

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ІВАНЕЦЬ ОЛЬГА БОРИСІВНА

УДК 629.519.7/614

ДИСЕРТАЦІЯ

Методологія синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності

05.13.03 – Системи та процеси керування

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

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


Іванець О.Б.

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор

Хращевський Рімвідас Вілімович

Київ - 2024

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 Міністерства освіти і науки 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 забезпечують проактивний підхід в методології оцінювання системи управління безпекою польотів.

Наукова новизна полягає в розробці теоретичних та практичних засад, а також науково-методологічних підходів до забезпечення проактивного прогнозування ризику в системі надання авіаційних послуг, пов'язаного з людським фактором, на основі управління функціональним станом персоналу в умовах невизначеності, а саме:

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 відокремленням 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 T^2 -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: розроблені, теоретично обґрунтовані методи мають високий ступінь готовності до використання у методології управління безпекою авіаційною діяльністю, в якості клькісних

критерії при оцінюванні ризиків, що вимагають обов'язкового сповіщення в авіаційній галузі для прогнозування виникнення небезпечної події за рахунок впливу людського фактору, оскільки доведені до прикладних методик, формалізованих для вирішення на комп'ютеризованих програмах з використанням штучного інтелекту і розробки математичних моделей, перевірених на адекватність.

Практична цінність роботи визначається тим, що запропонована методологія синтезу управління функціональним станом оператора дає змогу в загальній методології оцінювання системі управління ризиками проактивно прогнозувати загрози безпеці в авіаційній галузі, пов'язані з людським фактором, та своєчасного їх усувати, завдяки тому, що на її основі стає можливим:

- 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 втоми оператора;

- підвищити точність прогнозування динаміки медико-біологічних параметрів авторегресійної моделі з використанням рівняння Yule-Walker в матриці Geman-McClure.

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

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному.

Розроблена уніфікована модель вимірювань показників функціонального стану оператора дозволяє враховувати глобальні та локальні тренди та стохастичні впливи при проведенні діагностичних процедур та визначати наявність біологічної нестабільності оператора впроваджена в Авіаційному медичному центрі НАУ для обробки результатів спостережень за функціональним станом організму персоналу з метою прогнозування виникнення небезпечної події з урахуванням власної мінливості показників стану організму;

Розроблений метод оптимізації запропонованої уніфікованої моделі для різних варіантів фізичних навантажень дозволяє значно зменшити кількість

необхідної інформації та відповідно кількість проведених експериментальних досліджень для прийняття рішення щодо оцінювання функціонального стану оператора впроваджена в Інституті фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України для створення експертних систем,;

Розроблений метод визначення індивідуальних меж норм медико-біологічних показників на основі T^2 -статистики Хотеллінга дозволяє враховувати індивідуальні особливості реакції організму оператора на дію факторів дестабілізації впроваджений в Авіаційному медичному центрі НАУ .

Розроблена модель прогнозування різкого порушення стану серцево-судинної системи оператора на основі штучних нейронних мереж, дозволяє визначити час виникнення позаштатних (аварійних) ситуацій та може бути використана в проактивному виявленні загрози в системі забезпечення безпеки польотів та впроваджена в центрі льотної підготовки НАУ.

Розроблена топологічна модель оцінювання функціонального стану оператора дозволяє виявити та оцінити ризик порушення функціонального стану персоналу та може бути використана для своєчасно формування обов'язкового та\або добровільного сповіщення про рівень втоми оператора в рамках методології управління ризиками в авіації.

Розроблений метод контролю стабільності процесів біологічного функціонування оператора, який відрізняється можливістю урахування особливостей фізичного навантаження оператора, що дозволяє відокремити фактори неоднорідності від факторів біологічної нестабільності за рахунок використання методу статистичної валідації результатів зазначених досліджень впроваджений в Авіаційному медичному центрі НАУ.

Отримані результати дисертаційної роботи надають можливість: вдосконалити процес визначення джерел небезпеки на основі проактивного підходу та оцінювання функціонального стану оператора в якості тригера в процесі оцінювання ризиків; отримати первинну інформація про кількісні зміни ефектів неоднорідностей та порушень біологічної (динамічної) рівноваги при проведенні діагностичних процедур біологічних об'єктів з урахуванням

стохастичних впливів; виявити вплив трендів та стохастичних процесів при вимірюванні та обробки результатів діагностичних процедур біологічних об'єктів; встановити верифікацію мінливості функціонування біологічного об'єкту для дослідження інформаційних властивостей елементів ймовірнісної моделі динаміки результатів вимірювань; провести оптимізацію уніфікованої моделі за критерієм статистичної стійкості для визначення чутливості до порушень динаміки біологічної рівноваги та визначити оптимальні умови тривалих біомедичних дослідженнях з урахуванням особливостей фізичного навантаження біологічних об'єктів для оцінювання стабільності (рівноваги) біологічного функціонування; оцінити стабільність функціонального стану оператора на основі багатопараметричних критеріїв з урахуванням персоналізованого підходу а визначити на його основі індивідуальні межі норми; провести оцінку небезпеки відхилення від норми показників стану організму на основі результатів вимірювального контролю його параметрів; провести оцінку ризиків на основі емпіричного та теоретичного підходу з використанням штучних нейронних мереж; отримати інформаційну модель системи прийняття рішення щодо функціонального стану оператора шляхом урахування невизначеності вимірювань параметрів систем організму.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	24
1.1. Аналіз існуючих підходів управління ризиками як складової методології оцінювання системи управління.....	24
1.2. Системний підхід до управління безпекою польотів.....	46
1.3. Місце людського фактору в системі забезпечення безпеки польотів.....	54
1.4. Проактивний підхід концепції управління безпекою польотів.....	59
1.5. Проблема необхідності використання проактивного підходу для прогнозування впливу людського фактору на безпеку польотів.....	66
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	75
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА УНІФІКОВАНОЇ МОДЕЛІ ЧАСОВИХ РЯДІВ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОПЕРАТОРА (МОДЕЛЬ ВИМІРЮВАНЬ) З УРАХУВАННЯМ ТРЕНДІВ ТА СТОХАСТИЧНИХ ВПЛИВІВ.....	77
2.1. Ймовірнісна модель динаміки мінливості результатів біомедичних вимірювань розподілених за часом.....	78
2.2. Дисперсійний аналіз ймовірнісної моделі. Вибір інформативних параметрів для тестування на неоднорідність та динамічну нестабільність...	83
2.3. Дослідження інформаційних властивостей елементів ймовірнісної моделі динаміки результатів вимірювань.....	86
2.4. Метод оптимізації моделі за критерієм статистичної стійкості.....	95
2.4.1. Уніфікація простору вимірюваних значень. Корекція результатів дисперсійного аналізу ймовірнісної моделі.....	95
2.4.2. Метод оптимізації уніфікованої моделі за критерієм статистичної стійкості.....	97

2.5. Розробка методу контролю стабільності процесів біологічного функціонування	101
2.6. Валідація методу контролю біологічної стабільності. Підтвердження метрологічних вимог на відсутність систематичних похибок	102
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	104
РОЗДІЛ 3. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОПЕРАТОРА	106
3.1. Функціональна модель процесу управління біологічною системою	106
3.2. Метод визначення індивідуальних меж норм медико-біологічних показників з використанням T^2 статистики Хотеллінга	120
3.3. Розрахунок медико-біологічних показників для визначення індивідуальної межі норми	122
3.4. Використання часових рядів для оцінювання неперервних біомедичних сигналів	126
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	135
РОЗДІЛ 4 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОРГАНІЗМУ	139
4.1. Критерій оцінювання стану функціонального стану організму на основі результатів вимірювального контролю його параметрів	139
4.2. Метод оцінювання небезпеки відхилення стану біологічного об'єкту від межі норми медико-біологічних показників за рахунок врахування індивідуальної межі норми	144
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4	151
РОЗДІЛ 5. ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ АДАПТАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ	153
5.1. Аналіз факторів дестабілізації, що впливають на виконання професійних обов'язків оператора	153

5.2. Вдосконалений метод оцінювання адаптаційного потенціалу	158
5.3. Авторегресійна модель прогнозування медико-біологічних параметрів за рахунок визначення її оптимальних коефіцієнтів при поданні похибки прогнозування в матриці на основі методу Geman-McClure.....	165
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5	177
РОЗДІЛ 6. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕДУРИ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ПОРУШЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕМПІРИЧНОГО ТА ТЕОРЕТИЧНОГО ПІДХОДІВ.....	179
6.1. Емпіричний підхід до розрахунку впливу ризиків	180
6.2. Розробка моделі прогнозування різкого порушення стану серцево-судинної системи оператора на основі застосування елементів штучного інтелекту (штучних нейронних мереж)	187
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 6	214
РОЗДІЛ 7. СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ АДАПТАЦІЙНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ ОПЕРАТОРА.....	218
7.2 Синтез інформаційної моделі процедури альтернативної функціональної діагностики	229
7.3. Модель визначення ризиків оцінювання	234
7.4. Аналіз інформаційних властивостей моделі прийняття рішення щодо функціонального стану організму	248
7.5. Підвищення достовірності прийняття рішення за рахунок визначення похибок першого та другого роду	260
7.7. Врахування невизначеності результатів вимірювання, обробки даних та прийняття рішення при оцінюванні функціонального стану оператора.....	265
7.8. Топологічна модель оцінювання функціонального стану оператора з використанням мереж Петрі	271
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 7	279

ВИСНОВКИ.....	281
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	283
ДОДАТКИ.....	309
Додаток А. Акти впровадження.....	310
Додаток Б. Місце процесу управління функціональним станом оператора в загальній системі управління безпекою польотів.....	315
Додаток В. Особливості формування автоматизованої системи для розрахунку ймовірності виникнення ризику за рахунок людського фактору, формули розрахунку, покладені в її основу	319
Додаток Г. Вхідні дані, отримані від емпіричних досліджень.....	325
Додаток Д. Результати проведених розрахунків за емпіричними даними	333
Додаток Е. Авторегресійна модель прогнозування медико-біологічних показників з використанням метрики German-McClugi.....	341
Додаток Ж. Дані для навчання нейронної мережі	363
Додаток З. Проміжні розрахунку для критерію небезпеки відхилення	369
Додаток І. Комерційна складова безпеки польотів.....	371
Додаток Й. Етапи відпрацювання топологічної моделі	378

ВСТУП

Згідно розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 червня 2021 р. № 656-р. «Про схвалення Державної програми з безпеки польотів» цивільна авіація є важливою частиною економіки, має складну інтеграцію в транспортну систему України, тому забезпечення безпеки польотів є пріоритетом діяльності авіаційного транспорту і невід’ємною складовою національної безпеки [33]. Україна та інші держави, що приєдналися до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію, несуть відповідальність, що випливає з Конвенції, та зобов’язані впроваджувати заходи Державної програми з безпеки польотів, що є цілісною основою ефективного та результативного управління безпекою польотів. Також, на сьогодні в Україні затверджена «Методологія оцінювання системи управління безпекою польотів» [193], в основі управління якої лежить системний підхід до виявлення і усунення небезпечних факторів та проактивний підхід прогнозування ризиків для забезпечення безпеки польотів з метою зменшення втрат різного характеру, 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 ICAO Doc 10131 Керівництва з розробки регіональних та національних планів забезпечення безпеки польотів неможливо без адекватної оцінки рівня ризику пов’язаного з виконанням авіаційних робіт. Для підтримання високого рівня безпеки польотів необхідне дослідження та управління факторами ризику на державному рівні. Системний підхід до управління ризиками безпеки польотів необхідний для підвищення рівня безпеки в сучасних умовах. Оцінювання ризиків та проактивний підхід в їх прогнозованості є складовою системного управління безпекою польотів, що в свою чергу формується на елементах менеджменту якості та управління ризиками, що складають єдину інтегровану систему, яка дозволяє суб’єктам авіаційної діяльності здійснювати наступні процедури. До таких процедур

відносяться виявлення загроз та пов'язані з ними ризики, що мають вплив на всю організацію; контроль, спостереження, повідомлення та переглядання цих ризиків; дотримання стандартів; забезпечення якості продукції та послуг; постійне вдосконалення якості продуктів та послуг. У системі управління безпекою польотів суб'єкти авіаційної діяльності для відповідності прийнятному рівню ефективності забезпечення безпеки польотів ALoSP (acceptable level of safety performance) повинні встановлювати процеси виявлення ризиків та загроз, здійснювати процедуру управління ризиками, визначати цілі безпеки та забезпечувати звітування, виконувати процедури для аудиту, здійснення розслідувань, впровадження коригувальних дій та навчання з питань безпеки [24]. На даний час проблема розробки моделей та алгоритмів для здійснення процедур оцінювання, прогнозування і запобігання авіаційних подій при наданні авіаційних послуг формується активним розвитком математичних підходів з одного боку, а з іншого тими викликами і потребами авіаційної галузі, що зазнає постійного вдосконалення, прискорення і призводить до ускладнення об'єкту дослідження [3].

Відповідні питання на різних етапах 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 не є повними, універсальними, часто не цілком адекватними, тому що формалізація стохастичного впливу людського фактора при прийнятті рішень на основі математичних моделей є такими, що важко алгоритмізуються. В свою чергу існує об'єктивна залежність між можливістю виникнення небезпечної події в складних авіаційних системах, що мають соціотехнічну специфіку та рівнем функціонального стану персоналу, зайнятого в процесі їх експлуатації. Це призводить до нагальної практичної потреби в управлінні функціональним станом персоналу з метою мінімізації

ризик, 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

У зв'язку з цим виникає необхідність додаткової розробки нових ефективних підходів, для формального представлення процесу рішення задачі прогнозування і запобігання несприятливих авіаційних подій з урахуванням впливу людського фактору. 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 людини, меж його можливостей і поведінки в експлуатаційних умовах має основоположне значення для розуміння концепції управління безпекою польотів. Інтуїтивний підхід до вирішення проблем людського фактора не прийнятний.

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 пригод є наслідком неоптимальних дій людини, намітилася тенденція пояснювати їх лише помилкою людини [74]. Тому, актуальність даної роботи полягає у системному підході до оцінювання функціонального стану людини як однієї з вагомих загроз в системі безпеки польотів та можливості прогнозування виникнення помилкових дій на основі людського фактору.

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 управління повітряним рухом. При цьому, питання комплексного підходу до процесу прогнозування виконання несприятливих авіаційних подій з урахуванням людського фактору є недостатньо дослідженими. Між тим, у цій галузі маємо 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. З цього виникає науково-практична проблема, яка полягає в необхідності усунення цього протиріччя шляхом розробки 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.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація є результатом виконання науково-дослідних робіт Національного авіаційного університету. 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): всі етапи; «Методологічні основи оцінки точності результатів випробувань біомедичного обладнання» (№ 33.01.03-29): всі етапи; «Методи підвищення ефективності процесу експлуатації біомедичного обладнання» всі етапи; «Перспективні системи та технології електроніки, радіомоніторингу та інтернету речей» (№52-202/22.01.03 етап 4 «Використання багатопараметричних критеріїв для оцінювання електронних систем в умовах невизначеності» науково-дослідної роботи та виконавцем науково-дослідної роботи № 52-202/14.01.03 «Технології оцінювання якості біомедичних об'єктів різної природи», відповідальний виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою 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;

- розробити модель прогнозування динаміки медико-біологічних параметрів для завдань оцінювання функціонального стану персоналу.

Об'єктом дослідження є процес прогнозування ризиків 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 числових рядів, теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії випадкових процесів, теорії статистичних рішень, інформаційної теорії вимірювань; експериментальні дослідження проводилися з використанням методів планування експерименту та моделювання.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати дисертаційної роботи отримані автором одноосібно. З робіт, що опубліковані у співавторстві, використовуються результати, отримані особисто здобувачем У роботах, опублікованих у співавторстві авторів дисертації належать: роботи [37, 48, 135, 136, 170] – виконані самостійно; в [46] – отримані функціональні моделі методології управління безпекою польотів та запропонований підхід отримання додаткової інформації від часових рядів медико-біологічних параметрів методами нелінійної динаміки; в [105] – отримані моделі прогнозування з використанням функції Джимана-МакКлурі, що можуть бути використані для задач різних галузей; у роботі [33] – наведений приклад збільшення точності оцінювання складової одного з організаційних факторів, що може бути використаний в методології оцінювання системи управління ризиками; у роботі [53] – розроблена математична модель прийняття рішення; в [55, 58] – 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 [85] –

проведений розрахунок стабільності функціонування біологічної системи з використанням багатопараметричного критерію; у роботі [47] – розроблені ймовірності моделі, що враховують глобальні та локальні тренди часових рядів медико-біологічних параметрів; у роботі [40] – побудована автоматизована система розрахунку ймовірності виникнення ризику; у роботі [51] – виконаний розрахунок невизначеності за типом А та В при обробці результатів вимірювань; у роботі [56] – проведений аналіз особливостей оцінювання льотних екіпажів за медико-біологічними показниками; у роботі [72] – обґрунтовано можливості використання методики оцінювання невизначеності при діагностичному контролі; в [224] – виконаний аналіз особливостей забезпечення безпеки польотів та визначена необхідність системного підходу при вирішенні завдань безпеки польотів; у роботі [50] – розроблена модель прийняття рішень з використанням штучних нейронних мереж; у роботі [148] – розроблена модель прогнозування виникнення несприятливої події з використанням штучного інтелекту в середовищі MATLAB; у роботі [122] – розроблений метод підвищення достовірності оцінювання функціонального стану організму за рахунок використання статистики Хотеллінга; у роботі [130] – розроблено математичну модель, що враховує складові результатів вимірювань медико-біологічних параметрів; у роботі [100] – проведено аналіз шляхів невизначеностей при нейромережевому моделювання, у роботах [143, 153] – визначені особливості використання мереж Петрі для завдань оцінювання функціонального стану оператора; у роботі [29] – розроблена математична модель на основі критерію оцінювання ступеню відхилення стану об'єкта від норми; у роботі [142] – розроблені штучні нейронні мережі для завдань прогнозування; у роботі [156] – обґрунтована необхідність врахування технічних особливостей при формуванні баз даних для збору та обробки медико-біологічних параметрів операторів; у роботі [163] – обґрунтований підхід до автоматизованих системи прийняття рішень; у роботі [152] – розроблена модель прийняття рішень для оцінювання функціонального стану операторів з урахуванням динаміки зміни адаптаційного потенціалу; у роботі

[39] – використаний підхід до розрахунку сумарної невизначеності; у роботі [103] – проведений аналіз особливостей медико-біологічних параметрів, що використовуються при оцінюванні стану льотного складу; у роботі [133] – розроблено систему моніторингу за медико-біологічними параметрами для вирішення завдання оцінювання поточного стану; [8] – – вирішено завдання перетворення вхідних параметрів в задачі моделювання; у роботі [141] – обґрунтована необхідність врахування технічних особливостей при формуванні баз даних для збору та обробки медико-біологічних параметрів операторів; у роботі [150] – обґрунтований підхід до розробки автоматизованої системи прийняття рішень; у роботі [131] – проведений аналіз особливостей медико-біологічних параметрів, для оцінювання функцій дихальної системи оператора; у роботі [139] – розроблено систему моніторингу за медико-біологічними параметрами для вирішення завдання оцінювання поточного стану; у роботі [188] – запропонована методика прогнозування виникнення ризикової події за рахунок експертного оцінювання з автоматизацією процесу корегувальних заходів; у роботі [147] – проведена обробка біомедичних сигналів методами нелінійної динаміки; у роботі; [138] – обґрунтовані особливості вирішення задачі моделювання; у роботі [155, 151] – обґрунтовані особливості збору та обробки медико-біологічних параметрів для формування бази даних; у роботі [153] – розроблена топологічна модель мережами Петрі для оцінювання функціонального стану персоналу; у роботі [145] – розроблена ймовірнісна модель для прогнозування виникнення захворювання; у роботі [137] – визначені особливості використання експертного оцінювання в задачах прогнозування; у роботі [167] – вирішено завдання прогнозування небезпечної події штучними нейронними мережами; у роботі [165] – обґрунтовані особливості вирішення задачі розробки складних систем; у роботі [159] – визначені особливості інформаційних параметрів та їх перетворення для завдань лікування та діагностування; у роботі [42,226] – обґрунтовані актуальні аспекти системи управління безпекою польотів; у роботі [48, 52, 95] – проведений аналіз можливості використання часових рядів для завдань

прогнозування; у роботі [10] – розроблена модель прийняття рішень на основі індивідуальної межі норми; у роботі [158] – обґрунтовані особливості моніторингу медико-біологічних показників для оцінювання функціонального стану біологічних об'єктів; у роботі [15, 38, 101, 163, 166, 169] – проаналізовані особливості оцінювання складних об'єктів; у роботі [144, 135, 160] – проведено оцінювання функціонального стану операторів, зокрема авіаційної галузі та аналіз особливості оцінювання складних об'єктів; у роботі [15] – обґрунтовані особливості розробки автоматизованої системи для збору та обробки медико-біологічних параметрів необхідність використання індивідуальних меж норми для оцінювання функціонального стану операторів; у роботі [12, 140] – обґрунтовано можливість використання штучних нейронних мереж для задач прогнозування порушення рівноваги серцево-судинної системи оператора; у роботі [154] – вирішено завдання розробки топологічної моделі для оцінювання медико-біологічних параметрів; у роботі [132] – обґрунтована можливість оцінювання функціонального стану операторів на основі оцінювання серцево-судинної системи; у роботі [52] – обґрунтована можливість використання часових рядів для завдань побудови математичних моделей; у роботі [134] – запропонований підхід прогнозування стану льотного складу.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались 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 симпозиумі «International Symposium On Aircraft Technology», (2020 р.); на міжнародних конференціях за кордоном з міжнародною участю 13d, 11th, 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, (ACIT 2023) Вроцлав (Польща), (ACIT 2021) Дегендорф (Германия); на 31 (2021р.), 29 (2019 р.), 24 (2014 р.); на національних наукових симпозиумах 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», (2019р.); 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 р.); 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 pp); на 3-м міжнародному радіоелектронному форумі 2008. «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку», Харків, (2008р.).

