управління функціональністю авіадиспетчерів, яка включає послідовно проведені моніторинг показників та факторів, що впливають на ФС і рівень професіоналізму, розрахунок узагальнених показників ФС і рівня професіоналізму з використанням розробленого методу отримання агрегованої оцінки, аналізу ФС і рівня професіоналізму та прогнозування їх змінень з використанням розроблених моделі превентивного управління функціональністю авіадиспетчерів та бази даних перманентного контролю. Застосування розробленої процедури дозволяє виявити осіб, які мають недостатній фізіологічний та/або психологічний ресурс та рівень знань, для запобігання потрапляння їх на робочі місця.

5. Розроблено модель отримання агрегованої оцінки ФС і рівня професіоналізму, яка на основі застосування графових моделей, перцептивних обчислень, дозволила отримати узагальнену оцінку ФС і рівня

професіоналізму для здійснення превентивного управління ФС і рівнем професіоналізму авіадиспетчерів.

6. Розроблено метод отримання агрегованої оцінки ФС і рівня професіоналізму, який, з застосуванням графових моделей, перцептивних обчислень, дозволив отримати узагальнену оцінку ФС і рівня професіоналізму авіадиспетчерів для здійснення превентивного управління ФС і рівнем професіоналізму авіадиспетчерів.

7. Розроблено процедуру прогнозування ФС авіадиспетчерів на стадії превентивного управління, яка дозволила своєчасно виявляти негативні тенденції змінення показників ФС і, таким чином, дала можливість на більш ранніх стадіях виробничої діяльності виявити осіб, які втратили здатність виконувати функціональні обов'язки.

8. Розроблено модель та метод оперативного управління функціональністю авіадиспетчерів, які на основі забезпечення ІППР дозволили підвищити якість внутрішньозмінного контролю показників ФС та оперативного управління функціональністю авіадиспетчерів протягом робочої зміни при випадкових зовнішніх впливах і зміненнях працездатності авіадиспетчерів.

9. Удосконалено процедуру прогнозування змінень ПФС авіадиспетчерів протягом робочої зміни, яка на основі застосування апарату марківських ланцюгів і диференціальних рівнянь Колмогорова дозволила попереджати перехід особи до небажаного функціонального стану.

10. Розроблено метод підвищення якості контролю ПФС авіадиспетчерів на стадії оперативного управління функціональністю авіадиспетчерів, який на основі застосування розробленої системи параметрів мовних сигналів та обґрунтованого вибору їх значень дозволив підвищити швидкодію СІППоР ОПР при забезпеченні відсотка правильної аутентифікації і визначення ФС вище 98% і дав можливість проводити

внутрішньозмінний голосовий контроль ЕмС авіадиспетчерів і контроль їхнього доступу до інформаційних ресурсів в режимі реального часу.

11. Удосконалено метод параметризації мовного сигналу, який, на відміну від відомих, на основі застосування нового підходу до створення системи параметрів дозволив зменшити кількість параметрів, які характеризують мовний сигнал, що дало можливість застосувати штучні нейронні мережі для аутентифікації та контролю ПФС авіадиспетчерів.

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

13. Запропоновані архітектурні та програмні засоби, які забезпечили можливість впровадження розроблених моделей, методів та ІТ і стали основою для побудови підсистем інформаційної системи, призначеної для забезпечення ІППР ОПР з управління функціональністю авіадиспетчерів.

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

15. Проведені експериментальні комп'ютерні й імітаційні дослідження підтвердили адекватність розроблених моделей та достовірність результатів, наведених у дисертаційній роботі.

16. Зазначені результати впроваджені в діяльність міжнародного аеропорту «Київ» (Жуляни), Головного центру спеціального контролю Національного космічного агентства України, Національного авіаційного університету та Київського національного університету будівництва і архітектури.

При виконанні дисертаційних досліджень особлива увага була приділена розробці нових методів та інформаційної технології контролю

показників та управління функціональністю авіадиспетчерів, застосування яких дає можливість з науково-теоретичної та інформаційно-технологічної сторін підійти до вирішення задачі зниження впливу людського фактора на БП.

За результатами роботи проведені експериментальні моделювання і апробація розроблених методів на практичних задачах.

Достовірність результатів та висновків забезпечується коректним використанням у дисертаційній роботі сучасних теорій обчислювального інтелекту, прийняття рішень, експертного аналізу, перцептивних обчислень, графів, розпізнавання образів, інформаційних систем і доведеними математичними твердженнями та результатами практичного застосування.

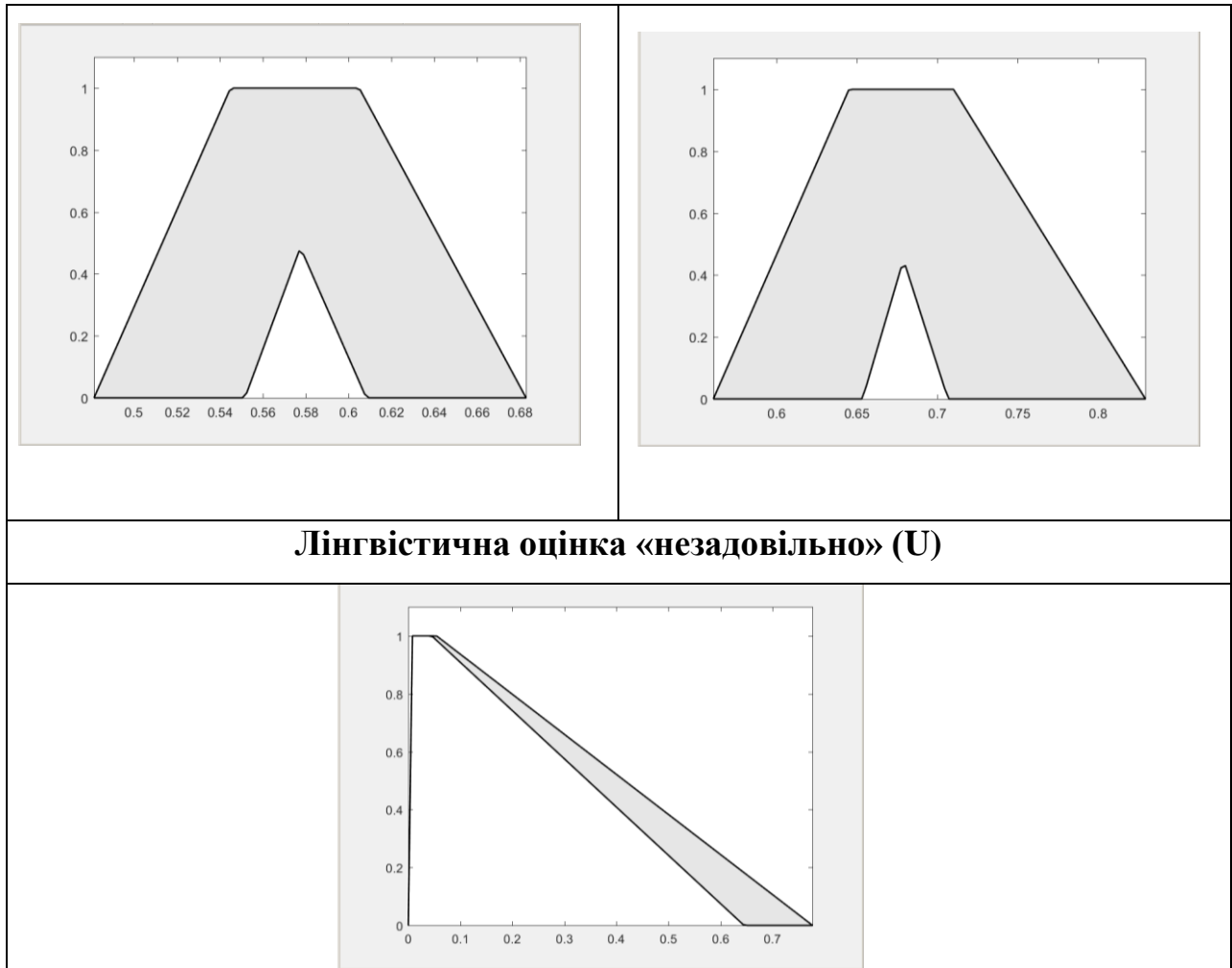
ДОДАТКИ

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 А.2.

Трапецієвидні інтервали ІНМ2 лінгвістичних оцінок

<p>Лінгвістична оцінка «добре» (G)</p>	<p>Лінгвістична оцінка «нормально» (N)</p>
<p>Лінгвістична оцінка «прийнятно» (S)</p>	<p>Лінгвістична оцінка «задовільно» (A)</p>



Ваги дуг графової моделі наведені в табл. А.3. Вони були визначені групою експертів, які беруть участь в експериментах, на основі їх практичного досвіду.

Таблиця А.3.

