

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Іванець Ольга Борисівна



УДК 629.519.7/614

**МЕТОДОЛОГІЯ СИНТЕЗУ УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИМ
СТАНОМ ПЕРСОНАЛУ З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В
УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

Спеціальність 05.13.03 — системи та процеси керування

Реферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2024

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Храцевський Рімвідас Вілімович,
Національний авіаційний університет, м. Київ,
перший проректор

Опоненти: доктор технічних наук, професор
Лисенко Олександр Іванович,
Національний технічний університету України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського” м. Київ, професор кафедри телекому-
нікацій інституту телекомунікаційних систем;

доктор технічних наук, професор
Машков Олег Альбертович,
Державна екологічна академія післядипломної освіти
та управління, м. Київ, професор кафедри екологічної
безпеки;

доктор технічних наук, професор
Тупкало Віталій Миколайович
Київський університет інтелектуальної власності та
права Національного університету “Одеська юридична
академія”, м. Київ, професор кафедри кібербезпеки,
інформаційних технологій та економіки

Захист відбудеться “ 12 ” “ липня ” 2024 р. об 11⁰⁰ годині в аудиторії 1.334 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.03 при Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, пр-т Л.Гузара, 1 .

З дисертацією можна ознайомитися на офіційному сайті <https://asdoc.nau.edu.ua/golovne-menyu/specz%D1%96al%D1%96zovan%D1%96vchen%D1%96-radi-z-prisudzhennya-stupenya-doktora-nauk/specz%D1%96al%D1%96zovana-vchena-rada-d-26.062.03/05.13.03-%C2%ABsistemi-ta-proczesi-keruvannya%C2%BB> та в науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, Київ, проспект Любомира Гузара, 1, корпус 8б, каб. 20.

Реферат розісланий “ _____ ” _____ 2024 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.062.03



Юлія КВАЧ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Згідно розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 червня 2021 р. № 656-р. «Про схвалення Державної програми з безпеки польотів» цивільна авіація є невід'ємною частиною економіки та суспільства, що інтегрована в транспортну систему України. Забезпечення безпеки польотів є пріоритетом діяльності авіаційного транспорту і невід'ємною складовою національної безпеки. Україна як держава, що приєдналася до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію, несе відповідальність за виконання міжнародних зобов'язань, що випливають з Конвенції, в тому числі впровадження Державної програми з безпеки польотів, що є цілісною основою ефективного та результативного управління безпекою польотів. В основі управління безпекою польотів лежить системний підхід до виявлення і усунення небезпечних факторів та здійснення контролю за ризиками для забезпечення безпеки польотів з метою мінімізації людських втрат, матеріальних, фінансових, екологічних та соціальних збитків. Реалізація ефективної системи управління безпекою польотів на державному рівні шляхом впровадження положень Європейського регіонального плану з безпеки польотів та відповідно до положень ІКАО Doc 10131 Керівництво з розробки регіональних та національних планів забезпечення безпеки польотів неможливо без адекватної оцінки рівня ризику пов'язаного з виконанням авіаційних робіт. Управління факторами ризику для безпеки польотів на державному рівні необхідне для підтримання високого рівня безпеки польотів та авіаційної безпеки. Для підвищення рівня безпеки в умовах сучасних викликів необхідний системний і всеосяжний підхід до методології оцінювання системи управління безпеки польотів.

Обґрунтування вибору теми дослідження. На даний час проблема розробки моделей та алгоритмів підсистем прогнозування і запобігання несприятливих авіаційних подій в авіаційній галузі визначається, з одного боку, рівнем розвитку математичних методів, а з іншого - потребами прикладної області, розвиток якої зазнає постійне прискорення і веде до якісного і структурного ускладнення досліджуваного об'єкта. Спочатку істотний вплив на розвиток підсистем подібного класу надали математичні імовірнісні методи, що описували різні складові організаційних факторів, людських факторів, сценаріїв розвитку авіаційних подій, тощо. Відповідні питання достатньо глибокого розглядалися в роботах таких вчених як: Г.Л. Баранов, Л.С. Беляєвській, В.П. Бочарніков, В.О. Буров, В.М. Васильєв, В.О. Гуменюк, В.С. Дем'янчук, С.А. Закора, В.П. Колотуша, С.П. Мосов, В.М. Неділько, Л.М. Нестерова, В.Ф. Нгуен, І.В. Остроумов, В.В. Павлов, С.В. Павлова, Б.Б. Поспелов, Л.В. Сібрук, О.Ю. Соколов, В.О. Тимофєєв, В.П. Харченко, Т.Ф.Шмельова та ін. Однак на сучасному етапі дані методи здебільшого зосереджені на організаційних факторах. А методи, що пов'язані з оцінкою людського фактору не є повними, універсальними, часто не враховують біологічну мінливість, що пов'язана з внутрішніми процесами гомеостазу організму оператора, не враховують деякі складові, тому що формалізація

стохастичного впливу на фактори, пов'язані з небезпекою, зокрема на людській фактор, на основі математичних моделей є такими, що важко алгоритмізуються. У зв'язку з цим виникає необхідність додаткової розробки нових ефективних підходів, для формального представлення процесу оцінювання та прогнозування функціонального стану персоналу, як складової людського фактору для запобігання виникнення небезпеки при наданні авіаційних послуг та можливістю їхнього використання в добровільних та обов'язкових сповіщеннях методології оцінювання системи управління безпекою польотів. Обробка статистичних даних про авіаційні події неодноразово підтверджує той факт, що принаймні три з чотирьох подій є наслідком помилок, допущених зовні здоровими операторами з належною кваліфікацією. Особливості професійної працездатності персоналу, межі його адаптаційних можливостей і поведінки в експлуатаційних умовах є основою розуміння концепції управління безпекою польотів. Людський компонент є найбільш гнучкою і адаптованою частиною авіаційної системи, але одночасно він є найбільш чутливими до впливу, яке може несприятливо позначитися на результатах його роботи. Оскільки більшість авіаційних подій є наслідком неоптимальних дій оператора, є тенденція пояснювати їх лише помилкою людини. Тому актуальність даної роботи викликана тим, що на сучасному етапі розвитку науки і техніки існує об'єктивна залежність між можливістю виникнення небезпечної події в складних соціотехнічних системах та рівнем функціонального стану персоналу, зайнятого в процесі їх експлуатації. З цієї причини існує практична потреба в управлінні функціональним станом персоналу з метою мінімізації ризику, пов'язаного з людським фактором. Особливого значення ця потреба набуває в галузі експлуатації авіаційних засобів, де одним із визначальних чинників є зокрема, забезпечення безпеки польотів, що залежить від функціонального стану операторів різного рівня авіаційної галузі. Між тим, у цій галузі існує протиріччя між потребою прогнозування виникнення небезпечної події в умовах невизначеності функціонального стану персоналу та неможливістю проактивного виявлення порушення цього стану із-за відсутності відповідного науково обґрунтованого комплексу методичних інструментів в інтересах управління таким станом. Безпосередньо завдання прогнозування прийняття помилкового рішення при виникненні авіаційної події деякого класу може розглядатися як завдання прогнозування функціонального стану відповідальної особи за результатами аналізу факторів впливу, які формуються від різних джерел інформації в процесі виконання професійних обов'язків. При цьому, питання комплексного підходу до процесу оцінювання та прогнозування функціонального стану оператора як складової людського фактору є недостатньо дослідженими. Для існуючого підходу обов'язкових та добровільних сповіщень, що пов'язані з рівнем втоми та станом персоналу для методології оцінювання системи управління безпекою польотів притаманний досить умовний поділ даного процесу на нечітко сформульовані етапи, що в свою чергу ускладнює процес оцінювання людського фактору в зазначеній методології, не дозволяє мінімізувати необхідний обсяг робіт з контролю

порушення функціонального стану, ускладнює процес кількісного оцінювання поточного стану, що підлягає обов'язковим\добровільним сповіщенням, тощо.

Таким чином, в предметній області, що розглядається має місце протиріччя, що полягає, з одного боку, в необхідності вдосконалення математичних підходів до оцінювання стану найвпливовішого фактора в системі управління безпекою польотів для своєчасного виявлення та прогнозування виникнення небезпечної події, з іншого боку, у відсутності ефективних методів та моделей для вирішення задачі прогнозування і попередження порушення функціонального стану оператора, що є тригером несприятливих авіаційних подій в польоті, що враховують різнотипні підходи до виявлення факторів безпеки та забезпечують комплексний підхід до формування та накопичення знань про процеси прогнозування в рамках проактивного підходу. Розглянуте протиріччя визначає актуальність теми дисертації та необхідність вирішення відповідної наукової проблеми. Аналіз науково-технічної літератури в галузі оцінювання впливу людського фактору на рівень безпеки в авіації доводить що перспективним напрямом управління ризиками в авіації, пов'язаними з впливом людського фактору є прогнозування виникнення небезпечної події та розробка адекватної системи оцінювання функціонального стану оператора, як складової для розробки корегувальних заходів з використанням системи обов'язкових та добровільних сповіщень. В свою чергу методологія оцінювання функціонального стану оператора є частиною загальної системи оцінювання системи управління безпекою польотів, в рамках людського фактору і потребує широкого застосування інформаційно-алгоритмічних методів, статистичних підходів та технологій обробки медико-біологічних параметрів, оцінювання адаптаційних можливостей персоналу, системного підходу, елементів штучного інтелекту для автоматизації відповідних математичних моделей та має важливе значення для розвитку всієї методології оцінювання системи управління безпекою польотів та визначає напрямок дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота пов'язана з Державною програмою авіаційної безпеки цивільної авіації та є результатом виконання науково-дослідних робіт Національного авіаційного університету (НАУ). Здобувач, як відповідальний виконавець, брала участь у науково-дослідних роботах: «Методологія дослідження фізіологічного стану гомеостазу людини»: етапи з 1 по 4 (державний номер ДР № 0119U103544); «Розробка методів оцінки психофізіологічного стану фахівців» (№ 14.01.03-29); «Методологічні основи оцінки точності результатів випробувань обладнання» (№ 33.01.03-29); «Методи підвищення ефективності процесу експлуатації обладнання» та на сьогодні є відповідальним виконавцем етапу «Використання багатопараметричних критеріїв для оцінювання систем в умовах невизначеності» науково-дослідної роботи № 52-202/22.01.03 «Перспективні системи та технології електроніки, радіомоніторингу та інтернету речей».

На сьогодні в авіаційній галузі існує протиріччя між потребою прогнозування виникнення небезпечної події в умовах невизначеності

функціонального стану персоналу та неможливістю проактивного виявлення порушення цього стану із-за відсутності відповідного науково обґрунтованого комплексу методичних інструментів в інтересах управління таким станом. Тому у дисертаційній роботі поставлено і вирішено **науково-практичну проблему**, яка полягає в розробці методології синтезу управління функціональним станом оператора, як складової загальної методології управління ризиками в системі надання авіаційних послуг, на основі комплексу методів і моделей аналізу, оцінювання та прогнозування цього стану. Розв'язання зазначеної проблеми визначає напрямок дисертаційного дослідження.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є забезпечення проактивного прогнозування ризику в системі надання авіаційних послуг, пов'язаного з людським фактором, на основі управління функціональним станом персоналу в умовах невизначеності.

Для досягнення мети в роботі поставлені такі завдання:

- здійснити аналіз існуючих методів управління ризиками з безпеки польотів, систематизувати відомі теоретичні підходи, що покладено в основу оцінювання факторів ризику з урахуванням людського фактору для завдань концепції безпеки польотів, сформулювати проблему та задачі дослідження;
- визначити та класифікувати чинники впливу на функціональний стан оператора на основі урахування мінливості результатів біомедичних вимірювань, розробити ймовірнісну модель результатів вимірювань;
- провести дисперсійний аналіз адитивних та мультиплікативних складових ймовірнісної моделі, що відповідає за її глобальні та локальні зміни та визначити їх вплив на фактори ризику;
- виявити вплив різних значень фізичних навантажень на зміну медико-біологічних параметрів за критерієм статистичної стійкості біологічної рівноваги;
- розробити метод визначення індивідуальних меж норми медико-біологічних показників оператора з використанням багатопараметричних критеріїв;
- розробити модель прогнозування виникнення небезпечної події різкого порушення стану серцево-судинної системи;
- визначити рівень рівноваги між адаптаційним потенціалом людини-оператора та дією факторів дестабілізації;
- вдосконалити критерій оцінювання небезпеки відхилення від норми показників стану організму на основі результатів вимірювального контролю його параметрів за рахунок врахування індивідуальних меж норми;
- розробити топологічну модель оцінювання та прогнозування функціонального стану оператора для завдань проактивного виявлення джерел небезпеки, пов'язаного з людським фактором, в загальній системі управління безпекою польотів.

Об'єктом дослідження є процес прогнозування ризиків, пов'язаних з людським фактором в методології оцінювання системи управління безпекою польотів.

Предметом дослідження є методи, критерії, моделі оцінювання та прогнозування функціонального стану оператора як складової людського фактору в системі управління безпекою польотів в умовах невизначеності з використанням штучних нейронних мереж, зокрема.

Методи дослідження. Теоретичною базою досліджень є системний підхід до вирішення проблеми забезпечення проактивного підходу в методології оцінювання системи управління безпекою польотів, в частині людського фактору на основі оцінювання та прогнозування функціонального стану оператора з урахуванням стохастичних параметрів. Для теоретичних узагальнень, аналізу математичних моделей оцінювання величин в умовах обмежень на отримання первинної інформації про імовірнісні характеристики оцінюваних параметрів використовувалися методи теорії часових рядів, теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії випадкових процесів, теорії статистичних рішень, інформаційної теорії вимірювань; експериментальні дослідження проводилися з використанням методів планування експерименту та моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів:

Уперше:

- розроблено уніфіковану модель часових рядів показників функціонального стану оператора (модель вимірювань) з врахуванням трендів та стохастичних впливів та метод її оптимізації для різних варіантів фізичних навантажень з метою визначення критерію статистичної стійкості динаміки біологічної рівноваги оператора;

- розроблено метод контролю стабільності процесів біологічного функціонування оператора з урахуванням особливостей фізичного навантаження оператора та відокремлення факторів неоднорідності від факторів біологічної нестабільності за рахунок використання процедури статистичної валідації результатів контролю (тестування);

- розроблено метод визначення індивідуальних меж норм медико-біологічних показників оператора з підвищеною чутливістю за рахунок персоналізованого підходу до визначення меж коливань окремих показників та їх груп з використанням T2-статистики Хотеллінга;

- розроблена модель прогнозування різкого порушення стану серцево-судинної системи оператора на основі застосування елементів штучного інтелекту (штучних нейронних мереж);

- розроблена топологічна модель оцінювання функціонального стану оператора, з використанням мереж Петрі, що поєднує в собі обґрунтовані в дисертаційній роботі методи, моделі та критерії в єдину систему оцінювання, що є важливим елементом методології синтезу управління функціональним станом персоналу, для завдань методології оцінювання системи управління

безпекою польотів, а також інструментом для формування обов'язкових та добровільних сповіщень, пов'язаних зі станом або рівнем втоми персоналу.

Удосконалено:

– метод розрахунку адаптаційного потенціалу (адаптаційних резервів) оператора, який на відміну від існуючих здійснює перевірку гіпотези про стабільність функціонального стану оператора з використання карт Хотеллінга.

Отримав подальшого розвитку:

– метод оцінювання небезпеки відхилення стану біологічного об'єкту від межі норми медико-біологічних показників за рахунок врахування індивідуальної межі норми та їх поділу на рівні інформативної значимості, що дозволить починати перевірку стану оператора з показників з найвищим ступенем ознаки;

– авторегресійна модель прогнозування медико-біологічних параметрів за рахунок визначення її оптимальних коефіцієнтів при поданні похибки прогнозування в метриці на основі методу Geman-McClure.