Публікації. Основні положення дисертаційного дослідження опубліковані дисертантом самостійно та у співавторстві з них: 28 статей у наукових періодичних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, 9 наукових публікацій у закордонних виданнях які проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 1 стаття у науковому фаховому виданні України групи А, 2 розділи колективної монографії (одна з яких з індексацією в

Scopus), 28 публікації в інших виданнях, матеріалах і тезах доповідей на конференціях, у тому числі за кордоном.

Структура та загальний обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, сім розділів, висновків по роботі, додатків та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації складає 381 сторінок. Основний зміст викладено на 282 сторінках, який містить 55 рисунків та 22 таблиці, 9 додатків на 99 сторінках. Перелік використаних джерел становить 241. Додатки містять акти впровадження результатів дисертаційної роботи, проміжні розрахунки, вхідні данні, фрагменти розрахунків прикладними програмами, пояснення щодо принципу роботи автоматизованої системи розрахунку, етапи відпрацювання топологічних моделей.

В дисертаційній роботі введено 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 [109, 197]. Це пов'язано з тим, що використання категорії «синтезу» як цілеспрямованого процесу об'єднання розрізнених складових у дещо якісне нове [196] для технічних систем є більш прийнятним у разі опису процесів формування нового об'єкту як системи та компонування її складових: елементів, компонент, підсистеми, зв'язків, регуляторів, механізмів управління, зворотних зв'язків, тощо [109,176,185]. 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 зворотних 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. Поняття синтезу управління останнім часом також активно використовується і для технічних систем [109, 185], де поряд з окремими задачами синтезу, наприклад, стабілізуючого управління використані методи оцінювання точності стабілізації, але на жаль для біологічних систем такий підхід неможливий, 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 управління ризиками в авіації.

Таким чином, наукова й прикладна проблема оцінювання функціонального стану оператора як складової людського фактору як об'єкту зі стохастичними параметрами, є комплексною, вимагає розробки нової сучасної методології для проактивного виявлення та попередження ризику на основі формування індивідуальних меж норм на досліджувані параметри з використанням статистично-ймовірнісних та інформаційних моделей оцінювання, прогнозування погіршення функціонального стану на основі штучних нейронних мереж, побудови моделей часових рядів, що враховують глобальні та локальні тренди є актуальною проблемою й має важливе значення для розвитку всієї методології оцінювання системи управління безпекою польотів та визначає напрямок дисертаційного дослідження.

РОЗДІЛ 1.

СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Безпека є основною пропозицією швидкого та надійного повітряного сполучення, а міжнародна співпраця урядів і галузевих груп у сфері авіаційної безпеки через ІКАО допомогла зробити комерційні літаки найбезпечнішим способом подорожі. 193 країни, які співпрацюють через ІКАО, наразі працюють над досягненням узгодженої глобальної мети безпеки – нульового рівня смертельних випадків до 2030 року разом із зміцненням своїх регуляторних можливостей, одночасно переслідуючи низку програм і цілей, пов'язаних із поточними ключовими напрямками глобального планування безпеки авіації, нагляду та зменшення ризиків [181]. Глобальний план авіаційної безпеки (GASP) представляє стратегію, яка підтримує визначення пріоритетів та постійне вдосконалення авіаційної безпеки [24]. GASP разом із Глобальним аеронавігаційним планом (GANP, Doc 9750) забезпечує структуру, у якій розроблятимуться та впроваджуватимуться регіональні та національні плани авіаційної безпеки, таким чином забезпечуючи гармонізацію та координацію зусиль, спрямованих на покращення безпеки міжнародної цивільної авіації, потенціалу і ефективність [24,83,182].

Метою GASP є постійне зниження кількості смертельних випадків і ризику смертельних випадків шляхом керівництва розробкою узгодженої стратегії безпеки авіації, регіональних планів безпеки авіації та національних планів безпеки авіації [24].

1.1. Аналіз існуючих підходів управління ризиками як складової методології оцінювання системи управління

Управління ризиками ґрунтується на системному підході до аналізу, виявлення джерел небезпеки та оцінки ризиків при наданні авіаційних послуг. Метою такого управління є зниження до необхідного рівня шкоди як матеріальним, так і фінансовим, але в першу чергу людським ресурсам, також

необхідно враховувати соціальні та екологічні проблеми, до яких може призвести відсутність такого управління.

В свою чергу методологія оцінювання системи управління безпекою польотів передбачає підтвердження чотирьох рівнів впровадження та/або функціонування, які дозволяють здійснити оцінку дієвості та ефективності складових безпеки польотів [193].

Нормативне регулювання процесу нагляду за безпекою польотів у системі організації повітряного руху як однієї з основних підсистем цивільної авіації України передбачено Положенням про нагляд за безпекою польотів у системі організації повітряного руху, затвердженим наказом Мінтрансу України та зв'язку України від 31.05.2010 № 320 та зареєстровано Міністерством юстиції України 30 червня 2010 р. за № 446/1774.

Вимоги, положення регламенту відповідають нормативним вимогам авіаційної безпеки Aviation Safety Regulatory Requirements (ESARR 1) Європейської організації з безпеки аеронавігації, членом якої є Україна, та створюють умови для імплементації імплементаційного регламенту в Україні. Регламент ЄС 2016/1377 від 04.08.2016 про основні вимоги до провайдерів та організації нагляду за безпекою в організації повітряного руху та аеронавігаційному обслуговуванні та Імплементаційний регламент ЄС 1034/2011 від 17.10.2011 про нагляд за безпекою польотів в організації повітряного руху та повітряному навігаційне обслуговування. На симпозиумі ІКАО 18 грудня 2020 р. велика увага приділяється впровадженню культури безпеки та людського фактору в систему управління безпекою [5]. Позитивні результати від впровадження проактивного підходу до управління безпекою польотів в де-яких країнах дозволило за останні 50 років продемонструвати найкращі результати у світі серед рівнів авіаційних подій [84]. Українські науковці завжди приділяли увагу авіаційній безпеці, але стратегія її забезпечення була реактивною, тобто виявлення загроз (ризиків для безпеки польотів), їх аналіз та вжиття необхідних заходів після небезпечної події, збою чи порушення, що призвело до авіаційної події, серйозного інциденту,

інциденту. Останні вимоги ІСАО вимагають проактивного підходу, який може передбачити настання небезпечної події та розробки підходів до виявлення, оцінки та прогнозування ризиків авіаційних подій.

Згідно з затвердженою методологією управління ризиками процес управління ризиками (Safety risk management (SRM) process) складається з п'ять етапів, що можуть бути представлені наступним чином:

1. Аналіз та виявлення проблем з безпеки польотів (safety issue) [60].
2. Прогнозування та оцінювання ризиків щодо безпеки польотів, пов'язаних з виявленими проблемами [193].
3. Розроблення та/або здійснення заходів для управління ризиками щодо безпеки польотів.
4. Здійснення контролю щодо заходів забезпечення безпеки польотів.
5. Здійснення аналізу та визначення існуючого рівня безпеки.

Поєднання цих етапів в замкнутий контур формують ключові сфери ризику (key risk areas (KRA)). Використання в SRM європейської класифікації ризиків: European Risk Classification Scheme (ERCS), дозволила Європейській комісії імплементувати вимоги Регламенту (ЄС) 376/2014 [72].

Визначення ключових сфер ризику дозволяє відокремити обставини, що можуть призвести до авіаційних подій. Саме на попередження таких обставин і направлені заходи Європейського плану з безпеки польотів (European Plan Areas Safety (EPAS)) та питання проблеми з безпеки польотів (safety issue (SI), для визначення як причини так і супутніх фактори, що можуть призвести до авіаційної події як частини KRA [83]. Прикладами проблем з безпеки польотів можуть бути: обледіння в польоті, несвоєчасні або невірні дії пілотів, тощо.

На основі зазначеної ERCS класифікації Європейською комісією була запропонована методологія, використання якої формує матрицю ризиків за двома осями: за вертикальною вісю визначається серйозність наслідків у разі розвитку події з безпеки польотів до події високого рівня, а за горизонтальною проводиться оцінка того наскільки подія близька була до того щоб перерости в подію більш високого рівня рис.1.1.



Final ERCS Matrix

Potential Accident Outcome	X9	X8	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1	A0
Extreme catastrophic accident with significant potential fatalities (100+)	1.00E-03	0.01	0.10	1	10	100	1,000	10,000	100,000	1,000,000
Significant accident with significant potential for fatalities and injuries (10-100)	5E-04	5E-03	0.05	0.5	5	50	500	5,000	50,000	500,000
Major accident with potential for some fatalities/life changing injuries (2-10) or major aircraft destroyed	1E-04	1E-03	0.01	0.1	1	10	100	1,000	10,000	100,000
Single individual fatality/life changing injury or substantial damage accident	1E-05	1E-04	1E-03	0.01	0.1	1	10	100	1,000	10,000
Minor and Serious Injury (not life changing) accidents and Minor Damage	1E-06	1E-05	1E-04	1E-03	0.01	0.1	1	10	100	1,000

Рисунок 1.1 - Оцінка наслідків ризиків на основі матриці ERCS [60]

В Україні визначені пріоритети при оцінюванні операційних ризиків, що затверджено на державному рівні, тому суб'єктам авіаційної діяльності необхідно вжити заходів щодо їхнього врахування в їхні процеси управління безпекою польотів. Проведення управління операційних ризиків здійснюється за рахунок встановленням оцінки їх цільових значень та здійснення корегувальних процедур щодо зменшення рівнів даних ризиків та контролю за ефективністю виконання цих дій.

Приклад оцінки ризику за матрицею ERCS за п'ять років на території України поданий на рис. 1.2. [94].

Оцінка ризику за шкалою ERCS в Україні з 2016 - 2020 рр.

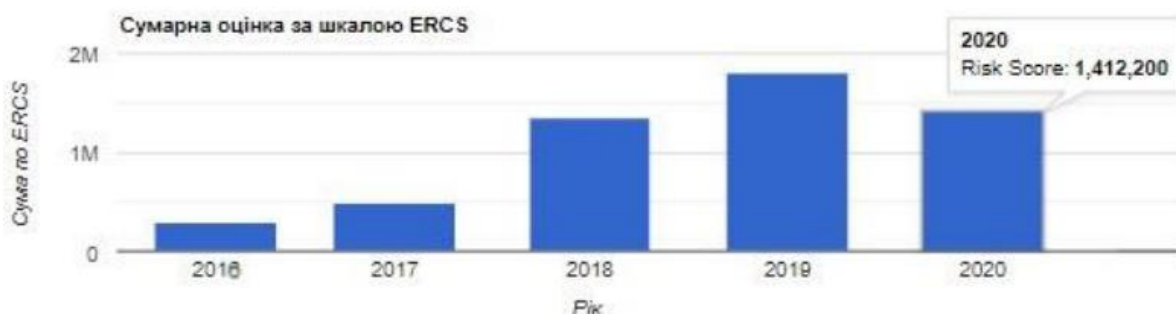


Рисунок 1.2 - Оцінка ризику за ERCS на території України в період 2016 - 2020 рр [96].

Оцінка ризику за даною методологією дозволяє визначити ключові сфери ризику для авіаційної галузі. На рис. 1.3 подана класифікація ключових сфер ризику для авіаційної галузі за період 2016-2020 роки згідно їх ранжування за значенням ризику за матрицею ERCS.

Ключова сфера ризику_	Risk score
Загальна інформація по ключовим сферам ризику	
<u>Авіаційна Безпека</u>	2100000
<u>Зіткнення з Земною Поверхнею</u>	1272000
<u>Небезпечне положення ПС</u>	867200,1
<u>Зіткнення з Перешкодою</u>	525000
<u>Виїзд за межі ЗПС</u>	285000
<u>Зіткнення на ЗПС</u>	55000
<u>Травми / Пошкодження</u>	10100
<u>Навколишнє Середовище</u>	10020
<u>Зіткнення на Землі</u>	5000
<u>Зіткнення у Повітрі</u>	110,5

Рисунок 1.3 – Ранжування ключових сфер ризику [94].

Таких друге місце займає ризик зіткнення з земною поверхнею причому перед зіткненням судно знаходилось у повітряному просторів та включає випадки коли на льотний екіпаж впливали зорові ілюзії або погіршена візуальна обстановка та виключає випадків відсутності екіпажем змоги керувати повітряним судном [94].

Портфоліо ризиків (Safety risk portfolio – (SRP)) з безпеки польотів за період з 2016 по 2020р. включає перелік ризиків, що отримується методами статистичної та аналітичної обробки даних. Данні отримані з веб-порталу <https://rmd.avia.gov.ua/> таблиця 1.1 [94].

Такий підхід дозволяє поєднати KRA, як найбільш ймовірну обставину потенційної авіаційних події за напрямками авіаційної діяльності та SI, що є причинними та супутніми факторами, що призводять до даної KRA. Встановлення крапок дозволяє встановити зв'язок між ними та характеризують які саме проблеми безпеки польотів сприяють виникненню відповідних наслідків [94].

Таблиця 1.1

Перелік ризиків з безпеки польотів (період з 2016 по 2020 роки)

Пріоритети												
Кількість подій		3	15	26	4	16	1	5	8	1	3	0
Проблеми з БП	Пріоритет	Ключові сфери ризику										
		Авіаційна Безпека	Зіткнення з Земною Поверхнею	Небезпечне положення ПС	Зіткнення з Перешкодою	Виліз за межі ЗПС	Зіткнення на ЗПС	Травми / Пошкодження	Навколишнє Середовище	Зіткнення на Землі	Зіткнення у Повітрі	Виліз за Межі РД
<u>Прийняття рішень та планування</u>			●	●	○	●	○			○	○	
<u>Проблема в цивільно-військовій координації і співпраці</u>		○										
<u>Підготовка та планування польоту</u>			●	○	●	○						
<u>Досвід, підготовка та індивідуальна компетентність</u>			●	●	○	●	○					
<u>Сприйняття та ситуаційна обізнаність</u>			●	●	●	●		○	○	○		
<u>Ефективність системи управління</u>			○	○	○	○			○			
<u>Обслуговування ПС</u>			●	●		●		●	●		○	
<u>CRM та комунікації</u>			○	○	○	○	○					
<u>Серцеве захворювання</u>			○									
<u>Гальмування та рульове управління</u>						●						
<u>Культура безпеки польотів</u>					○			○		○		
<u>Знання систем ПС та процедур</u>			○									
<u>Надання екіпажу інформації</u>						●						
<u>Управління траєкторією заходу на посадку</u>			○			○						

У Додатку 13 ІКАО містяться визначення авіаційних пригод та інцидентів, які у короткому вигляді можна викласти так:

а) авіаційною пригодою є будь-яка подія, яка сталася під час експлуатації повітряного судна і спричинила наступне:

- 1) смерть чи серйозне тілесне ушкодження;
 - 2) суттєве пошкодження повітряного судна, включаючи руйнування його конструкції, чи необхідність у великому ремонті повітряного судна;
 - 3) повітряне судно пропадає безвісти.
- б) інцидентом є будь-яка подія, крім авіаційної події, пов'язана з використанням повітряного судна, що впливає або могло б вплинути на безпеку експлуатації [210].

Для позначення авіаційної пригоди чи інциденту у термінах ІКАО використовується визначення “подія”. З точки зору управління безпекою існує певна небезпека у зосередженні уваги на різницю між подіями та інцидентами з використанням визначень, які можуть бути довільними та обмежувачими. Щодня відбувається велика кількість інцидентів, які можуть повідомлятися або не повідомлятися повноважному органу з розслідування, але дуже близькі до подій і часто пов'язані з істотним ризиком. Оскільки такі інциденти не призвели до тілесних ушкоджень або матеріальні збитки були незначними або відсутніми, вони можуть не розслідуватися.

За традиційного підходу основною метою розслідування часто було виявлення (і покарання) злочинця. У найкращому випадку зусилля з управління безпекою були зосереджені в основному на пошуку способів зменшити ризик повторення таких небезпечних дій. Однак помилки або порушення, які призводять до подій, здаються випадковими. За відсутності конкретного курсу дій такі зусилля з управління безпекою, спрямовані на зменшення або запобігання випадковим подіям, можуть бути неефективними [182].

Аналіз даних про авіаційні події дуже часто показує, що ситуація напередодні події «була на межі події» та перетворення цих обставин у подію було лише питанням часу. Після події часто виявляється, що здоровий, кваліфікований, досвідчений, мотивований і добре оснащений персонал зробив помилки, які спровокували подію [181]. Вони (та їхні колеги), можливо, неодноразово робили подібні помилки або використовували такі небезпечні практики в минулому без негативних наслідків. Крім того, деякі небезпечні умови, в яких вони працювали, могли існувати роками, не викликаючи жодних

подій. Іншими словами, є елемент випадковості. Іноді такі небезпечні умови були результатом управлінських рішень; вона усвідомлювала ризики, але інші пріоритети вимагали компромісу [182]. Дійсно, безпосередні виконавці часто працюють в умовах, зумовлених незалежними від них організаційно-управлінськими факторами. Безпосередні виконавці є лише частиною більшої системи [193]. Тому на сьогодні враховуючи той факт, що з небезпеками та небезпечними факторами в першу чергу стикаються безпосередні виконавці (людські ресурси): пілоти, інженери, техніки, бортпровідники, водії, вантажники та інші. Тому важливим етапом є збір та обробка достовірної інформації, отриманої від зазначених категорій фахівців про небезпеки та небезпечні фактори, що можуть призвести до інцидентів та подій. Така інформація може бути надана у вигляді обов'язкових та добровільних повідомлень. Обов'язкове повідомлення можна представити як повідомлення персоналу про безпеку, виявлених у процесі виконання виробничої діяльності. Виробляються за регламентами, що встановленому в даній організації. В той час як добровільне повідомлення полягають у повідомленні, що зроблені відповідним фахівцем, без примусу, про безпеку та/або небезпечний фактор, що не мають реєстрації за відповідним регламентом. Такий фактор був виявлений зазначеним фахівцем у процесі виробничої діяльності. Тобто повідомлення, що відомі фахівцям, але офіційно не зареєстровані. Якісними показниками таких повідомлень можуть бути наступні групи: інциденти, особливі ситуації, помилки, відхилення від стандартів діяльності та інші [93].

Основу обов'язкових та добровільних повідомлень можна класифікувати за ступенем тяжкості:

- інформація про безпеки та небезпечні фактори у вигляді відхилень від стандартів діяльності,
- інформацію про помилкові дії,
- інформацію про особливі ситуації,
- інформація, що стосується інцидентів.

Особливу увагу необхідно приділити тому, що без вище зазначених відомостей, що збираються всім колективом авіакомпанії, неможливе ефективне управління безпекою авіаційної діяльності. Необхідно підкреслити, що обов'язкові та добровільні повідомлення принципово цінне джерело унікальної інформації про ті небезпеки та/або небезпечні факторах та потенційних ризиках, присутність яких у виробничій сфері негативно відбивається на безпеці діяльності організації та, зрештою, призводить до зниження її рівня.

Своєчасне виявлення всіма членами колективу, ідентифікація та оперативне усунення небезпек та/або небезпечних факторів до того, як вони виявляться у вигляді негативної події, є єдино правильний та найбільш ефективний метод попередження авіаційних подій та інцидентів. Розслідування інциденту може виявитися більш продуктивним у плані виявлення джерела небезпеки, ніж розслідування події. Різниця між подією та інцидентом може іноді полягати лише в елементі випадковості. Насправді, інцидент може розглядатися як небажана подія, яка за незначних обставин могла б завдати шкоди людям або завдати матеріальних збитків і, таким чином, була б класифікована як подія [25].