Ваги дуг в моделі СПАНВ

Початкова вершина	Кінцева вершина	Вага
A	J	Es
B	J	Sg
C	J	Sg
D	K	Sg
E	K	Av

F	K	Av
G	K	Sg
H	L	Sg
I	L	Av
J	W	Es
K	W	In
L	W	Sg

Перцептивні обчислення були застосовані до набору даних моделі, в якій лінгвістична оцінка кожної вершини була представлена таким чином:

- A: добре;
- B: добре;
- C: нормально;
- D: нормально;
- E: нормально;
- F: нормально;
- G: нормально;
- H: добре;
- I: задовільно.

В результаті, було отримано ІНМ2: (0,6633, 0,8510, 0,9116, 0,9731, 0,8183, 0,8520, 0,8980, 0,9185, 0,3743). З використанням метрики Жаккара були визначені відстані цього ІНМ2 до кожного з п'яти слів кодової книги:

- добре: 0,3083;
- нормально: 0,4388;
- задовільно: 0,1296;
- прийнятно: 0,0020;
- незадовільно: 0,0074.

Можна зробити висновок про те, що задовільним висновком системи є оцінка «нормально».

Список використаних джерел в додатку А.

1. Safety review. State Aviation Administration of Ukraine (2016).
2. Doc 9808: Human Factors in Civil Aviation Security Operations. International Civil Aviation Organization (2002).
3. Zadeh L. A.: From computing with numbers to computing with words—from manipulation of measurements to manipulation of perceptions). *IEEE transactions on circuits and systems I: Fundamental theory and applications* 46(1), 105–119 (1999).
4. Mendel J. M.: The perceptual computer: an architecture for computing with words. In: *Proceedings of Modeling with Words Workshop in the Proceedings of FUZZ-IEEE 2001*, pp. 35–38 (2001).
5. Mendel J. M, Wu D. *Perceptual computing. Aiding people in making subjective judgments*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey (2010).
6. Wu D., Mendel J. M.: Enhanced Karnik-Mendel algorithms. *IEEE transactions on fuzzy systems* 17(4), 923–934 (2009).
7. Klir G. J., Yuan B.: *Fuzzy sets and fuzzy logic. Theory and applications*. Prentice Hall (1995).
8. Wu D., Mendel J. M.: A comparative study of ranking methods, similarity measures and uncertainty measures for interval type-2 fuzzy sets. *Information Sciences* 179(8), 1169–1192 (2009).
9. Bayevsky R. M., Berseneva A. P. *Assessment of the adaptive capabilities of the body and the risk of developing diseases*. Medicine, Moscow (1997) (in Russian).
10. Liu F., Mendel J. M.: Encoding words into interval type-2 fuzzy sets using an Interval Approach. *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 16, 1503–1521 (2008).

Додаток Б – Приклад розрахунків, зроблених для виявлення вхідних факторів, що вносять визначальний вклад в агреговану оцінку стану здоров'я

Процес агрегування оцінок вхідних показників представлений на рис. 5.5. Цей процес є ієрархічним і розподіленим, представляється у вигляді графа.

Вхідні вершини – листя графа – являють собою різні фактори, що впливають на загальний стан здоров'я авіадиспетчера. Фактори згруповані за рівнями агрегації, в даному прикладі показані чотири рівня агрегації.

Кінцева вершина графа являє собою загальне значення стану здоров'я авіадиспетчера. Вхідні вершини А-L позначають фактори, які характеризують психічний, психологічний, фізичний та фізіологічний стани досліджуваного авіадиспетчера, які представляють собою проміжні рівні графової моделі (вершини N-Q). Усі вершини з'єднані навантаженими орієнтованими дугами, вага яких призначається групою експертів, фахівців в даній області, у вигляді слів.

Дана графова модель є відносною, оскільки міра впливу того чи іншого фактора на загальний стан авіадиспетчера може варіюватися в залежності від реальних обставин. Для визначення факторів, що мають істотний вплив на стан здоров'я авіадиспетчера в конкретному випадку, необхідно розв'язати зворотню інтервальну середньозважену задачу.

Спосіб розв'язання складається з таких етапів:

1) Оцінка експерта: визначити за допомогою експертів цільове значення кінцевого показника, відносні витрати c_i і коефіцієнти β_i для кожного фактора;

2) Визначення фактора: розв'язання зворотної інтервальної середньозваженої задачі для всіх вершин в графі й отримання інтервалів $[a_i, b_i]$ для рівнів якості кожного вхідного фактора, які повинні бути отримані для досягнення заданої загальної якості.

Проілюструємо запропонований підхід на конкретному прикладі, дані для моделі наведені в табл.Б.1 і Б.2.

Таблиця Б.1.

Ваги дуг моделі

Назва дуги	Вага
AL	[0.75; 0.90]
BL	[0.65; 0.80]
CM	[0.55; 0.70]
DM	[0.30; 0.50]
EN	[0.70; 0.90]
FN	[0.55; 0.80]
GO	[0.50; 0.70]
HO	[0.75; 0.90]
IO	[0.80; 0.95]
JP	[0.75; 0.95]
KP	[0.65; 0.85]
LQ	[0.70; 0.90]
MQ	[0.40; 0.50]
NQ	[0.60; 0.80]
OR	[0.70; 0.90]
PR	[0.60; 0.80]
QS	[0.50; 0.70]
RS	[0.60; 0.80]

Таблиця Б.2.

Параметри задачі

Вершини	Вартість c_i	Коефіцієнт β_i
А. слух	0.85	0.90
В. зір	0.40	0.70
С. внутрішні органи	0.55	0.80
Д. шкіра	0.40	0.60
Е. пам'ять	0.85	0.80
Ф. реакція	0.40	0.60
Г. емоційна стабільність	0.55	0.60
Н. комунікабельність	0.55	0.60
І. стан ЦНС	0.40	0.50
Ж. стан ПНС	0.55	0.70
К. стан кінцівок	0.40	0.60
Л. фізична витривалість	0.85	0.80
М. фізіологічний стан	0.55	0.60
О. психологічний стан	0.55	0.70
Р. психічний стан	0.55	0.60
Q. фізичний стан	0.85	0.80

Прийmemo, що цільовий рівень загальної якості АБ є інтервал $[0.7; 1.0]$.
Тоді, щоб отримати рівні якості для вузлів Q і R необхідно розв'язати дві задачі оптимізації:

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

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

Обмеження нерівності для обох задач:

$$a_Q \geq 0, a_R \geq 0, b_Q \leq 1, b_R \leq 1, \\ a_Q \leq b_Q, a_R \leq b_R.$$

Обмеження у вигляді рівності:

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

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

Для задачі 1 були визначені оптимальні інтервали $[a_Q, b_Q] = [0.7; 1.0]$, $[a_R, b_R] = [0.7; 1.0]$, а значення цільової функції – 0,422. Для задачі 2, оптимальні інтервали $[a_Q, b_Q] = [0.79; 1.0]$, $[a_R, b_R] = [0.644; 1.0]$, а значення цільової функції – 0,404. Ці інтервали зберігаються і використовуються в якості цільових значень для зворотних інтервальних середньозважених задач, для обчислення інтервалів для вузлів $L-N$, $O-P$, і так далі, поки не будуть розраховані всі значення. Отримані результати наведені в табл.Б.3.

Результати проведеного експерименту показують, що істотний вплив на загальний стан здоров'я авіадиспетчера в даному прикладі має фізіологічний стан (лівий кінець інтервалу 0,809). Такі високі вимоги можуть пояснюватися в зв'язку з великим значенням у роботі авіадиспетчера високих показників зору та слуху (А, В).

Таблиця Б.3.

Розв'язок зворотної задачі

Вершини	Результуючий інтервал
А. слух	[0.982; 1.000]
В. зір	[0.903; 1.000]
С. внутрішні органи	[0.684; 1.000]

D. шкіра	[0.413; 1.000]
E. пам'ять	[0.890; 1.000]
F. реакція	[0.738; 1.000]
G. емоційна стабільність	[0.662 1.000]
H. комунікабельність	[0.636; 1.000]
I. стан ЦНС	[0.447; 1.000]
J. стан ПНС	[0.815; 1.000]
K. стан кінцівок	[0.729; 1.000]
L. фізична витривалість	[0.941; 1.000]
N. фізіологічний стан	[0.809; 1.000]
O. психологічний стан	[0.560; 1.000]
P. психічний стан	[0.770; 1.000]
Q. фізичний стан	[0.790; 1.000]

Ці результати демонструють корисність застосування методу контролю стану здоров'я авіадиспетчерів, заснованого на перцептивній комп'ютерній моделі. Усе вищесказане не означає, що не потрібно звертати увагу на інші фактори, що впливають на стан здоров'я авіадиспетчера, бо високий рівень функціональності може бути досягнутий тільки при комплексному підході шляхом проведення всіх необхідних заходів у всіх напрямках.

Список використаних джерел в додатку Б.