Практичне значення одержаних результатів: Отримані результати дисертаційної роботи надають можливість:

– враховувати глобальні та локальні тренди та стохастичні впливи при проведенні діагностичних процедур та визначати наявність біологічної нестабільності оператора за рахунок розробленої уніфікованої моделі вимірювань показників функціонального стану оператора;

– значно зменшити кількість необхідної інформації та, відповідно, кількість проведених експериментальних досліджень для прийняття рішення щодо оцінювання функціонального стану оператора за рахунок розробленого методу оптимізації запропонованої уніфікованої моделі для різних варіантів фізичних навантажень;

– враховувати індивідуальні особливості реакції організму оператора на дію факторів дестабілізації завдяки методу визначення індивідуальних меж норм медико-біологічних показників;

– визначити час виникнення позаштатних (аварійних) ситуацій завдяки розробленій моделі прогнозування різкого порушення стану серцево-судинної системи оператора;

– виявити та оцінити ризик порушення функціонального стану персоналу за рахунок розробленої топологічної моделі оцінювання функціонального стану оператора в інтересах своєчасного формування обов'язкового та\або добровільного сповіщення про рівень стану та втоми оператора.

Розроблена методологія синтезу управління функціональним станом оператора також може бути базисом:

– для продовження комплексу науково-дослідних робіт з метою удосконалення процесу управління функціональним станом операторів на основі індивідуального підходу;

– для впровадження в навчальний процес під час підготовки фахівців авіаційної галузі.

Отримані у докторській дисертаційній роботі результати досліджень впроваджені у діяльність в наступних закладах: Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, Центр льотної підготовки Національного авіаційного університету, Авіаційний медичний центр НАУ, Національний авіаційний університет (кафедра електроніки, робототехніки, технологій моніторингу та інтернету речей), про що свідчать акти впровадження, наведені у Додатках до дисертаційної роботи.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати отримано здобувачем самостійно й опубліковано в 70 наукових працях. З робіт, що опубліковані у співавторстві, використовуються результати, отримані особисто здобувачем. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору дисертації належать: роботи [1, 47, 55, 68, 70] – виконані самостійно; в [2] – отримані функціональні моделі методології управління безпекою польотів та запропонований підхід отримання додаткової інформації від часових рядів медико-біологічних параметрів методами нелінійної динаміки; в [3] – отримані моделі прогнозування з використанням функції Джимана-МакКлурі, що можуть бути використані для задач різних галузей; у роботі [4] – наведений приклад збільшення точності оцінювання складової одного з організаційних факторів, що може бути використаний в методології оцінювання системи управління ризиками; у роботі [5] – розроблена математична модель прийняття рішення; в [6,16] – виконаний аналіз особливостей забезпечення безпеки польотів та визначена актуальність оцінювання функціонального стану членів льотних екіпажів як триггеру настання негативної події в частині людського фактору; у роботі [7] – проведений розрахунок стабільності функціонування біологічної системи з використанням багатопараметричного критерію; у роботі [8] – розроблені ймовірності моделі, що враховують глобальні та локальні тренди часових рядів медико-біологічних параметрів; у роботі [9] – побудована автоматизована система розрахунку ймовірності виникнення ризику; у роботі [10] – виконаний розрахунок невизначеності за типом А та В при обробці результатів вимірювань; у роботі [11] – проведений аналіз особливостей оцінювання льотних екіпажів за медико-біологічними показниками; у роботі [12] – обґрунтовано можливості використання методики оцінювання невизначеності при діагностичному контролі; в [13] – виконаний аналіз особливостей забезпечення безпеки польотів та визначена необхідність системного підходу при вирішенні завдань безпеки польотів; у роботі [14] – розроблена модель прийняття рішень з використанням штучних нейронних мереж; у роботі [15] – розроблена модель прогнозування виникнення несприятливої події з використанням штучного інтелекту в середовищі MATLAB; у роботі [17] – розроблений метод підвищення достовірності оцінювання функціонального стану організму за рахунок використання статистики Хотеллінга; у роботі [18] – розроблено математичну модель, що враховує складові результатів вимірювань медико-біологічних параметрів; у роботі [19] – проведено аналіз шляхів невизначеностей при нейромережевому моделювання, у роботі [20, 38] – визначені особливості використання мереж

Петрі для завдань оцінювання функціонального стану оператора; у роботі [21] – розроблена математична модель на основі критерію оцінювання ступеню відхилення стану об’єкта від норми; у роботі [22] – розроблені штучні нейронні мережі для завдань прогнозування; у роботі [23] – обґрунтована необхідність врахування технічних особливостей при формуванні баз даних для збору та обробки медико-біологічних параметрів операторів; у роботі [24] – обґрунтований підхід до автоматизованих системи прийняття рішень; у роботі [25] – розроблена модель прийняття рішень для оцінювання функціонального стану операторів з урахуванням динаміки зміни адаптаційного потенціалу; у роботі [26] – використаний підхід до розрахунку сумарної невизначеності; у роботі [27] – проведений аналіз особливостей медико-біологічних параметрів, що використовуються при оцінюванні стану льотного складу; у роботі [28] – розроблено систему моніторингу за медико-біологічними параметрами для вирішення завдання оцінювання поточного стану; [29] – – вирішено завдання перетворення вхідних параметрів в задачі моделювання; у роботі [30] – обґрунтована необхідність врахування технічних особливостей при формуванні баз даних для збору та обробки медико-біологічних параметрів операторів; у роботі [31] – обґрунтований підхід до розробки автоматизованої системи прийняття рішень; у роботі [32] – проведений аналіз особливостей медико-біологічних параметрів, для оцінювання функцій дихальної системи оператора; у роботі [33] – розроблено систему моніторингу за медико-біологічними параметрами для вирішення завдання оцінювання поточного стану; у роботі [34] – запропонована методика прогнозування виникнення ризикової події за рахунок експертного оцінювання з автоматизацією процесу корегувальних заходів; у роботі [35] – проведена обробка біомедичних сигналів методами нелінійної динаміки; у роботі; [36] – обґрунтовані особливості вирішення задачі моделювання; у роботі [37,63] – обґрунтовані особливості збору та обробки медико-біологічних параметрів для формування бази даних; у роботі [38] – розроблена топологічна модель мережами Петрі для оцінювання функціонального стану персоналу; у роботі [39] – розроблена ймовірнісна модель для прогнозування виникнення захворювання; у роботі [40] – визначені особливості використання експертного оцінювання в задачах прогнозування; у роботі [41] – вирішено завдання прогнозування небезпечної події штучними нейронними мережами; у роботі [42] – обґрунтовані особливості вирішення задачі розробки складних систем; ; у роботі [43] – визначені особливості інформаційних параметрів та їх перетворення для завдань лікування та діагностування; у роботах [44,46] – обґрунтовані актуальні аспекти системи управління безпекою польотів; у роботах [45, 47, 48] – проведений аналіз можливості використання часових рядів для завдань прогнозування; у роботі [49] – розроблена модель прийняття рішень на основі індивідуальної межі норми; у роботі [50] – обґрунтовані особливості моніторингу медико-біологічних показників для оцінювання функціонального стану біологічних об’єктів; у роботі [51, 52, 53, 57, 60, 69] – проаналізовані особливості оцінювання складних об’єктів; у роботі [54,55,56,59] – проведене оцінювання

функціонального стану операторів, зокрема авіаційної аналіз особливості оцінювання складних об'єктів; у роботі [57] – обґрунтовані особливості розробки автоматизованої системи для збору та обробки медико-біологічних параметрів необхідність використання індивідуальних меж норми для оцінювання функціонального стану операторів; у роботі [61, 64] – обґрунтовано можливість використання штучних нейронних мереж для задач прогнозування порушення рівноваги серцево-судинної системи оператора; у роботі [62] – вирішено завдання розробки топологічної моделі для оцінювання медико-біологічних параметрів; у роботі [65] – обґрунтована можливість оцінювання функціонального стану операторів на основі оцінювання серцево-судинної системи; у роботі [66] – обґрунтована можливість використання часових рядів для завдань побудови математичних моделей; у роботі [67] – запропонований підхід прогнозування стану льотного складу.

Апробація результатів дисертаційної роботи відбувалася на: XIV, XIII, XII, XI, X Міжнародних науково-технічних конференціях «АВІА» (2019, 2017, 2015, 2013, 2011 pp.); VII, VI world congresses Safety in aviation and space technologies (2018, 2014 pp.); V, IV, I, міжнародних науково-практичних конференціях «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2019), (ВКДТС-2017) (ВКДТС-2011)»; на міжнародних конференціях за кордоном Neetania (Israel) XVIII, XIV International Conference on Modern Achievements of Science and Education (2023p.) (2019p.); на 7-й Міжнародній науково-технічній конференції "Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та системи" (МІВТС-2020); на XIII (2023 p.), XI (2021 p.), X (2020 p.), IX (2019 p.) міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»; на міжнародному науковому симпозіумі «International Symposium On Aircraft Technology», (2020 p.); на міжнародних конференціях за кордоном з міжнародною участю 13d, 11th, 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, (АСІТ 2023) Вроцлав (Польща), (АСІТ 2021) Дегендорф (Германия); на 31 (2021p.), 29 (2019 p.), 24 (2014 p.); на національних наукових симпозіумах з міжнародною участю 24th, 29th, 31t International scientific symposium «Metrology and metrology assurance», Sozopol, Bulgaria (2014, 2019 2021pp.), Созополь (Болгарія); CAOL*2019 International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers with UM*2019 XVI Scientific Workshop“Measurement Uncertainty: Scientific, Normative, Applied and Methodical Aspects”; на V, IV III Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених «Technical Using of Measurement», Славське (2019, 2018, 2017 pp.); на міжнародній науково-практичній конференції «The International Society for Optical Engineering», (2019p.); на міжнародній науково-практичній конференції «International Scientific Internet Conference on Computer Graphics and Image Processing and 48th International Scientific and Practical Conference on Application of Lasers in Medicine and Biology», (2018 p.); на VII, VI, V, IV міжнародних антарктичних конференціях (2017, 2013, 2011, 2009 pp.); міжнародній науково-практичній конференції за кордоном Перемишль (Польща) «Якість технологій

– якість життя» (2014 р); на XVIII, XV, XII, VIII, VII міжнародних науково-технічних конференціях студентів та молодих вчених «Політ» (2018, 2015, 2012, 2008, 2007 рр); на 3-м міжнародному радіоелектронному форумі 2008. «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку», Харків, (2008р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 28 статей у наукових періодичних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, 5 статей у періодичних виданнях групи А та у періодичних виданнях, що включені до науково-метричної бази Scopus та\або Web of Science (одна з них з квантилем Q3), 5 публікацій, що індексуються науково-метричною базою Scopus та\або Web of Science, 2 розділи колективної монографії, виданої за кордоном, одна з яких з індексацією в Scopus.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 7 розділів, висновків та 9 додатків. Повний обсяг дисертації складає 381 сторінки, з них: 55 рисунків за текстом; 25 таблиць за текстом; додатки на 99 сторінках; 241 найменувань використаних літературних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наведено характеристики наукової новизни та практичного значення отриманих результатів і їх впровадження та введено нове поняття - поняття синтезу управління функціональним станом оператора, що має відмінність від класичного поняття «синтезу системи управління», як шляху відокремлення підходів пізнання і системо творення для опису процесу управління складними об'єктами. В технічних системах при використанні поняття синтезу систем управління використовується системний підхід для створення штучної системи управління на основі моделювання передавальної функції, що дозволяє управляти вихідними характеристиками за рахунок регуляторів, що враховують зовнішні впливи та зміни вхідних параметрів. Якщо розглядати систему оцінювання функціонального стану оператора, то роль регуляторів виконує складна система гомеостазу біологічного об'єкту, описати функціонування якої та процеси управління, компенсації та функціонування складних біологічних зворотніх зв'язків якої на сьогодні існуючими математичними підходами не можливо. Тому в дисертаційній роботі запропонований підхід, який дозволяє синтезувати окремі складові поняття «управління» (а саме оцінювання поточного стану та прогнозування його порушення) зі складною системою внутрішнього управління процесами організму на всіх рівнях, причому останню не можна розглядати як класичну чорну скриню (що добре описана для технічних систем) тому що одні і ті самі вхідні параметри біологічної системи можуть надавати різні значення вихідних параметрів та змодельовати їхню поведінку для кожного окремого оператора є складною проблемою з безліччю невідомих впливів та великою невизначеністю реакцій організму на ці впливи. Тому в дисертаційній роботі під поняттям управління розуміють тільки

окремі його компоненти (оцінювання поточного стану та прогнозування порушення функціонального стану) що є необхідними та достатніми в рамках їх використання для обов'язкових та добровільних сповіщень в контурі методології оцінювання системи управління ризиками в авіації.

Перший розділ роботи спрямований на аналіз проблеми оцінювання системи управління безпекою польотів, визначення впливу людського фактору на систему управління безпекою польотів та вибору напрямку наукових досліджень.

Методологія оцінювання системи управління безпекою польотів передбачає підтвердження чотирьох рівнів впровадження та/або функціонування, які дозволяють здійснити оцінку дієвості та ефективності складових безпеки польотів, а саме: наявність – існують докази, що відповідна складова задокументована в рамках документації системи управління безпекою польотів; застосовність – відповідна складова є придатною з точки зору об'єму, характеру, складності організації та ризику, властивого діяльності організації; дієвість – існують докази, що складова функціонує та дає результат на виході; ефективність – існують докази, що складова досягає бажаного результату та сприяє підвищенню рівня безпеки польотів. На сьогодні процес управління ризиками (Safety risk management (SRM) process) включає п'ять послідовних етапів за замкнутим циклом. Останні вимоги ІКАО вимагають впровадження проактивного підходу, якій надасть змогу прогнозувати виникнення небезпечної події, та розробки підходів щодо виявлення, оцінювання та прогнозування ризиків, що призводять до авіаційних подій. При впровадженні системи проактивного управління безпекою виникають принципово нові об'єкти, що визначають зміст профілактичної роботи у вигляді небезпек (небезпечних факторів). Саме вони «передують» помилковим діям і стають причинами. Тому відповідно до проактивного підходу при управлінні безпекою особлива увага приділяється виявленню та усуненню небезпек (небезпечних факторів) у всіх компонентах авіаційної, що беруть участь у роботі. Даний підхід знайшов своє відображення в методології оцінювання системи управління безпекою польотів, що затверджена Державною авіаційною службою України від 06.03.2020р.

Для визначення місця факторів ризику, людського зокрема, в методології оцінювання системи управління безпекою польотів в даній роботі була розроблена функціональна модель даної методології на чотирьох різних рівнях її декомпозиції за рахунок використання системного підходу з використанням технології IDEF0 (I-CAM DEFinition або Integrated DEFinition), яка є методологією сімейства I-CAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing).

Розроблена модель складається з контекстної діаграми верхнього рівня, де об'єкт моделювання представлений єдиним блоком з граничними стрілками та діаграмами нижчих рівнів. В даному випадку це діаграма A0 є діаграмою «Управління безпекою польотів». Приклад діаграми A0 показано на рис. 1. В свою чергу перший рівень складається з поетапного виконання наступних процесів: управління політикою та цілями безпеки, управління ризиками з

безпеки польотів, забезпечення безпеки польотів та популяризація питань з безпеки польотів.