Найпереконливішим підтвердженням серйозного збою у забезпеченні безпеки тієї чи іншої системи є подія. Оскільки метою управління безпекою є зменшення ймовірності та наслідків пригод, усвідомлення причин, що призводять до подій та інцидентів, відіграє важливу роль у розумінні процесу управління безпекою.

Традиційно, учасники розслідування проаналізують ланцюг подій чи обставин, які зрештою призвели до того, що хтось вчинив неналежні дії та цим спровокував подію. Неналежні дії могли бути наслідком помилкового рішення, помилки, зумовлені неухважністю, або навмисним порушенням правил [209].

У рамках традиційного підходу основною метою розслідування найчастіше було виявлення (і покарання) винного у пригоді. У кращому разі зусилля в галузі управління безпекою зосереджувалися головним чином на

пошуку шляхів зменшення ризику повторення таких небезпечних дій. Однак помилки або порушення, що призводять до подій, зовні видаються випадковими. За відсутності конкретної схеми дій такі зусилля щодо управління безпекою з метою зменшення кількості випадкових подій або їх запобігання можуть виявитися неефективними.

Аналіз даних про авіаційні події дуже часто показує, що ситуація напередодні події "була на межі події". Стурбовані безпекою особи могли б навіть сказати, що переростання зазначених обставин у подію було лише питанням часу. Після події нерідко з'ясовується, що здоровий, кваліфікований, досвідчений, мотивований і добре оснащений персонал зробив помилки, які спровокували цю подію. Вони (та їх колеги) могли неодноразово робити подібні помилки або застосовувати таку небезпечну практику раніше без несприятливих наслідків. Більше того, деякі небезпечні умови, в яких вони працювали, могли існувати роками, не призводячи до будь-яких подій. Іншими словами, тут є елемент випадковості. Іноді такі небезпечні умови були наслідком рішень керівництва; воно усвідомлювало відповідний ризик, але інші пріоритети вимагали компромісу. Дійсно, безпосередні виконавці часто працюють в умовах, що визначаються організаційними та управлінськими факторами, що знаходяться поза їх контролем. Безпосередні виконавці є лише частиною більшої системи [93].

Для забезпечення успішного функціонування систем управління безпекою польотів (СУБП) необхідне інше розуміння причин, що викликають авіаційні події, а саме розуміння, що ґрунтується на аналізі всього контексту (тобто системи), в якому працюють люди.

Згідно з сучасним уявленням для події потрібно поєднання цілого ряду факторів, що сприяють цій події, кожен з яких є необхідним елементом, але сам по собі недостатній для руйнування засобів захисту даної системи. Великі збої у роботі устаткування чи помилки експлуатаційного персоналу рідко є єдиною причиною руйнації засобів захисту. Часто ці обставини є наслідком помилки людини під час ухвалення рішення. Вони можуть бути викликані активними

вадами на експлуатаційному рівні або прихованими умовами, що сприяють подоланню закладених у цій системі заходів захисту або порушенням функціонального стану організму людини, що призвів до помилкового рішення. Більшість подій спричинена всіма трьома умовами.

Модель встановлення причин авіаційних подій допомагає зрозуміти механізм взаємодії організаційних та управлінських факторів (тобто системних факторів), що призводить до події. В авіаційну систему вбудовані різні “засоби захисту” від неналежних дій чи помилкових рішень всіх рівнях цієї системи (тобто. на робочих місцях безпосередніх виконавців і лише на рівні адміністраторів). Ця модель показує, хоча організаційні чинники, включаючи управлінські рішення, можуть створити приховані умови, здатні призвести до події, вони водночас посилюють захисні засоби системи [203].

Помилки та порушення, що мають негайний несприятливий вплив, можуть розглядатися як небезпечні дії; зазвичай вони асоціюються з безпосередніми виконавцями (пілоти, диспетчери УПС, інженери тощо). Зазначені небезпечні дії можуть долати різні засоби захисту авіаційної системи, що вводяться адміністрацією підприємства, що регламентують повноваження і т.д., що в результаті призводить до авіаційної події. Такі небезпечні події може бути наслідком нормальних помилок чи навмисного порушення запропонованих правил і практики. Згадана модель передбачає наявність у виробничому середовищі цілого ряду умов, які породжують помилки чи порушення та можуть вплинути на поведінку окремих осіб чи команди [107].

Зазначені небезпечні дії здійснюються в експлуатаційному контексті, що включає приховані небезпечні умови. Прихована умова є результатом дії чи рішення, ухваленого задовго до події. Його наслідки можуть виявлятися протягом багато часу. Взяті окремо ці приховані умови зазвичай безпечні, тому що вони не сприймаються як недоліки [5].

Приховані небезпечні умови можуть проявитися лише тоді, коли руйнуються засоби захисту системи. Вони можуть бути присутніми в системі задовго до виникнення події і зазвичай породжуються директивними,

нормативними органами, а також іншими людьми, що далеко віддалилися від події, що відбулася, як у часі, так і в просторі. Експлуатаційний персонал, що безпосередньо виконує завдання, може успадкувати наявні в системі дефекти, наприклад, породжені недосконалою конструкцією обладнання або погано поставленим завданням; суперечливими цілями (наприклад, своєчасне обслуговування та безпека); нечіткою організацією (наприклад, ненадійні канали внутрішнього зв'язку) чи неправильними управлінськими рішеннями (наприклад, відстрочка технічного обслуговування тієї чи іншої об'єкта). Ефективне управління безпекою націлене на виявлення та зменшення наслідків цих прихованих небезпечних умов у всій системі, а не на вжиття локальних заходів щодо мінімізації небезпечних дій окремих осіб. Подібні небезпечні дії можуть бути лише симптомами проблем із забезпеченням безпеки, а не їхніми причинами.

Навіть у найбільш ефективно керованих організаціях більшість прихованих небезпечних умов породжуються особами, які приймають рішення. Цим особам властиві суб'єктивність і межі можливостей, і них також впливають дуже реальні обмеження, накладені часом, бюджетом, політикою тощо. Оскільки певне число таких небезпечних рішень запобігти неможливо, необхідно робити кроки для виявлення і послаблення їх несприятливих наслідків [5].

Помилкові рішення лінійних менеджерів можуть виражатися у вигляді неналежних процедур, неправильно складених розкладів або ігнорування небезпечних факторів, що піддаються виявленню. Вони можуть бути зумовлені недостатніми знаннями та кваліфікацією чи неналежними експлуатаційними правилами. Від того, наскільки добре лінійне керівництво та організація загалом виконують свої функції, залежить поява умов, що призводять до помилок чи порушень. Наприклад, наскільки ефективними є дії адміністрації в галузі встановлення досяжних виробничих цілей, організації виконання завдань та розподілу ресурсів, вирішення поточних проблем, забезпечення внутрішнього та зовнішнього зв'язку, тощо. Помилкові рішення, ухвалені

керівництвом компанії та регламентуючими повноважними органами, досить часто є наслідком нестачі ресурсів. Однак спроби уникнути витрат на зміцнення безпеки авіаційної системи можуть сприяти авіаційним подіям, які можуть призвести до таких значних витрат, що здатні збанкрутувати експлуатанта [5].

Як правило, незалежно від моделі встановлення причин авіаційної події, що використовується, перед цією подією проявляються його провісники. Найчастіше такі провісники стають очевидними лише ретроспективно. На момент авіаційної події могли існувати певні небезпечні умови. Для виявлення та підтвердження таких небезпечних умов потрібен об'єктивний та всебічний аналіз факторів ризику. Хоча досконале розслідування авіаційних пригод з великою кількістю людських жертв має важливе значення, проте воно може виявитися не найпродуктивнішим засобом виявлення недоліків у системі забезпечення безпеки польотів. Необхідно вжити запобіжних заходів до того, щоб провести раціональний аналіз рівня ризику, присутнього в прихованих небезпечних умовах діяльності авіації. Хоча проведення розслідувань авіаційних подій з метою виявлення небезпечних факторів є важливим завданням, такий метод підвищення рівня безпеки є запізнілим і дорогим.

Як правило, при авіаційних інцидентах тілесні ушкодження та шкода менш значні, ніж при авіаційних подіях. Відповідно, таким подіям приділяється менше уваги із боку засобів масової інформації. У принципі, обсяг наявної інформації у цих випадках має бути більш суттєвим (наприклад, живі свідки та непошкоджені бортові самописці). В умовах, коли відсутні позови щодо значної шкоди, в ході розслідування зазвичай переважає менш конфронтаційна атмосфера. Таким чином, є більш широкі можливості встановлення того, чому відбулися ці інциденти, а однаково і яким чином існуючі засоби захисту не допустили їх переростання в обставини [89].

В ідеальному випадку можна було б виявити всі приховані недоліки в системі безпеки польотів і вжити превентивних заходів для виправлення цих небезпечних умов, перш ніж відбудеться авіаційна пригода. Авіаційні події та

інциденти відбуваються в рамках певної сукупності обставин та умов. До них відносяться повітряне судно та інше обладнання, метеоумови, аеропорт та авіадиспетчерські служби, а також виробничий клімат, що існує в органах регулювання, в галузі та на авіапідприємстві. Нарешті, вони включають зміни та різні поєднання характеру поведінки людини. У будь-який конкретний момент деякі з цих факторів можуть збігтися таким чином, що створять умови виникнення події. Розуміння контексту, в якому відбуваються авіаційні події, відіграє ключову роль у управлінні безпекою польотів. До основних факторів, що формують контекст для подій та інцидентів, відносяться конструкція обладнання, допоміжна інфраструктура, людський і культурологічний фактори та корпоративна культура безпеки [232].

Безпека польотів як стан, у якому ризик заподіяння шкоди чи шкоди зведений до прийняттого рівня. Джерела загрози, що становлять ризик, стають очевидними після випадків явного збою в забезпеченні безпеки рис.1.4. Пригоду або інцидент можуть бути виявлені про-активним методом через формальні програми забезпечення безпеки або за фактичного настання такої події. Після встановлення джерела небезпеки слід оцінити рівень відповідного ризику. При чіткому розумінні характеру факторів ризику можна визначити їхню “прийнятність”. Щодо неприйнятних факторів ризику вживаються відповідні заходи [76].

Оскільки безпека виражається через ризик, будь-який розгляд поняття безпеки має включати концепцію ризику. Відсутність абсолютної безпеки приводить до необхідності оцінки прийнятності ризику. Перш ніж стане можливим провести оцінку того, є та чи інша система безпечною, спочатку необхідно визначити, який рівень ризику може вважатися прийнятним для даної системи. Ризик часто виражається через ймовірність, проте концепція ризику включає не тільки параметри ймовірності тому що можливість виникнення певної події на різних рівнях може призвести до різної кількості втрат. Хоча ймовірність зазначених подій може бути однаковою, потенційні наслідки події можуть бути різними [61].

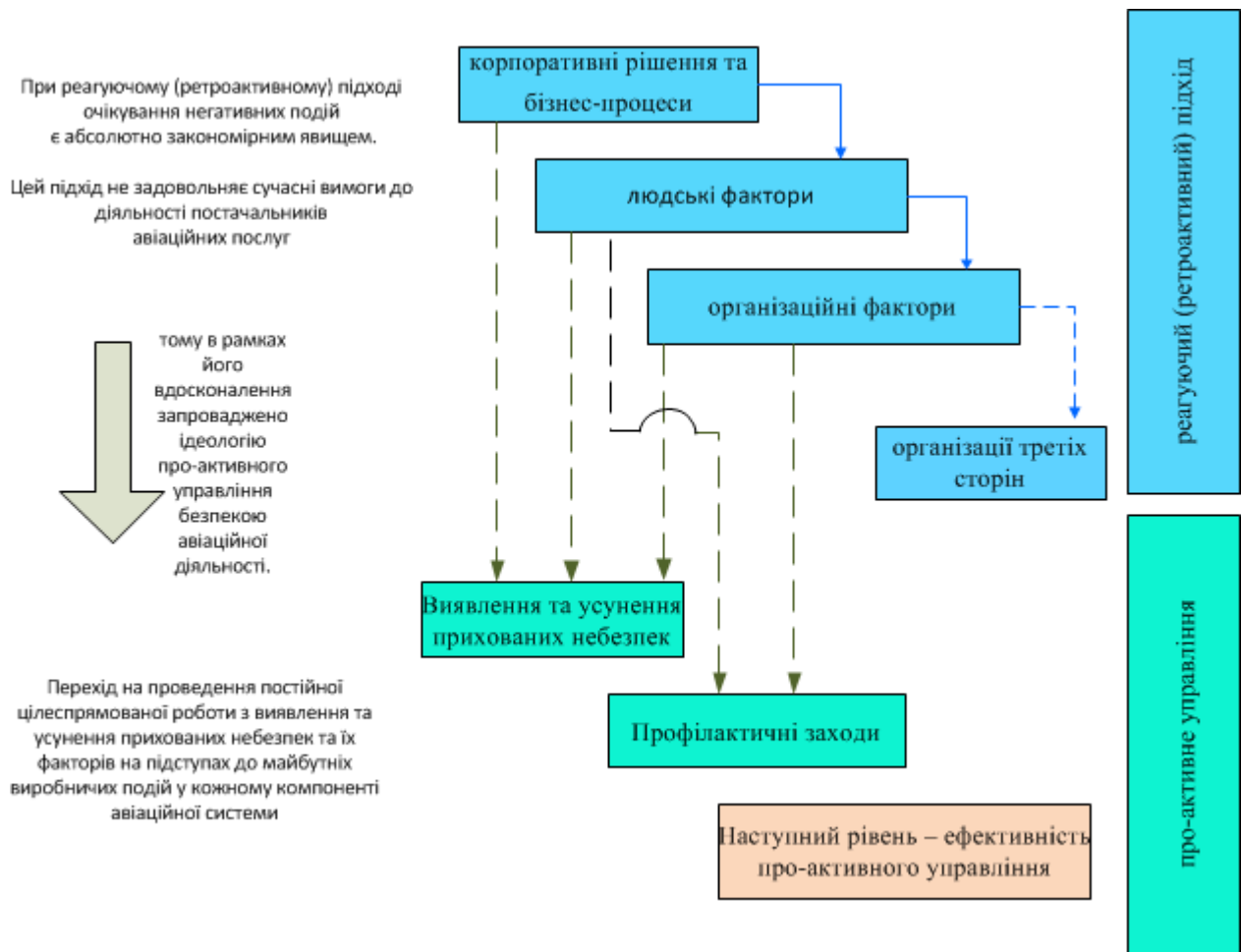


Рисунок 1.4. – Сучасний стан переходу від ретроактивного підходу до проактивного підходу управління безпекою польотів.

Тому ризик є багатовимірним поняттям. Оцінюючи прийнятності конкретного виду ризику, що з певної небезпекою, необхідно завжди враховувати як ймовірність небезпечного випадку, і ступінь серйозності потенційних наслідків.

Уявлення про рівень ризику можна отримати з трьох широких категорій:

- ризик настільки високого рівня, що вони є неприйнятними;
- ризик настільки низького рівня, що є прийнятними;
- рівні ризику, що знаходяться між цими категоріями а) та б), коли необхідно розглянути різні компроміси між ступенем ризику та вигодами [62].

У всіх випадках, коли фактор ризику не задовольняє заздалегідь встановленим критеріям прийнятності, необхідно спробувати зменшити його до прийнятної рівня, використовуючи належні методи зменшення ризику. Якщо

цей фактор ризику неможливо знизити до прийняттого або ще нижчого рівня, то він може розглядатися як допустимий за умови, що:

- а) цей ризик нижче заздалегідь встановленого кордону неприйняттого рівня;
- б) цей ризик було знижено до найменшого практично можливого рівня;
- в) вигоди від запропонованої системи або запропонованих змін є досить значними, щоб виправдати прийняття цього ризику [30].

Перед тим, як той чи інший ризик буде класифікований як допустимий, необхідно, щоб були виконані всі три умови, описані вище.

Навіть у випадках, коли ризик класифікується як прийнятний (припустимий), якщо існують будь-які заходи, здатні забезпечити подальше зниження рівня ризику і потребують невеликих зусиль чи коштів, їх слід здійснити [62].

Для опису ризику, зменшеного до найменшого практично можливого рівня, іноді необхідно провести ранжування. При визначенні того, що є "практично можливим" у даному контексті, необхідно враховувати як технічні можливості подальшого зниження рівня ризику, так і відповідні витрати; це може вимагати проведення аналізу "витрати-вигоди" [61].

Віднесення рівня ризику у тій чи іншій системі до категорії найменшого практично можливого рівня означає, що будь-яке подальше зменшення ризику є практично неможливим, або пов'язані з цим витрати значно переважають вигоди. Разом про те слід пам'ятати, що у випадках, коли індивід чи суспільство "приймають" той чи інший ризик, це отже, що він усунений. Певна частка ризику при цьому зберігається, однак індивід або суспільство визнали залишковий рівень ризику досить низьким, щоб вигоди його переважили.

Синтез оптимальної структури систем управління безпекою польотів

В дисертаційній роботі введено поняття синтезу управління функціональним станом оператора, що має відмінність від класичного поняття «синтезу системи управління», як шляху відокремлення підходів пізнання і системотворення для опису процесу управління складними об'єктами [196]. Це пов'язано з тим, що використання категорії «синтезу» як цілеспрямованого

процесу об'єднання розрізнених складових у дещо якісне нове [197] для технічних систем є більш прийнятним у разі опису процесів формування нового об'єкту як системи та компонування її складових: елементів, компонент, підсистеми, зв'язків, регуляторів, механізмів управління, зворотних зв'язків, тощо [204]. 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 зворотних 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. Поняття синтезу управління останнім часом також активно використовується і для технічних систем [98], де поряд з окремими задачами синтезу, наприклад, стабілізуючого управління використані методи оцінювання точності стабілізації, але на жаль для біологічних систем такий підхід неможливий, тому в дисертаційній роботі під поняттям синтезу управління функціональним станом персоналу розуміють синтез процесів оцінювання та прогнозування функціонального стану оператора, тобто 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 методології оцінювання системи управління безпеки в авіації.

Згідно методичних рекомендацій «Методологія оцінювання систем управління/систем управління безпекою польотів» затверджених наказом Державіаслужбою України №391 від 06.03.2020р., для оцінювання відповідності та ефективності системи управління безпекою польотів, необхідно здійснити синтез структури даної системи управління через відповідний набір складових [203].

Складність проблеми синтезу системи управління безпекою польотів полягає в тому, що різний набір складових для її оцінювання знаходиться на різних рівнях ієрархії даної системи, в різних її структурах, з різними зв'язками між ними [203]. Що потребує синтезу оптимальної структури складної системи управління. Задача синтезу оптимальної структури управління безпекою польотів є багатокритеріальною і має де-кілька рівнів ієрархії, що можуть бути представлені за допомогою декомпозиції функціональних моделей [53]. Тому мета задачі синтезу оптимальної структури управління може бути вирішена різними зв'язками між її елементами [215]. Основні задачі, що вирішуються при синтезі структури систем управління можна окреслити як визначення складових системи, їх опис та аналіз зв'язків між її підсистемами [206].

При синтезі структури управління безпекою польотів можна виділити наступні складові:

- синтез загальної структури об'єкта з аналізом його входів виходів, факторів впливу;
- виділення підсистем та аналіз зв'язків між ними;
- вибір кількості рівнів для декомпозиції
- синтез окремої частини в якій буде реалізований процес управління за певним набором складових;
- синтез структури обробки інформації та прийняття рішення.

Як системотехнічний синтез, що полягає в обґрунтуванні вибору цілей функцій та структур при створенні систем управління так і архітектурний синтез, як вибір функціональний, логічних та фізичних принципів організації системи управління є складною для формалізації задачею, яка потребує креативного підходу [214]. Тому для можливості забезпечення наочності та зручності урахування багатьох характеристик системи необхідно використати різні рівні декомпозиції. В якості такого інструменту обрана методологія функціонального моделювання IDEF (I-CAM DEFinition або Integrated DEFinition), яка є методологією сімейства I-CAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing) та активно використовується для задач моделювання складних систем [214]. Особливістю використання такого підходу є аналіз складних систем з різними рівнями ієрархії. Причому як горизонтальний так і вертикальний рівень аналізу системи визначається згідно поставлених цілей і може бути обраний таким чином щоб не перенавантажувати модель другорядними даними.

Використання методології IDEF дозволяє отримати різні рівні опису системи. На першому рівні аналізуються інформаційні зв'язки системи із зовнішнім середовищем та їх вплив при отриманні та обробці даних. На другому рівні визначається функціональні елементи та відповідні зв'язки між ними. І третій рівень дозволяє більш детально зупинитися на відповідному рівні для більш глибокого якісного та кількісного аналізу основних його елементів.