1. Doc 9808: Human Factors in Civil Aviation Security Operations. International Civil Aviation Organization (2002).
2. Mendel J. M.: The perceptual computer: an architecture for computing with words. In: Proceedings of Modeling with Words Workshop in the Proceedings of FUZZ-IEEE 2001, pp. 35–38 (2001).
3. Mendel J. M.: Fuzzy sets for words: a new beginning. In: Proceedings of FUZZ-IEEE 2003, St. Louis, MO, pp. 37–42 (2003).

4. Mendel J. M, Wu D. Perceptual computing. Aiding people in making subjective judgments. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey (2010).
5. Wu D., Mendel J. M.: Enhanced Karnik-Mendel algorithms. IEEE transactions on fuzzy systems 17(4), 923–934 (2009).
6. Klir G. J., Yuan B.: Fuzzy sets and fuzzy logic. Theory and applications. Prentice Hall (1995).
7. Bayevsky R. M., Kirillov O. I., Kletskin S. Z.: Mathematical analysis of heart rate changes under stress. Medicine, Moscow (1984) (in Russian).
8. Bayevsky R. M., Berseneva A. P. Assessment of the adaptive capabilities of the body and the risk of developing diseases. Medicine, Moscow (1997) (in Russian).
9. Liu F., Mendel J. M.: Encoding words into interval type-2 fuzzy sets using an Interval Approach. IEEE Trans. on Fuzzy Systems, vol. 16, 1503–1521 (2008).

Приклад розрахунків, зроблених для виявлення вхідних факторів, що вносять визначальний вклад в агреговану оцінку АБ аеропорту

Процес прийняття рішень в АБ представлений на рис. Б.1. Цей процес є ієрархічним і розподіленим, заснованим на агрегуванні незалежних експертних оцінок вхідних факторів, представляється у вигляді графа.

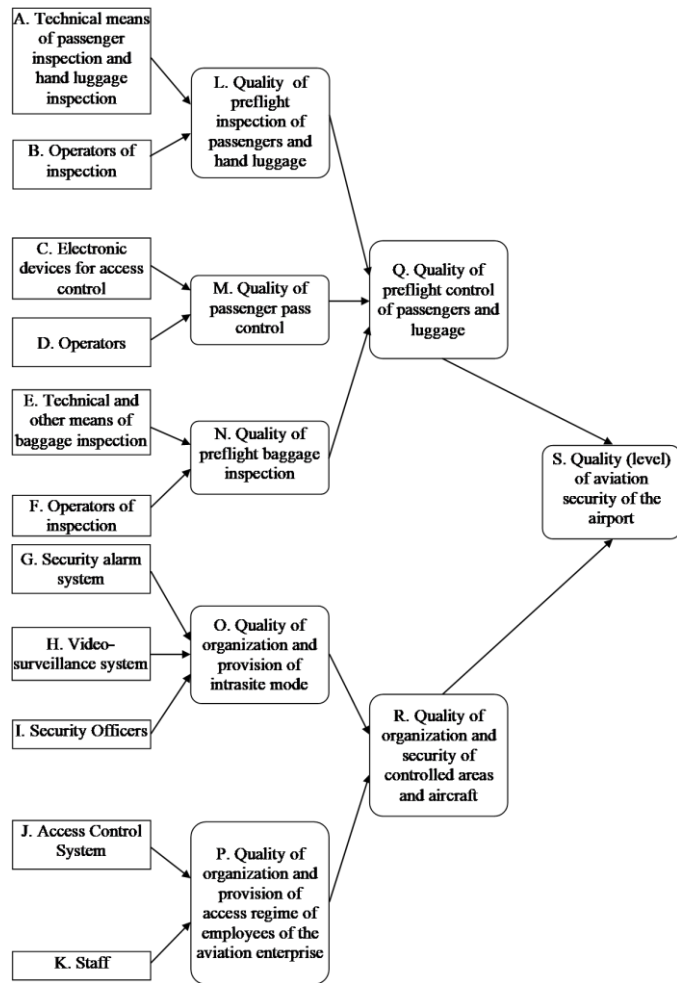


Рис. Б.1 Процес прийняття рішень для АБ

Вершини графа на рис. Б.1, являють собою різні фактори, що впливають на якість АБ аеропорту. Фактори згруповані за рівнями агрегації, в даному прикладі показані три рівня агрегації.

Вихідна вершина графа S являє собою загальне значення рівня якості АБ аеропорту. Вхідні вершини А-К позначають фактори, що характеризують функціональний стан співробітників служби охорони і технічних умов

обладнання, що використовується відповідними службами (охоронні системи та обладнання, які використовуються для огляду пасажирів і ручної інспекції багажу, огляду багажу, пасажирського контролю і т.д.).

Проміжні рівні моделі складаються з вершин L-P, які представляють собою узагальнені значення рівня якості передпольотного контролю пасажирів і ручної поклажі, якості управління пасажирського проходу, якості передпольотного огляду багажу, і якості організації та забезпечення режиму доступу співробітників авіапідприємства. Ці вершини згруповані в сукупності вузлів Q (якість передпольотного контролю пасажирів і багажу) і R (якість організації та безпеки контрольованих зон і літаків), які можна розглядати як дві основні (незалежні) області безпеки аеропорту.

Вершини на рис. Б.1 з'єднані навантаженими орієнтованими дугами, вага яких призначається групою експертів, фахівців в даній області, у вигляді слів.

Модель, представлена на рис.Б.1, є відносною, тому що можна варіювати списком чинників, що впливають на АБ на кожному рівні в залежності від реальних обставин. Також для практичної реалізації використовувався найпростіший випадок, пов'язаний з інтервальним підходом.

Для визначення факторів, що роблять істотний вплив на загальну якість АБ, необхідно вирішити зворотню інтервальну середньозважену задачу.

Спосіб вирішення складається з наступних етапів:

- 1) Оцінка експерта: визначити за допомогою експертів цільове значення від загальної якості АБ, відносні витрати c_i і коефіцієнти β_i для кожного фактора;
- 2) Визначення фактора: рішення зворотної інтервальної середньозваженої задачі для всіх вершин в графі, який моделює АБ для даного аеропорту, і отримання інтервалів $[a_i, b_i]$ для рівнів якості кожного

фактора безпеки, які повинні бути отримані для досягнення заданої загальної якості.

Проілюструємо запропонований підхід на наступному прикладі, дані для моделі наведені в табл.Б.1 і Б.2.

Таблиця Б.1.

Ваги дуг моделі

Назва дуги	Вага
AL	[0.78; 0.95]
BL	[0.63; 0.80]
CM	[0.57; 0.72]
DM	[0.35; 0.55]
EN	[0.70; 0.90]
FN	[0.60; 0.80]
GO	[0.60; 0.75]
HO	[0.74; 0.93]
IO	[0.85; 0.95]
JP	[0.75; 0.90]
KP	[0.65; 0.80]
LQ	[0.75; 0.90]
MQ	[0.40; 0.55]
NQ	[0.65; 0.80]
OR	[0.75; 0.90]
PR	[0.60; 0.75]
QS	[0.50; 0.70]
RS	[0.65; 0.80]

Таблиця Б.2.

Параметри задачі

Вершини	Вартість c_i	Коефіцієнт β_i
А. Технічні засоби перевірки пасажирів і досмотру ручної поклажі	0.90	0.95
В. Оператори контролю	0.45	0.75
С. Електронні пристрої контролю доступу	0.75	0.75
Д. Оператори	0.50	0.60
Е. Технічні та інші засоби перевірки багажу	0.85	0.85
Ф. Оператори контролю	0.45	0.60
Г. Охоронна сигналізація	0.60	0.60
Н. Системи відеоспостереження	0.55	0.65
І. Охоронці	0.45	0.50
Ж. Система контролю доступу	0.60	0.75
К. Персонал	0.40	0.60
Л. Якість передпольотної перевірки пасажирів і ручної поклажі	0.85	0.85
М. Якість паспортного контролю пасажирів	0.50	0.55
Н. Якість передпольотного досмотру багажу	0.60	0.65
О. Якість організації та забезпечення пропускну режиму	0.55	0.65
Р. Якість організації та	0.65	0.65

забезпечення режиму доступу співробітників авіапідприємства		
Q. Якість передпольотного контролю пасажирів і багажу	0.90	0.85
R. Якість організації та безпеку контрольованих зон і повітряних суден	0.90	0.85

Прийmemo, що цільовий рівень загальної якості АБ є інтервал [0.8; 1.0]. Тоді, щоб отримати рівні якості для вузлів Q і R з рис. Б.1, необхідно розв'язати дві задачі оптимізації:

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

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

Обмеження нерівності для обох задач:

$$a_Q \geq 0, a_R \geq 0, b_Q \leq 1, b_R \leq 1, \\ a_Q \leq b_Q, a_R \leq b_R.$$

Отримані результати наведені в табл. Б.3.