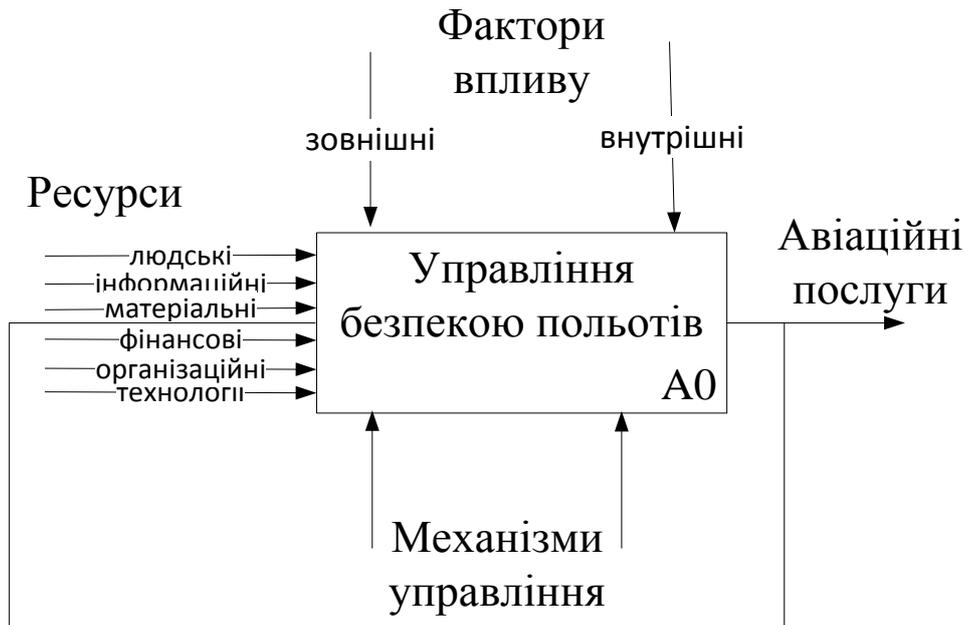


Рисунок 1 – Приклад діаграми А-0 «Управління безпекою польотів»

Наступний процес А1 визначає, що існує політика з безпеки польотів, яка включає зобов'язання щодо постійного поліпшування, забезпечення відповідності усім застосовним законодавчим вимогам і стандартам, враховує найкращі практики та підписана відповідальним керівником. Процес А2 визначає, що постачальник авіаційних послуг повинен розробити та здійснювати процес для виявлення джерел небезпек, пов'язаних з власними авіаційними продуктами або послугами. Процес А3 визначає, що постачальник авіаційних послуг повинен розробити та впроваджувати заходи для верифікації (перевірення) ефективності забезпечення безпеки польотів організації та валідації (підтвердження) ефективності заходів з контролювання ризиків. Процес А2 визначає, що постачальник авіаційних послуг повинен розробити та застосовувати програму підготовки персоналу щодо безпеки польотів, яка забезпечуватиме належну підготовку усього персоналу та досягнення компетентності, необхідної для виконання власних обов'язків в рамках системи управління безпекою польотів (рис.2).

Виявлення джерел небезпек повинно базуватись на комбінації реактивних та проактивних методів. В свою чергу, при проактивному підході особлива увага приділяється проведенню профілактичної роботи з виявлення, ідентифікації та усунення джерел небезпеки (виявлення причин, тригерів) для того, щоб завчасно попередити прояв негативної події до моменту початку її впливу на заплановану виробничу діяльність. Метою проактивного підходу є скорочені до мінімуму авіаційних подій з вини людини, пов'язаної з авіацією. Тому пошук шляхів для завчасного виявлення небезпек (тригерів), пов'язаних з людським фактором є важливим завданням ідеології управління ризиками. Оцінювання ризиків, пов'язаних з людським фактором має складність

оперативного виявлення небезпеки. Тому оцінювання поточного функціонального стану оператора надасть змогу з прогнозованою ймовірністю зменшити розвиток негативної події за участю людини.

В роботі проведено аналіз та декомпозицію процесу A2 (рис. 3), який в свою чергу складається з наступних етапів: A2.1 Виявлення джерел небезпек та A2.2. Оцінка та зменшення ризику.

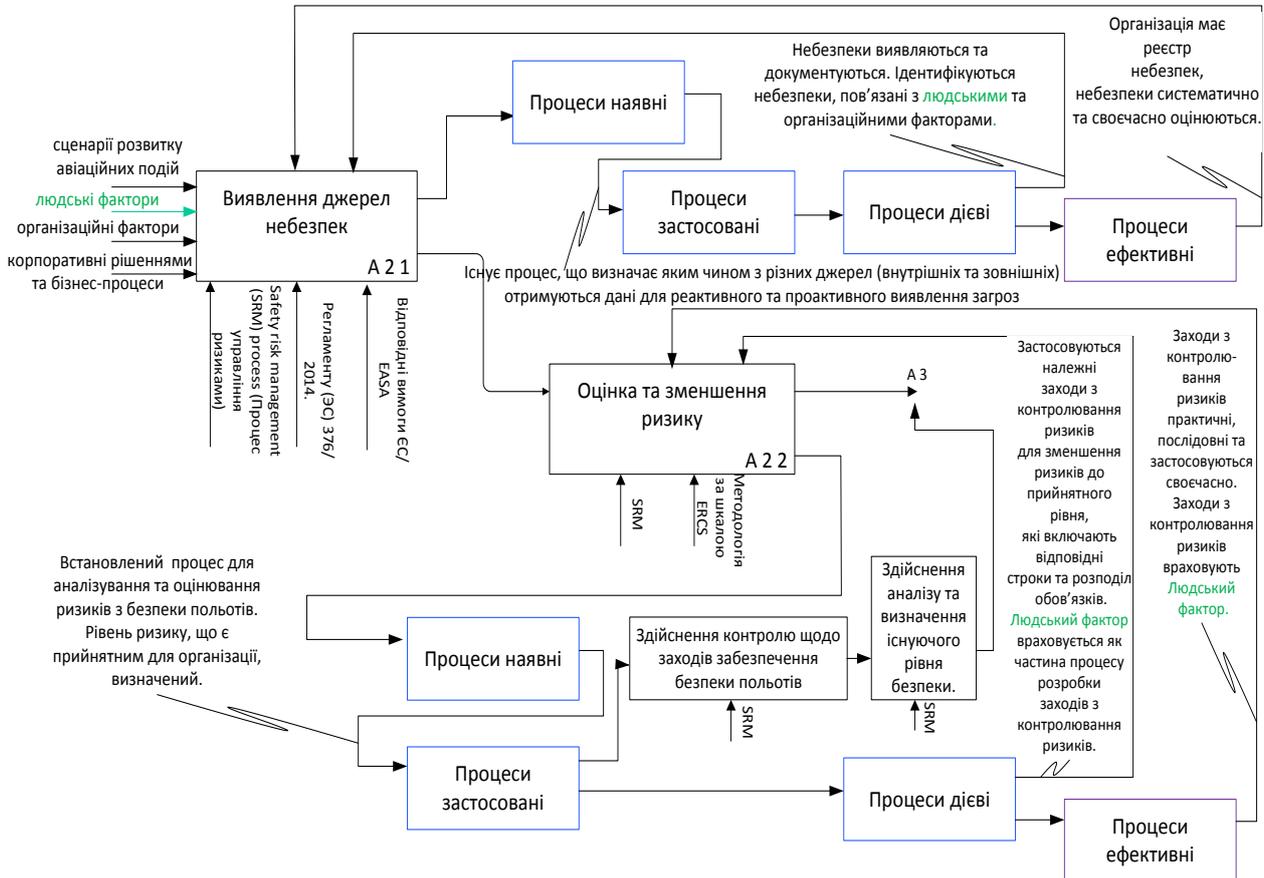


Рисунок 3 – Функціональна модель третього рівня декомпозиції

Тому, важливим етапом, що пов'язаний із запобіганням негативних подій шляхом виявлення та усунення небезпек та/або небезпечних факторів у запланованій діяльності авіаційної системи, є визначення та оцінка ризику. Для оцінювання ризиків існує теоретичний та емпіричний підходи. В якості теоретичного підходу запропоновано використання штучних нейронних мереж. Для оцінювання ризику на основі емпіричного підходу може використовуватися, наприклад система диференційних рівнянь. Мета проактивного підходу до урахування людського фактору – скоротити до мінімуму авіаційні пригоди з вини людини, пов'язаної з авіацією.

Методи дослідження ролі людського та організаційних факторів розглядаються в частинах III та IV документа ІКАО Doc 9756, де обом цим аспектам приділяється особлива увага. Відповідно до інструктивного матеріалу ІКАО, які містяться в частині IV, аспектам людського фактору пропонується присвятити окремий розділ у остаточному звіті. Крім того, у розділі IV

міститься добірка термінів, пов'язані з людським фактором, які можуть використовуватися в ході розслідування.

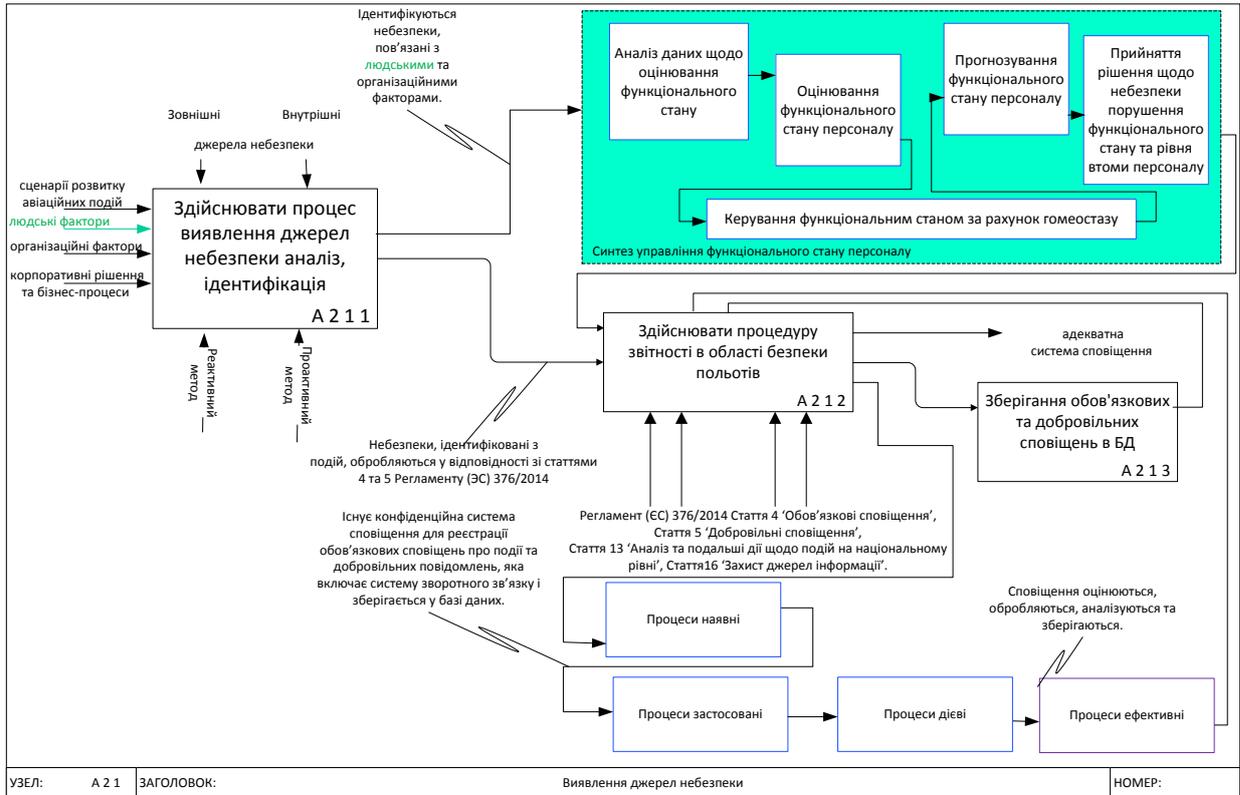


Рисунок 4 – Функціональна модель четвертого рівня декомпозиції

З огляду на те, що в силу низки обставин через складність процесу оперативно виявляти небезпеки та небезпечні фактори пов'язані з людським фактором, враховуючи проактивний підхід оцінювання поточного функціонального стану оператора надасть змогу з прогнозованою ймовірністю зменшити розвиток негативної події за участю людини.

В дисертаційній роботі запропонований підхід формування математичної моделі оцінювання ризиків на основі автоматизованої системи, робота якої базується на експертному оцінюванні, інтерфейс якої для групи експертів поданий на рис. 5. Особливістю даної моделі є наявність відповідних підказок при некоректному її використанні. Для аналізу узгодженості експертних оцінок були використані методи рангової кореляції, запропоновані К. Спірменом і М. Кендалом.

Якщо використати модель, яка була сформована за рішеннями експертів, як видно з рис.8 навіть при неповній наявності факторів ризику (стовпець 3 рис.7) ймовірність ризику складає 46,2% при умові відсутності порушення функціонального стану оператора. При такого фактору ризику (рис.8 стовпець 3), ймовірність ризику збільшується до 62,5%, що є високим ступенем ризику. Відповідно порушення функціонального стану оператора збільшує ймовірність ризику на 16,3%. При чому не враховані факти, що порушення

функціонального стану сприяє виникненню інших факторів ризику, завдяки чому кількісне значення може бути вищим. Проведені дослідження дають змогу визначити порушення функціонального стану оператора в якості тригеру, що запускає складний механізм підвищення ймовірності ризику.

	A	B	C	D	E	F	G	K	L	M
1		rating →								
2	Factor code ↓		Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Coefficients of weight	Grades are set correctly! Estimates are inconsistent! See instruction Error!	
3	1	5	4	5	4	10	0,10182			
4	2	2	10	3	2	6	0,08364			
5	3	3	1	2	1	9	0,05818			
6	4	1	3	4	3	4	0,05455			
7	5	10	2	1	10	7	0,10909			
8	6	9	9	6	9	3	0,13091			
9	7	8	8	7	8	5	0,13091			
10	8	4	5	8	5	8	0,10909			
11	9	7	6	9	6	2	0,10909			
12	10	6	7	10	7	1	0,11273			
13			✓	✓	✓	✓	✓			

Рисунок 5 – Інтерфейс автоматизованої системи для розрахунку ймовірності виникнення ризику

Проведений аналіз дозволяє визначити необхідність ідентифікації людського фактору як одного з джерела ризиків в методології оцінювання системи управління безпекою польотів. Враховуючи виявлені проблеми існує необхідність проактивного виявлення порушення функціонального стану оператора як одного з головних тригерів людського фактору, що і формулює завдання досліджень.

У другому розділі проведено дослідження методів зменшення динамічної невизначеності вимірюваних медико-біологічних параметрів для оцінювання функціонального стану оператора, які одержані за ретроспективними результатами вимірювання, розподіленими в часі з урахуванням стохастичного впливу факторів неоднорідності умов досліджень та біологічної нестабільності досліджуваного об'єкту.

Внаслідок неможливості відтворення умов, що гарантують стабільність факторних впливів на функціональний зв'язок між параметром Y та вимірювальною величиною X , виникає невизначеність як в оцінюванні параметрів біологічного функціонування, так і в параметрів, що відображають їхню динаміку у часі. Ця невизначеність ускладнюється і фактичною відсутністю апріорних знань про ймовірнісні властивості і параметри об'єктів, причому вибір останніх визначається апріорі заданим видом математичної моделі динамічних змін. У даному розділі розроблено та досліджено уніфіковану модель часових рядів медико-біологічних показників функціонального стану оператора (модель вимірювань) та її використання для односторонньої класифікації (контролю на значимість) локальних та глобальних порушень у функціональних моделях динамічної рівноваги стану біологічного об'єкту.

На практиці для виконання ретроспективного аналізу та для визначення допустимих меж змін медико-біологічних параметрів необхідно провести збір та обробку зазначених даних впродовж де-якого тривалого часу. При чому тривалість збору медико-біологічних параметрів прямо пропорційно достовірності прийняття рішення за цими параметрами.

При тривалих біомедичних вимірювальних будь-які послідовні результати факторних впливів.

Для глобального тренду:

$$\xi_{ji} = \bar{X} + B_0(t_{ji} - \bar{t}), \quad (1.1)$$

де B_0 – регресійний коефіцієнт для компенсації ймовірнісних збурень глобальних трендів; \bar{t} – загальне середнє часу спостережень.

Для локальних трендів:

$$\widehat{x_{ji}} = \bar{X}_j + B_j(t_{ji} - \bar{t}_j), \quad (1.2)$$

де \bar{X}_j – середнє в j -й групі, B_j – регресійний коефіцієнт для компенсації ймовірнісних збурень локальних трендів; \bar{t}_j – середнє групове часу спостережень.

Для тренда, що характеризує мінливість групових середніх результатів вимірювань:

$$\widehat{\delta_j} = Z_j + B_m(t_j - \bar{t}), \quad (1.3)$$

де Z_j – дискретна випадкова величина (вільний член регресії), дисперсія $\sigma_z^2 = const$ для будь-яких j .

Введемо додаткову регресійну модель середньозваженої регресії з кутовим коефіцієнтом:

$$B_c = \frac{\{\sum_{j=1}^k B_j \sum_{i=1}^n (t_{ji} - \bar{t}_j)^2\}}{\{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n (t_{ji} - \bar{t}_j)^2\}}. \quad (1.4)$$

Слід зазначити, що додаткові регресійні коефіцієнти B_m (вираз (1.3)) та B_c введені аби описати (врахувати) ймовірнісний характер параметрів \bar{X}_j та B_j локальних трендів та виділити складові для моделі результатів вимірювань. Остання, в припущенні адитивності ефектів факторних впливів прийме вид зміщеної складової регресії, доповненої ймовірнісними збуреннями:

$$x_{ji} = \bar{X} + B_0(t_{ji} - \bar{t}) + \{(B_c - B_m)(\bar{t}_j - \bar{t}) + Z_j\} + (B_j - B_c)(\bar{t}_j - \bar{t}) + \varepsilon_{ji}, \quad (1.5)$$

де ε_{ji} – випадковий залишок моделі, що характеризує її метрологічну однорідність.