Такий багаторівневий опис має кореляцію із класичним системним аналізом систем управління відповідає наступним вимогам: вибір рівня опису системи управління залежить по-перше від мети дослідження, по-друге розробка функціональних моделей може проводитися паралельно; на нижніх рівнях опису проводиться більш детальна декомпозиція, що дозволяє провести глибокий аналіз, але призначення та зміст системи визначається на верхніх рівнях.

Як буде наведено в пп.1.2 функціональна модель оцінювання системи управління безпекою польотів представлена як результат декомпозиції всієї методології оцінювання системи управління безпекою польотів, затвердженою

Державіаслужбою, при цьому виконуються наступні процедури: проводиться декомпозиція для визначення основних напрямів та виявлення джерел небезпеки та формується необхідна структура для можливої оцінки одного з виділених елементів.

Зазначені процедури дозволили отримати декомпозицію методології оцінювання системи управління та формалізувати її за наступними елементами:

$$S_{i,m,j,k}^{s,l,e} = S_i^s \cap S_m^l \cap S_{jk}^e,$$

де, S_i^s - сукупність елементів i -тої страти пов'язаної з безпекою;

S_m^l - сукупність елементів контуру управління, що забезпечує m -рівень складності прийняття рішень (це пов'язано зі складністю системи управління, яка вимагає оперативних рішень в реальному часі, потребує певної кількості часу для визначення аналізу та розробки, таким чином багат шарова ієрархія системи прийняття рішень для управління ризиками розбивається на підпроблеми, при чому необхідно, щоб розв'язання сукупності підпроблем приводило до розв'язання проблеми в цілому);

S_{jk}^e - сукупність елементів організаційної структури k -того підрозділу j -того рівня управління, що забезпечує m -рівень складності прийняття рішень страти пов'язаної з безпекою.

Тому на кожному рівні декомпозиції для кожного зазначеного елементу трьохвимірного простору з огляду на мету управління можна визначити умову:

$$S_{i,m,j,k}^{s,l,e} = \begin{cases} 1, \text{ якщо існує для елемента задача управління, яка реалізує частинну мету} \\ 0, \text{ в протилежному випадку} \end{cases}$$

Використання такого підходу дозволяє окреслити структурні елементи системи, що беруть участь у реалізації цільової функції, що задана, та розглянути доцільність охоплення зазначених структурних елементів методології оцінювання системи управління ризиками безпеки польотів з

урахуванням можливості формалізації задач управління та їх математичного опису.

Стратифікація об'єкта управління. Згідно із затвердженою методологією в системі управління ризиками безпеки польотів можна відокремити наступні основні страти, пов'язані з небезпекою:

- можливі сценарії розвитку авіаційних подій S_1^s ;
- людські фактори S_2^s ;
- організаційні фактори можливі сценарії розвитку авіаційних подій S_3^s ;
- корпоративні рішення та бізнес-проекти S_4^s ;
- організації третіх сторін S_5^s .

В такому випадку загальна мета управління ризиками може бути представлена як поєднання:

$$Q = \bigcup_{i=1}^5 Q_i ,$$

тобто загальна мета управління ризиками має бути реалізована кожною i -тою стратою пов'язаної з небезпекою S_i^s .

Але при такій декомпозиції може скластися ситуація, коли певні страти на даному авіапідприємстві не беруть участі безпосередньо в досягненні поставленої мети забезпечення безпеки польотів (наприклад бізнес-процеси), але для досягнення такої мети як максимальний прибуток або мінімальна собівартість дана страта є визначальною тому вона має бути врахована в загальній системі управління безпекою.

В Додатку Б дисертаційної роботи наведена функціональна модель, що надає змогу визначити місце методології синтезу оцінювання функціонального стану оператора в загальній методології оцінювання системи управління безпекою польотів.

І хоча деякі організації ставлять собі за мету досягти нульового рівня інцидентів і заявляють, що безпека є їхнім головним пріоритетом. Реальність така, що операторам (та іншим організаціям комерційної авіації) потрібно отримувати прибуток, щоб вижити. Прямими показниками успішності підприємства в досягненні виробничих цілей є прибуток або збиток. Проте будь-яка компанія згодом усвідомлює, що безпека є необхідною умовою сталого функціонування авіакомпанії. Компанії можуть усвідомити, що у них є проблеми з безпекою після великої авіаційної аварії або великої втрати, частково тому, що це впливає на їхній баланс прибутків і збитків. Сучасний підхід доводить, що безпека і прибуток не є взаємовиключними поняттями. На практиці організації, які підтримують високий рівень якості, розуміють, що витрати на усунення небезпечних умов є капітальними вкладеннями в довгострокову прибутковість.

Витрати на забезпечення безпеки польотів важко підрахувати. Аналіз витрат і вигод є складним завданням, але його слід виконувати, оскільки вище керівництво не бажає витратити гроші, якщо немає вимірної вигоди. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є відокремлення витрат на систему управління безпекою польотів, пов'язаних з усуненням недоліків у забезпеченні безпеки польотів шляхом покладання витрат на управління безпекою на відділ безпеки польотів, а витрат на усунення недоліків до лінійного керівництва, найбільшою мірою відповідального за цей сектор. Такий підхід передбачає залучення вищого керівництва до розгляду витрат і вигод, пов'язаних із системою управління безпекою. Втрати дорого коштують. При зростанні витрат на заходи зі зниження ризику зменшуються дорогі втрати. Однак, витрачаючи все більше і більше грошей на зниження ризику, вигоди від зменшення витрат можуть бути непропорційними до відповідних витрат. У зв'язку з необхідністю врахування комерційної складової впровадження системи управління безпекою польотів в Додатках наведений приклад формування математичної моделі для прогнозування рівня прибутку авіапідприємства для можливості визначення оптимальної стратегії управління ризиками. Критерієм оптимальності в такому

випадку обрана точка перетину витрат на забезпечення безпеки польотів та загальних витрат.

1.2. Системний підхід до управління безпекою польотів

В основі системи управління безпекою лежить системний підхід до виявлення джерел небезпеки та контролю факторів ризику в інтересах зведення до мінімуму людських жертв, матеріальних збитків, а також фінансової, екологічної та соціальної шкоди.

Для забезпечення системного підходу в дисертаційній роботі розроблена функціональна модель, що описує процес управління безпекою польотів з використанням функціонального моделювання нотації IDEF0 (як було зазначено в пп.1.1) (Додаток Б).

Методологія оцінювання системи управління безпекою польотів формується на основі перетворення основних страт, пов'язані з небезпекою всіх рівнях декомпозиції функціональної моделі даної методології (рис.1.5.) та кожний наступний рівень декомпозиції даної методології дозволяє більш детально розглянути її складові (рис.1.6).

На основі даного підходу розроблена наступна декомпозиція процесу управління ризиками рис.1.6., як складової методології оцінювання системи управління безпекою польотів.

Методологія дозволяє об'єднати всі загальні вимоги до розробки системи управління безпекою польотів, що пов'язано з тим що EASA не вимагає єдиних вимог до систем управління/СУБП [193]. В такому випадку є місце для впровадження додаткових галузевих вимог, що можуть мати свої специфічні особливості і можуть бути частиною всієї системи оцінювання.

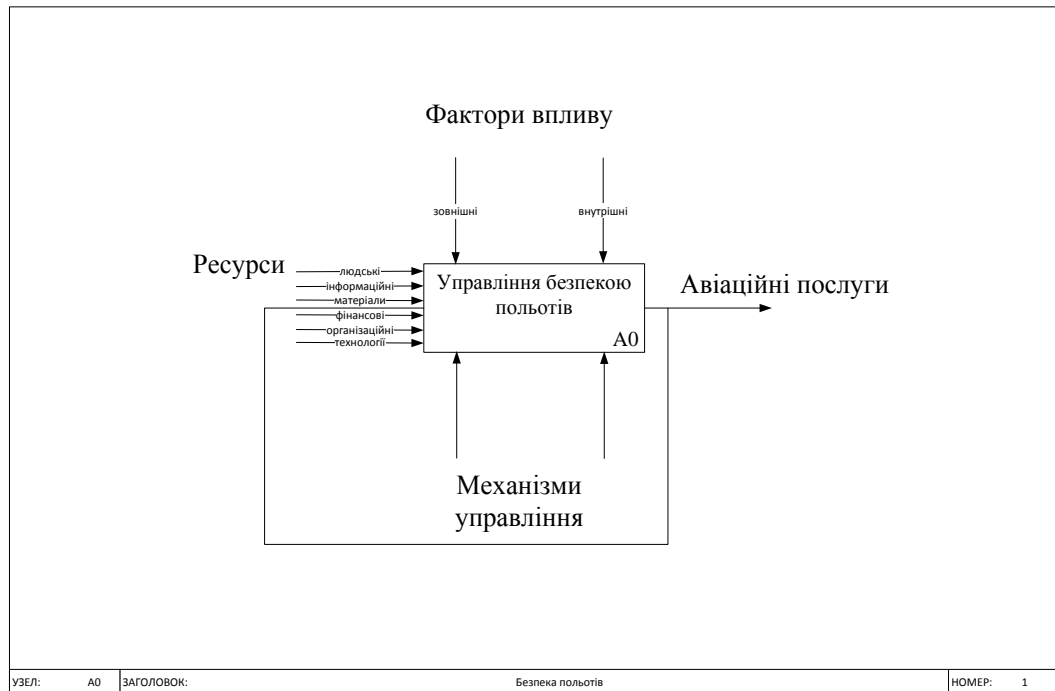


Рисунок 1.5 – Перший батьківській рівень методології оцінювання системи управління безпекою польотів

При впровадженні системи управління безпекою польотів та первинній сертифікації для організації що мають чинні сертифікати необхідно щоб усі процеси були наявними та застосованими. І вже при оцінюванні такої системи та прийнятті рішення що процеси, що вони наявні та застосовані та система управління стала дієвою, тобто перехідний період завершений (особливо це актуально при переході на нові вимоги до системи управління/СУБП) кожний з процесів має бути дієвим. В свою чергу наявність основних чотирьох етапів методології оцінювання системи управління безпекою польотів дозволяє чітко провести декомпозицію кожного з етапів та спростити процес ідентифікації кожного з них за рахунок використання індексів кожного з етапів. Так, в дисертаційній роботі було проведено декомпозицію етапу 2, який отримав індекс А2 і відповідно нижчі рівні даної ієрархії також починаються з даного номера, що дозволяє отримати розуміння цілісної структури всієї методології – в цьому і полягає особливість розробки функціональної моделі з використанням нотації IDEF0.

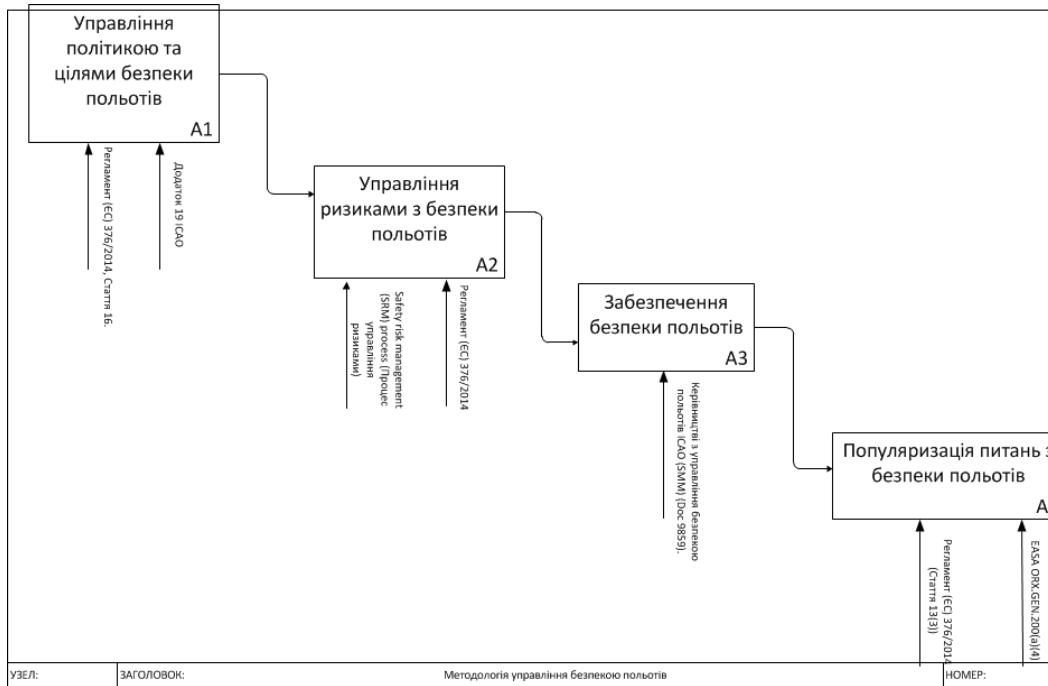


Рисунок 1.6 – Другий рівень декомпозиції методології управління ризиками безпеки польотів. Основні етапи

В дисертаційній роботі проведений аналіз процесу управління ризиками з безпеки польотів процес A2 (рис.1.6), який в свою чергу складається з наступних етапів.

1 Виявлення джерел небезпек A 21

1.1 Організація здійснює розробку та виконання процесу виявлення джерел небезпеки, що Постачальник обслуговування повинен розробити та здійснювати процес для виявлення джерел небезпек, пов'язаних з власними авіаційними продуктами або послугами [195]. Виявлення джерел небезпек повинно базуватись на комбінації реактивних та проактивних методів. Дієвість даного етапу полягає в ідентифікуванні небезпеки, пов'язані з людськими та організаційними факторами (рис.1.7).

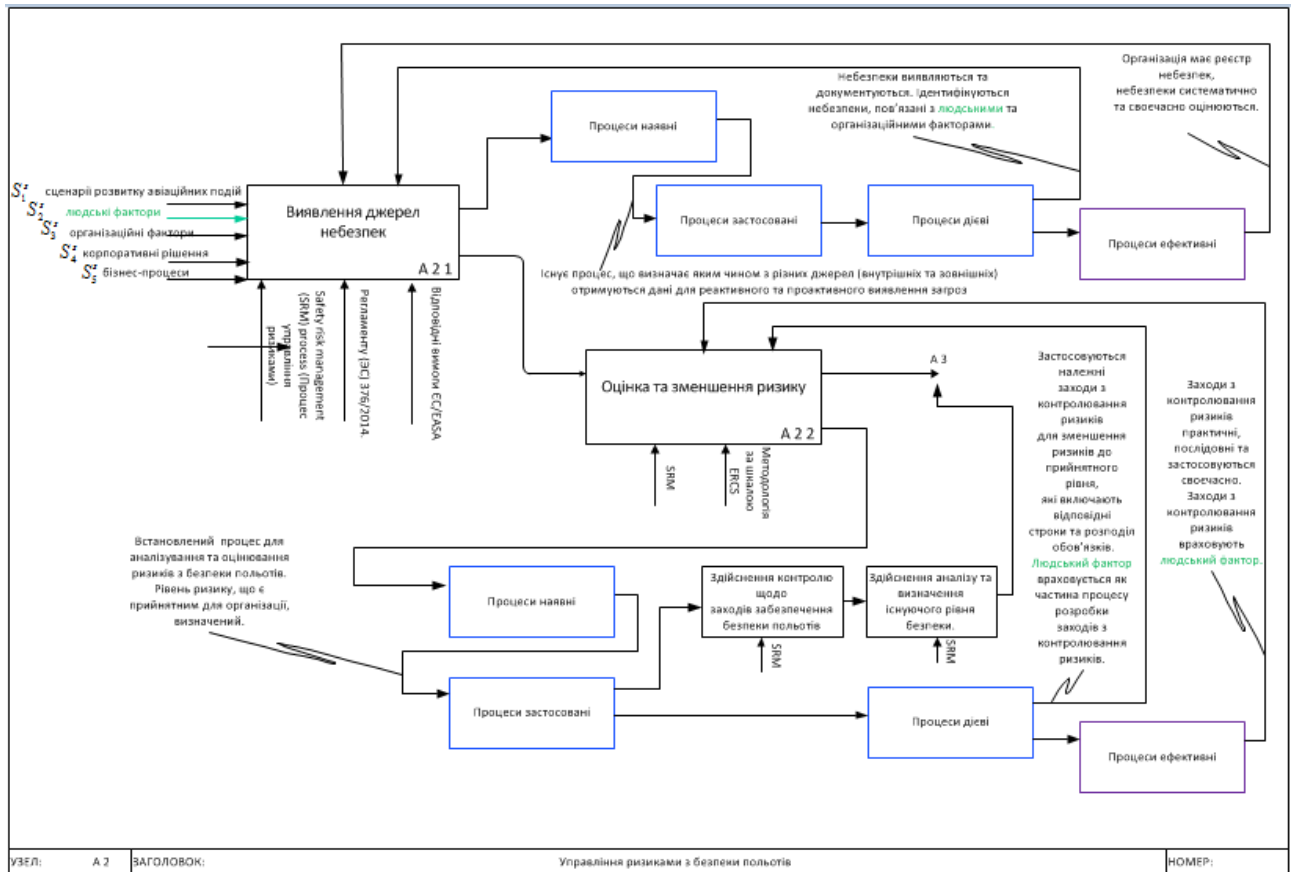


Рисунок 1.7 – Функціональна модель третього рівня декомпозиції

Особливості даного етапу:

Необхідно провести перегляд принципів ідентифікації, аналізу та реєстрації небезпек.

Провести аналіз небезпеки, що пов'язані з: S_1^S - можливими сценаріями розвитку авіаційних подій; S_2^S людськими факторами; S_3^S організаційними факторами; S_4^S корпоративними рішеннями та бізнес-процесами; S_5^S організаціями третіх сторін [195].

Провести аналіз які саме внутрішні та зовнішні джерела небезпек враховуються (звіти з безпеки польотів/аудити/опитування щодо безпеки польотів/розслідування/інспекції/мозковий штурм/комерційний та інший зовнішній вплив, тощо).

В свою чергу розслідування подій з безпеки польотів дозволяють визначити причинні/супутні фактори. Для обробки небезпек, що ідентифіковані

з подій, використовують статті 4 та 5 Регламенту (ЄС) 376/2014 блок процесу A2 на рис.1.7.

2. Оцінка та зменшення ризику A22

2.1 Постачальник обслуговування повинен розробити та підтримувати процес, що забезпечуватиме аналізування, оцінювання [та контроль] ризиків з безпеки польотів, пов'язаних з виявленими небезпеками [193].

В свою чергу, кожний з рівнів підрівнів A2 має процедури оцінки наявності, застосовності, дієвості і ефективності, які в свою чергу визначають яким чином з різних джерел отримуються данні для реактивного і проактивного виявлення загроз.

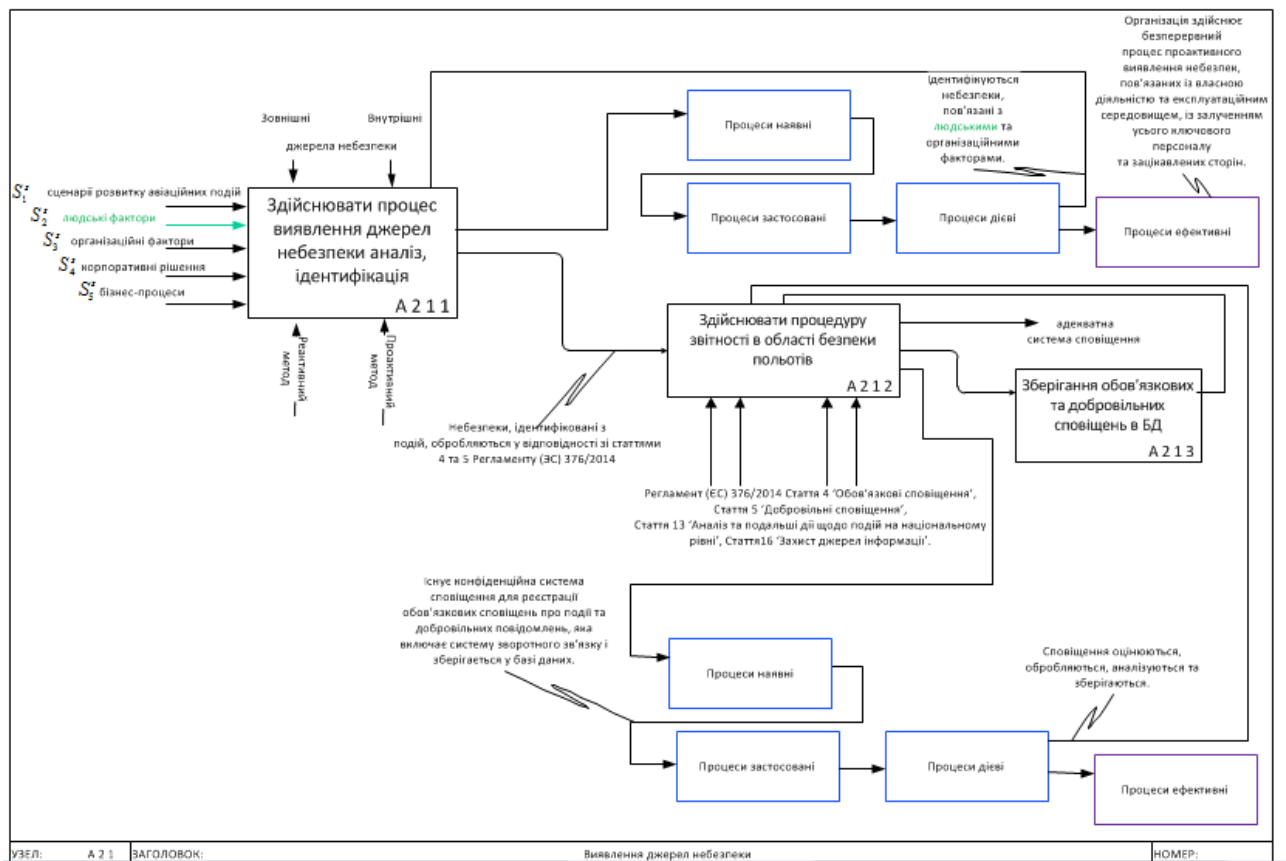


Рисунок 1.8 – Функціональна модель третього рівня декомпозиції.