Результати проведеного експерименту показують, що істотний вплив на загальну якість АБ аеропорту в даному прикладі має рівень технічних засобів перевірки пасажирів і досмотру ручної поклажі (лівий кінець інтервалу 0,982) і якості передпольотної перевірки пасажирів і ручної поклажі (лівий край 0,942). Такі високі вимоги можуть пояснюватися в зв'язку з витратами, необхідними для підвищення функціонального стану інспекторів (В), а також витрат на якісне технічне обладнання, що використовується для огляду (А, Е).

Таблиця Б.3. Рішення зворотної задачі

Вершини	Результуючий інтервал
А. Технічні засоби перевірки пасажирів і досмотру ручної поклажі	[0.982; 1.000]
В. Оператори контролю	[0.902; 1.000]
С. Електронні пристрої контролю доступу	[0.674; 1.000]
Д. Оператори	[0.425; 1.000]
Е. Технічні та інші засоби перевірки багажу	[0.890; 1.000]
Ф. Оператори контролю	[0.743; 1.000]
Г. Охоронна сигналізація	[0.656; 1.000]
Н. Системи відеоспостереження	[0.637; 1.000]
І. Охоронці	[0.443; 1.000]
Ж. Система контролю доступу	[0.812; 1.000]
К. Персонал	[0.720; 1.000]
Л. Якість передпольотної перевірки пасажирів і ручної поклажі	[0.942; 1.000]
М. Якість паспортного контролю пасажирів	[0.535; 1.000]
Н. Якість передпольотного досмотру багажу	[0.803; 1.000]
О. Якість організації та забезпечення пропускового режиму	[0.564; 1.000]
Р. Якість організації та забезпечення режиму доступу співробітників служб	[0.767; 1.000]
Q. Якість передпольотного контролю пасажирів і багажу	[0.792; 1.000]
Р. Якість організації та безпеки контрольованих зон і повітряних суден	[0.654; 1.000]

Аналіз розрахунків допомагає визначити необхідні рівні якості вхідних факторів, які повинні бути досягнуті для забезпечення заданого рівня АБ аеропорту. Але насправді високий рівень безпеки аеропорту може бути досягнутий тільки при комплексному підході шляхом проведення всіх необхідних заходів у всіх напрямках.

Список використаних джерел в додатку Б.

1. Safety Report. International Civil Aviation Organization. Published in Montréal, Canada (2017).
2. Safety review. State Aviation Administration of Ukraine (2016).
3. Doc 9859: Safety Management Manual. International Civil Aviation Organization (2013).
4. Doc 8973/9: Aviation Security Manual. International Civil Aviation Organization (2014).
5. Doc 9808: Human Factors in Civil Aviation Security Operations. International Civil Aviation Organization (2002).
6. Annex 17: Security: Safeguarding International Civil Aviation Against Acts of Unlawful Interference. International Civil Aviation Organization (2017).
7. Zadeh L. A.: From computing with numbers to computing with words—from manipulation of measurements to manipulation of perceptions). IEEE transactions on circuits and systems I: Fundamental theory and applications 46(1), 105–119 (1999).
8. Mendel J. M.: The perceptual computer: an architecture for computing with words. In: Proceedings of Modeling with Words Workshop in the Proceedings of FUZZ-IEEE 2001, pp. 35–38 (2001).
9. Mendel J. M.: Fuzzy sets for words: a new beginning. In: Proceedings of FUZZ-IEEE 2003, St. Louis, MO, pp. 37–42 (2003).

10. Mendel J. M, Wu D. Perceptual computing. Aiding people in making subjective judgments. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey (2010).
11. Wu D., Mendel J. M.: Enhanced Karnik-Mendel algorithms. IEEE transactions on fuzzy systems 17(4), 923–934 (2009).
12. Klir G. J., Yuan B.: Fuzzy sets and fuzzy logic. Theory and applications. Prentice Hall (1995).
13. Wu D., Mendel J. M.: A comparative study of ranking methods, similarity measures and uncertainty measures for interval type-2 fuzzy sets. Information Sciences 179(8), 1169–1192 (2009).
14. Liu F., Mendel J. M.: Encoding words into interval type-2 fuzzy sets using an Interval Approach. IEEE Trans. on Fuzzy Systems, vol. 16, 1503–1521 (2008).
15. Jaccard P. Distribution De la Flore Alpine Dans le Bassin des Dranses et Dans Quelques Regions Voisines // Bull. Soc. Vaudoise sci. Natur. – 1991. – V.37. – Bd. 140. – S. 241-272.

Приклад розрахунків, зроблених для ранжування за агрегованою оцінкою кандидатів на роботу за станом здоров'я

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. 5.5.

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 відрізку $[0, 1]$. 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. 5.5.

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 відрізку $[0, 1]$. 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 (V), мало або взагалі ніякого ефекту (Lt).

Кожне слово перетворювалося в його ІНМ2-модель на основі інтервального підходу.

В результаті опитування двадцяти експертів, профільний 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 (див. Додаток А).

У таблиці Б.1 показані ваги, відповідні вхідним факторам на рис. 5.5. У таблиці Б.2 наведено ваги, які відповідають дугам, що з'єднують вузли моделі. Ваги в таблицях Б.1 та Б.2 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 Б.1. Ваги факторів здоров'я.

Фактор	Вага для авіадиспетчера	Ваги для співробітників САБ
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 Б.2. Ваги дуг моделі, що з'єднує показники та загальний функціональний стан

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

У таблиці Б.3 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.

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

Таблиця Б.3. Лінгвістичні оцінки факторів для десяти диспетчерів повітряного руху та десяти співробітників САБ офіцерів, розраховані центроїди ІМ2 та ранг

#	Лингвистическая оценка каждого фактора													Центроїд			Ранг
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	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 вибрати 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 функціонального стану працівника 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.

Список використаних джерел в додатку Б.

1. Doc 8973/9: Aviation Security Manual. International Civil Aviation Organization (2014).
2. Annex 17: Security: Safeguarding International Civil Aviation Against Acts of Unlawful Interference. International Civil Aviation Organization (2017).

3. Mendel J. M, Wu D. Perceptual computing. Aiding people in making subjective judgments. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey (2010).
4. Wu D., Mendel J. M.: Enhanced Karnik-Mendel algorithms. IEEE transactions on fuzzy systems 17(4), 923–934 (2009).
5. Bayevsky R. M., Kirillov O. I., Kletskin S. Z.: Mathematical analysis of heart rate changes under stress. Medicine, Moscow (1984) (in Russian).
6. Liu F., Mendel J. M.: Encoding words into interval type-2 fuzzy sets using an Interval Approach. IEEE Trans. on Fuzzy Systems, vol. 16, 1503–1521 (2008).

Додаток В – Лістинг (програмний код)

Розрахунки були проведені в пакеті прикладних програм MATLAB з використанням однойменної мови програмування.

```
function [CA, CAI, CAr]=centroidIT2(A)
%
% [CA, CAI, CAr]=centroidIT2(A)
%
% To compute the centroid of an IT2 FS, which is defined by nine
% parameters (a, b, c, d, e, f, g, i, h)
%
% A: an IT2 FS represented by 9 parameters.
% CA: center of centroid of A
% CAI: left bound of the centroid
% CAr: right bound of the centroid
if length(A)~=9
    error('The input vector must be a 9-point representation of an IT2 FS.');
```

```
end
Xs=linspace(A(1),A(4),100);
UMF=mg(Xs,A(1:4),[0 1 1 0]);
LMF=mg(Xs,A(5:8),[0 A(9) A(9) 0]);
CAI=EKM(Xs,LMF,UMF,-1);
CAr=EKM(Xs,LMF,UMF,1);
CA=(CAI+CAr)/2;
```

```
function y = EIASC(xPoint,wLower,wUpper,maxFlag)
%
% y = EIASC(xPoint,wLower,wUpper,maxFlag)
%
```

```

% function to implement the EIASC algorithm
%
% xPoint: x_i
% [wLower, wUpper]: range of w_i
% maxFlag: 1, if to output the maximum; -1, if to output the minimum
% xPoint, wLower and wUpper must have the same length.

if max(wUpper)==0 || max(xPoint)==0
    y=0; return
end

if max(wLower)==0
    if maxFlag>0
        y=max(xPoint);
    else
        y=min(xPoint);
    end
    return;
end

if length(xPoint)==1
    y=xPoint;
    return;
end

% combine zero firing intervals
I=find(wUpper==0);
xPoint(I)=[];
wLower(I)=[];
wUpper(I)=[];
% combine zero xs