Модель 1.5. – є уніфікованою моделлю часових рядів показників функціонального стану оператора (модель вимірювань) з врахуванням трендів та стохастичних впливів, що формують відповідну невизначеність результатів виміру медико-біологічних параметрів. Параметри моделі (1.5) можуть бути протестовані на наявність або відсутність відповідної неоднорідності (або однорідності) елементів ймовірнісної моделі часового ряду результатів вимірювань. В табл. 1 наведені статистичні властивості параметрів, пов'язаних з неоднорідністю або нестабільністю.

Таблиця 1– Властивості параметрів моделі результатів вимірювань, що залежать від виду факторного впливу

Модель факторного впливу	Ефекти впливу на результат вимірювань	
	відсутність	наявність
Глобальна неоднорідність	$B_0=0$	$B_0 \neq 0$
Нестабільність адитивна	$B_m - B_c = 0$	$B_m - B_c \neq 0$
Неоднорідність дискретна	$\sigma_z^2 = 0$	$\sigma_z^2 > 0$
Нестабільність мультиплікативна	$B_j - B_c = 0$ для будь-яких j	$B_j - B_c \neq 0$ для будь-яких j
Метрологічна однорідність	$\sigma_\varepsilon^2 = var$	$\sigma_\varepsilon^2 = const$

Використання такого підходу надає змогу тестувати результати групованих вимірювань на наявність або відсутність складових у загальному відхиленні Δx_{ji} результатів x_{ji} від загального середнього:

$$\Delta x_{ji} = x_{ji} - \bar{X}, \quad (1.6)$$

враховуючи зв'язок цих складових з відповідними ефектами факторного впливу. Інформація, що цікавить дослідника про порушення динаміки функціонального стану (гомеостазу) утримується в складових випадкових та систематичних відхиленнях результатів вимірювань x_{ji} від загального середнього \bar{X} (фактично біомедичної норми). З огляду на це, є сенс провести розподіл повної дисперсії такого результату на відповідні складові за допомогою дисперсійного аналізу для моделей кусково-лінійної регресійної апроксимації (коваріаційного аналізу). В якості апроксимуючих лінійних регресій використані моделі (1.1) – (1.4) та загальна модель (1.5), що описує динаміку математичного сподівання для будь-яких значень часу (t_{ji}) за випадкових збурень (z_{ji} та ε_{ji}).

З використанням виразу (6) для загального відхилення Δx_{ji} визначено змішану модель (1.5) як адитивну для п'яти складових:

$$\Delta x_{ji} = B_0(t_{ji} - \bar{t}) + (B_c - B_m)(\bar{t}_j - \bar{t}) + z_j + (B_j - B_c)(\bar{t}_j - \bar{t}) + \varepsilon_{ji} \quad (1.7)$$

Введено позначення загальної суми квадратів відхилень x_{ji} від \bar{X} :

$$Q = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \Delta x_{ji}^2. \quad (1.8)$$

Загальний вираз дискретного розкладання суми Q на п'ять доданків, відповідних складових моделі (7), набуде вигляду:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (1.9)$$

У табл. 2 наведено позначення факторів та відповідні їм, вказавши для них відповідні їм доданки сум квадратів відхилень з правої частини виразу (1.9)

Таблиця 2 – Фактори впливу та відповідні суми квадратів відхилень

Позначення фактору	Назва фактору	Сума квадратів відхилень
$\Phi_{ГН}$	Глобальної неоднорідності	$Q_1 = Q_{ГН}$
$\Phi_{НА}$	Нестабільності адитивної (локальної)	$Q_2 = Q_{НА}$
$\Phi_{ЛН}$	Локальної неоднорідності	$Q_3 = Q_{ЛН}$
$\Phi_{НМ}$	Нестабільності мультиплікативної (локальної)	$Q_4 = Q_{НМ}$
$\Phi_{МО}$	Метрологічної однорідності	$Q_5 = Q_{МО}$

Середні квадрати $\overline{Q_{ГН}}$, $\overline{Q_{НА}}$, $\overline{Q_{ЛН}}$ та $\overline{Q_{НМ}}$, відображають абсолютні рівні неоднорідності та нестабільності ймовірнісної моделі (1.7), можуть бути використані для контролю на значимість відповідних факторних впливів. Якісну оцінку значущості такого впливу можна отримати, якщо порівнювати зазначені середні квадрати з середнім квадратом $\overline{Q_{МО}}$, що кількісно відображає ступінь метрологічної однорідності результатів вимірювань. Така однорідність тим вище, чим менше середній квадрат $\overline{Q_{МО}}$. Порівняння факторних середніх квадратів $\overline{Q_{ГН}}$, $\overline{Q_{НА}}$, $\overline{Q_{ЛН}}$ та $\overline{Q_{НМ}}$ з метрологічно стабільним $\overline{Q_{МО}}$, здійснено стосовно F-статистик Фішера дисперсійного відношення:

$$\begin{cases} F_{ГН} = \overline{Q_{ГН}} \cdot \overline{Q_{МО}}^{-1} \\ F_{НА} = \overline{Q_{НА}} \cdot \overline{Q_{МО}}^{-1} \\ F_{ЛН} = \overline{Q_{ЛН}} \cdot \overline{Q_{МО}}^{-1} \\ F_{НМ} = \overline{Q_{НМ}} \cdot \overline{Q_{МО}}^{-1} \end{cases} \quad (1.10)$$

F-статистика (1.10) несе подвійне інформаційне навантаження.

По-перше, дозволяє отримати первинну інформацію про кількісні (в середньому) зміни ефектів неоднорідностей та біологічної нестабільності; по-друге, як критеріальна, надає можливість виділити інформаційну вторинну (діагностичну) інформацію, при тестуванні ефектів на статистичну значимість при заданих ризиках. Будь-яке збільшення коефіцієнта кореляції між відповідною F-статистикою та кількістю скарг на самопочуття завжди призводить до збільшення кількості інформації про динамічні властивості часового ряду результатів біомедичних вимірювань.

Кількість очікуваної інформації (в одиницях «нат») для будь-якої з досліджуваних F-статистик визначається як:

$$I = \ln \sqrt{1 + \frac{R^2}{(1-R^2)} \cdot (m-2)} \quad (\text{нат}), \quad (1.11)$$

В табл. 3 наведені результати розрахунку F -статистик за початковими даними медико-біологічних параметрів, а також оцінки (за обсягом вибірки $m=12$) коефіцієнтів кореляції R_r з урахуванням даних частоти серцевих скорочень. Для оцінювання функціонального стану організму важливим етапом є вимірювання медико-біологічних параметрів як в стані спокою так і при дії фізичного навантаження. Функціональні проби з фізичним навантаженням використовуються для оцінки функціонального стану і функціональних можливостей організму є обов'язковим дослідженням для професій, пов'язаних з екстремальними видами діяльності (водолази, льотчики, космонавти, професійні водії). Це пов'язано з особливостями функціонування організму як само відтворюваної системи, яка за рахунок адаптаційних можливостей організму підтримує його в стані біологічної рівноваги. Фізичне навантаження є ідеальним і найприроднішим видом провокації, що дозволяє оцінити повноцінність фізіологічних компенсаторно-приспосувальних механізмів, а при наявності явної чи прихованої патології - ступінь функціональної неповноцінності всієї системи. В роботі був проведений аналіз досліджень медико-біологічних параметрів при різних потужностях фізичного навантаження за допомогою велоергометрії. Дослідження було проведено впродовж року. Кожний місяць під час дослідження проводилась велоергометрія з дозованим навантаженням (50 Вт, 100 Вт, 150 Вт) тривалістю 3 хвилини.

Таким чином можна відокремити наступні варіанти навантаження:

- а) відсутність навантаження (пасивний режим « в спокої»),
- б) три фіксовані послідовно збільшуючи рівні навантаження (три активних режими: «50 Вт», «100 Вт», «150 Вт»).

Таблиця 3 – Результати розрахунків значень F -статистик Фішера та коефіцієнтів їх кореляції R з даними про самопочуття учасників дослідження (для останніх проведено ранжування за ступенем покращення самопочуття) з біомедичним показником – ЧСС

	Стан спокою				Навантаження 50Вт			
	$\Phi_{ГН}$	$\Phi_{НА}$	$\Phi_{ЛН}$	$\Phi_{НМ}$	$\Phi_{ГН}$	$\Phi_{НА}$	$\Phi_{ЛН}$	$\Phi_{НМ}$
F -стат. для №1	0,003593	0,032	1,198	0,44	1,5	6	1,8 1	0,95
F -стат. для №12	0,008955	1,513	1,075	0,425	0,069	0,617	0,057	0,3
$R r$	-0,38394	-0,0018	0,2608	0,1757	0,2579	0,5482	0,3470	0,5301

Для ілюстрації невід'ємного впливу коефіцієнта кореляції R на кількість очікуваної інформації I , яку містять досліджувані F -статистики, можна скористатися будь-яким з варіантів (навантаження, наведеним у табл.3), також кількість очікуваної інформації надає можливість оцінити динамічні порушення функціонального стану оператора за необхідною та достатньою кількістю інформаційних параметрів, що надає змогу зменшити кількість необхідних майбутніх вимірів.

В табл.4 наведені результати розрахунків кількості інформації I для коефіцієнтів кореляції R r статистики Фішера за показником частоти серцевих скорочень на навантаженні «50 Вт».

Таблиця 4 – Результати розрахунку інформації I

F -статистики	$\Phi_{ГН}$	$\Phi_{НА}$	$\Phi_{ЛН}$	$\Phi_{НМ}$
Інформаційний параметр				
R	0,2579	0,5482	0,3470	0,5301
$I_{ніт}$	0,2689	0,9199	0,4314	0,7953

Запропоновано здійснити розподіл отриманої інформації за результатами вимірювального експерименту на первинну (кількісно вимірювану) та вторинну (якісно вимірювану, що представлена у формі логічних рішень). Такий розподіл дозволяє синтезувати метод контролю стабільності процесів біологічного функціонування, що розробляється як послідовність двох базових інформаційних перетворень, які розбиті на послідовні елементарні етапи (тобто метод контролю стабільності процесів біологічного функціонування оператора з урахуванням особливостей фізичного навантаження оператора та відокремленням факторів неоднорідності від факторів біологічної нестабільності за рахунок використання процедури статистичної валідації результатів контролю (тестування)):

1. Первинне інформаційне перетворення.

1.1. Отримання масивів обсягом N результатів вимірювань (щомісячно) показників ЧСС для навантаження «50» (масив $\{x_{1ji}\}$) та для навантаження «150» (масив $\{x_{2ji}\}$).

1.2. Центрування та нормування отриманих масивів (формування множин $\{\dot{x}_{1ji}\}$ та $\{\dot{x}_{2ji}\}$).

1.3. Дисперсійний аналіз уніфікованої моделі динаміки результатів вимірювань $\{\dot{x}_{eji}\}$, $e = \overline{1,2}$.

1.4. Отримання статистик Фішера $F_{НА}$ та $F_{НМ}$.

2. Вторинні інформаційні перетворення.

2.1. Порівняння статистик $F_{НА}$ та $F_{НМ}$ з відповідними критичними статистиками $F_{НА\text{кр}}$ та $F_{НМ\text{кр}}$ та прийняття одного з двох альтернативних рішень по кожній з порівнюваних F -статистик $F_{НА}$ та $F_{НМ}$, перевіряючи гіпотез $H_0 \dots$

$a) \gamma_0^{(HA)}$: якщо $F_{НА} < F_{НА\text{кр}}$ (гіпотеза H_0 приймається)

$\gamma_1^{(HA)}$: якщо $F_{НА} \geq F_{НА\text{кр}}$ (гіпотеза H_0 відкидається, приймається H_1).

$b) \gamma_0^{(HM)}$: якщо $F_{НМ} < F_{НМ\text{кр}}$ (гіпотеза H_0 приймається)

$\gamma_1^{(HM)}$: якщо $F_{НМ} \geq F_{НМ\text{кр}}$ $нм$ (приймається гіпотеза H_1).

Описаний метод контролю стабільності біологічного функціонування в тривалих біомедичних дослідженнях з урахуванням особливостей фізичного навантаження біологічних об'єктів і визначення послідовності двох базових інформаційних перетворень отриманої інформації (за результатами вимірювального експерименту) на первинну (кількісно вимірювальну) та на вторинну (якісно вимірювальну, що представлена у формі логічних рішень)

дозволяє перевірити біологічну стабільність з використанням фізичного навантаження. Розроблений метод був використаний в тривалих вимірювальних експериментах для осіб в групах 11-14 чоловік. Загальний обсяг вимірювань (наприклад, для показника «ЧСС» $N=432$); достовірність результату за методом $P \geq 0,902$; ймовірність помилки 1-го роду $\alpha = 0,05$, ймовірність помилки 2-го роду $\beta = 0,146$. Ймовірнісні моделі результатів фізично однорідних змін (1.5) та їхніх випадкових та систематичних відхилень (1.7) можуть бути об'єднані з результатами вимірювань іншої природи. При чому, таку об'єднання (уніфікація) еквівалентні заміні вимірювань групованих (в рамках часового ряду) на вимірювання груповані багатократно. Верифікація мінливості біологічного стану була проведена якісними показниками «Самопочуття» (кількісно представленої числом скарг на погіршення останнього). Відповідно було проведено ранжування, що відповідає об'єкту дослідження з максимальним ($c=45$) числом скарг на самопочуття до об'єкту дослідження з мінімальним ($c=15$) числом скарг впродовж 12 місяців.

Варіанти уніфікації задані поєднанням навантажень «0», ... «150» з їх попереднім ранжуванням за зменшенням статистики F_{HM} досліджуваних з максимальною кількістю скарг на самопочуття.

Кількісно стійкість критерію визначається відношенням критеріальної F -статистики, що досліджується, до критичної $F_{\text{кр}}$:

$$\delta = \frac{F}{F_{\text{кр}}}. \quad (1.12)$$

За $F_{\text{кр}}$ приймається верхня α -відсоткову точка, що має ті самі ступені вільності, що й F – статистики виразу (1.10)

У таблиці 5 представлені результати розрахунків функції статистичної стійкості динаміки біологічної рівноваги оператора δ за виразом (1.10) залежно від складності уніфікації моделі (1.5), що визначається числом L об'єднаних величин $\{X_e\}_1^L$. Фізична однорідність модельована різними значеннями фізичних навантажень за біомедичним параметром частот серцевих скорочень.

Таблиця 5 – Значення функції статистичної стійкості δ для послідовно ускладнених варіантів (L) уніфікації

Варіанти навантажень	Ступінь уніфікації L	Функція статистичної стійкості	
		для статистики F_{HA}	для статистики F_{HM}
«50»	1	0,5923	1,1051
«50» + «150»	2	2,1443	1,2062
«50» + «150» + «100»	3	1,9247	0,8279
«50» + «150» + «100» + «0»	4	1,1578	0,5642

На рис.15 наведені графічні реалізації залежностей $\delta = f(L)$ для дослідження F -статистик біологічної нестабільності F_{HA} та F_{HM} .

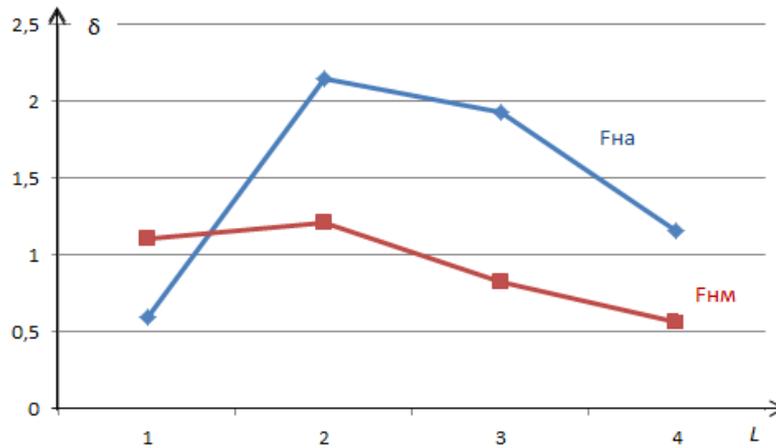


Рисунок 6 – Залежності δ від L для F_{HA} та F_{HM}

З таблиці 3 та рис.6. випливає, що параметр δ є цільовою функцією оптимізації (за максимумом статистичної стійкості δ), оптимум уніфікації відповідає $L = 2$. Статистика F_{HA} є більш стійкою за статистику F_{HM} , оскільки максимум $F_{HA} = 2,1443$ більший за максимум $F_{HM} = 1,2062$.