В свою чергу процес виявлення джерел небезпеки складається з процесу здійснення виявлення джерел небезпеки, їхнього аналізу та ідентифікації та процесу здійснення процедури звітності в області безпеки польотів, та процесу зберігання обов'язкових та добровільних сповіщень (рис.1.8). Перелік обов'язкових та добровільних сповіщень встановлений згідно пункту 1 розділу

І Авіаційних правил України «Порядок сповіщення про події в галузі цивільної авіації, розгляду отриманої інформації, її аналізу та вжиття відповідних заходів» затвердженого наказом Державної авіаційної служби України № 1817 від 27.12.2019 р. [93].

Можна простежити, що джерелом деяких проблем, що викликають ці події чи сприяють їм, виявляються конструктивні недоліки устаткування чи неадекватні процедури керування рухом, чи похибки при оцінюванні даних від устаткування. Цей перелік є неповним і він характеризує джерела ризику пов'язані з організаційними факторами. В свою чергу, розробка підходів та концептуальних основ усунення причин небезпеки, пов'язаними з організаційними факторами присвячено багато досліджень, зокрема в Національному авіаційному університеті.

Так дисертаційні роботи Заліського М.Ю., Соломенцева О.В. присвячені оцінюванню та прогнозуванню технічного стану засобів аеронавігації, методів оцінювання їхньої надійності та використання подійно-ймовірносних моделей, що можуть бути використані в можливих сценаріях розвитку авіаційних подій при експлуатації наземних засобів аеронавігації [126, 77].

В свою чергу вирішення проблеми оперативної оптимізації процесу керування рухом динамічних систем, що дозволяє, в реальному масштабі часу вирішувати задачі оперативного синтезу оптимальних розгалужених траєкторій руху у формі зручній для оперативного синтезу оптимального керування цими складеними системами здійснено в дисертаційному дослідженні Тачиненої О.М.

Розвиток теорії та методів розв'язання нелінійних задач оптимального керування рухом літальних апаратів та їх застосування для завдань оптимізації керування з використанням диференціальних перетворень всебічно досліджено Гусиніном А.В., що має важливе практичне значення для розробки перспективних зразків авіаційно-космічної техніки [123].

Аналіз особливостей оцінки впливу негативних експлуатаційних факторів на показники функціонування ергатичних систем управління повітряним судном всебічно проведений Грищенко Ю.В.[115].

Для вагомого внеску у розвиток методів та технологій для можливості визначення координат літальних об'єктів, дослідженню задач точності та достовірності, дослідження впливу штучних завад на точність позиціонування у просторі, що дозволяють підвищити безпеку навігації та авіації у цілому багато наукових досліджень були проведені вченими Національного авіаційного університету В. Коніном, О. Писарчуком, К. Сундучковим, Л. Сібруком, В. Харченко, Ф. Яновським, Авер'яною, зокрема.

Аналіз методів, що стосується первинної обробки сигналів що отримані від антенних систем з фільтрацією та придушенням завади спрямованих на збільшення точності вимірювання характеристик всебічно проведений Щербіною О.А. [241].

Розробка нових методів позиціонування за сукупністю кутомірних й далекомірних навігаційних засобів; пасивного використання сигналів у системі вимірювання дальності, інформаційних параметрів для систем попередження зіткнень літаків для підвищення точності та доступності аеронавігаційної інформації здійснена Остроумовим І.В.[203].

Для підвищення ефективності оперативних організаційних рішень в реальному часі вченими Національного авіаційного університету було виконане завдання підвищення точності оцінювання інформаційних потоків від засобів отримання та обробки інформації при здійсненні польотів, що може бути здійснено за рахунок обчислення основних показників поляризаційних базисів. Так групою дослідників у співавторстві було доведено, що використання таких базисів може підвищити ефективність використання існуючих засобів отримання інформації за рахунок методу їх обробки. використання базису кругової ортогональної поляризації для вимірювання параметрів електромагнітної хвилі. Зокрема, кут нахилу великої осі еліпса поляризації та коефіцієнт еліптичності є одними з вимірювальних параметрів. Розроблено та проаналізовано основні вирази для розрахунку параметрів поля в базисі кругової та лінійної ортогональної поляризації. Обґрунтовано переваги використання кільця порівняно з симетричними вібраторами. Отримані в

досліджені [33] вирази для розрахунку похибок вимірювання параметрів поляризації в лінійному ортогональному поляризаційному базисі ілюструють багатофакторну залежність точності вимірювання від кутових та амплітудних параметрів. На відміну від лінійного поляризаційного базису, у випадку кругового базису кут нахилу осі поляризаційного еліпса можна знайти прямими вимірюваннями фазового зсуву, а на точність вимірювання коефіцієнта еліптичності впливає лише похибка вимірювання відношення амплітуд напруги, які пропорційні модулям векторів напруженості поля лівого та правого напрямків повороту кругової поляризації.

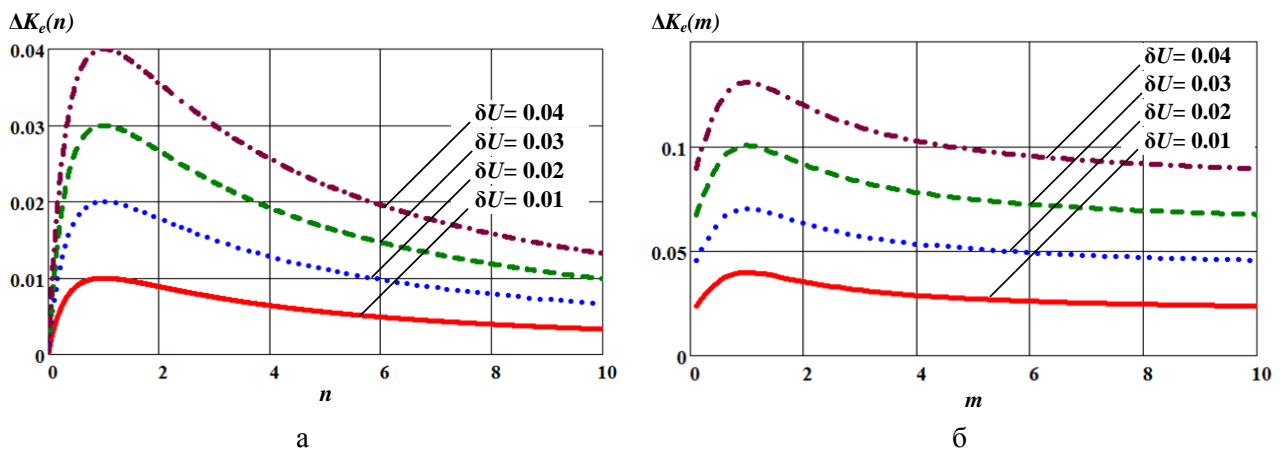


Рисунок 1.9 - Залежності похибки розрахунку коефіцієнта еліптичності K_e в базисі кругової ортогональної поляризації (а) та в базисі лінійної ортогональної поляризації (б).

Залежності похибки розрахунку коефіцієнта еліптичності K_e в базисі кругової ортогональної поляризації від співвідношення амплітуд напруг $n = U_L/U_R$ (відношення амплітуд напруг, пропорційних модулям векторів напруженості поля лівого та правого напрямків обертання) при фіксованому значенні відносної похибки вимірювання напруги (напруженості поля). В свою чергу залежність похибки розрахунку коефіцієнта еліптичності K_e в базисі лінійної ортогональної поляризації від співвідношення амплітуд напруги $m = U_\theta/U_\varphi$ (де $m = E_\theta/E_\varphi = U_\theta/U_\varphi$ вибір знака «плюс» або «мінус» визначається напрямком обертання вектора E , або знаком зсуву фази ψ) при фіксованих значеннях відносної похибки вимірювання напруги.

Якщо порівняти графіки на рис. 1.9.б з графіками похибки обчислення коефіцієнта еліптичності в базисі кругової ортогональної поляризації, наведеними на рис. 1.9.а, можна визначити, що похибки вимірювання коефіцієнта еліптичності становлять на порядок більше при використанні лінійного ортогонального базису поляризації, що забезпечує кращу потенційну точність вимірювання параметрів електромагнітної хвилі при використанні кругової поляризації і, відповідно, більш обґрунтований аналіз в базисі кругової ортогональної поляризації [33].

Для підвищення ефективності оперативних рішень в реальному часі необхідно вирішити завдання підвищення точності оцінювання інформаційних потоків від засобів отримання та обробки інформації при здійсненні польотів, що могут бути здійснено за рахунок обчислення основних показників поляризаційних базисів. Так групою дослідників у співавторстві було доведено, що використання таких базисів може підвищити ефективність використання існуючих засобів отримання інформації за рахунок методу їх обробки

В свою чергу питанням зменшення ризиків за рахунок врахування та оцінювання людського фактору в системі забезпечення безпеки польотів також займаються багато науковців. Але визначення складових людського фактору та розуміння його особливостей є доволі складним завданням з великою кількістю факторів, які необхідно враховувати та достатньо великою невизначеністю, що формується при впливі цих факторів

1.3. Місце людського фактору в системі забезпечення безпеки польотів

Для визначення ризиків, що необхідно враховувати в авіаційній галузі нормативами ICAO запропонована модель SHELL, яка наочно представляє взаємозв'язків між різними компонентами авіаційної системи. Ця модель є однією з розробок традиційної системи "людина-машина-середовище". Модель наочно демонструє важливість врахування складної сукупності взаємозалежних факторів та умов, які можуть впливати на характеристики працездатності

людини. Аббревіатура SHEL формується з перших літер її складових компонентів:

- а) Суб'єкт (L-Liveware) (оператори на робочих місцях).
- б) Об'єкт (H-Hardware) (засоби та устаткування).
- в) Процедури (S-Software) (правила, підготовка, документація тощо).
- г) Середовище (E-Environment) (експлуатаційні умови, у яких повинні взаємодіяти інші компоненти системи L-H-S) [60].

Основна увага при визначенні факторів ризику авіаційній галузі придляється людині та її взаємодії з іншими компонентами авіаційної системи (рис.1.9). Людина являє собою найбільш гнучкий, здатний до адаптації та важливий елемент авіаційної системи, однак і найбільш уразливий, якщо розглядати його з точки зору негативного зовнішнього впливу на його професійну діяльність.

Для розуміння складних взаємних зв'язків всіх компонент та аналізу особливостей взаємодії оператора з іншими факторами на робочому місці. Суб'єкт. У центрі моделі SHEL знаходяться особи, які виконують свої професійні обов'язки. З точки зору факторів ризику саме цей блок вважається найбільш критичним складовим елементом системи. Для людини характерні значні відмінності в їх робочих характеристиках та певна кількість обмежень, більшість з яких на сьогодні загалом можна передбачити. Межі цього блоку мають зазубрини, так що щоб уникнути стресових ситуацій та кінцевої руйнації системи вони повинні мати точне поєднання з межами інших блоків-елементів. Для досягнення такого поєднання дуже важливе розуміння характеристик цього центрального елемента. Підвищена адаптивність людини до змін середовища в свою чергу має недолік в значних коливаннях рівня працездатності. В свою чергу неможливість використання в повній мірі стандартизації процедур по відношенню до людини на відміну від устаткування породжує зменшення прозорості меж в цьому блоці. Необхідно також враховувати неможливість людини взаємодіяти ідеальним чином із різними компонентами того середовища, де вони виконують професійні обов'язки .

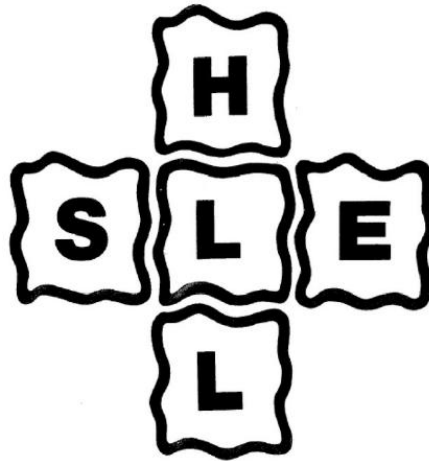


Рисунок 1.10 - Модель SHEL (адаптований варіант, що отриманий з моделі Хоукинса, 1975 г.), де S - установки (процедури, символи, т. д.), H – об’єкт (обладнання), E - середовище, L - суб’єкт (людина) [181].

З метою уникнення напруги, яка може погіршити працездатність людини, необхідно враховувати наслідки нестиківок на кордоні між різними блоками SHEL та центральним блоком “суб’єкт”. Для запобігання напругі в системі необхідно домогтися ретельного припасування кордонів інших її компонентів [26].

Якщо розглядати нерівності меж блоку “суб’єкт” як потенційні об’єкти ризику можна визначити перелік чинників, що впливають на формування факторів ризику. Нижче перераховані найважливіші складові, що впливають на характеристики працездатності індивідуума:

а) Фізична складова - включають фізичні можливості оператора виконувати необхідні завдання, наприклад, фізична сила, зростання, довжина рук, зір і слух [27].

б) Фізіологічна складова впливають на внутрішні фізичні процеси в людині і можуть вплинути на її фізичні та когнітивні характеристики, наприклад, наявність кисню, загальний стан здоров'я, хворобу або захворювання, споживання тютюну, наркотиків або алкоголю, особистий стресовий стан, втома і вагітність [117].

в) Психологічна складова впливають на психологічна підготовленість індивіда включає мотивацію і вміння оцінювати ситуацію, ставлення до ризикованої поведінки, впевненість і стрес [187].

г) Психосоціальні складова включають усі зовнішні чинники у соціальній системі, як у професійній діяльності та і особистому житті, особисті фінансові проблеми тощо.

- Суб'єкт-об'єкт (L-N). Взаємозв'язки між оператором та устаткуванням приховують особливості впливу людського фактору на професійну діяльність,

- Суб'єкт-процедури (L-S). Інтерфейс L-S є взаємозв'язками людини з системами забезпечення, що є на робочому місці, наприклад, правила, керівництва, контрольні переліки, видання, програмне забезпечення ЕОМ. Цей інтерфейс включає такі “орієнтовані користувача” аспекти, як актуальність, точність, форма уявлення, термінологія, ясність і символіка.

- Суб'єкт-суб'єкт (L-L). Інтерфейс L-L є взаємозв'язками індивіда з іншими особами на робочому місці. Льотні екіпажі, диспетчери управління повітряних рухом, інженери з технічного обслуговування повітряних суден та інший експлуатаційний персонал працюють у колективах, і це має свій вплив на їхню працездатність, рівень втоми, поведінку, тощо. Цей інтерфейс охоплює такі аспекти, як лідерство, співробітництво, взаємодія в команді та міжособистісні стосунки. А також взаємини між колективом та його керівниками, аспекти корпоративної культури, психологічного клімату в колективі та виробничих потреб авіакомпанії, всі з яких можуть суттєво впливати на працездатність людини.

- Суб'єкт-середовище (L-E). Для даного інтерфейсу характерні взаємозв'язки між оператором і внутрішнім і зовнішнім середовищем. Внутрішнє виробниче середовище може складатися з наступних фізичних параметрів: температура, освітлення, рівень шуму, вібрація та якість повітря. В свою чергу особливими параметрами для пілотів можуть бути специфічні аспекти (видимість, турбулентність та рельєф місцевості, тощо). Іншою специфічною особливістю є необхідність роботи з недотриманням нормальних

біологічних ритмів, у, тощо. Необхідно враховувати і такі зовнішні фактори будь-якої авіаційної системи як достатньо велика кількість політичних та економічних впливів. До зазначених факторів відноситься фінансове становище на місцях та ефективність регулювання та адекватність фізичних засобів та допоміжної інфраструктури. Якість прийняття рішення може бути знижена як неадекватною допоміжною інфраструктурою так і безпосередньо виробничим середовищем, що може створити напружені ситуації [181].

Можливість прийняття людиною помилкових чи алогічних рішень у конкретних ситуаціях, яка позначається як людській фактор пов'язаний з обмеження можливостей або помилками, що характерні для будь-якої людині властиві. Але рівень складності тих завдань, які необхідно розв'язати не завжди в повноому Рівень складності завдань, що розв'язується має відповідати індивідуальним психофізіологічні та психологічні характеристикам оператора.

Ухвалена Асамблеєю ІКАО резолюція щодо безпеки польотів та ролі людський фактора при взаємодії з машинами (H), процедурами (S), навколишнім середовищем (E) та взаємодію між собою (L - L) надає змогу визначити особливості оцінювання людського фактора як джерела ризику. Дана оцінка має спиратися на практичне вирішення проблем безпеки польотів, що ґрунтується на аналізі помилкових дій усіх учасників людино-машинної системи, які привели або могли призвести до аварійних подій. Метою дисертаційного дослідження є скорочення до мінімуму кількості авіаційних пригод з вини людини, пов'язаної з авіацією [181].

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 [5].

Добре розуміння цих термінів сприятиме успішному проведенню дослідження впливу людського чинника на безпеку авіації, зокрема. Сорокова сесія технічної комісії Асамблеї ІКАО наголошує на необхідність врахування особливого взаємозв'язку між людським та організаційними факторами з системою управління безпекою польотів, що вимагає системного підходу до визначення можливих факторів ризику для безпеки польотів.

1.4. Проактивний підхід концепції управління безпекою польотів

Глобальний план безпеки польотів ІКАО визначає стратегію постійного удосконалення безпеки світової авіації. Дана стратегія визначає необхідність держав впроваджувати ефективні системи контролю безпеки авіаційної діяльності за рахунок виконання державних програм забезпечення польотів. Як було зазначено Україна впроваджує методологію управління безпекою польотів на державному рівні, основою якої є використання про-активного підходу. В рамках про-активного підходу до управління безпекою польотів безпекою вважається стан, при якому ризики, що пов'язані з авіаційною діяльністю, які стосуються експлуатації повітряних суден або безпосередньо забезпечує таку експлуатацію, знижено до прийняттого рівня та контролюються.

Проактивний підхід – це нова концепція управління безпекою діяльності, що націлює на проведення 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.

При впровадженні системи про-активного підходу до управління безпекою з'являються принципово нові об'єкти. Дані об'єкти надають змогу розробити перелік профілактичної роботи основою якого є класифікаційний аналіз небезпек (небезпечних факторів). Такі небезпечні фактори «передують» помилковим діям і стають причинами.

Тому відповідно до про-активного підходу при управлінні безпекою акцент робиться на виявлення та усунення небезпек (небезпечних факторів) у

всіх компонентах авіаційної, що беруть участь у роботі системи та управління їх ризиками.

Нова ідеологія запобігання авіаційним подіям та інцидентів має на меті створення в авіакомпанії ефективної системи управління безпекою що дозволяє:

- визначити як фактичні так і можливі потенційні небезпеки та їх фактори;
- гарантує вжиття коригувальних заходів, необхідних для зниження ризиків діяльності;
- забезпечує безперервний моніторинг та регулярну оцінку досягнутого рівня безпеки [4].

Таким чином, система управління безпекою польотів це – сукупність здійснюваних авіакомпанією (як авіаційною системою) заходів щодо виявлення та ідентифікації фактичних та потенційних небезпек та їх чинників її діяльності, оцінку ризику їх прояви, розробку та вжиття необхідних заходів, що надасть змогу підтримати рівень безпеки у визначених межах та здійснити оцінювання ефективності вживаних корегувальних заходів.