```



```

[xSort,xIndex] = sort(xPoint);
lowerSort = wLower(xIndex);
upperSort = wUpper(xIndex);
k=find(xSort==0,1,'last');
if k>1
    xSort(1)=0;
    xSort(2:k)=[];
    lowerSort(1)=sum(lowerSort(1:k));
    lowerSort(2:k)=[];
    upperSort(1)=sum(upperSort(1:k));
    upperSort(2:k)=[];
end
% Change column vector into row vector
if size(xSort,1)>1
    xSort=xSort';
end
if size(lowerSort,1)>1
    lowerSort=lowerSort';
end
if size(upperSort,1)>1
    upperSort=upperSort';
end
ly=length(xSort);
a = sum(xSort.*lowerSort);
b = sum(lowerSort);
if maxFlag<0
    L = 0;
    while(1)
        L = L + 1;
    end
end

```

```

    a = a + xSort(L)*(upperSort(L)-lowerSort(L));
    b = b + (upperSort(L)-lowerSort(L));
    y = a/b;
    if y <= xSort(L + 1)
        break;
    end
end
else
    R = ly;
    while(1)
        a = a + xSort(R)*(upperSort(R)-lowerSort(R));
        b = b + (upperSort(R)-lowerSort(R));
        y = a/b;
        R = R - 1;
        if y >= xSort(R)
            break;
        end
    end
end
end

```

```

function y = EKM(xPoint,wLower,wUpper,maxFlag)
%
% y = EKM(xPoint,wLower,wUpper,maxFlag)
%
% function to implement the EKM algorithms
%
% [wLower, wUpper]: range of w_i
% maxFlag: 1, if to output the maximum; -1, if to output the minimum
% xPoint, wLower and wUpper must have the same length.

```

```

if max(wUpper)==0 || max(xPoint)==0
    y=0; return
end
if max(wLower)==0
    if maxFlag>0
        y=max(xPoint);
    else
        y=min(xPoint);
    end
    return;
end
if length(xPoint)==1
    y=xPoint;
    return;
end
% combine zero firing intervals
I=find(wUpper==0);
xPoint(I)=[];
wLower(I)=[];
wUpper(I)=[];

% combine zero xs
[xSort,xIndex] = sort(xPoint);
lowerSort = wLower(xIndex);
upperSort = wUpper(xIndex);
k=find(xSort==0,1,'last');
if k>1
    xSort(1)=0;
    xSort(2:k)=[];
end

```

```

    lowerSort(1)=sum(lowerSort(1:k));
    lowerSort(2:k)=[];
    upperSort(1)=sum(upperSort(1:k));
    upperSort(2:k)=[];
end

% Change column vector into row vector
if size(xSort,1)>1
    xSort=xSort';
end
if size(lowerSort,1)>1
    lowerSort=lowerSort';
end
if size(upperSort,1)>1
    upperSort=upperSort';
end

ly=length(xSort);
if maxFlag<0
    k=round(ly/2.4);
    temp=[upperSort(1:k) lowerSort(k+1:ly)];
else
    k=round(ly/1.7);
    temp=[lowerSort(1:k) upperSort(k+1:ly)];
end
a=sum(temp.*xSort);
b=sum(temp);
y = a/b;
kNew = find(xSort > y,1)-1;

```

```

%counter = 0;
while k~=kNew
    %counter = counter + 1;
    %if counter > 1000
    %    break
    %end
    mink=min(k,kNew);
    maxk=max(k,kNew);
    temp=upperSort(mink+1:maxk)-lowerSort(mink+1:maxk);
    b=b-sign(kNew-k)*sign(maxFlag)*sum(temp);
    a=a-sign(kNew-k)*sign(maxFlag)*sum(temp.*xSort(mink+1:maxk));
    y = a/b;
    k=kNew;
    kNew = find(xSort>y,1)-1;
end

```

```

clc

```

```

%clear all

```

```

close all

```

```

%% Read Data

```

```

[A,words] = xlsread('vocabulary.xls');

```

```

words=words(1,1:2:end)

```

```

[row, col] = size(A);

```

```

%% Compute the FOU's and centroids

```

```

for i=1:col/2
    L = A(1:row, 2*i-1); %% Left end-points for interval data.
    R = A(1:row, 2*i); %% Right end-points for interval data.
    MFs(i,:) = IA(L,R) %% Map into an IT2 FS
    Cs(i)=centroidIT2(MFs(i,:)); %% Compute the centroid
end

%% Sort the MFs in ascending order according to the centers of centroids
[Cs,index]=sort(Cs); % Sort the centers of the centroids
MFs=MFs(index,:)

words1=words(index) % Reorder the names of words

%% Plot the ordered interval type-2 word models
figure
set(gcf,'DefaulttextFontName','times new roman');
set(gcf,'DefaultaxesFontName','times new roman');
set(gcf,'DefaulttextFontAngle','italic');
for i=1:8
    subplot(10,6,i*6);
    plotIT2(MFs(i,:));
    title(words1(i),'fontsize',9);
    set(gca,'YTick',[]);
    set(gca,'XTick',[]);
    axis([0 12 0 1]);
end
saveas(gcf,'Fig3-18.eps');

%% Compute the FOU and centroids, specifying Very Small to be a left

```

```

%% shoulder
for i=1:col/2
    L = A(1:row, 2*i-1); %% Left end-points for interval data.
    R = A(1:row, 2*i); %% Right end-points for interval data.
    if i==1
        MFs(i,:) = IA(L,R,1); %% Specify Very Small to be a left-shoulder
    else
        MFs(i,:) = IA(L,R); %% Map into an IT2 FS
    end
    Cs(i)=centroidIT2(MFs(i,:)); %% Compute the centroid
end

%% Sort the MFs in ascending order according to the centers of centroids
[Cs,index]=sort(Cs); % Sort the centers of the centroids
MFs=MFs(index,:);
words2=words(index); % Reorder the names of words

%% Plot the ordered interval type-2 word models
figure
set(gcf,'DefaulttextFontName','times new roman');
set(gcf,'DefaultaxesFontName','times new roman');
set(gcf,'DefaulttextFontAngle','italic');
for i=1:8
    subplot(8,6,2*floor((i-1)/5)+i);
    plotIT2(MFs(i,:));
    title(words2(i),'fontsize',9);
    set(gca,'YTick',[]);
    set(gca,'XTick',[]);
    axis([0 12 0 1]);

```

end

% Plot Very Small

figure

set(gcf,'DefaulttextFontName','times new roman');

set(gcf,'DefaultaxesFontName','times new roman');

set(gcf,'DefaulttextFontAngle','italic');

subplot(8,6,1);

plotIT2(MFs(5,:));

title(words2(5),'fontsize',10);

set(gca,'YTick',[]);

set(gca,'XTick',[]);

axis([0 12 0 1]);

saveas(gcf,'Fig3-19.eps');

%MFs(:,1)

%MFs(:,2)

%MFs(:,3)

%MFs(:,4)

%MFs(:,5)

%MFs(:,6)

%MFs(:,7)

%MFs(:,8)

%MFs(:,9)

function [Y,y,mu] = FWA(X,W,n)

%

% [Y,y,mu] = FWA(X,W,n)


```

%
% To compute the FWA [1] for trapezoidal T1 FSs described by five parameters
% (e,f,g,h,i)
%
% X: T1 FSs for the subcriteria
% W: T1 FSs for the weights. It must have the same number of rows as X.
% n: number of alpha-cuts. The default value is 2.
%
% Y: the FWA approximated by 5 parameters.
% y and mu: y- and mu-coordinates of the FWA.

%% check whether the size of the vectors match
if length(X)~=length(W)
    display('Error: The sizes of the input vectors do not match. Abort.');
```

return

```
end

if nargin==2 %% set default n
    n=2;
end

[N,M]=size(X); %% N: number of rows
if M==4
    X(:,5)=1; % set default height
end
if size(W,2)==4
    W(:,5)=1; % set default height
end
```

```

hmin=min([X(:,5); W(:,5)]); %% height of the FWA
mu=hmin*[0:1/(n-1):1 1:-1/(n-1):0]; %% mu-coordinates of the FWA

a=zeros(1,N);
b=zeros(1,N);
c=zeros(1,N);
d=zeros(1,N);
y=zeros(1,2*n);
t_t = zeros(1,2*n);
for i=1:n
    %% a,b: alpha-cut on X
    for j=1:N %% for each input, compute the alpha-cut
        %% a,b: alpha-cut on X
        a(j)=X(j,1)+(X(j,2)-X(j,1))*mu(i)/X(j,5);
        b(j)=X(j,4)-(X(j,4)-X(j,3))*mu(i)/X(j,5);
        %% c,d: alpha-cut on W
        c(j)=W(j,1)+(W(j,2)-W(j,1))*mu(i)/W(j,5);
        d(j)=W(j,4)-(W(j,4)-W(j,3))*mu(i)/W(j,5);
    end
    y(i)=EKM(a,c,d,-1);
    y(2*n+1-i)=EKM(b,c,d,1);
%   y(i) = EIASC(a,c,d,-1);
%   y(2*n+1-i) = EIASC(b,c,d,1);

end
Y=[y([1 n n+1 2*n]) hmin];