Обґрунтованість використання функції δ (12) для оптимального вибору ступеня уніфікації L_{opt} базується на суворому виконанні умов еквівалентності статистичної стійкості та статистичної потужності правил прийняття рішень. Це означає, що для визначення необхідної та достатньої кількості досліджень з різним навантаженням на біологічний об'єкт необхідно використовувати значення статистик Фішера, що є чутливими до порушень біологічної рівноваги. Згідно з розрахунками та цільовою функцією оптимізації можна зробити висновок, що порушення біологічної рівноваги можна діагностувати вже при навантаженні 50 Вт та немає необхідності проводити вимірювання при навантаженні 100Вт та 150 Вт. Таким чином доведено, що оптимальним з точки зору використання часових, матеріальних та людських ресурсів є проведення досліджень медико-біологічних параметрів у 2 режимах: стані спокою та навантаженні 50 Вт для діагностування порушення біологічної рівноваги. Така оптимізація дозволила скоротити кількість досліджень у 2 рази, не втрачаючи високий ступінь достовірності отриманих результатів. При цьому чутливими до порушень динаміки біологічної рівноваги є максимальні значення статистик Фішера F_{HA} та F_{HM} , які більше критичних. Даний підхід був апробований під час проведення реальних досліджень.

Результати досліджень даного розділу дозволили теоретично обґрунтувати моделі результатів вимірювань, визначення інформативних параметрів у вигляді F -статистик Фішера, що несуть первинну інформацію про порушення біологічного функціонування, отримано рівняння для оцінювання кількості інформації про динамічні порушення для порівняння статистик Фішера за інформативністю, розроблена методика оптимізації уніфікованої ймовірнісної моделі для різних варіантів фізичних навантажень впродовж біомедичного дослідження, за критерієм статистичної стійкості діагностичних рішень; розробити метод контролю стабільності біологічного функціонування в

тривалих біомедичних дослідженнях з урахуванням особливостей фізичного навантаження біологічних об'єктів.

У третьому розділі запропонований метод визначення індивідуальних меж норм медико-біологічних показників оператора з підвищеною чутливістю за рахунок персоналізованого підходу до визначенням меж коливань окремих показників та їх груп з використанням T^2 -статистики Хотеллінга.

Оскільки функціональна модель медико-біологічних параметрів містить кореляційні зв'язки кожної з підсистем організму, виникає необхідність застосування багато параметричних критеріїв з метою визначення індивідуальних меж медико-біологічних параметрів, що характеризують умови розбалансування стабільності системи організму, тобто виходу її зі стану біологічної рівноваги. В якості такого критерію запропоновано використання багатопараметричного критерію Хотеллінга. За відомої коваріаційної матриці статистика Хотеллінга має хі-квадрат розподіл та надає можливість розрахунку точкових значень статистики T^2 .

При багатовимірних параметрах обчислюється вибіркова незміщена оцінка S коваріаційної матриці Σ . В цьому випадку статистика Хотеллінга задається формулою:

$$T_H^2 = n(\bar{X} - \mu_0)^T S^{-1} (\bar{X} - \mu_0), \quad (3.1)$$

де \bar{X} -вектор середніх значень параметрів в миттєвих вибірках, μ_0 – вектор цільових середніх (значення, яке найчастіше зустрічається у вибірці), n – обсяг вибірки.

Незміщена оцінка коваріаційної матриці визначається як:

$$S = \frac{1}{n-1} \begin{vmatrix} x_{11} - \mu_{01} & x_{21} - \mu_{02} & \dots & x_{p1} - \mu_{0p} \\ x_{12} - \mu_{01} & x_{22} - \mu_{02} & \dots & x_{p2} - \mu_{0p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1n} - \mu_{01} & x_{2n} - \mu_{02} & \dots & x_{pn} - \mu_{0p} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} x_{11} - \mu_{01} & x_{12} - \mu_{01} & \dots & x_{1n} - \mu_{01} \\ x_{21} - \mu_{02} & x_{22} - \mu_{02} & \dots & x_{2n} - \mu_{02} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{p1} - \mu_{0p} & x_{p2} - \mu_{0p} & \dots & x_{pn} - \mu_{0p} \end{vmatrix} \quad (3.2)$$

Отримане на підставі виразу (3.2) значення T_H^2 порівнюється з критичним значенням для заданого рівня статистичної значущості $\alpha = 0,05$ й числа ступенів свободи $p = 2$, $(n - p) = 10$. Критичне значення статистики Хотеллінга визначається за формулою:

$$T_{\alpha,p,(n-p)}^2 = \frac{p(n-1)}{n-p} F_{\alpha,p,(n-p)}, \quad (3.3)$$

де $F_{\alpha,p,(n-p)}$ – статистика Фішера.

Для всіх значень має виконуватися нерівність:

$$T_H^2 < T_{кр}^2. \quad (3.4)$$

Якщо нерівність (3.4) не виконується, слід виявити показники, які здійснюють критичний вплив на функціональний стан оператора. Для цього можна скористатися частинним критерієм Хотеллінга за, формулою:

$$T_{Hj}^2 = \frac{n[c_j^T (\bar{x}_j - \mu_{0j})^2]}{[c_j^T S c_j]}, \quad (3.5)$$

де C_j – вектор-стовпець, що складається з нулів у всіх рядках крім j -го, де стоїть 1. Якщо $T_{Hj}^2 > T_{кр}^2$, то саме параметр j здійснює критичний вплив на

стабільність функціонального стану оператора, і тому потрібно вжити заходів щодо його корекції.

Так, в роботі на основі багато параметричного критерію Хотеллінга проведе оцінювання біологічної стійкості 12 операторів на основі їх ретроспективних даних за 12 місяців. Значення їх медико-біологічних показників з використанням традиційного підходу порівняння з загальноприйнятою нормою для цього віку дало результат про стабільність функціонування даних осіб. В свою чергу за використанням T^2 статистики Хотеллінга виявились чутливими до розгалуженості біологічної рівноваги та виявили її у 5 операторів. Результати порівняльного аналізу розрахункових значень з критичним значенням статистики Хотеллінга наведено на рис.7 Таким чином, застосування статистики Хотеллінга для оцінювання змін в системі організму оператора, дає більш достовірні результати порівняно з традиційним підходом використання норми для вікових груп (рис.7).

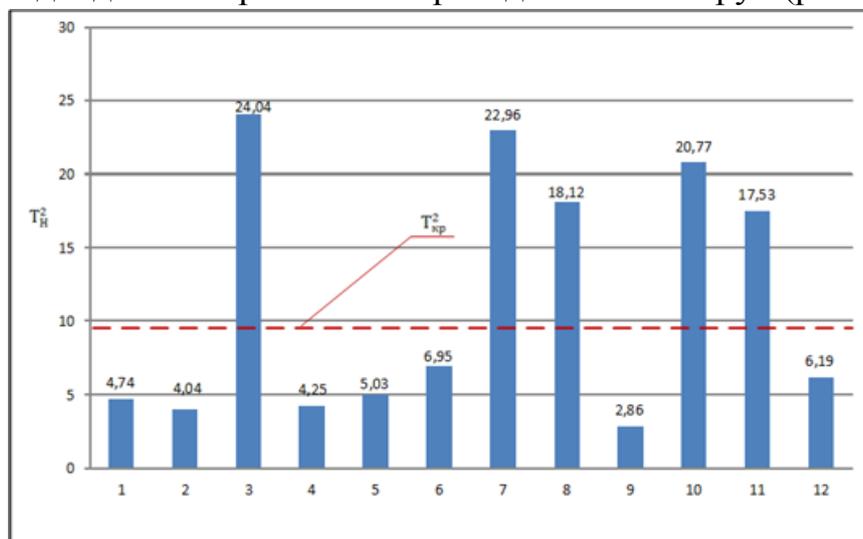


Рисунок 7 – Результати порівняльного аналізу розрахункових значень з критичним значенням

Також, використання T^2 критерію Хотеллінга дозволяє виявити індивідуальну межу норми, яка визначається у всіх досліджуваних, для яких $T_H^2 < T_{кр}^2$ як межа на основі їх ретроспективних даних.

У четвертому розділі розглянуто метод оцінювання небезпеки відхилення параметру від індивідуальної норми для вирішення завдання прогнозування виникнення негативної події.

Слід відзначити, що у багатьох випадках невідповідність значення певного параметра межам допуску може виникнути внаслідок значної кількості різноманітних факторів, тобто ця обставина не гарантує наявності відповідної події. У відповідності з визначеним відхиленням оцінюваного параметра функціонального стану оператора від індивідуальної межі норми (яка описана в третьому розділі) як правило, супроводжується одночасною зміною та знаходженням за межами допуску певної кількості його параметрів. Таким чином, оцінити стан підсистем організму можливо на основі результатів вимірювань медико-біологічних параметрів різних підсистем організму.

Пропонується встановити критерій оцінювання стану складових підсистем організму на основі результатів вимірювального контролю його параметрів. При цьому контрольовані параметри пропонується поділити на певні рівні.

Під контрольованим параметром першого рівня будемо розуміти такий параметр, відхилення якого від норми є основною ознакою виникнення певного відхилення стану складового елементу системи організму.

Чисельне значення критерію оцінювання стану складових елементів оцінювання функціонального стану організму на основі результатів вимірювального контролю його параметрів пропонується визначати за виразом:

$$K_{PO} = \frac{|\rho_{K 11}|P_{K 1} + |\rho_{K 12}|P_{K 2} + \dots + |\rho_{K 1i}|P_{K i} + \dots + |\rho_{K 1N_K}|P_{K N_K}}{|\rho_{K 11}| + |\rho_{K 12}| + \dots + |\rho_{K 1i}| + \dots + |\rho_{K 1N_K}|} = \frac{\sum_{i=1}^{N_K} |\rho_{K 1i}|P_{K i}}{\sum_{i=1}^{N_K} |\rho_{K 1i}|}.$$

З урахуванням того, що критерій оцінювання стану елементів на основі результатів вимірювального контролю його параметрів є сенс визначати тільки тоді, коли $P_{K i} = 1$, а у будь-якому випадку $|\rho_{K 11}| = 1$, вираз приймає вигляд:

$$K_{PO} = \frac{1 + \sum_{i=2}^{N_K} |\rho_{K 1i}|P_{K i}}{1 + \sum_{i=2}^{N_K} |\rho_{K 1i}|}.$$

Чим більше значення критерію наближається до одиниці, тим більша імовірність наявності відповідного відхилення стану складових елементів від індивідуальної межі норми. Від чисельного значення критерію залежить прийняття рішення стосовно оцінювання функціонального стану організму, спрямованих на усунення подій, що спричинили вищевказане відхилення стану.

Запропонований критерій оцінювання стану складових елементів оцінювання функціонального стану організму може приймати значення в межах від мінімального значення $K_{PO MIN}$ до одиниці, мінімальне значення критерію визначається за виразом:

$$K_{PO MIN} = \frac{1}{1 + \sum_{i=2}^{N_K} |\rho_{K 1i}|}.$$

Таким чином, якщо значення контрольованого параметра першого рівня, яким у цьому випадку є робота серцево-судинної системи, є більшим, ніж верхнє граничне значення індивідуальної межі норми, а усі інші контрольовані параметри знаходяться у межах індивідуальної норми, критерій оцінювання стану має мінімальне значення.

Критерій небезпеки відхилення стану підсистем організму від індивідуальної межі норми на основі результатів вимірювання та вимірювального контролю його параметрів пропонується у загальному вигляді визначати за виразом

$$K_{PN} = a_1 f_{K 1}(P_{K 1}) + a_2 f_{K 2}(P_{K 2}) + \dots + a_1 f_{K 1}(P_{K 1}) + \dots + a_{N_K} f_{K N_K}(P_{K N_K}) = \sum_{i=1}^{N_K} a_i f_{K i}(P_{K i}),$$

де $a_1, a_2 \dots a_{N_k}$ - вагові коефіцієнти, значення яких визначається на основі результатів експериментальних досліджень та експертної оцінки взаємозв'язку та взаємного впливу параметрів підсистем організму при виникненні небезпеки подальшого відхилення від індивідуальної норми стану медико-біологічних параметрів підсистем організму. Чисельне значення запропонованого критерію може змінюватися від нуля до одиниці, чим більше його значення наближається до одиниці, тим більша імовірність виникнення відхилення стану складових елементів підсистем організму від індивідуальної норми. Тип відхилення визначається контрольованим параметром першого рівня.

У п'ятому розділі розглянуто задачі вдосконалення розрахунку адаптаційного потенціалу за формулою Bayevskogo за рахунок використання карт Хотеллінга.

Біологічна стабільність (рівновага) операторів, що виконують професійні обов'язки є складним динамічним процесом, тому оцінювання функціонального стану організму необхідно проводити з урахування адаптаційних можливостей (резервів) організму які можуть компенсувати вплив несприятливих умов зовнішнього середовища, в тому числі професійних. На протидію такого впливу спрямовуються спеціальні механізми, які зберігають постійність внутрішнього середовища або змінюють його в межах, визначених фізіологічними законами. Цей динамічний процес пов'язаний з адаптаційними резервами організму. Адаптація організму до дії різних факторів навколишнього середовища в значній мірі пов'язана з реакціями серцево-судинної системи і її регуляторних механізмів. Найбільш поширений метод визначення адаптаційного потенціалу дозволяє оцінити адаптаційні можливості організму та визначити ризик розвитку захворювань. За допомогою цього методу визначають адаптаційний потенціал системи кровообігу та всього організму. Для його отримання реєструють наступні медико-біологічні параметри: вік, маса тіла, зріст, частота серцевих скорочень, артеріальний тиск.

Проведений розрахунок адаптаційного потенціалу 12 осіб, що виконують професійні обов'язки при дії факторів ризику. Постійний контроль та використання прогресивних методів та засобів для моніторингу та прогнозування стану організму необхідний для безпеки виконання їх професійних завдань. Тому що специфіка роботи передбачає знаходження в умовах повної ізоляції від медичних установ, наслідком чого є неможливість надати специфічну медичну допомогу в певний проміжок часу.

Для розрахунку адаптаційного потенціалу була отримана статистична інформація про фізіологічні показники учасників дослідження. Данні були зібрані впродовж 12 місяців.

За відомим методом адаптаційний потенціал організму оператор авіаційної галузі може бути розрахований за наступною формулою:

$$AP = 0,011 * ЧСС + 0,014 * ATc + 0,008 * AT\delta + 0,009 * MT + 0,014 * B - 0,009 * DT - 0,27(y .o.), \quad (5.1)$$

де В - вік, роки; ДТ - довжина тіла, см; АТс і АТд - систолічний і діастолічний артеріальний тиск; 0,011; 0,014; 0,008; 0,009; 0,27 - коефіцієнти керування регресії.

Адаптаційний показник було розраховано для 12 учасників дослідження для розрахунку були використані показник, що виміряні у стані спокою. Таким чином було оброблено близько 430 показників для розрахунку адаптаційного потенціалу та для подальшого прогнозування стану організму при постійно діючих екстремальних факторів.

Оцінювання адаптаційного потенціалу проводиться за наступним ранжуванням: задовільна адаптація (менше 2,1 у.о.), напруженість механізмів адаптації (від 2,11 у.о. до 3,2 у.о.); незадовільна адаптація (від 3,21 у.о. до 4,3 у.о.); зрив адаптації (більше 4,3 у.о.)

Аналізуючи розрахований адаптаційний показник у учасників дослідження, можна зробити висновок, що в усіх учасників спостерігається напруженість механізмів адаптації, яка з'являється через стресово-екстремальні умови. Було встановлено, що АП не залежить від місяця дослідження, а від індивідуальних характеристик організму, наприклад віку, маси тіла. Оператори, які були старші важче адаптувалися до екстремальних умов і у них відповідно було вище значення АП (оператори 2, 10, 11). Відповідно до значення АП можна поділити операторів на групи, залежно від ймовірності виникнення захворювання.