Отже, система управління безпекою польотів, на відміну від попередньої моделі, акцентувала увага не на очікуванні негативної події, а на завчасному виявленні (ідентифікації) можливих небезпек та їх факторів. Зазначені фактори присутні в діяльності авіакомпанії, але в даний момент часу ще не виявлені, хоча і можуть бути ідентифіковані в майбутньому. Такі фактори можуть стати причиною як інцидентів, аварій і навіть катастроф. Така профілактика авіаційних подій є основою про-активного підходу.

Проведення статистичного аналізу при розслідуванні причин авіаційних подій доводить, що кожне з них обумовлено впливом кількох простих небезпек, що виникають у період, що передує авіаційній події, та приховані у вигляді недоліків.

Враховуючи, що характер таких небезпек мають прихований характер такі небезпеки не мали статусу активного виявлення, але й не надавали їм

особливого значення при випадковому виявленні. Проте, практика переконливо довела, що наявність прихованого недоліку в системі може призвести за певних умов до потенційної трансформації його на «спусковий гачок» (причину, тригер), який запускає подальший негативний розвиток події [25].

Саме тому принципово змінюється зміст профілактичної роботи. Здійснюється перехід на проведення постійної цілеспрямованої роботи з виявлення та усунення прихованих небезпек та їх факторів на підступах до майбутніх виробничих подій кожному компоненті авіаційної системи. Тому важливим кроком сьогодення є необхідність проведення профілактичної роботи, що повинна вестись заздалегідь, а не після того, як можливих авіаційних подій відбудуться.

Об'єктами цієї роботи є небезпеки авіаційної системи. В той час як предметом такої роботи є їхнє оперативне виявлення та усунення (ідентифікація, регламентування, розробка коригувальних заходів). Для впровадження викладеного підходу, як про-активного, в першу чергу необхідно приділити увагу аналізу та виявленню впливу людського фактору як найменш прогнозованого та мінливого.

Тому, необхідний синтез процедур управління функціональним станом персоналу, що дозволить оцінити поточний стан оператора та у разі його порушення, ідентифікувати стан, як можливу небезпеку та сформулювати добровільне\обов'язкове сповіщення 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» [93].

Місце синтезу управління функціональним станом персоналу в загальній системі управління безпекою польотів під процесу А2 подана в Додатку Б. Частина під процесу виявлення джерел небезпеки, пов'язаних з порушенням функціонального стану персоналу для формування обов'язкових та добровільних сповіщень подана на рис.

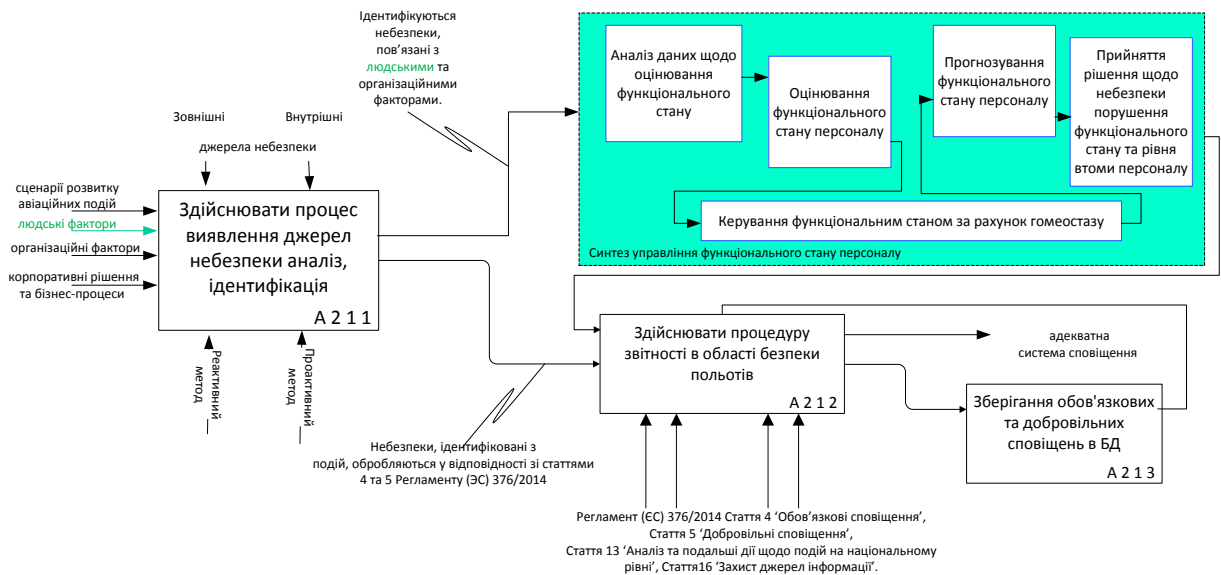


Рисунок 1.11 Місце процесу управління функціональним станом персоналу в процедурах виявлення джерел небезпеки та формування системи сповіщення

З огляду на те, що функціональний стан оператора є складовою впливу людського фактору в методології оцінювання системи управління безпекою польотів для оцінювання впливу окремих складових було проведено експертне оцінювання щодо факторів ризику пов'язаних з людським фактором. 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. 1.12. Особливістю даної автоматизованої системи є наявність відповідних підказок при некоректному використанні рис.1.13 та процес розрахунку.

	A	B	C	D	E	F	G	K	L	M
1	rating →							Coefficients of weight		
2	Factor code ↓		Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5		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 1.12 – Інтерфейс системи для розрахунку ймовірності виникнення ризику

Для аналізу узгодженості експертних оцінок були використані методи рангової кореляції, запропоновані К. Спірменом і М. Кендалом, особливості використання даних методів для розробки автоматизованої системи подана в Додатку В.

Слід зазначити, що думка експертів також є суперечливою, недостатня статистична значущість коефіцієнта також має на увазі узгодженість. Отже, коефіцієнт узгодження є оцінкою справжнього значення коефіцієнта і, отже, є випадковою величиною. Значимість оцінки коефіцієнта конкордації визначити за відомими статистичними таблицями. При кількості об'єктів $n > 7$ оцінку значущості коефіцієнта конкордації можна зробити за критерієм Пірсона χ^2 (хі-квадрат). Розраховане значення χ_{p2} порівнюється з табличним значенням $\chi_{т2}$ для $(n-1)$ ступенів свободи та достовірності ($P = 0,95$ або $P = 0,99$) [200]. Якщо $\chi_{p2} > \chi_{т2}$, то коефіцієнт узгодження значний, якщо навпаки, необхідно з'ясувати причини розбіжностей та врахувати їх при побудові наступної математичної моделі. Ваги факторів розраховуються та відображаються в передостанньому стовпці таблиці.

Оцінки → Код фактора ↓	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Експерт 4	Експерт 5	Коефіцієнти вагомості	
1	4	2	4	1	4	0,05639	Оцінки виставлені некоректно! Див. інструкцію
2	2	4	2	4	1	0,04887	
3	1	1	3	2	2	0,03383	
4	3	6	1	3	3	0,06015	
5	10	9	10	8	1	0,14286	
6	9	10	9	10	9	0,17669	
7	8	7	5	9	8	0,13910	
8	5	5	8	7	5	0,11278	
9	6	3	6	6	7	0,10526	
10	7	8	7	5	6	0,12406	
	✓	✓	✓	✓	Оцінки виставлені некоректно! Див. інструкцію		Помилка!

Рисунок 1.13 – Інтерфейс системи при некоректному її використанні

Розраховані коефіцієнти вагомості за формулою:

$$\omega_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} ,$$

де R_i - ранги, встановлені експертами кожному фактору, в результаті чого була отримана наступна модель:

$$z = 0,056a_1 + 0,049a_2 + 0,034a_3 + 0,06a_4 + 0,143a_5 + 0,177a_6 + 0,139a_7 + 0,113a_8 + 0,105a_9 + 0,124a_{10},$$

що може бути використана для прогнозування ймовірності виникнення ризику пов'язаного з людським фактором.

При неузгодженості думок експертів щодо вагомості кожного з факторів ризику з'являється підказка червонного кольору та програма зупинює свою роботи доки ранги не будуть виставлені коректно (Додток В).

Особливості роботи розробленої автоматизованої системи та її розрахунки наведені в Додатках дисертаційної роботи.

фактор в	Розшифровка фактора	Наявність факторів ризику (Є - 1, Немає - 0)	Результат і рекомендації
1	Вікові фактори	0	Ймовірність виникнення ризику 46,2 % – середня Існує потреба в ретельній підготовці з урахуванням факторів ризику.
2	Вчинення небезпечних дій	1	
3	Недостатній досвід, підготовка та індивідуальна компетентність	0	
4	Низький рівень культури безпеки польотів	0	
5	Ризик серцево-судинних захворювань	1	
6	Порушення функціонального стану	0	
7	Наявність втоми	1	
8	Помилки в прийнятті рішень	1	
9	Робота з несправним обладнанням	0	
10	Супутні фактори	0	

Рисунок 1.14 – Інтерфейс автоматизованої системи для розрахунку ймовірності виникнення ризику (приклад 1)

До людського фактора необхідно віднести усі помилки пов'язані з діями екіпажу, диспетчера, технічного персоналу, всі дії,що залежать від діяльності людини, її поведінки та прийнятих нею рішень.

фактор а	Розшифровка фактора	Наявність факторів ризику (Є - 1, Немає - 0)	Результат і рекомендації
1	Вікові фактори	0	Ймовірність виникнення ризику 62,5 % – висока 'Для керівництва'!
2	Вчинення небезпечних дій	1	
3	Недостатній досвід, підготовка та індивідуальна компетентність	0	
4	Низький рівень культури безпеки польотів	0	
5	Ризик серцево-судинних захворювань	1	
6	Порушення функціонального стану	1	
7	Наявність втоми	1	
8	Помилки в прийнятті рішень	1	
9	Робота з несправним обладнанням	0	
10	Супутні фактори	0	

Рисунок 1.15 – Інтерфейс автоматизованої системи для розрахунку ймовірності виникнення ризику (приклад 2)

Якщо використати модель, яка була сформована за рішеннями експертів, як видно з рис.1.14, навіть при неповній наявності факторів ризику ймовірність ризику складає 46,2%, якщо ж відсутнє порушення функціонального стану оператора, при наявності такого фактору ризику (рис.1.15), ймовірність ризику збільшується до 58,2%, 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 триггеру, що запускає складний механізм підвищення ймовірності ризику при наданні авіаційних послуг.

Але, необхідно усвідомити, що помилки, пов'язані з впливом людського фактору - неминучість. Розуміння неможливості постійного бездоганного виконання своїх функцій, своєю роботи людиною визначило нормативні документи ІСАО, щодо людського фактору. Так, поправка 6 додатку ІСАО: якщо вимоги щодо організації підготовки авіаційних фахівців у галузі людського фактору не дотримуються це означає, що не дотримуються чинних міжнародних стандартів. Вимоги до оволодіння членами льотних екіпажів

знань та умінь у сфері людського фактору мають такі самі значення, як і вимоги щодо знання систем та порядку дій у нормальних, особливих та аварійних випадках. Під людським фактором розуміють сукупність психічних, фізіологічних, біохімічних, антропометричних та інших властивостей людини, які визначаються критеріями функціональної відповідності людини та техніки з урахуванням їхньої зміни у всього льотного складу. Відповідно до визначення прийнятого ІКАО відсутність єдиного розуміння сутності поняття людського фактора, ускладнює розробку та впровадження механізмів впливу на нього з метою підвищення безпеки польотів.

Проведений аналіз дозволяє визначити необхідність ідентифікування людського фактору як одного з джерела ризиків в методології управління безпекою польотів. Враховуючи виявлені проблеми щодо необхідності достовірного оцінювання функціонального стану операторів сформульовані завдання досліджень.

1.5. Проблема необхідності використання проактивного підходу для прогнозування впливу людського фактору на безпеку польотів

Вітчизняні та закордонні вчені приділяють велику увагу проблемам впливу людського фактору на безпеку в авіації: Thackray R.I., Reason J, Marx D.A., Graeber R.C., Canfield D.V, Hollnagel E. Michelle A, Evans A.D., Павлов В.В., Харченко В.П., Шмельова Т.Ф., Павлова С.В., Ковтун О.В., Лещенко Г.А., Грищенко Ю.В. та інші.

Так, закономірності функціонування ергатичних систем були досліджені Павловим В.В. в яких основною складовою є людина-оператор, що формує особливості функціонування людино-машинних систем. Відповідно, розподіл функцій і організація управління в авіаційних ергатичних системах (пілот-авіоніка-літак) є завданням, що повинно враховувати ергономічні питання формування та експлуатації електрифікованих та пілотажно-навігаційних комплексів повітряних суден [205].

Дослідження ранжування факторів організаційного характеру за певними групами, такими як робоче середовище, процедури інженерного та технічного обслуговування, інфраструктура, структура повітряного простору взаємодія між секторами управління рухом, засоби й технічні системи управління рухом, політика управління та структура компанії проведеного в рамках NETCENG TEMPUS Project «New Model of the Third Cycle in Engineering Education Due to Bologna Process», що фінансується за підтримки Європейської Комісії здійснено науковцями Шмельовою Т.Ф., Сікірда Ю.В., Ткаченко Д.О. в [217].

Питаннями людського фактору в контексті аналізу ретроспективних медичних даних авіаційного персоналу після авіаційних інцидентів займався Canfield D.V. [13]

Окрім цього 2021 рік був об'явлений «роком культури безпеки», де багато міжнародних організацій приділило увагу необхідності впровадження політики культури безпеки на всіх рівнях системи управління безпекою польотів, де наголошувалась необхідність практичного виявлення джерел небезпеки за рахунок добровільних сповіщень, зокрема.

В свою чергу питанням зменшення ризиків за рахунок врахування та оцінювання людського фактору в системі забезпечення безпеки польотів також займаються багато науковців: Шмельова Т.Ф., Павлова С.В., Грищенко Ю.В. [74, 205, 114].

Питаннями міжнародного регулювання медичних стандартів для завдань авіаційної медицини на важливості оцінювання медичних показників в загальному контурі забезпечення безпеки польотів займається Evans A.D. [19-21].

Аналіз літературних джерел в цій галузі доводить, що якими б не були причини, оцінювання працездатності людини, рівня її втоми, меж її можливостей та поведінки в експлуатаційних умовах має основне значення для розуміння концепції управління безпекою польотів. Людський компонент є найбільш гнучкою і адаптованою частиною авіаційної системи, але одночасно він є найбільш схильним до впливу, який може несприятливо позначитися на

результатах його роботи. Оскільки більшість подій є наслідком неоптимальних дій людини, намітилася тенденція пояснювати лише помилкою людини.

Помилка, що приписується людині, могла бути наслідком недосконалості конструкції, або їй могли сприяти неналежне обладнання або недостатня професійна підготовка або недосконале керівництво. Більше того, термін "помилка людини" дозволяє замаскувати приховані фактори, які мають бути винесені на поверхню, щоб отримати можливість запобігати авіаційним пригодам.

Ініціативи, які вживаються в рамках системи управління безпекою польотів, спрямовані на пошук шляхів запобігання помилкам людини, які можуть поставити під загрозу безпеку польотів, та мінімізації несприятливих наслідків тих помилок, що неминуче відбудуться.

Це вимагає розуміння експлуатаційного контексту, в якому оператори роблять помилки (тобто розуміння факторів та умов, що впливають на працездатність людини на робочому місці).

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 різні підходи до виявлення факторів небезпеки та забезпечують комплексний підхід до формування та накопичення знань про процеси прогнозування в рамках проактивного підходу.

Тому, існує потреба прогнозування виникнення небезпечної події в умовах невизначеності функціонального стану персоналу та необхідністю 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-прикладну проблему розробки методології синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності, яка спрямована на зменшення ризику пов'язаного з людським фактором управління безпекою польотів .

Аналіз особливостей формування проактивного управління безпекою авіаційною діяльністю, особливостей функціонування методології оцінювання системи управління безпекою польотів, сучасних вимог ІКАО до формування системи управління безпекою польотів, що здатна забезпечити стійке скорочення кількості авіаційних подій та людських жертв, проведений у розділі 1, дозволив дійти до наступних висновків:

1. На теперішній час не існує чіткого підходу, що дозволив би здійснити оцінювання функціонального стану оператора як основного тригера, що запускає процеси виникнення небезпеки та породжує додаткові ризики невиконання своїх професійних обов'язків в повній мірі. Такий підхід маж враховувати мінливість біологічної системи, вплив факторів, що породжують глобальна та локальну невизначеності в процесі оцінювання функціонального стану та надають змогу враховувати індивідуальні особливості оператора, який можна було б використовувати для задач обов'язкових та добровільних сповіщень згідно авіаційних правил України «Порядок сповіщення про події в

галузі цивільної авіації, розгляду отриманої інформації, її аналізу та вжиття відповідних заходів», затвердженого наказом Державної авіаційної служби України № 1817 від 27.12.2019 р. [93]. Оцінювання поточного функціонального стану оператора та прогнозування виходу його за межі індивідуальної норми є необхідним для визначення адаптаційних резервів організму та є кількісним показником для оцінювання рівня втоми оператора. Створення такого підходу є важливим та актуальним завданням, яке потребує проведення відповідних досліджень. Вирішення цього завдання дозволить вчасно встановлювати факт наявності високої імовірності відхилень функціонального стану оператора авіаційної діяльності від індивідуальної межі норми, приймати відповідні міри для введення корегувальних дій з метою недопущення небезпечної події за рахунок порушення функціонального стану оператора. Вдосконалити процес виявлення джерел небезпеки на основі про-активного підходу та оцінювання функціонального стану оператора в якості триггеру в методології оцінювання системи управління безпекою польотів.

2. У теперішній час не існує методу, що дозволив би враховувати глобальні та локальні тренди, стохастичні впливи та порушення біологічної рівноваги при формуванні моделей часових рядів (моделей вимірювань) медико-біологічних параметрів, який дозволив би розробити метод контролю стабільності біологічного функціонування та виявити вплив різних значень фізичних навантажень на зміну значень медико-біологічних параметрів за критерієм статистичної стійкості біологічної рівноваги.

3. Існуючі методи оцінювання адаптаційного потенціалу оператора не враховують можливість стохастичного впливу факторів дестабілізації та існуючих коливань кількісних значень адаптаційного потенціалу, що пов'язано з індивідуальними особливостями операторів. Внаслідок цього існують похибки першого та другого роду при оцінюванні адаптаційних можливостей оператора, що може призвести до зриву адаптації при виконанні професійних обов'язків та/або, в певних випадках, може слугувати тригером до виникнення помилок оператора. Для вирішення цього завдання необхідно вдосконалити

метод оцінювання адаптаційного потенціалу за рахунок впровадження додаткових статистичних методів.

4. Відомі методи оцінювання функціонального стану оператора не враховують взаємний вплив медико-біологічних параметрів різних підсистем організму один на одній за рахунок чого знижується якість прийняття рішення щодо функціонального стану оператора. Виникає необхідність у використанні багато параметричних критеріїв, що враховують взаємну кореляцію параметрів.

5. У теперішній час метод оцінювання кількості інформації про динамічні порушення функціонального стану оператора, які відрізняються можливістю визначити індивідуальні межі коливань функціонального стану оператора з можливістю відокремлення факторів неоднорідності від факторів біологічної нестабільності. Виходячи з цього, існує необхідність у створенні та теоретичному і практичному дослідженні методу контролю стабільності функціонування організму на основі результатів активних експериментальних досліджень з впливом різних значень навантаження. Відповідно, виникає завдання створення математичної моделі вимірювального контролю на основі методу статистичної валідації результатів зазначених досліджень.

6. Невирішеним завданням є підвищення точності прогнозування за рахунок методу Джермана-Маклурі, що дозволяє враховувати додаткову інформаційну складову від значень медико-біологічних параметрів.

7. На даний час відсутня топологічна модель оцінювання функціонального стану оператора, що дозволила б проводити оцінювання за різними методами та критеріями з огляду на існуючі можливості та надавала можливості прийняти рішення щодо можливості порушення біологічної рівноваги та ймовірності виникнення негативної події за рахунок такого порушення.

Із вищенаведеного можна визначити, що з метою забезпечення проактивного підходу в прогнозуванні порушення функціонального стану оператора як триггеру настання негативної події під час виконання професійних обов'язків, необхідно проводити дослідження у напрямку подальшого розвитку теоретичних основ побудови і створення нових методів оцінювання

функціонального стану та прогнозування ризику виходу зі стану рівноваги як складової людського фактору в методології оцінювання системи управління безпекою польотів.

На цій основі сформульовану важливу науково-прикладну проблему – розробки методології синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності, що спрямована на зменшення ризику пов'язаного з людським фактором методології оцінювання системи управління ризиків при наданні авіаційних послуг.