```

```

function [MF, nums] = IA(L,R,shape)
%
% [MF, nums] = IA(L,R,shape)
%
% L: left end-points of the intervals from survey
% R: right end-points of the intervals from survey
% shape: specify whether the FOU should be left-shoulder (1), interior (2),
% or right-shoulder (3). By default, the shape is determined automatically.
% MFs: MFs of the word model defined by 9 parameters
% nums: number of remaining intervals after each preprocessing steps, and mean and
% std of the final left and right end-points

%% Bad data processing, see Equation (1) in paper

for i=length(L):-1:1
    if L(i)<0 || L(i)>1 || R(i)<0 || R(i)>1 || R(i)<L(i)
        L(i) = [];
        R(i) = [];
    end
end

end

nums=[];
nums=[nums length(L)];

%% Outlier processing, see Equation (2) in paper
intLeng = R-L;
left = sort(L);
right = sort(R);
leng = sort(intLeng);
n=length(L);

```

```

NN1 = floor(n * 0.25 + 0.5);
NN2 = floor(n * 0.75 + 0.5);

% Compute Q(0.25), Q(0.75) and IQR for left-ends
QL25 = (0.5 - n * 0.25 + NN1) * left(NN1) + (n * 0.25 + 0.5 - NN1) *
left(NN1+1);
QL75 = (0.5 - n * 0.75 + NN2) * left(NN2) + (n * 0.75 + 0.5 - NN2) *
left(NN2+1);
LIQR = QL75 - QL25;

% Compute Q(0.25), Q(0.75) and IQR for right-ends.
QR25 = (0.5 - n * 0.25 + NN1) * right(NN1) + (n * 0.25 + 0.5 - NN1) *
right(NN1+1);
QR75 = (0.5 - n * 0.75 + NN2) * right(NN2) + (n * 0.75 + 0.5 - NN2) *
right(NN2+1);
RIQR = QR75 - QR25;

% Compute Q(0.25), Q(0.75) and IQR for interval length.
QLeng25 = (0.5 - n * 0.25 + NN1) * leng(NN1) + (n * 0.25 + 0.5 - NN1) *
leng(NN1+1);
QLeng75 = (0.5 - n * 0.75 + NN2) * leng(NN2) + (n * 0.75 + 0.5 - NN2) *
leng(NN2+1);
lengIQR = QLeng75 - QLeng25;
bound=.25;

% outlier processing
for i=n:-1:1
    if (LIQR>bound && (L(i)<QL25-1.5*LIQR || L(i)>QL75+1.5*LIQR))...

```

```

||(RIQR>bound && (R(i)<QR25-1.5*RIQR || R(i)>QR75+1.5*RIQR))...
||(lengIQR>bound && (intLeng(i)<QLeng25-1.5*lengIQR ||
intLeng(i)>QLeng75+1.5*lengIQR))
    L(i) = [];
    R(i) = [];
    intLeng(i)=[];
end
end
nums=[nums length(L)];

%% Tolerance limit processing, see Equation (3) in paper
n1 = length(L);
NN = 2000;

rand('state', 22331);
AA = floor(n1*rand(n1, NN))+1;
resampleL = L(AA);
resampleR = R(AA);
resampleLeng = intLeng(AA);

tempMeanL = mean(resampleL);
tempMeanR = mean(resampleR);
tempMeanLeng = mean(resampleLeng);

meanL = mean(tempMeanL);
stdL = sqrt(n1)* std(tempMeanL);
meanR = mean(tempMeanR) ;
stdR = sqrt(n1)* std(tempMeanR);
meanLeng = mean(tempMeanLeng);

```

```
stdLeng = sqrt(n1)* std(tempMeanLeng);
```

```
K=[32.019 32.019 8.380 5.369 4.275 3.712 3.369 3.136 2.967 2.839...
    2.737 2.655 2.587 2.529 2.48 2.437 2.4 2.366 2.337 2.31...
    2.31 2.31 2.31 2.31 2.208];
```

```
k=K(min(length(L),25));
```

```
for i=length(L):-1:1
```

```
    if (stdL>bound && (L(i)<meanL-k*stdL || L(i)>meanL + k*stdL))...
```

```
        || (stdR>bound && (R(i)<meanR-k*stdR || R(i)>meanR + k*stdR))...
```

```
        || (stdLeng>bound && (intLeng(i)<meanLeng-k*stdLeng||
```

```
intLeng(i)>meanLeng + k*stdLeng))
```

```
        L(i) = [];
```

```
        R(i) = [];
```

```
        intLeng(i)=[];
```

```
    end
```

```
end
```

```
nums=[nums length(L)];
```

```
%% Reasonable interval processing, see Equation (4)-(6) in paper
```

```
n1 = length(L);
```

```
NN = 2000;
```

```
rand('state', 231);
```

```
AA = floor(n1*rand(n1, NN))+1;
```

```
resampleL = L(AA);
```

```
resampleR = R(AA);
```

```
tempMeanL = mean(resampleL);
```

```

tempMeanR = mean(resampleR);

meanL = mean(tempMeanL);
stdL = sqrt(n1)* std(tempMeanL);
meanR = mean(tempMeanR) ;
stdR = sqrt(n1)* std(tempMeanR);

% Determine sigma*, see formula (5) in paper
if stdL+stdR==0
    barrier = (meanL + meanR)/2;
elseif stdL==0
    barrier = meanL+0.01;
elseif stdR==0
    barrier = meanR-0.01;
else
    barrier1 =(-(meanL*stdR^2-meanR*stdL^2) + stdL*stdR*sqrt((meanL-
meanR)^2+2*(stdL^2-stdR^2)*log(stdL/stdR)))/(stdL^2-stdR^2);
    barrier2 =(-(meanL*stdR^2-meanR*stdL^2) - stdL*stdR*sqrt((meanL-
meanR)^2+2*(stdL^2-stdR^2)*log(stdL/stdR)))/(stdL^2-stdR^2);
    if barrier1>=meanL && barrier1<=meanR
        barrier = barrier1;
    else
        barrier = barrier2;
    end
end

% Reasonable interval processing
for i=length(L):-1:1
    if L(i)>barrier || R(i)< barrier

```

```

    L(i) = [];
    R(i) = [];
    intLeng(i)=[];
end
end
nums=[nums length(L)];

ml=mean(L);
sl=std(L);
mr=mean(R);
sr=std(R);

%% Admissible region determination
tTable=[6.314 2.920 2.353 2.132 2.015 1.943 1.895 1.860 1.833 1.812 1.796
1.782...
1.771 1.761 1.753 1.746 1.740 1.734 1.729 1.725 1.721 1.717 1.714 1.711...
1.708 1.706 1.703 1.701 1.699 1.697 1.684]; % alpha = 0.05;
tAlpha=tTable(min(n,31));
meanL = mean(L);
meanR = mean(R);
C = R - 5.831*L;
D = R - 0.171*L - 9.942;
shift1 = tAlpha * std(C)/sqrt(n);
shift2 = tAlpha * std(D)/sqrt(n);

% Establish nature of FOU, see Equation (19) in paper
if (nargin==2 && meanR>5.831*meanL-shift1) || (nargin==3 && shape==1)
    for i=length(L):-1:1
        % left shoulder embedded T1 FS

```



```

FSL(i) = 0.5*(L(i)+R(i)) - (R(i)-L(i))/sqrt(6);
FSR(i) = 0.5*(L(i)+R(i)) + sqrt(6)*(R(i)-L(i))/3;

% Delete inadmissible T1 FSs
if FSL(i)<0 || FSR(i)>1
    FSL(i)=[];
    FSR(i)=[];
end
end

% Compute the mathematical model for FOU(A~)
UMF =[0, 0, max(FSL), max(FSR)];
LMF = [0, 0, min(FSL), min(FSR), 1];
elseif (nargin==2 && meanR>9.942+0.171*meanL-shift2) || (nargin==3 &&
shape==3)
for i=length(L):-1:1
    % right shoulder embedded T1 FS
    FSL(i) = 0.5*(L(i)+R(i)) - sqrt(6)*(R(i)-L(i))/3;
    FSR(i) = 0.5*(L(i)+R(i)) + (R(i)-L(i))/sqrt(6);
    % Delete inadmissible T1 FSs
    if FSL(i)<0 || FSR(i)>12
        FSL(i)=[];
        FSR(i)=[];
    end
end

% Compute the mathematical model for FOU(A~)
UMF =[min(FSL), min(FSR), 1, 1];
LMF = [max(FSL), max(FSR), 1, 1, 1];
else
for i=length(L):-1:1