В дисертаційній роботі був запропонований вдосконалений метод розрахунку адаптаційних можливостей організму, що заснований на вищеописаному методі з використанням карт Хотеллінга. Даний математичний апарат широко використовується для аналізу процесів різного типу для підвищення достовірності при аналізі багатопараметричних показників.

Так для перевірки гіпотези про стабільність стану здоров'я антарктичних зимівників в одновимірному випадку за вибіркою обсягом n за відомої дисперсії генеральної сукупності використано статистику:

$$z = \frac{(\bar{x} - \mu_0)}{\sigma/\sqrt{n}} \quad (5.1)$$

На основі виразу (3) були обчислені значення z^2 адаптаційного потенціалу на основі показників частоти серцевих скорочень, даних тиску, ваги та віку особи.

Результати розрахованих значень адаптаційного потенціалу з використанням карт Хотеллінгом подані на рис.8. Червоною лінією визначене критичне значення $T_{0,99,5}^2$. Всі значення z^2 , що вище червоної лінії свідчать про порушення адаптаційних можливостей до зовнішніх факторів. Дані порушення можуть свідчити про недостатню кількість резервних можливостей організму, що можуть вплинути як на виконання професійних обов'язків. Так, згідно з результатами розрахунків, порушення адаптаційних можливостей було визначено у трьох операторів, в той час як ранжування за традиційним

підходом визначило незадовільну адаптацію тільки у одного учасника дослідження.

Таким чином, використання T^2 - статистики Хотеллінга для завдань оцінювання адаптаційного потенціалу надає більш достовірні результати порівняно з існуючими методами, тобто для даної групи точність отримання вторинної інформації склала 16,67%.

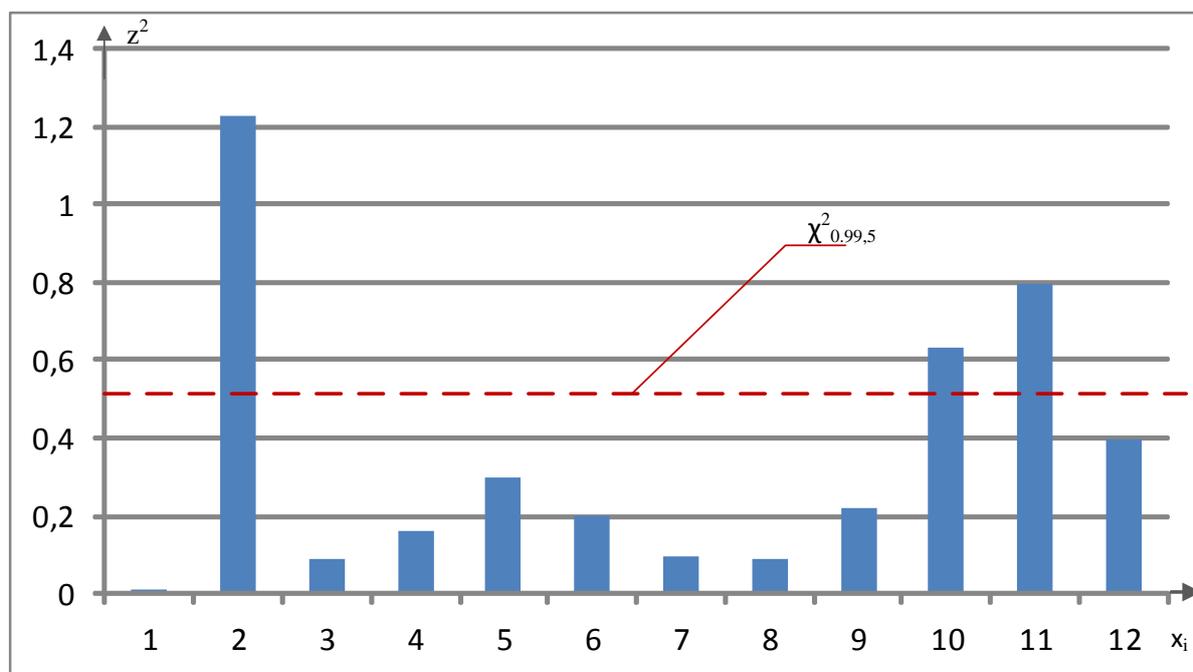


Рисунок 8 – Порівняння розрахункових значень T^2 - статистики з критичним значенням

Тобто існують суттєві перспективи використання карт Хотеллінга для аналізу стабільності функціонування організму та його адаптаційних можливостей, методологічною основою яких є комплексний системний інформаційний підхід до визначення співвідношень параметрів, які виступають як нові діагностичні ознаки, що доповнюють загальноприйняте в функціональній діагностиці трактування результатів електрофізіологічних досліджень на основі аналізу отриманих абсолютних величин.

На основі проведених розрахунків було розроблено методуку, щодо визначення адаптаційного потенціалу яку можна використати для визначення адаптаційного потенціалу оператора для завдань обов'язкових та добровільних сповіщень методології оцінювання системи управління безпекою польотів.

У підрозділі 5.3. запропонована модифікація AR(p) моделі прогнозування медико-біологічних параметрів, що полягає у визначенні її оптимальних коефіцієнтів при поданні похибки прогнозування в матриці на основі Geman-McClure. Для AR(p) моделі в матриці L20, з якої можна отримати класичні рівняння Юла-Уокера, систему нелінійних рівнянь можна вважати системою рівнянь Yule-Walker в узагальненому вигляді в матриці Geman-McClure.

Розрахунок коефіцієнтів та точності прогнозування для випадків моделювання частоти серцевих скорочень отриманих в стані спокою на основі емпіричних даних, а також при наявності викидів наведені в Додатку Е дисертаційної роботи. Точність прогнозування на основі емпіричних даних склала була збільшена в 20,1 раз, при наявності викидів в 2 рази, що надає змогу зробити висновок про можливість використання зазначеного підходу для задач прогнозування динаміки медико-біологічних параметрів при оцінюванні функціонального стану оператора

У шостому розділі визначений рівень ризику порушення рівноваги між адаптаційним потенціалом та дією факторів дестабілізації на основі системи диференційних рівнянь з урахуванням індивідуальних особливостей та моделі прогнозу з використанням штучних нейронних мереж.

У Збірнику матеріалів № 10 ІСАО за людським фактором визначено, що найкраще розуміння ролі людського фактора призведе і до усвідомлення помилки людини в організаційному контексті авіатранспортної галузі та при пошуку причин та шляхів запобігання авіаційним подіям. Процес управління ризиком передуює контролю процесу діяльності (моніторинг), ідентифікація небезпек, визначення загроз, характерних для кожної небезпеки. Для кожної загрози вводяться вимірювані показники, які повинні перевищувати встановлених для даної діяльності обмежень та проводиться розрахунок ризиків кожної загрози. З огляду на зазначену процедуру для оцінювання ризику людського фактору запропонований наступний підхід. Ризик пов'язаний перш за все з поняттям невизначеності. У зв'язку з цим під ризиком будемо розуміти невизначеність, результатом якої може стати та чи інша несприятливий подія, що викликана факторами дестабілізації стану організму.

Таким чином, два суттєвих компонента ризику - це наявність невизначеності і можливість несприятливого події як наслідку (результату), цієї невизначеності. Трагування ризику стосується визначення ризику в площині рішень, прийнятих для досягнення визначених цілей (непевність, пов'язана із результатами певних рішень). Також визначається інформаційний характер причин виникнення ризику (внаслідок неповної або неточної інформації приймаються рішення, які не є оптимальними з точки зору поставленої мети).

Серед способів кількісного визначення величини ризику необхідно використання двох основних підходів: теоретичного і емпіричного. Теоретичний підхід характеризує вимоги до результатів визначення рішення, за умови розрахунку ризику шляхом логічних міркувань, а не на основі минулого досвіду. Емпіричний підхід екстраполює ризик, розрахований на базі подій минулих періодів з використання статистичного способу. Статистичний спосіб полягає в тому, що вивчається статистика ризиків, які мали місце у даної особи та встановлюється частота появи певних рівнів втрат.

Для розрахунку ризику на основі теоретичного підходу запропоновано в якості штучного інтелекту використати штучні нейронні мережі, що дозволяють здійснити прогноз виникнення несприятливої події на основі тестової вибірки. Перевагою теоретичного підходу є розробка штучної

нейронної мережі з мінімальною помилкою на тестовій множині даних, що дозволяє її використання в якості інструменту прогнозування для наступних учасників дослідження.

В якості тестової вибірки були використані медико-біологічні показники обстеження 110 учасників дослідження що дали змогу виконати умову для підвищення достовірності прогнозу мережу на основі достатньої кількості початкових даних тестової множини. Були оброблені дані, що характеризують стан серцево-судинної системи за 17-ма показниками: активований частковий тромбoplastиновий час, протромбіновий індекс, тромбіновий час, міжнародне нормалізоване співвідношення, розчинний комплекс мономерів фібрину, антитромбін, фібриноген, D-димер, холестерин, реактивний білок, ліпопротеїни та інші (АЧТВ, ПІ, ТЧ, рівень холестерину, АТ-3, МНО, РФМК, ТГ, ЛПВП, Д-Димер, рівень фібриногену, ОНП, НП, С-РБ, ЛП, ФВ), в якості вихідних параметрів визначався час від обстеження до формування тромбозу (t) та ймовірність виникнення різкого порушення серцево-судинної системи (k). Порушений кровотік, , що може бути однією з причиною різкого порушення серцево-судинної системи, може виникнути внаслідок особливостей виконання професійних обов'язків (наприклад, при тривалих авіаперельотах). Тестова вибірка містить діагностичні дані учасників дослідження та час виникнення або відсутності формування раптового порушення стану серцево-судинної системи у даної групи. Кількість вхідних нейронів обумовлена кількістю вхідних показників і становитиме 17, вихідних 2. Число прихованих шарів не більше двох. Для оцінки результатів навчання мережі та її узагальнюючих властивостей був використаний критерій регулярності. Описані процедури можна віднести до першого початкового етапу підготовки. В той час як другий етап включає визначення найефективнішої нейронної мережі для поставленої задачі на основі реальних даних. Було побудовано загалом 223 нейронні мережі з використанням різних програмних продуктів. Вхідні дані включають в себе 17-ть діагностичних показників, що відображають стан 110 учасників дослідження. Саме така кількість даних дозволила збільшити достовірність прогнозу, тому що створенню нейромережі передують етап збору даних від їх якості залежатиме результат. Розробка моделі прогнозування різкого порушення стану серцево-судинної системи оператора на основі застосування елементів штучного інтелекту (штучних нейронних мереж) була здійснена за допомогою чотирьох різних пакетів NeuroXL Package, NeuroSolutions, STATISTICA Neural Networks, MATLAB Neural Network Toolbox

В середовищі SNN було побудовано 186 нейронних мереж, з них обрано 5 з найменшими значеннями помилок (навчання, вибіркової та тестування) (таблиця 6). Використані наступні архітектури нейронних мереж: радіально-базисна мережа; лінійна мережа; багатошаровий перцептрон; нейронна мережа загальної регресії. Схема нейронної мережі з найменшою помилкою навчальної та тестової множини (рис. 9) показує, що нейромережа GRNN має 17 вхідних нейронів відповідно до кількості медичних показників, два прихованих шари в першому 6, а в другому 3 нейрони та 2 нейрони вихідного шару.

Загальний опис 5-ти нейромереж побудованих в SNN

№	Тип мережі	Помилка навчання	Вибіркова помилка	Помилка тестування	Кількість вхідних нейронів	Кількість нейронів у прихованому шарі №1	Кількість нейронів у прихованому шарі №2
1	RBF 17:17-3-2:2	0,218990	0,273355	0,782891	17	3	0
2	Linear 1:1-2:2	0,399745	0,166594	0,276304	1	0	0
3	MLP 1:1-5-2:2	0,114087	0,035489	0,300058	1	5	0
4	MLP 2:2-4-2:2	0,013125	0,015855	0,542260	2	4	0
5	GRNN 17:17-6-3-2:2	0,002467	0,000000	0,043455	17	6	3

Саме таке розміщення елементів виявилось найбільш результативним для даного типу мережі.

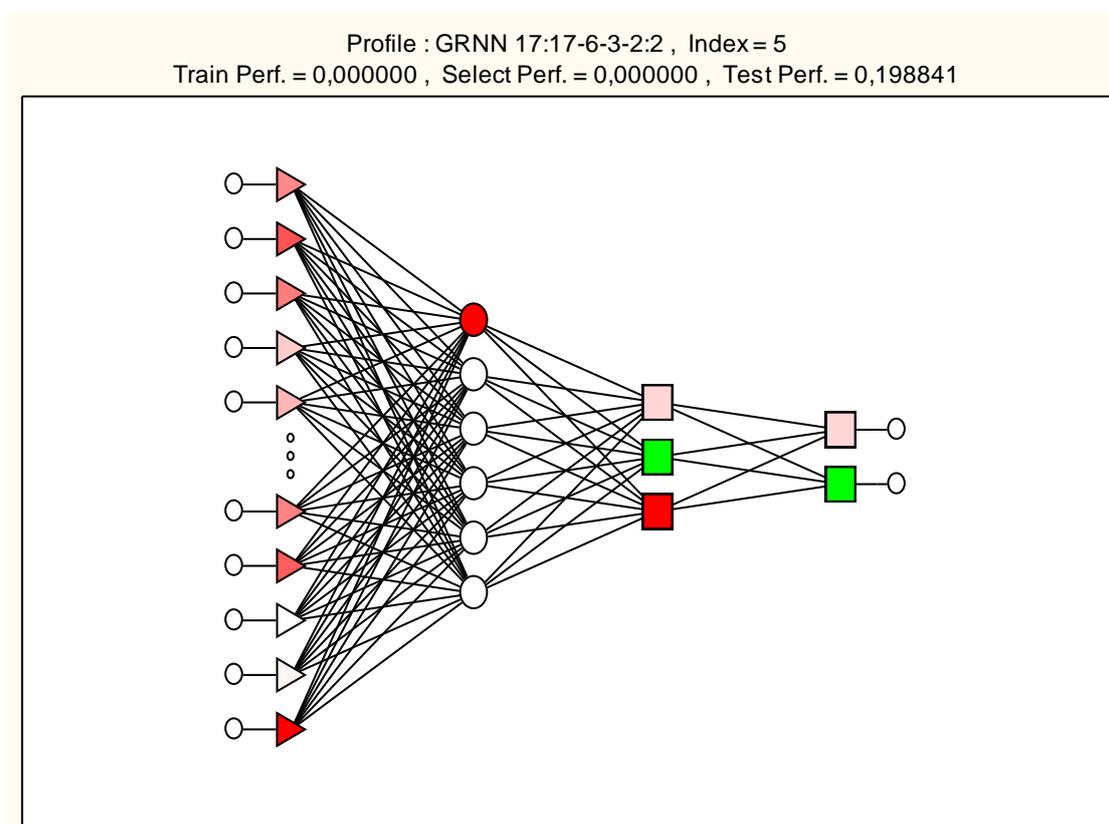


Рисунок 9 – Нейромережа GRNN 17:17-6-3-2:2

Мережа GRNN 17:17-6-3-2:2 створена в програмному середовищі STATISTICA показала найнижчі результати помилок. При її побудові використовувалося правило навчання з вчителем, сигмоїдальна функція активації, два прихованих шари та 9 нейронів у них. Дана штучна мережа може бути використана для прогнозування різкого порушення стану серцево-судинної системи оператора на основі застосування елементів штучного інтелекту (штучних нейронних мереж) при використанні теоретичного підходу

для отримання інформації про можливість та місяць виникнення небезпечної події.

У цьому розділі розроблена топологічна модель з використанням мереж Петрі, що поєднала всі описані в розділах, 2,3,4,5,6 методики та критерії.

Адекватність прийняття рішень про функціональний стан такої складної системи як біологічний об'єкт вимагає всебічного аналізу всіх його складових. А також обліку невизначеності впливу факторів при оцінюванні медико-біологічних показників кожної з підсистем. Для ухвалення рішення про функціональний стан всіх підсистем біологічного об'єкта з урахуванням невизначеності, що надасть підставу для визначення адаптаційних резервів організму та поточного рівня втрати розроблена топологічна модель мережами Петрі, що поєднала в себе всі розроблені в дисертаційній роботі моделі, критерії та методики рис.10.