Таким чином, в дисертаційній роботі метою подальших досліджень, направлених на вирішення актуальної проблеми забезпечення проактивного підходу при прогнозуванні ризику, пов'язаного з людським фактором, на основі управління функціональним станом персоналу, що відноситься до осіб, зазначених у пункті 4 розділу 4 Авіаційних правил України про "Порядок сповіщення про події в галузі цивільної авіації, розгляду отриманої інформації, її аналізу та вжиття відповідних заходів", є:

- розвиток основних положень теорії побудови методів контролю стабільності біологічного функціонування (в тривалих експериментальних дослідженнях за станом медико-біологічних параметрів з урахуванням особливостей фізичного навантаження, спрямованих на підвищення їх точності вимірювання та достовірності оцінювання та виявлення впливу різних значень фізичних навантажень на зміну медико-біологічних параметрів за критерієм статистичної стійкості біологічної рівноваги (розділ 2);

- розробка нових та вдосконалення існуючих методів визначення індивідуальних меж норми з використанням багатоапараметричних критеріїв (розділ 3);

- розвиток методу оцінювання небезпеки відхилення від індивідуальної межі норми показників стану організму на основі результатів вимірювального контролю його параметрів (розділ 4);

- вдосконалення існуючих методів розрахунку адаптаційного потенціалу з урахуванням індивідуальних особливостей (розділ 5) ;

- розробка нових та вдосконалення існуючих методів прогнозування ризику настання несприятливої події на основі теоретичного та емпіричного підходу з використанням штучного інтелекту (розділ 6);

- розробка топологічної моделі на основі мереж Петрі для оцінювання та прогнозування функціонального стану оператора для завдань проактивного виявлення джерел небезпеки, пов'язаного з людським фактором, в загальній методології оцінювання системи управління безпекою польотів(розділ 7).

Згідно наказу № 1817 від 27.12.2019 про затвердження Авіаційних правил України "Порядок сповіщення про події в галузі цивільної авіації, розгляду отриманої інформації, її аналізу та вжиття відповідних заходів" [93] обов'язковому сповіщенню підлягають наступні події, що пов'язані з впливом людського фактору: втома екіпажу, яка впливає або може потенційно вплинути на його здатність безпечно виконувати свої обов'язки (crew fatigue impacting or potentially impacting their ability to perform safely their flight duties); будь-яка подія, під час якої діяльність або стан персоналу, включаючи рівень втоми, безпосередньо сприяли або могли сприяти виникненню авіаційної події чи серйозного інциденту (any occurrence where the human performance, including fatigue of personnel, has directly contributed to or could have contributed to an accident or a serious incident); будь-яка ситуація, коли стан або діяльність людини безпосередньо сприяли або могли сприяти виникненню авіаційної події або серйозного інциденту (any occurrence where the human performance has directly contributed to or could have contributed to an accident or a serious incident); втрата працездатності пілота, що призвела до його неспроможності виконувати будь-які обов'язки. / Incapacitation of the pilot leading to inability to perform any duty; втрата працездатності будь-якого члена льотного або кабінного екіпажу, що призвела до зменшення кількості членів екіпажу нижче сертифікованого мінімального складу екіпажу (incapacitation of any member of the flight or cabin crew that results in the reduction below the minimum certified crew complement). Тригерами таких подій є некоректне використання адаптаційних можливостей організму членів екіпажу та виснаження адаптаційних резервів. Для кількісної

оцінки та прогнозування виникнення порушення функціонального стану операторів необхідно провести синтез параметрів за якими можливо оцінити поточний стан оператора та спрогнозувати можливі наслідки його порушення.

Враховуючи необхідність розглядати оператора як складової людського фактору у всій системі управління ризиками в авіаційній галузі відокремлено основні етапи проведення аналізу та синтезу для даних складових.

По-перше структурний аналіз та синтез проведений для загальної структури методології оцінювання системи управління ризиками в авіації. Для досягнення мети структурного аналізу, що полягає у визначенні характеристик системи шляхом поділу її на елементи та підсистеми у процесі її декомпозиції була побудована функціональна модель, що подана в підрозділі 1.2. Структурний синтез методології оцінювання системи управління ризиками в авіації дозволив обґрунтувати місце людського фактору в даній системі та визначити необхідність кількісної оцінки функціонального стану оператора як триггеру що, безпосередньо може сприяти виникненню авіаційної події чи серйозного інциденту (включаючи рівень втоми).

По-друге, в роботі проведений функціональний синтез та аналіз динамічних властивостей системи організму оператора для вивчення зміни її станів на основі часових рядів (розділ 2) для обґрунтування оптимальних характеристик функціонування підсистеми організму.

По-третє, на основі параметричного аналізу та синтезу були визначені групи часткових та узагальнених показників, серцево-судинної системи, зокрема, за якими можливо оцінити важливі властивості змін процесів в усьому організмі та оцінити ефективність його функціонування на основі індивідуальних меж норми. На основі параметричного синтезу була визначена необхідна та достатня кількість параметрів для оцінювання функціонального стану для задач різних типів, що надають змогу оцінювати функціональний стан оператора. У зв'язку з тим, що організм оператора є складною самокерованою системою гомеостазу зі складними біологічними зворотними зв'язками система управління функціональним станом оператора зводиться до

оцінювання поточного стану системи та прогнозування виникнення небезпечної події на основі математичних моделей (розділ 3-5) та штучних нейронних мереж (розділ 6), зокрема.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Здійснено аналіз методології оцінювання системи управління безпекою польотів та визначена необхідність проактивного підходу 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.

2. Проаналізовано сучасний стан та перспективи розвитку складових методології оцінювання системи управління безпекою польотів та визначено місце людського фактора при виявленні джерел небезпеки.

3. Розроблено автоматизовану систему оцінювання ймовірності настання ризику, за рахунок впливу людського фактору, що надала змогу визначити його ключову складову, а саме функціональний стан оператора та розрахувати кількісне значення відсотку впливу порушення функціонального стану оператора в загальній ймовірності виникнення ризику за рахунок людського фактору, що складає 16,3%.

4. Проведено аналіз методології оцінювання системи управління безпекою польотів, на основі якої розроблена функціональна модель методології оцінювання системи управління безпекою польотів з використанням технології IDEF та визначенням місця людського фактору в особливостях її функціонування.

Список публікацій здобувача за матеріалами першого розділу

- 1.1. Хращевський РВ, Іванець ОБ. Особливості проактивного підходу в системі забезпечення безпеки польотів. Наукоємні технології. 2021;4(52):364-372.
- 1.2. Lutskyi MG, Khrashchevskyi RV, Ivanets OB, Nesterenko KS. Information technologies for managing aviation systems. Science-Based Technologies. 2022;2(54):77-85.

- 1.3. Ivanets O; Morozova I; Burichenko M; Kvach Y. Actual aspects of flight safety on the basis of measuring electrical indicators. In: 2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA); 07-11 September 2021; Sozopol. IEEE; 2021. doi:10.1109/MMA52675.2021.9610872.
- 1.4. Ilitsky 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).
- 1.5. Ivanets OB; Kuzovik VD; Bulygina OV; Gerasymova IG; Sopivnyk RV; Omiotek Z; Kozbakova A. Methodology for flight crew psychophysiological status forecasting. In: *Proceedings Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*. Poland: Spie, 2019; doi:10.1117/12.2536416. (Scopus).
- 1.6. Kuzovik V., Bulygina O., Ivanets O., Onykiienko Y., Kolesnic P., Wojcik W., Nuradilova D. Complex assessment of the flight 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).
- 1.7. Іванець ОБ, Кузовик.ВД, Кучеренко ВЛ. 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 «ТД «Едельвейс і К»., 2017. С. 54.
- 1.8. Іванець ОБ, Булигіна ОВ, Кучеренко ВЛ, Оникієнко ЮЮ. Концепція прогнозування психофізіологічного стану льотного складу. У: *Technical Using of Measurement-2017: IV Всеукраїнська науково-технічної конференції молодих вчених у царині метрології 24 – 27 січня 2017р.: тези доп. м. Славське, 2017. с. 73-75.*
- 1.9. Kuzmin V, Ivanets O, Zaliskyi M, Shcherbyna O, Holubnychyi O, Sevriukova O. Methods for Time Series Analysis Using Segmented Regression with Heteroskedasticity. In: *Proceedings of Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering*. 7-9 October 2023; Kharkiv; 2023.
- 1.10. Іванець ОБ, Володарський ЄТ, Булигіна ОВ. Концепція прогнозування психофізіологічного стану льотного складу. *Метрологія та прилади*. 2017;2(50):47-51.

РОЗДІЛ 2.

РОЗРОБКА УНІФІКОВАНОЇ МОДЕЛІ ЧАСОВИХ РЯДІВ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОПЕРАТОРА (МОДЕЛЬ ВИМІРЮВАНЬ) З УРАХУВАННЯМ ТРЕНДІВ ТА СТОХАСТИЧНИХ ВПЛИВІВ

Як зазначалось в першому розділі нерівності меж блоку “суб’єкт” в моделі SHELL характеризується різними чинників. Якщо розглядати блок “суб’єкт” як місце людського фактору у всій методології управління безпекою польотів, то вплив на працездатність оператора, що виконує свої професійні обов’язки можна умовно поділити на 4 групи: фізичні, фізіологічні, психологічні та психосоціальні. Але складний взаємозв’язок даних чинників в організмі людини не можна розглядати окремо, а необхідно використати системний підхід до аналізу такого складного об’єкту дослідження як людський організм.

Будь-якій біологічний об’єкт, в тому числі і організм людини, має бути розглянутий як об’єкт дифузійний [228], що має непереборну (не усунену) невизначеність як в показниках біологічного функціонування, так і в параметрах, що відображають їхню динаміку у часі. Ця невизначеність ускладнюється і фактичною відсутністю апріорних знань про ймовірнісних властивостях і показників і параметрів, причому вибір останніх визначається апріорі заданим видом математичної моделі динамічним змін. Необхідно враховувати і той факт, що будь-якій експеримент вимірювання, що оцінюється параметрами динамічної рівноваги біологічного об’єкта, неминуче використовує результат вимірювань, розподілений за часом [136]. Це означає, що окрім основних факторів, що цікавлять експериментатора необхідно враховувати і безліч факторів [136], що обурюють, породжуючи неоднорідність вимірювального експерименту у вигляді шумів та нестационарних дрейфів. Присутність останніх спотворює результати оцінювання гомеостазу, породжуючи зниження достовірності діагностичних рішень.

Даний розділ присвячений розробці та дослідженню параметричної моделі динаміки результатів вимірювань та її використання для односторонньої класифікації (контролю на значимість) локальних та глобальних порушень у функціональних моделях динамічної рівноваги біологічного стану. Фактично мова йде про вдосконалення існуючих методів оцінювання точності вимірювань, послідовність результатів яких моделюється локально-нестационарними часовими рядами. Таке моделювання потребує вирішення наступних завдань:

- розробка ймовірнісної моделі результатів вимірювань розподілених в часі з урахуванням стохастичного впливу факторів неоднорідності умов експериментів та біологічної нестабільності досліджуваного об'єкту;
- дисперсійного аналізу адитивних та мультиплікативних елементів ймовірнісної моделі, що відповідає за її глобальні та локальні зміни [240];
- аналізу інформаційних властивостей елементів ймовірнісної моделі та статистичного синтезу її інформативних параметрів;
- розробки методу параметричного контролю стабільності процесів біологічного функціонування та знаходження порушень динамічної рівноваги біологічних об'єктів за результатами тривалих пасивних і активних біомедичних експериментів.

Природно, що розв'язання останньої задачі має супроводжуватися оцінюванням ризиків (або достовірності) контролю не тільки біологічної стабільності, але і метрологічною однорідністю всього біомедичного вимірювального експерименту.

2.1. Ймовірнісна модель динаміки мінливості результатів біомедичних вимірювань розподілених за часом

Мінливість результатів вимірювань розподілених за часом, хоч і є ймовірнісною, несе певну інформацію про закономірності функціонування біологічного об'єкту, причому час – це непереборне факторне навантаження [239].

При тривалих біомедичних вимірюваних експериментах будь-які послідовні результати вимірювань є двомірними (за величиною та за часом) та мають розглядатися як часові ряди. Такій моделі опису первинної вимірювальної інформації необхідно надавати перевагу за трьома причинами [136]:

- а) будучи експериментальною, ця інформація обмежена за обсягом вибіркового даних;
- б) стохастичність впливу часу на послідовність результатів біомедичних вимірювань (при тривалих експериментах) завжди супроводжується наявністю трендів (загальної та локальної прихованої регулярності), що характеризують динаміку біологічного стану;
- в) на відміну від моделей дискретизованих ймовірнісних процесів стохастичні часові ряди принципово нестационарні та неграничні на інтервалах спостережень, оскільки допускаються нерегулярні та випадкові факторні впливи на об'єкт дослідження [237].

Ймовірнісні властивості стохастичного часового ряду, а відповідно, і моделі мінливості його значень визначаються закономірностями впливу часу на числові характеристики ряду (математичне очікування, дисперсію та інші).

Такий вплив характеризується двома видами впливів:

- зовнішні, джерелами яких є різні неоднорідності експерименту, зумовлені порушенням його умов [235];
- внутрішні, що залежать від стабільності процесів динамічної рівноваги біологічного об'єкту [136].

Ефекти такого факторного впливу на динаміку результатів первинного вимірювання, розподілених на інтервалах усіх послідовних спостережень біологічного об'єкту представлені в табл.2.1.

В таблиці апіорі постулюється суміщення локальних ефектів неоднорідностей та біологічної нестабільності для груп послідовних результатів вимірювань [73].

Таблиця 2.1.

Особливості факторного впливу на динаміку часового ряду результатів біомедичних вимірів [136]

№ п.п	Ймовірнісні властивості елементів часового ряду	Функціональні прояви впливу часу	Вид факторного впливу
1	Глобальна не стаціонарність за математичним очікуванням	Глобальний (основний) тренд	Неперервна неоднорідність (глобальна)
2	Неергодичність послідовностей групованих результатів	Адитивні зміщення локальних трендів	а) Дискретна неоднорідність
3	Локальна внутрігрупова не стаціонарність за математичним очікуванням	Мультиплікативні зміни локальних трендів	б) Нестабільність динамічної рівноваги (локальна)
4	Стаціонарність за дисперсією залишкових нерегулярних відхилень	Сталість стандартної невизначеності типу А	Метрологічна однорідність (неперервна)

Таблиця 2.1 апріорі постулює розбиття загального ряду результатів вимірювань (об'єм вибірки N) на декілька (K) послідовних груп. В цьому випадку, результат окремих вимірювань x_{ji} отримує подвійну індексацію: номер групи ($j = \overline{1, K}$), номер результату виміру всередині j -тої групи ($i = \overline{1, n_j}$), де n_j – число внутрішньогрупових вимірювань. Якщо \bar{X} – загальне середнє для всіх результатів часового ряду, то оцінка математичного

очікування для часового ряду цих результатів може бути побудована з урахуванням:

- а) виду регресійних моделей для глобального та локального трендів;
- б) ймовірнісних моделей дискретної неоднорідності та метрологічної однорідності;
- в) адитивності (або не адитивності) елементів факторного впливу [238].

Використані лінійні регресії для опису глобальних и локальних факторних впливів [231].

Для глобального тренду:

$$\xi_{ji} = \bar{X} + B_0(t_{ji} - \bar{t}) \quad (2.1),$$

де \bar{t} – загальне середнє часу спостережень.

Для локальних трендів:

$$\widehat{x}_{ji} = \bar{X}_j + B_j(t_{ji} - \bar{t}_j) \quad (2.2),$$

де \bar{X}_j – середнє в j -тій групі,

\bar{t}_j – середнє групове часу спостережень.

Для тренда, що характеризує мінливість групових середніх результатів вимірювань:

$$\widehat{\delta}_j = Z_j + B_m(t_j - \bar{t}) \quad (2.3),$$

де Z_j – дискретна випадкова величина (вільний член регресії), дисперсія $\sigma_z^2 = const$ для будь-яких j [233].

Введемо додаткову регресійну модель середньозваженої регресії з кутовим коефіцієнтом [146]:

$$B_c = \frac{\{\sum_{j=1}^k B_j \sum_{i=1}^n (t_{ji} - \bar{t}_j)^2\}}{\{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n (t_{ji} - \bar{t}_j)^2\}} \quad (2.4).$$

Слід зазначити, що додаткові регресійні коефіцієнти B_m (вираз (2.3)) та B_c (вираз (2.4.)) введені аби компенсувати ймовірність параметрів \bar{X}_j та B_j локальних трендів (2.2) та виділити складові для моделі результатів вимірювань. Остання, в припущенні адитивності ефектів факторних впливів

прийме вигляд зміщеної (складової) регресії, доповненої ймовірнісними збуреннями:

$$x_{ji} = \bar{X} + B_0(t_{ji} - \bar{t}) + \{(B_c - B_m)(\bar{t}_j - \bar{t}) + Z_j\} + (B_j - B_c)(\bar{t}_j - \bar{t}) + \varepsilon_{ji} \quad (2.5)$$

де ε_{ji} - випадковий залишок моделі, що характеризує її метрологічну однорідність (дисперсія $\sigma_{\varepsilon_{ji}}^2 = const$, для будь-яких j та i ; Z_j - дискретна випадкова величина $\sigma_{Z_j}^2 = const$ [229].

Параметри моделі (2.5) можуть бути протестовані (причому окремо) на наявність або відсутність відповідної неоднорідності (або однорідності) елементів ймовірнісної моделі часового ряду результатів вимірювань. В табл. 2.2 наведені статистичні властивості цих параметрів, пов'язаних з неоднорідністю або нестабільністю.

Таблиця 2.2

Властивості параметрів моделі результатів вимірювань (2.5), що залежать від вигляду факторного впливу [49]

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 табл.2.2 надає змогу тестувати результати групованих вимірювань на наявність або відсутність складових в загальному відхиленні Δx_{ji} результатів x_{ji} від загального середнього:

$$\Delta x_{ji} = x_{ji} - \bar{X}, \quad (2.6).$$

враховуючи зв'язок цих складових з відповідними ефектами факторного впливу.

2.2. Дисперсійний аналіз ймовірнісної моделі. Вибір інформативних параметрів для тестування на неоднорідність та динамічну нестабільність

Оскільки інформація, що цікавить дослідника (експериментатора) про порушення динаміки біологічного стану (гомеостазу) утримується в складових випадкових та систематичних відхиленнях результатів вимірювань x_{ji} від загального середнього \bar{X} (фактично біомедичної норми), то є сенс провести розподіл повної дисперсії такого результату на відповідні складові. Таку можливість представляє математичний апарат дисперсійного аналізу для моделей кусочно-лінійної регресійної апроксимації (коваріаційного аналізу [218]). В якості апроксимуючих лінійних регресій використані моделі (2.1) – (2.4) та загальну модель (2.5), що описує динаміку (зміни) математичного очікування для будь-яких значень часу (t_{ji}) при непереборних (тих, що не мають змоги бути усуненими) випадкових збурень (z_{ji} та ε_{ji}) [136].

Використовуючи вираз (2.6) для загального відхилення Δx_{ji} , визначимо змішану модель (2.5) як адитивну для p яти складових:

$$\Delta x_{ji} = B_0(t_{ji} - \bar{t}) + (B_c - B_m)(\bar{t}_j - \bar{t}) + z_j + (B_j - B_c)(\bar{t}_j - \bar{t}) + \varepsilon_{ji} \quad (2.7).$$

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

$$Q = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \Delta x_{ji}^2 \quad (2.8).$$

Представимо, формально, загальний вираз дискретного розкладання суми Q на p ять, відповідних складових моделі (2.7), доданків [146]:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (2.9).$$

Введемо позначення для факторів, впливу (з таблиці 2.2), вказавши для них відповідний доданок з правої частини розкладання (2.9), табл.2.3 [136].

Таблиця 2.3

Фактори впливу та суми квадратів дисперсійного розкладання, що їм відповідають		
Позначення фактору	Назва фактору	Сума квадратів (з індексацією факторної відповідності)
$\Phi_{ГН}$	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	$Q_5 = Q_{МО}$

Використовуючи традиційний математичний апарат коваріаційного розкладання [198], модифікуємо останнє, з урахуванням змін числа ступенів вільності, суми квадратів та середнього квадрата відхилення для доданку $\Phi_{ЛН}$, а результати нового дисперсійного розкладання наведемо в таблиці 2.4.

Середні квадрати $\overline{Q_{ГН}}$, $\overline{Q_{НА}}$, $\overline{Q_{ЛН}}$ та $\overline{Q_{НМ}}$, відображає абсолютні рівні неоднорідності та нестабільності ймовірнісної моделі (2.7), можуть бути використані для контролю на значимість відповідних факторних впливів [237].