```

```

%% internal embedded T1 FS
FSL(i) = 0.5*(L(i)+R(i)) - sqrt(2)*(R(i)-L(i))/2;
FSR(i) = 0.5*(L(i)+R(i)) + sqrt(2)*(R(i)-L(i))/2;

% Delete inadmissible T1 FSs
if FSL(i)< 0 || FSR(i)>1
    FSL(i)= [];
    FSR(i)= [];
end
end
FSC=(FSL+FSR)/2;
% Compute the mathematical model for FOU(A~)
L1 = min(FSL);
L2 = max(FSL);
R1 = min(FSR);
R2 = max(FSR);
C1 = min(FSC);
C2 = max(FSC);

temp = (R1-C1)/(C2-L2);
apex = (R1+temp*L2)/(1+temp);
height = (R1-apex)/(R1-C1);
UMF =[L1, C1, C2, R2];
LMF = [L2, apex, apex, R1, height];
end

MF=[UMF LMF];
nums=[nums length(FSL) ml sl mr sr];

```

```

function [Y,UMFYy,UMFYmu,LMFYy,LMFYmu] = IT2OWA(X,W,n)

%
% [Y, UMFYy,UMFYmu,LMFYy,LMFYmu] = IT2OWA(X,W,n)
%
% X and W: MFs of the subcriteria and weights. They have the same number of
% rows.
% n: number of alpha-cuts. Default is 2.
%
% Y: the IT2 OWA approximated by 9 parameters.
% UMFYy and UMFYmu: y- and mu-coordinates of the UMF of the IT2 OWA
% LMFYy and LMFYmu: y- and mu-coordinates of the LMF of the IT2 OWA

if nargin==2 %% set default n
    n=2;
end

if size(X,2)==8
    X(:,9)=1; % set default height
end
if size(W,2)==8
    W(:,9)=1; % set default height
end

[Yu,UMFYy,UMFYmu] = T1OWA(X(:,1:4),W(:,1:4),n);
[Yl,LMFYy,LMFYmu] = T1OWA(X(:,5:9),W(:,5:9),n);
Y=[Yu(1:4) Yl];

```

```

function S=Jaccard(A,B)

%
% S=Jaccard(A,B)
%
% To compute the Jaccard similarity measure between two IT2 FSs.
%
% S: The Jaccard similarity measure

N=200; % number of discretizations
minX=min(A(1),B(1)); % the range
maxX=max(A(4),B(4));
X=linspace(minX,maxX,N);

lowerA=mg(X,A(5:8),[0 A([9 9]) 0]);
upperA=mg(X,A(1:4));
lowerB=mg(X,B(5:8),[0 B([9 9]) 0]);
upperB=mg(X,B(1:4));

S=sum([min([upperA;upperB]),
min([lowerA;lowerB])])/sum([max([upperA;upperB]), max([lowerA;lowerB])]);



---


function [Y,UMFYy,UMFYmu,LMFYy,LMFYmu] = LWA(X,W,n)

%
% [Y, UMFYy,UMFYmu,LMFYy,LMFYmu] = LWA(X,W,n)
%

```

```

%
% X and W: MFs of the subcriteria and weights. They have the same number of
% rows.
% n: number of alpha-cuts. Default is 2.
%
% Y: the LWA approximated by 9 parameters.
% UMFYy and UMFYmu: y- and mu-coordinates of the UMF of the LWA
% LMFYy and LMFYmu: y- and mu-coordinates of the LMF of the LWA

if nargin==2 %% set default n
    n=2;
end

if size(X,2)==8
    X(:,9)=1; % set default height
end
if size(W,2)==8
    W(:,9)=1; % set default height
end

[Yu,UMFYy,UMFYmu] = FWA(X(:,1:4),W(:,1:4),n);
[Yl,LMFYy,LMFYmu] = FWA(X(:,5:9),W(:,5:9),n);
Y=[Yu(1:4) Yl];

```

```

function u=mg(x,xMF,uMF)

%
% f=mg(x,xMF,uMF)
%

```

```

% function to compute the membership grades of x on a T1 FS
%
% xMF: x-coordinates of the T1 FS
% uMF: u-coordinates of the T1 FS
% u: membership of x on the T1 FS

if nargin==2
    uMF=[0 1 1 0];
elseif length(xMF)~=length(uMF)
    error('xMF and uMF must have the same length.');
```

```

end

[xMF,index]=sort(xMF);
uMF=uMF(index);

u=zeros(size(x));
for i=1:length(x)
    if x(i)<=xMF(1) | x(i)>=xMF(end)
        u(i)=0;
    else
        left=find(xMF<x(i),1,'last');
        right=left+1;
        u(i)=uMF(left)+(uMF(right)-uMF(left))*(x(i)-xMF(left))/(xMF(right)-
xMF(left));
    end
end

function [Y,y,mu] = OFWA(X,W,n)

```

```

%
% [Y,y,mu] = OFWA(X,W,n)
%
% X: T1 FSs for the subcriteria
% W: T1 FSs for the weights. It must have the same number of rows as X.
% n: number of alpha-cuts. The default value is 2.
%
% Y: the FWA approximated by 5 parameters.
% y and mu: y- and mu-coordinates of the OFWA.

if nargin==2 %% set default n
    n=2;
end

M=length(X);
c=zeros(1,M);
for i=1:M
    c(i)=centroidT1(X(i,:));
end
[c,index]=sort(c,'descend');
[Y,y,mu] = FWA(X(index,:),W,n);

```

```

function [Y,UMFYy,UMFYmu,LMFYy,LMFYmu] = OLWA(X,W,n)

```

```

%
% [Y, UMFYy,UMFYmu,LMFYy,LMFYmu] = OLWA(X,W,n)
%
% X and W: MFs of the subcriteria and weights. They have the same number of

```

```

% rows.
% n: number of alpha-cuts. Default is 2.
%
% Y: the OLWA approximated by 9 parameters.
% UMFYy and UMFYmu: y- and mu-coordinates of the UMF of the OLWA
% LMFYy and LMFYmu: y- and mu-coordinates of the LMF of the OLWA

if nargin==2 %% set default n
    n=2;
end

[M,N]=size(X);
c=zeros(1,M);
for i=1:M
    c(i)=centroidIT2(X(i,:));
end
[c,index]=sort(c,'descend');
[Y,UMFYy,UMFYmu,LMFYy,LMFYmu]=LWA(X(index,:),W,n);

```

```

function plotIT2(xUMF,uUMF,xLMF,uLMF,domain)

%
% plotIT2(xUMF,uUMF,xLMF,uLMF,domain)
%
% function to plot an IT2 FS in a specified domain
%
% IF there are more than two inputs, the function implements
% plotIT2(xUMF,uUMF,xLMF,uLMF,domain), where
% xUMF: x-coordinates of the UMF

```



```

% uUMF: u-coordinates of the UMF
% xLMF: x-coordinates of the LMF
% uLMF: u-coordinates of the LMF
% domain: [l, r], the universe of discourse. Default [min(xUMF), max(xUMF)].
%
% IF there are one or two inputs, the function implements
% plotIT2(A,domain), where
% A: nine-parameter representation of an IT2 FS A
% domain: [l, r], the universe of discourse. Default [A(1), A(4)]

if ~find(nargin==[1 2 4 5])
    error('The number of inputs must be 1, 2, 4 or 5.');
```

end

```

if nargin>2
    if length(xUMF)~=length(uUMF)
        error('xUMF and uUMF must have the same length.');
```

end

```

    if length(xLMF)~=length(uLMF)
        error('xLMF and uLMF must have the same length.');
```

end

```

    if nargin==4
        domain=[min(xUMF), max(xUMF)];
```

end

```

elseif nargin==1
    A=xUMF;
    domain=[A(1), A(4)];
    xUMF=linspace(domain(1),domain(2),100);
    xLMF=xUMF;
```

```

uUMF=mg(xUMF,A(1:4),[0 1 1 0]);
uLMF=mg(xLMF,A(5:8),[0 A([9 9]) 0]);
elseif nargin==2
    A=xUMF;
    domain=uUMF;
    xUMF=linspace(domain(1),domain(2),100);
    xLMF=xUMF;
    uUMF=mg(xUMF,A(1:4),[0 1 1 0]);
    uLMF=mg(xLMF,A(5:8),[0 A([9 9]) 0]);
end

fill([xUMF xLMF(end:-1:1)],[uUMF uLMF(end:-1:1)],[0.9 0.9 0.9]);
hold on
plot([xUMF xLMF(end:-1:1)],[uUMF uLMF(end:-1:1)],'k-','linewidth',1.2);
if nargin==4
    domain=[min(xUMF), max(xUMF)];
end
axis([domain 0 1.1]);

```

```

function ss=VS(A,B)

```

```

N=200; % number of discretizations
minX=min(A(1),B(1)); % the range
maxX=max(A(4),B(4));
X=linspace(minX,maxX,N);

lowerA=mg(X,A(5:8),[0 A([9 9]) 0]);
upperA=mg(X,A(1:4));
lowerB=mg(X,B(5:8),[0 B([9 9]) 0]);