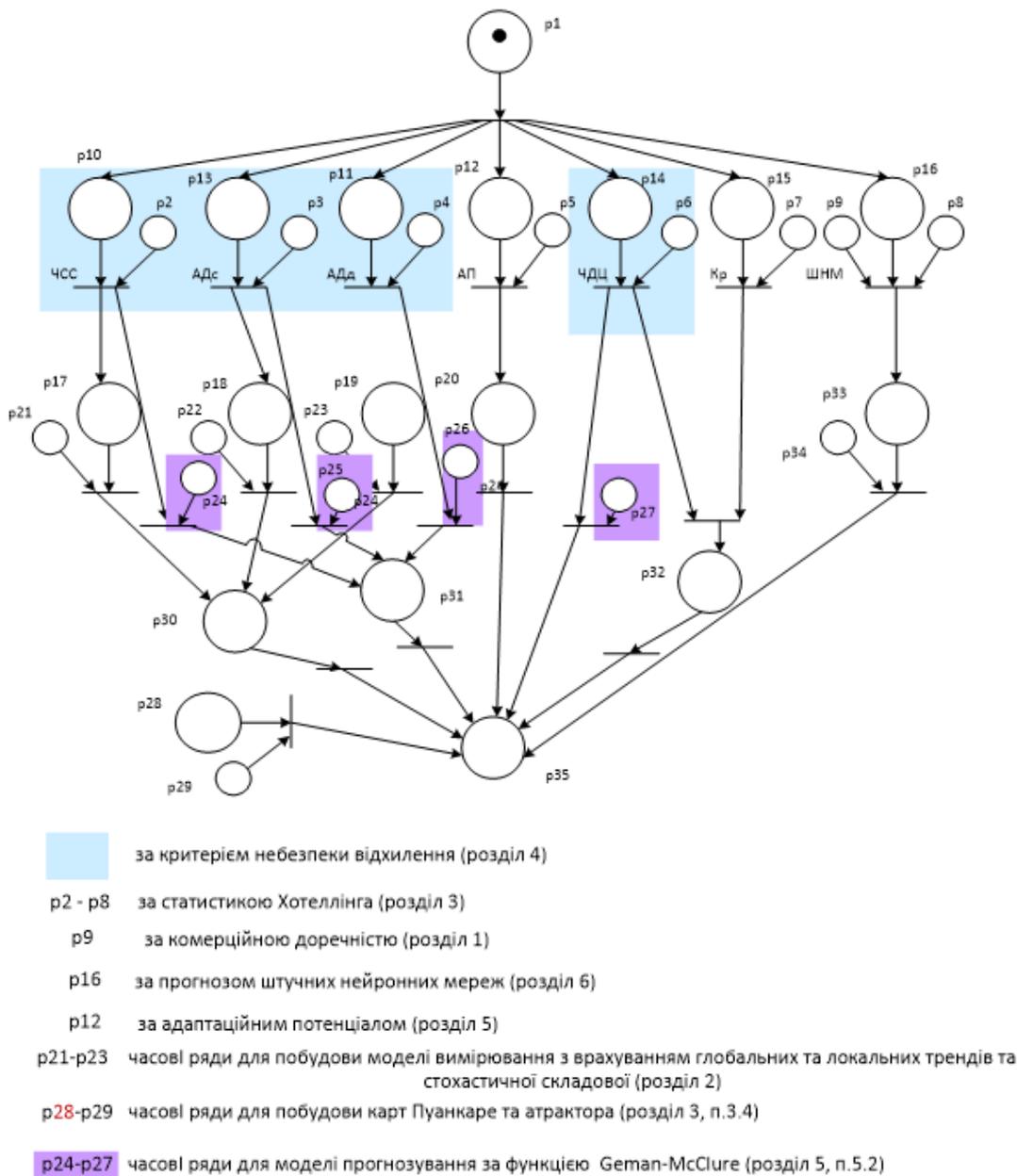


Рисунок 10. Топологічна модель оцінювання функціонального стану персоналу

Визначення адаптаційного потенціалу для оцінювання поточного функціонального стану оператора з урахуванням впливу факторів дестабілізації дає підставу дозволити не тільки ефективно використати усі види ресурсів, як матеріальні так і трудові, але і надасть змогу попередити ризики, пов'язані з людським фактором та є підставою для обов'язкових та добровільних сповіщень згідно наказу Державної авіа служби України від 27.12.2019р № 1817 «Про затвердження Авіаційних правил України "Порядок сповіщення про події в галузі цивільної авіації, розгляду отриманої інформації, її аналізу та вжиття відповідних заходів». Такий підхід надає можливість прогнозувати ймовірність виконання професійних обов'язків, особливо це важливо при виконанні польотів, коли умови ізоляції і складних зовнішніх кліматичних, психологічних і соціальних факторів постійно впливають на зміну стану функціонального рівноваги організму (гомеостазу) авіаційного персоналу. А вихід з цього стану може привести до зриву адаптаційного потенціалу та не виконання професійних обов'язків та стати тригером виникнення небезпечної події та прийняття помилкових рішень операторами авіаційної діяльності.

У висновках сформульовано основні результати дисертаційних досліджень. Додатки містять акти впровадження результатів роботи, опис практичних розрахунків за представленими методика, проміжні частинні розрахунків.

ВИСНОВКИ

У дисертації проведені теоретичні узагальнення й отримані рішення для вирішення науково-прикладної проблеми розробки методології синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності, яка спрямована на зменшення ризику пов'язаного з людським фактором за рахунок досягнення мети забезпечення проактивного прогнозування ризику в системі управління безпекою польотів пов'язаного з людським фактором, на основі управління функціональним станом персоналу.

У процесі виконання дисертаційної роботи отримані такі основні результати:

1. Проаналізовано сучасний стан та перспективи розвитку методології оцінювання системи управління ризиками з безпеки польотів та місце людського фактора при виявленні джерел небезпеки.

2. Проведений аналіз впливу факторного впливу на динаміку часових рядів показників функціонального стану оператора, який дозволив розробити уніфіковану модель даних рядів з врахуванням трендів та стохастичних впливів, а також проведена оптимізація даної моделі за критерієм статистичної стійкості.

3. Розроблено метод контролю біологічної стабільності оператора з урахуванням особливостей фізичного навантаження та відокремлення факторів неоднорідності від факторів біологічної нестабільності за рахунок

валідації статистичної значущості рішень про відсутність біологічної нестабільності оператора.

4. Розроблено метод вдосконалення розрахунку адаптаційного потенціалу (адаптаційних резервів) оператора, який на відміну від існуючих здійснює перевірку гіпотези про стабільність функціонального стану оператора з використання карт Хотеллінга, що дозволило зменшити невизначеність розрахунку на 16,67%.

5. Запропоновано метод визначення індивідуальної межі норми для медико-біологічних показників оператора, який відрізняється від існуючих підвищеною чутливістю за рахунок персоналізованого підходу до визначення меж коливань окремих показників та їх груп з використанням T2-статистики Хотеллінга.

6. Запропоновано модель прогнозування з використанням штучних нейронних мереж, що дозволяє визначити можливість та час виникнення негативної події, яка викликана різким порушенням стану серцево-судинної системи оператора.

7. Розроблено авторегресійну модель прогнозування динаміки медико-біологічних параметрів з модифікованим рівнянням Yule-Walker в метриці Geman-McClure, що дозволила підвищити точність прогнозування при відсутності викидів в 20 разів, при наявності викидів в 2 рази.

8. Розроблено топологічну модель оцінювання функціонального стану оператора, з використанням мереж Петрі, що поєднує в собі обґрунтовані в дисертаційній роботі методи, моделі та критерії в єдину систему оцінювання для завдань методології оцінювання системи управління безпекою польотів, а також є інструментом для формування обов'язкових та добровільних сповіщень, пов'язаних зі станом або рівнем втоми персоналу; в свою чергу розроблені методи, моделі та критерії у сукупності з використанням голістичного підходу надають змогу зменшити ймовірність настання ризикової події за рахунок оцінювання функціонального стану на 16,3%.

9. Мета дисертаційної роботи, що полягає в забезпеченні проактивного прогнозування ризику в системі надання авіаційних послуг, пов'язаного з людським фактором, на основі управління функціональним станом персоналу в умовах невизначеності досягнута та всі поставлені задачі вирішені повністю.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus або включених до категорії А Переліку фахових видань України

1. Іванець ОБ. Особливості оцінювання функціонального стану оператора в умовах невизначеностей. Міжнародний науково-технічний журнал «Проблеми керування та інформатики». 2024;1:105-120. ISSN 2786-6491. (група А)

2. Ivanets OB, Khrashchevskyi RV, Burichenko MYu, Kulik MS. Intelligence analysis of empirical data based on time series. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2023;2:38-49. [doi:10.15588/1607-3274-2023/](https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023/) (*Web of Science*)

3. Голубничий, О, Заліський М, Щербина О, Іванець, О. Подання похибки AR моделі через функцію Джимана-МакКлура при прогнозуванні процесів у телекомунікаціях. *Вісті вищих учбових закладів. Радіоелектроніка*. 2023;65(8):496–509. [doi:10.20535/S0021347022090023](https://doi.org/10.20535/S0021347022090023). (група А) Q3 (третій квантіль, що дорівнює 2 публікаціям).

4. Initsky L, Shcherbyna O, Yanovsky F, Zaliskyi M, Holubnychyi O, Ivanets O. Comparison of Circular and Linear Orthogonal Polarization Bases in Electromagnetic Field Parameters Measurement. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*. 2022;14(3):58–72 (*Scopus*)

5. Kuzmin, VM, Khrashchevskyi RV, Kulik MS, Ivanets OB, Zaliskyi MY, Petrova YV. Mathematical model for decision making system based on three-segmented linear regression. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2022;3:38. [doi:10.15588/1607-3274-2022-3-4](https://doi.org/10.15588/1607-3274-2022-3-4). (*Web of Science*)

6. Kuzovik VD, Bulygina OV, Ivanets OB, Gerasymova IG, Sopivnyk RV, Omiotek Z, Kozbakova A. Methodology for flight crew psycho-physiological status forecasting. In: *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019*; SPIE 111762E (2019) [doi:10.1117/12.2536416](https://doi.org/10.1117/12.2536416) (*Scopus*).

7. Volodarsky E, Ivanets O, Kosheva L. Features of assessing the condition of complex objects. In: *XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA)*, 07-11 September 2021; Sozopol. IEEE; 2021. p. 1-5 [doi:10.1109/MMA52675.2021.9610867](https://doi.org/10.1109/MMA52675.2021.9610867) (*Scopus*).

8. Ivanets O, Morozova I. Features of Evaluation of Complex Objects with Stochastic Parameters. In: *2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies*, 15-17 September 2021; Deggendorf. IEEE; 2021. p. 159–162 (*Scopus*).

9. Ivanets O, Burichenko M, Schapov P, Morozova I, Arkhyrei M, Kulakov P. Features of Evaluation of Risks for Complex Objects. In: *13th International Conference on Advanced Computer Information Technologies ACIT 2023*, Wrocław, Poland, Proceedings 21-23 September 2023; Wrocław. IEEE; 2023. p. 63-69, [doi:10.1109/ACIT58437.2023.10275575](https://doi.org/10.1109/ACIT58437.2023.10275575). ISSN: 2770-5226 (*Scopus*).

10. Ivanets OB, Kosheva LO. Approach to the evaluation of the functional state of the human body taking into account the variability of medical and biological indicators. In: *International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers CAOL 2019*; 2019-September; Bolgaria. IEEE. p. 661–665, 9019500 ISBN: 978-1-7281-1813-0. IEEE Catalog Number: CFP19814-USB/ (*Scopus/Web of Science*).

Розділ колективної монографії виданий за кордоном (Springer)

11. Kuzovyyk V., Bulyhina O., Ivanets O., Onykienko Y., Kolesnic P., Wojcik W., Nuradilova D. Complex assessment of the fight crew's psychophysiological state. In: *Wójcik W, Pavlov S, Kalimoldayev M, editors*.

Information technology in Medical Diagnostics II; 2019. p.77-85. doi:10.1201/9780429057618. ISBN 9780367177690 (*Scopus*).

12. Schapov P, Ivanets O, Kulakov P, Kosheva L. Increasing the Reliability of Diagnosis and Control in the Uncertainty of Primary Information. In: Boichenko S, Yakovlieva A, Zaporozhets O, Karakoc TH, Shkilniuk I, Dalkiran A, editors. Sustainable Transport and Environmental Safety in Aviation. Sustainable Aviation. Cham (Switzerland): Springer; 2023. p.13-36. doi:10.1007/978-3-031-34350-6_212.

Статті наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України

13. Хращевський РВ, Іванець ОБ. Особливості проактивного підходу в системі забезпечення безпеки польотів. Наукоємні технології. 2021;4(52):364-372.

14. Khrashchevskyi RV, Ivanets OB, Nesterenko KS, Horskyi OM, Baybuz OG. Model of Decision Making Using Artificial Neural Networks. Electronics and Control Systems. 2021;4(70):19-28.

15. Іванець ОБ, Буриченко МЮ, Букрєєва ОВ. Використання програмного пакета MATLAB для побудови штучних нейронних мереж. Електроніка та системи управління. 2011;3(29):120-123.

16. Lutskyi M.G., Khrashchevskyi R.V., Ivanets O.B., Nesterenko K.S. Information technologies for managing aviation systems. Science-Based Technologies. 2022;2(54):77-85.

17. Еременко В.С., Буриченко М.Ю, Іванець О.Б. Метод обробки результатів вимірювань медичних показників. Наукоємні технології. 2020;3(47):392 - 398.

18. Іванець ОБ, Мельников ОВ, Архирей МВ, Якимець ІВ. Модель прийняття рішень щодо функціонального стану складних об'єктів. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2020;2(66):21-28.

19. Іванець ОБ, Буриченко МЮ. Шляхи зменшення невизначеності прогнозу стану організму людини при нейромережевому моделюванні. Системи обробки інформації: зб. наук. праць. 2012;1(99):86-90.

20. Іванець ОБ, Булигіна ОВ, Дворнік МВ, Оникієнко ЮЮ. Використання мереж Петрі для топологічного моделювання. Електроніка та системи управління. 2010;1(23):129-133.

21. Іванець О. Б., Кулаков П. І., Шкіндер А. П., Кулакова А. П. Оцінювання функціонального стану організму на основі критерію небезпеки відхилення. Наукоємні технології. 2019;4(44):441 - 448.

22. Іванець ОБ, Букрєєва ОВ, Дворнік МВ. Побудова моделей прогнозування за допомогою штучних нейронних мереж. Електроніка та системи управління. 2011;4(30):139-142

23. Іванець ОБ, Дворнік МВ, Морозова ІВ. Формування бази даних для відбору операторів. Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. 2010;2(30):74-79.

24. Іванець ОБ, Морозова ІВ. Методичні підходи до розробки комп'ютеризованої системи прийняття рішень. Електроніка та системи управління. 2009;3(21):127-132.