```

```
upperB=mg(X,B(1:4));
```

```
ss=(sum(min([lowerA;upperB]))+sum(min([upperA;upperB])))/(sum(lowerA)+sum(upperA));
```

```
function [Y,y,mu] = T1OWA(X,W,n)
```

```
%
```

```
% [Y,y,mu] = T1OWA(X,W,n)
```

```
%
```

```
% X: T1 FSs for the subcriteria
```

```
% W: T1 FSs for the weights. It must have the same number of rows as X.
```

```
% n: number of alpha-cuts. The default value is 2.
```

```
%
```

```
% Y: the T1OWA approximated by 5 parameters.
```

```
% y and mu: y- and mu-coordinates of the T1OWA.
```

```
%% check whether the size of the vectors match
```

```
if length(X)~=length(W)
```

```
    display('Error: The sizes of the input vectors do not match. Abort.');
```

```
    return
```

```
end
```

```
if nargin==2 %% set default n
```

```
    n=2;
```

```
end
```

```
[N,M]=size(X); %% N: number of rows
```

```

if M==4
    X(:,5)=1; % set default height
end
if size(W,2)==4
    W(:,5)=1; % set default height
end

hmin=min([X(:,5); W(:,5)]); %% height of the FWA
mu=hmin*[0:1/(n-1):1 1:-1/(n-1):0]; %% mu-coordinates of the FWA

a=zeros(1,N);
b=zeros(1,N);
c=zeros(1,N);
d=zeros(1,N);
y=zeros(1,2*n);

for i=1:n
    %% a,b: alpha-cut on X
    for j=1:N %% for each input, compute the alpha-cut
        %% a,b: alpha-cut on X
        a(j)=X(j,1)+(X(j,2)-X(j,1))*mu(i)/X(j,5);
        b(j)=X(j,4)-(X(j,4)-X(j,3))*mu(i)/X(j,5);
        %% c,d: alpha-cut on W
        c(j)=W(j,1)+(W(j,2)-W(j,1))*mu(i)/W(j,5);
        d(j)=W(j,4)-(W(j,4)-W(j,3))*mu(i)/W(j,5);
    end
    y(i)=EKM(sort(a,'descend'),c,d,-1);
    y(2*n+1-i)=EKM(sort(b,'descend'),c,d,1);
end

```

```
Y=[y([1 n n+1 2*n]) hmin];
```

```
function y = EIASC(xPoint,wLower,wUpper,maxFlag)
```

```
%
```

```
% y = EIASC(xPoint,wLower,wUpper,maxFlag)
```

```
%
```

```
% function to implement the EIASC algorithm
```

```
%
```

```
% xPoint: x_i
```

```
% [wLower, wUpper]: range of w_i
```

```
% maxFlag: 1, if to output the maximum; -1, if to output the minimum
```

```
% xPoint, wLower and wUpper must have the same length.
```

```
if max(wUpper)==0 || max(xPoint)==0
```

```
    y=0; return
```

```
end
```

```
if max(wLower)==0
```

```
    if maxFlag>0
```

```
        y=max(xPoint);
```

```
    else
```

```
        y=min(xPoint);
```

```
    end
```

```
    return;
```

```
end
```

```
if length(xPoint)==1
```

```
    y=xPoint;
```

```

    return;
end
% combine zero firing intervals
I=find(wUpper==0);
xPoint(I)=[];
wLower(I)=[];
wUpper(I)=[];
% combine zero xs
[xSort,xIndex] = sort(xPoint);
lowerSort = wLower(xIndex);
upperSort = wUpper(xIndex);
k=find(xSort==0,1,'last');
if k>1
    xSort(1)=0;
    xSort(2:k)=[];
    lowerSort(1)=sum(lowerSort(1:k));
    lowerSort(2:k)=[];
    upperSort(1)=sum(upperSort(1:k));
    upperSort(2:k)=[];
end
% Change column vector into row vector
if size(xSort,1)>1
    xSort=xSort';
end
if size(lowerSort,1)>1
    lowerSort=lowerSort';
end
if size(upperSort,1)>1
    upperSort=upperSort';
end

```

```

end
ly=length(xSort);
a = sum(xSort.*lowerSort);
b = sum(lowerSort);
if maxFlag<0
    L = 0;
    while(1)
        L = L + 1;
        a = a + xSort(L)*(upperSort(L)-lowerSort(L));
        b = b + (upperSort(L)-lowerSort(L));
        y = a/b;
        if y <= xSort(L + 1)
            break;
        end
    end
else
    R = ly;
    while(1)
        a = a + xSort(R)*(upperSort(R)-lowerSort(R));
        b = b + (upperSort(R)-lowerSort(R));
        y = a/b;
        R = R - 1;
        if y >= xSort(R)
            break;
        end
    end
end
end

```

```
function y = EKM(xPoint,wLower,wUpper,maxFlag)
```

```

%
% y = EKM(xPoint,wLower,wUpper,maxFlag)
%
% function to implement the EKM algorithms
%
% [wLower, wUpper]: range of w_i
% maxFlag: 1, if to output the maximum; -1, if to output the minimum
% xPoint, wLower and wUpper must have the same length.
if max(wUpper)==0 || max(xPoint)==0
    y=0; return
end
if max(wLower)==0
    if maxFlag>0
        y=max(xPoint);
    else
        y=min(xPoint);
    end
    return;
end
if length(xPoint)==1
    y=xPoint;
    return;
end
% combine zero firing intervals
I=find(wUpper==0);
xPoint(I)=[];
wLower(I)=[];
wUpper(I)=[];

```



```

% combine zero xs
[xSort,xIndex] = sort(xPoint);
lowerSort = wLower(xIndex);
upperSort = wUpper(xIndex);
k=find(xSort==0,1,'last');
if k>1
    xSort(1)=0;
    xSort(2:k)=[];
    lowerSort(1)=sum(lowerSort(1:k));
    lowerSort(2:k)=[];
    upperSort(1)=sum(upperSort(1:k));
    upperSort(2:k)=[];
end

% Change column vector into row vector
if size(xSort,1)>1
    xSort=xSort';
end
if size(lowerSort,1)>1
    lowerSort=lowerSort';
end
if size(upperSort,1)>1
    upperSort=upperSort';
end

ly=length(xSort);
if maxFlag<0
    k=round(ly/2.4);
    temp=[upperSort(1:k) lowerSort(k+1:ly)];

```

```

else
    k=round(ly/1.7);
    temp=[lowerSort(1:k) upperSort(k+1:ly)];
end
a=sum(temp.*xSort);
b=sum(temp);
y = a/b;
kNew = find(xSort > y,1)-1;

%counter = 0;
while k~=kNew
    %counter = counter + 1;
    %if counter > 1000
    %    break
    %end
    mink=min(k,kNew);
    maxk=max(k,kNew);
    temp=upperSort(mink+1:maxk)-lowerSort(mink+1:maxk);
    b=b-sign(kNew-k)*sign(maxFlag)*sum(temp);
    a=a-sign(kNew-k)*sign(maxFlag)*sum(temp.*xSort(mink+1:maxk));
    y = a/b;
    k=kNew;
    kNew = find(xSort>y,1)-1;
end

```

```
clc
```

```
%clear all
```

```

close all

%% Read Data
[A,words] = xlsread('vocabulary.xls');
words=words(1,1:2:end)
[row, col] = size(A);

%% Compute the FOU's and centroids
for i=1:col/2
    L = A(1:row, 2*i-1); %% Left end-points for interval data.
    R = A(1:row, 2*i); %% Right end-points for interval data.
    MFs(i,:) = IA(L,R) %% Map into an IT2 FS
    Cs(i)=centroidIT2(MFs(i,:)); %% Compute the centroid
end

%% Sort the MFs in ascending order according to the centers of centroids
[Cs,index]=sort(Cs); % Sort the centers of the centroids
MFs=MFs(index,:)

words1=words(index) % Reorder the names of words

%% Plot the ordered interval type-2 word models
figure
set(gcf,'DefaulttextFontName','times new roman');
set(gcf,'DefaultaxesFontName','times new roman');
set(gcf,'DefaulttextFontAngle','italic');
for i=1:8
    subplot(10,6,i*6);
    plotIT2(MFs(i,:));

```

```

title(words1(i),'fontsize',9);
set(gca,'YTick',[]);
set(gca,'XTick',[]);
axis([0 12 0 1]);
end
saveas(gcf,'Fig3-18.eps');

%% Compute the FOU and centroids, specifying Very Small to be a left
%% shoulder
for i=1:col/2
    L = A(1:row, 2*i-1); %% Left end-points for interval data.
    R = A(1:row, 2*i); %% Right end-points for interval data.
    if i==1
        MFs(i,:) = IA(L,R,1); %% Specify Very Small to be a left-shoulder
    else
        MFs(i,:) = IA(L,R); %% Map into an IT2 FS
    end
    Cs(i)=centroidIT2(MFs(i,:)); %% Compute the centroid
end.

```