25. Іванець ОБ, Гнатюк ГВ, Архирей МВ. Метод оцінювання адаптаційних можливостей антарктичних зимівників. Вісник інженерної академії України. 2018;1:135-139.
26. Ivanets O, Arkhyrei M. Reducing uncertainty in health systems. Електроніка та системи управління. 2014;3(41):114-117.
27. Іванець ОБ, Володарський ЄТ, Булигіна ОВ. Концепція прогнозування психофізіологічного стану льотного складу. Метрологія та прилади. 2017;2(50):47-51.
28. Іванець ОБ, Висоцька ЯС, Моїсеєнко ВС, Собова СЮ. Оцінювання функціонального стану організму. Вісник інженерної академії України. 2019;1: 127-131.
29. Bezvershniuk KO, Ivanets OB, Melnykov OV. The Computer Simulation Features in Modern Biotechnical Systems. Electronics and Control Systems. 2021;1,67:84-93.
30. Іванець ОБ, Букреєва ОВ, Владикіна ІА. Розроблення і впровадження бази даних для медичних закладів. Електроніка та системи управління. 2010;1(23):134-137.
31. Іванець ОБ, Висоцька ЯС, Моїсеєнко ВС. Методи оцінювання гомеостазу. Вісник інженерної академії України. 2018. №4. С. 130-135.
32. Іванець ОБ, Мельников ОВ, Мусяєнко МП, Кулікова АП, Іванець БМ. Оцінювання функціонального стану дихальної системи організму. Вісник інженерної академії України. 2019;4:127-131.
33. Іванець ОБ, Архирей МВ, Дацюк ОМ. Системи візуального моніторингу в медицині. Проблеми інформатизації та управління. 2015;2(50):47-51.
34. Луцький МГ, Іванець ОБ, Шавшина ВО. Інформаційна система оцінювання ймовірності виникнення ризикової події під час прийняття біомедичних рішень. Наукоємні технології. 2022;53(1):79-86.
35. Іванець ОБ, Буриченко МЮ, Архирей МВ, Братко ВЮ. Особливості використання методів нелінійної динаміки для обробки біомедичних даних. Наукоємні технології. 2022;4(56):317-334.
36. Іванець ОБ, Архирей МВ, Булигіна ОВ, Кучеренко ВЛ. Інформаційні технології та імітаційне моделювання в закладах охорони здоров'я. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2015;1(32):4-9.
37. Іванець ОБ, Дворнік МВ. Розроблення бази даних в середовищі MS Access. Електроніка та системи управління. 2010.2(24):123-126.
38. Іванець ОБ, Дворнік МВ. Використання мереж Петрі для задач моделювання складних систем. Вісник Інженерної академії України. 2010;2:89-92.
39. Іванець ОБ, Булигіна ОВ, Безвершнюк КО. Метод прогнозування розвитку захворювань. Вісник інженерної академії України. 2018;2:147-151.
40. Іванець ОБ, Архирей МВ, Булигіна ОВ, Кучеренко ВЛ. Застосування експертних оцінок для забезпечення ефективності експлуатації біомедичної апаратури. Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2015;1 (25):167-171.

ПУБЛІКАЦІЇ, ЯКІ ДОДАТКОВО ВІДОБРАЖАЮТЬ НАУКОВІ
РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

41. Іванець ОБ, Морозова ІВ, Нечипорук ВВ. Побудова моделей прогнозування реляційних даних. Електроніка та системи управління. 2011;3(29):124-127.

42. Іванець ОБ, Морозова І.В. Особливості конструювання складних систем. Вісник інженерної академії України. 2018;4:126-129.

ПРАЦІ, ЯКІ ЗАСВІДЧУЮТЬ АПРОБАЦІЮ МАТЕРІАЛІВ ДИСЕРТАЦІЇ

43. Іванець О.Б., Кузовик В.Д., Собова С.Ю., Лішневська В.Ю. Інформаційне забезпечення ефективного управління технологічним процесом лікування та діагностики. У: Політ-2007: VII міжнародна науково-технічна конференція студентів та молодих вчених, 13-15 квітня 2007р.: К., 2007. С 14.

44. Ivanets O.; Morozova I.; Burichenko M.; Kvach Y.. Actual aspects of flight safety on the basis of measuring electrical indicators.2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (ММА). 2021.IEEE.

45. Kuzmin V, Ivanets O, Zaliskyi M, Shcherbyna O, Holubnychyi O, Sevriukova O. Methods for Time Series Analysis Using Segmented Regression with Heteroskedasticity. Proceedings of Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. 2023.

46. Хращевський Р.В., Іванець О.Б., Горський О.А. Особливості розробки математичної моделі прогнозування виникнення небезпечної події в авіації. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем. Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції. м. Чернігів. 27-27 травня 2022 року. Том 2, с.166

47. Ivanets OB. Peculiarities of processing information parameters of complex objects with stochastic influence. Proceedings of XVIII International Conference on Modern Achievements of Science and Education, Neetania (Israel), September 13 – 20, 2023.

48. Архирей МВ, Іванець ОБ, Дрозд АМ, Лашкул ОК.. Модель прогнозування стану серцево-судинної системи на основі інформаційних параметрів. IV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні системи та технології в медицині» (ІСМ– 2021).

49. Boychenko S.V., Kuzovik V.D., Kosheva L.O., Ivanets O.B. Methodological aspects of evaluating a homeostasis of a biological object// Proceedings of XIV International Conference on Modern Achievements of Science and Education, Neetania (Israel), September 26 – October 3, 2019.

50. Іванець О.Б., Кошева Л.О., Моїсеєнко Є.В. Математична модель інформаційних перетворень показників функціонального стану організму. Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2019)» П'ята міжнародна наукова конференція. м.Вінниця. 29 – 31 жовтня 2019 р. С.44-45.

51. Іванець О.Б., Черевко І., Особливості оцінювання функціональних резервів організму. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем. Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції. м. Чернігів. 14-16 травня 2020 року. Том 2, с.160-162.

52. Іванець О.Б., Морозова І.В. Назарчук М.А., Миколушко А.М., Іваницький Є.С. Підхід до аналізу складних об'єктів. Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2019). П'ята міжнародна наукова конференція. м.Вінниця. 29 – 31 жовтня 2019 р. С.39. ISBN 978-966-641-781-0.

53. Іванець О.Б., Морозова І.В., Назарчук М.А., Миколушко А.М., Іваницький Є.С. Синтез інформаційної системи діагностування складних об'єктів Український метрологічний журнал №1А (2020) С. 50-51.

54. Іванець О.Б., Булигіна О.В. Методика оцінювання поточного стану здоров'я. Technical Using of Measurement-2019 V Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених у царині метрології. м. Славське. 29 січня – 2 лютого 2019р. С.100.

55. Іванець О.Б. Методика оцінювання гомеостазу. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем. Матеріали ІХ міжнародної науково-практичної конференції. м. Чернігів. 14-16 травня 2019 року. Том 2, с.223-224.

56. Іванець О.Б., Кузовик В.Д., Кучеренко В.Л. Підвищення достовірності діагностування стійкості організму пілотів. Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах IV Міжнародна наукова конференція (ВКДТС-2017) 31 жовтня-02 листопада 2017 р. Збірник тез доповідей. Вінниця: ПП «ГД «Едельвейс і К»», 2017. С. 54.

57. Cherevko I.S., Ivanets O.B., Melnykov O.V. Evaluation of complex objects. Proceedings of the XV International Scientific and Technical Conference "AVIA-2021". К.: НАУ, 2021.

58. Іванець О.Б., Коваль А.В. Створення автоматизованої системи збору та програмного аналізу медичної інформації для визначення придатності кандидатів до участі у антарктичній експедиції. VII міжнародна антарктична конференція присвячена 25 річчю приєднання України до договору про Антарктиду. Тези конференції 16 – 18 травня 2017 р. С.220.

59. Ivanets O., Buligina O., Bezvzershnyuk M.. The complex assessment psychophysiological state Aviation in the XXI-st century 2018. The VII world congress. Safety in aviation and space technologies. October 10-12, 2018, Kyiv. 2.1. Methods and facilities of technical and medical diagnostics. Volume 2, p1.2.1.39 – 2.1.41.

60. Буриченко М.Ю., Іванець О.Б., Кучеренко В.Л., Дворнік М.В., Булигіна О.В., Собова С.Ю. Невизначеність результатів випробувань біомедичної апаратури. Метрологія та метрологічне забезпечення: сб. докл. 24 нац. научн. симпоз. 7-11 сент. 2014 р. Созополь (Болгарія). СОФТРЕЙД, 2014. С.285-289.

61. Burichenko M., Ivanets O., Dvornik M., Kucherenko V.. Application of artificial neural networks for prognosis in medicine. The VI world congress "Aviation in the XXI-st century" Safety in aviation and space technologies. September 23-25, 2014, Kyiv, Volume 1, p1.7.18 – 1.7.22

62. Іванець О.Б., Дворнік М.В. Використання топологічного моделювання для психофізіологічного відбору. Антарктика і глобальні системи землі: нові виклики та перспективи. V міжнародна антарктична конференція, 17-19 травня 2011р.: тези доп. К., 2011. С.270-272.

63. Іванець О.Б., Владикіна І.А. Проектування та розробка електронної інформаційної системи ретроспективних даних пацієнта. АВІА-2011: X міжнародна науково-технічна конференція, 19-21 квітня 2011р.: тези доп. К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2011.-Т.ІІІ.- С.23.21-23.24.

64. Іванець О.Б., Букреєва О.В. Побудова моделей прогнозування за допомогою штучних нейронних мереж. Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах ВКДТС-2011: I міжнародна наукова конференція пам'яті В.Поджаренка, 18-20 жовтня 2011р.: тези доп. Вінниця., 2011. С.161.

65. Іванець О., Щур В., Мшанецька Л., Бочарова К. Використання телеметрії для контролю серцевої діяльності полярників на антарктичній станції «Академік Вернадський». Збірник тез VI міжнародної антарктичної конференції «Інтернаціоналізація досліджень в Антарктиці - шлях до духовної єдності людства». 15 – 17 травня 2013 р. С.417-418.

66. Kuzmin V., Ivanets O., Zaliskyi M., Shcherbyna O., Holubnychyi O., Sevriukova O. Methods for Time Series Analysis Using Segmented Regression with Heteroskedasticity. Proceedings of Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. 2023.

67. Іванець О.Б., Булигіна О.В., Кучеренко В.Л., Оникієнко Ю.Ю. Концепція прогнозування психофізіологічного стану льотного складу. Technical Using of Measurement-2017: IV Всеукраїнська науково-технічної конференції молодих вчених у царині метрології м. 24 – 27 січня 2017р.: тези доп. Славське, 2017. С. 73-75.

68. Іванець О.Б. Використання індивідуального меж норми при оцінюванні складних об'єктів. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем Матеріали XI міжнародної науково-практичної конференції. м. Чернігів. 27-27 травня 2021 року. Том 2, с.176

69. Ivanets O., Morozova I., Nazarchyk M., Mykolushko A., Ivanytskyi Ye. Approach in the Analysis of Complex Objects. Proceedings of the XXIX International Scientific Symposium “Metrology and Metrology Assurance (MMA) 2019”, 6 – 10 September 2019 , Sozopol, Bulgaria, pp.72-75. IEEE 2019. ISSN 2603-3194.

70. Ivanets O. Theoretical Aspects of Assessment of the Condition of the Biological Object. International Symposium on Aircraft Technology, MRO & Operations. Abstract Book. Kyiv, 22 - 24 September 2020. Kyiv, 2020. P.143.

АНОТАЦІЯ

Іванець О.Б. Методологія синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.03. – системи та процеси керування. – Національний авіаційний університет МОН України, Київ, 2024.

Дисертаційна робота спрямована на розроблення науково-методологічних засад, теоретичних основ, інструментального базису та технології синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності, що спрямовані на забезпечення проактивного підходу в методології оцінювання системи управління безпекою польотів.

У дисертаційній роботі проведений аналіз впливу факторного впливу на динаміку часових рядів показників функціонального стану оператора. Це дозволило розробити уніфіковану модель даних рядів з врахуванням трендів та стохастичних впливів. Проведена оптимізація даної моделі за критерієм статистичної стійкості. Розроблено метод контролю біологічної стабільності оператора з урахуванням особливостей фізичного навантаження та відокремлення факторів неоднорідності від факторів біологічної нестабільності за рахунок валідації статистичної значущості рішень про відсутність біологічної нестабільності оператора. Розроблений метод вдосконалення розрахунку адаптаційного потенціалу оператора який на відміну

від існуючих здійснює перевірку гіпотези про стабільність функціонального стану оператора з використання карт Хотеллінга, що дозволило, для розглянутої групи досліджуваних, зменшити невизначеність розрахунку на 16,67%. Запропонований метод визначення індивідуальної межі норми для медико-біологічних показників оператора, який відрізняється підвищеною чутливістю за рахунок використання T^2 -статистики Хотеллінга.

Запропонована модель прогнозування з використанням штучних нейронних мереж, що дозволяє визначити можливість та час виникнення негативної події викликану різким порушенням стану серцево-судинної системи оператора. Розроблена топологічна модель оцінювання функціонального стану оператора, з використанням мереж Петрі, що поєднує в собі обґрунтовані в дисертаційній роботі методи, моделі та критерії в єдину систему оцінювання, що є важливим елементом методології синтезу управління функціональним станом персоналу, для завдань методології оцінювання системи управління безпекою польотів, а також інструментом для формування обов'язкових та добровільних сповіщень, пов'язаних зі станом або рівнем втоми персоналу; що надає змогу підвищити якість прогнозування виявлення ризику в системі управління безпекою польотів щонайменш на 16,3%.

Ключові слова: безпека польотів, людський фактор, функціональний стан, невизначеність, адаптаційний потенціал, модель прогнозування.

ABSTRACT

Ivanets O.B. Methodology of the synthesis of management of the functional state of personnel with elements of artificial intelligence in conditions of uncertainty.

Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Technical Sciences by specialty 05.13.03. – management systems and processes. - National Aviation University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2024.

The dissertation work is aimed at the development of scientific and methodological foundations, theoretical foundations, instrumental basis and synthesis technology of managing the functional state of personnel with elements of artificial intelligence in conditions of uncertainty, aimed at ensuring a proactive approach in the methodology of evaluating the flight safety management system.

In the dissertation, theoretical generalizations were made and solutions obtained for solving the scientific and applied problem of developing a methodology for the synthesis of management of the functional state of personnel with elements of artificial intelligence in conditions of uncertainty, which is aimed at reducing the risk associated with the human factor by achieving the goal of ensuring proactive risk forecasting in the system flight safety management related to the human factor, based on the management of the functional state of personnel. In the course of the dissertation, the following main results were obtained: 1. The current state and prospects for the development of the methodology for evaluating the risk management system for flight safety and the place of the human factor in identifying sources of danger were analyzed. 2. An analysis of the influence of factor influence on the dynamics of time series of indicators of the operator's functional state was carried out, which made it possible to develop a unified model of data series taking

into account trends and stochastic influences, as well as optimization of this model according to the criterion of statistical stability. 3. A method of controlling the operator's biological stability has been developed, taking into account the characteristics of physical load and separating factors of heterogeneity from factors of biological instability. 4. A method of improving the calculation of the adaptation potential (adaptation reserves) of the operator has been developed. 5. A method of determining the individual limit of the norm for medical and biological indicators of the operator is proposed. 6. A prediction model using artificial neural networks is proposed. 7. An autoregression model for predicting the dynamics of medical and biological parameters with a modified Yule-Walker equation in the Geman-McClure metric was developed. 8. A topological model for evaluating the operator's functional state has been developed, using Petri nets, which combines the methods, models and criteria substantiated in the dissertation into a single evaluation system. 9. The goal of the dissertation work, which is to ensure proactive risk forecasting in the system of providing aviation services related to the human factor, based on the management of the functional state of personnel in conditions of uncertainty, has been achieved and all the tasks have been fully resolved. In the dissertation, an analysis of the influence of factor influence on the dynamics of time series of indicators of the functional state of the operator is carried out. This allowed to develop a unified model of data series taking into account trends and stochastic influences. This model was optimized according to the criterion of statistical stability. A method of controlling the operator's biological stability has been developed, taking into account the characteristics of the physical load and separating the factors of heterogeneity from the factors of biological instability due to the validation of the statistical significance of decisions about the absence of biological instability of the operator. A method for improving the calculation of the adaptation potential of the operator was developed, which, unlike the existing methods, verifies the hypothesis about the stability of the functional state of the operator using Hotelling maps, which allowed, for the considered group of subjects, to reduce the uncertainty of the calculation by 16.67%. The proposed method of determining the individual limit of the norm for the operator's medico-biological indicators, which is characterized by increased sensitivity due to the use of Hotelling's T^2 statistics.

A forecasting model using artificial neural networks is proposed, which allows to determine the possibility and time of occurrence of a negative event caused by a sudden disturbance of the operator's cardiovascular system. A topological model for evaluating the functional state of the operator was developed, using Petri nets, which combines the methods, models and criteria substantiated in the dissertation work into a single evaluation system, which is an important element of the synthesis methodology of managing the functional state of personnel, for the tasks of the evaluation methodology of the flight safety management system, as well as a tool for forming mandatory and voluntary notifications related to the state or level of staff fatigue; which makes it possible to improve the quality of risk detection forecasting in the flight safety management system by at least 16.3%.