Таблиця 2.4

Результати дисперсійного аналізу ймовірнісної моделі (2.7) [136]

Фактор впливу	Сума квадратів відхилення моделі	Число ступенів вільності	Середній квадрат
$\Phi_{ГН}$	$Q_{ГН} = \theta_0 B_0^2$	$v_1 = 1$	$\overline{Q}_{ГН} = Q_{ГН}$
$\Phi_{НА}$	$Q_{НА} = \frac{\theta_c \cdot \theta_m}{\theta_0} \cdot (B_c - B_m)^2$	$v_2 = 1$	$\overline{Q}_{НА} = Q_{НА}$
$\Phi_{ЛН}$	$Q_{ЛН} = \sum_{j=1}^K n_j [x_j - \bar{X} - B_m \cdot (\bar{t}_j - \bar{t})]^2$	$v_3 = K - 2$	$\overline{Q}_{ЛН} = \frac{Q_{ЛН}}{K - 2}$
$\Phi_{НМ}$	$Q_{НМ} = \sum_{j=1}^K Q_j (B_j - B_c)^2$	$v_4 = K - 1$	$\overline{Q}_{НМ} = \frac{Q_{НМ}}{K - 1}$
$\Phi_{МО}$	$Q_{МО} = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} [x_{ji} - \bar{X}_j - B_j (t_{ji} - \bar{t}_j)]^2$	$v_5 = N - 2K$	$\overline{Q}_{МО} = \frac{Q_{МО}}{N - 2K}$

Додаткові параметри табл.2.4:

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta_0 = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (t_{ji} - \bar{t})^2; \\ \theta_m = \sum_{j=1}^K (t_{ji} - \bar{t})^2; \\ \theta_c = \theta_0 - \theta_m; \\ \theta_j = \sum_{i=1}^{n_j} (t_{ji} - \bar{t})^2; \\ B_m = \frac{\sum_{j=1}^K n_j (\bar{X}_j - \bar{X})(\bar{t}_j - \bar{t})}{\theta_m}; B_0 = \frac{\theta_c \cdot B_c + \theta_m \cdot B_m}{\theta_0} \end{array} \right. \quad (2.10).$$

Якісну оцінку значущості такого впливу можна отримати, якщо порівнювати перераховані середні квадрати з середнім квадратом $\overline{Q}_{МО}$,

кількісно відображає ступінь метрологічної однорідності результатів вимірювань. Така однорідність (відсутність метрологічного старіння) тим вище, чим менше середній квадрат $\overline{Q_{MO}}$ [235].

Для порівняння факторних середніх квадратів $\overline{Q_{ГН}}, \overline{Q_{НА}}, \overline{Q_{ЛН}}$ та $\overline{Q_{НМ}}$ з метрологічним стабільним $\overline{Q_{MO}}$ використовуючи відносно статистики дисперсійного відношення (F – статистики Фішера [241]):

$$\begin{cases} F_{ГН} = \overline{Q_{ГН}} \cdot \overline{Q_{MO}}^{-1} \\ F_{НА} = \overline{Q_{НА}} \cdot \overline{Q_{MO}}^{-1} \\ F_{ЛН} = \overline{Q_{ЛН}} \cdot \overline{Q_{MO}}^{-1} \\ F_{НМ} = \overline{Q_{НМ}} \cdot \overline{Q_{MO}}^{-1} \end{cases} \quad (2.11).$$

F – статистики (2.11) несуть подвійне інформаційне навантаження:

а) дозволяє отримати первинну інформацію (непряму вимірювальну) інформацію про кількісні (в середньому) зміни ефектів неоднорідностей та нестабільності (біологічної);

б) надає можливість виділити інформаційну вторинну (діагностичну) інформацію, використовуючи статистику (2.11) як критеріальну, при тестуванні ефектів на статистичну значимість при заданих ризиках [241].

2.3. Дослідження інформаційних властивостей елементів ймовірнісної моделі динаміки результатів вимірювань

Таке дослідження можливе тільки за результатами багатовимірних (за безліччю біологічних об'єктів та часу) вимірювань в ході тривалих біомедичних експериментів. При цьому, обов'язковим є верифікація мінливості біологічного стану хоча б за якісними показниками «Самопочуття» (кількісно представленої числом скарг на погіршення останнього) [136]. Таблиця з ранжуванням даного показника групи досліджуваних подана в Додатку Г.

Використанні біомедичні показники мають бути фізично однорідними та включати не менше трьох груп ($K \geq 3$) результатів послідовних вимірювань. Кількість останніх в кожній групі не має бути менше трьох ($n_j \geq 3$ для всіх $j = \overline{1, K}$), що забезпечує статистичні умови для формування локальних

трендів (2.2). В свою чергу умови « $K \geq 3$ » продиктовані мінімальним значенням числа ступенів свободи $V_3 = K - 2$ (при $K \geq 3$ отримаємо $V_3 \geq 1$) для фактору $\Phi_{\text{ЛН}}$ (табл.2.4). Для посилення ефектів динаміки біологічного функціонування бажано використовувати не тільки пасивний експеримент (спостереження), але й варіанти активного експерименту (при фіксованих фізичних навантаженнях). В Додатку Г наведені результати біомедичних експериментів, що включає оцінку самопочуття 12 учасників дослідження, що виконують свої професійні обов'язки при дії факторів дестабілізації, впродовж року. Особливістю використаних для моделювання результатів дослідження є визначення медико-біологічних показників як у стані спокою так і при дії навантаження. У дослідженні брали участь 12 операторів чоловічої статі [149].

Для оцінки функціонального стану серця за допомогою апаратно-програмного комплексу «Ритмограф» у кожного оператора протягом року один раз на місяць реєструвалася ритмокардіограма у другому стандартному відведенні (Додаток Г). В якості прикладу оброблені результати вимірювань трьох біомедичних показників для чотирьох варіантів фізичного навантаження. Функціональні проби з фізичним навантаженням використовуються переважно для оцінки функціонального стану і функціональних здібностей серцево-судинної системи операторів екстремальних видів діяльності.

Під час дослідження проводилась велоергометрія з дозованим навантаженням (50 Вт, 100 Вт, 150 Вт) тривалістю 3 хвилини. У ході виконання роботи реєстрували частоту серцевих скорочень (ЧСС) та артеріальний тиск систолічний (АДС) та артеріальний тиск діастолічний (АДД) (Додаток Г).

Таким чином можна відокремити наступні варіанти навантаження:

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

Параметри плану тривалого біомедичного експерименту:

$N = 9$; $K = 3$; $n_1 = n_2 = n_3 = n = 3$, рівень значущості (ризик першого роду) $\alpha = 0,05$.

На рис.2.1 а) б) наведені часові ряди $x(\tau)$ для біомедичного показника X – «ЧСС» в функції часового параметру, τ – порядковий номер однократного вимірювання ($\tau = \overline{1,9}$) у відповідному календарному місяці. Варіант а) відповідає об'єкту дослідження з максимальним ($\mu=45$) числом скарг на самопочуття. Варіант б) – з мінімальним ($\mu=15$) числом скарг (Y – ймовірнісна величина, що моделює кількісно-якісний показник «самопочуття») (Додаток Г).

В кожному з варіантів а), б) є два ряди з позначенням «синій ромб» - відсутність фізичного навантаження; «червоний квадрат» - навантаження «50Вт».

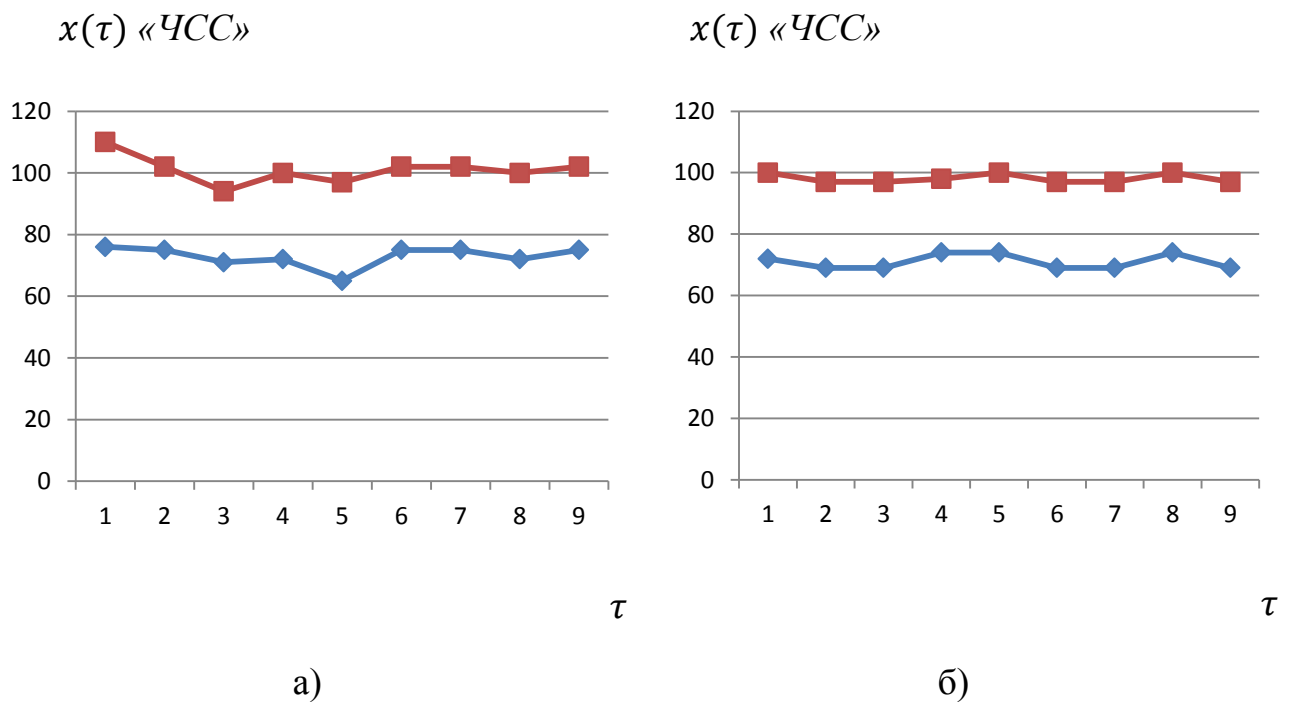


Рис.2.1. Часові ряд для показника частота серцевих скорочень, а) – для оператора №1, б) – для оператора № 12.

На рис.2.2 представлені часові ряди для тих самих об'єктів для показника артеріальний тиск систолічний (АДС), а на рис.2.3. для показника артеріальний тиск діастолічний (АДД).

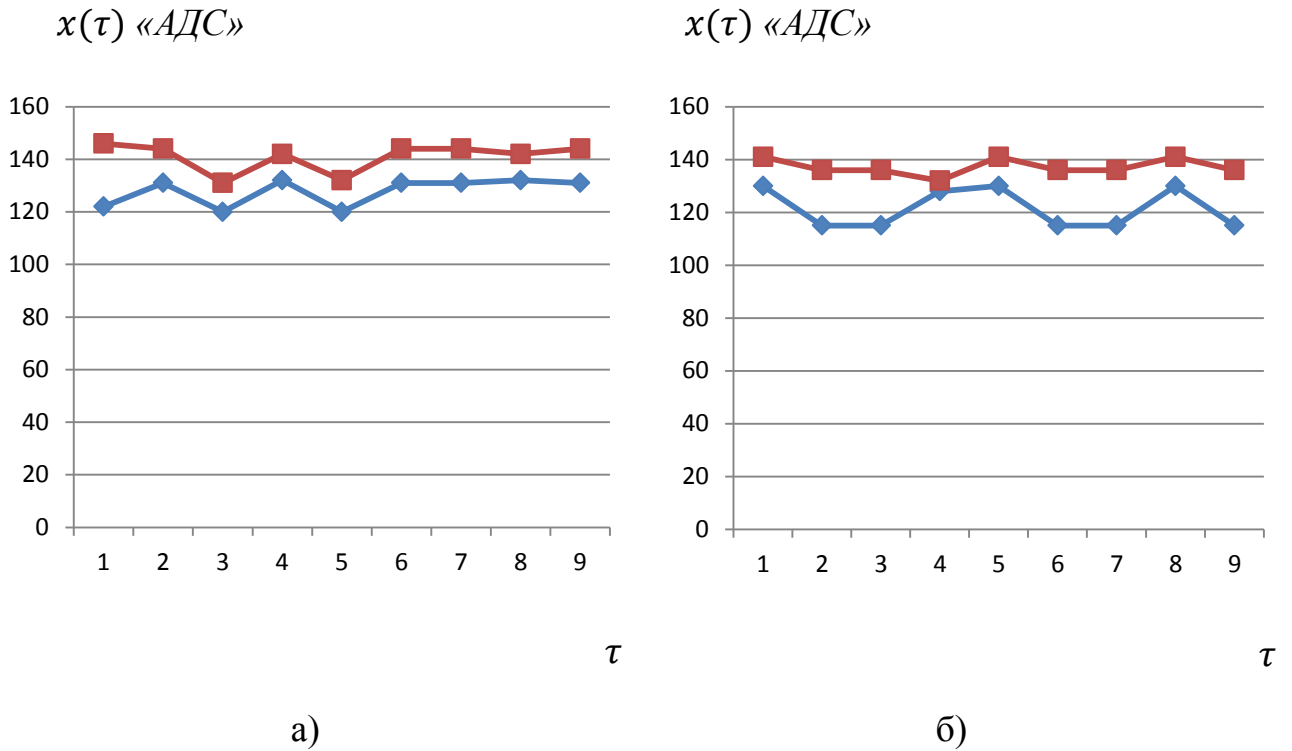


Рис.2.2. Часові ряд для показника артеріальний тиск систолічний, а) – для оператора №1, б) – для оператора № 12.

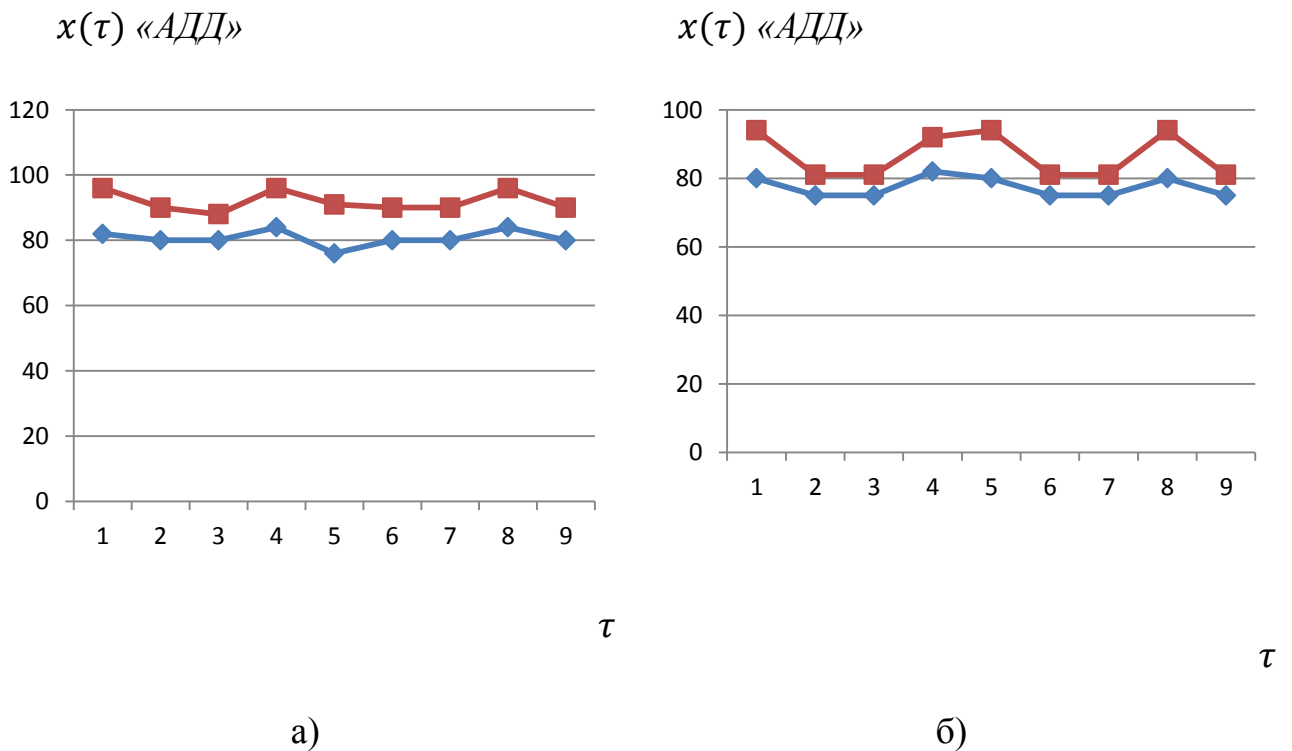


Рис.2.2. Часові ряд для показника артеріальний тиск діастолічний, а) – для оператора №1, б) – для оператора № 12.

Для порівняльного аналізу інформативності F -статистик (2.11) по відношенню до змін біомедичного показника «Самопочуття» була використана лінійна модель прямого вимірювального перетворення [73] вигляду:

$$Y = a + b \cdot F, \quad (2.12),$$

в якій: Y - показник «Самопочуття», виражений кількісно на основі кількості скарг на погіршення самопочуття, F - значення F -статистики Фішера, що досліджується; a, b – постійні коефіцієнти.

Модель (2.12) є лінійною регресією, що відображає стохастичний зв'язок між випадковими величинами Y та F та може бути представлений у формі лінійної функції [73]:

$$\widehat{y}_\Gamma = \bar{Y} + R \frac{\sigma_y}{\sigma_f} (f_\Gamma - \bar{F}), \quad (2.13),$$

де R – нормований коефіцієнт парної (між величинами Y та F) лінійної кореляції; \widehat{y} – лінійна регресія величини Y на F , як функція виміряних значень f_Γ величини F ; \bar{Y} та \bar{F} – середнє значення величин y_Γ та f_Γ ; Γ – порядковий номер біологічного об'єкту (оператора), $\Gamma = \overline{1, m}$, (m – загальна кількість операторів, що беруть участь у експерименті).

Для оцінювання кількості очікуваної вимірювальної інформації, що отримується за F – статистикою (2.11) перетворюємо модель прямого вимірювання (2.13) в градуйовану характеристику [73]:

$$\widehat{f}_\Gamma = \bar{F} + R \frac{\sigma_f}{\sigma_y} (y_\Gamma - \bar{Y}), \quad (2.14).$$

Модель (2.14) дозволяє оцінити кількість очікуваної вимірювальної інформації про рівень величини Y , що вимірюється за результатами оцінювання статистики F [201].

$$I = h_F - h_{F/f} \quad (2.15),$$

де h_F – диференціальна ентропія випадкової величини F до вимірювання (оцінювання); $h_{F/f}$ – диференціальна залишкова ентропія величини F після вимірювання (отримання оцінки f).

Для Гаусівського розподілу величин f_{Γ} [200] вираз диференціальних ентропій прийме вигляд:

$$\begin{cases} h_F = \ln(\sqrt{2\pi e} \cdot \sigma_f); \\ h_{F/f} = \ln \left\{ \frac{\sqrt{2\pi e} \cdot \sigma_f \cdot \sigma_{\Delta f}}{\sqrt{\sigma_f^2 + \sigma_{\Delta f}^2}} \right\}; \end{cases} \quad (2.16),$$

де $\sigma_{\Delta f}^2$ – залишкова дисперсія випадкових відхилень.

$$\Delta f_{\Gamma} = f_{\Gamma} - \hat{f}_{\Gamma} \quad (2.17).$$

Дисперсійний аналіз зворотної лінійної регресії (2.14) дозволяє розкласти повну суму квадратів відхилень f_{Γ} від F [238]:

$$S = \sum_{\Gamma=1}^m (f_{\Gamma} - \bar{F})^2 \quad (2.18),$$

на дві складові:

$$\begin{cases} S_1 = \sum_{\Gamma=1}^m (\hat{f}_{\Gamma} - \bar{F})^2; \\ S_2 = \sum_{\Gamma=1}^m (f_{\Gamma} - \hat{f}_{\Gamma})^2; \end{cases} \quad (2.19).$$

Середні квадрати \bar{S}_1 та \bar{S}_2 цих складових:

$$\begin{cases} \bar{S}_1 = S_1; \\ \bar{S}_2 = S_2(m-2)^{-1}; \end{cases} \quad (2.20),$$

є оцінками дисперсій:

$$\begin{cases} \sigma_f^2 = \bar{S}_1; \\ \sigma_{\Delta f}^2 = \bar{S}_2; \end{cases} \quad (2.21),$$

що використовуються у виразах для диференціальних ентропій h_F та $h_{F/f}$ (2.16).

Враховуючи, що при функціональній діагностики складних динамічних об'єктів [202]:

$$R^2 = S_1 \cdot S^{-1} \quad (2.22).$$

Отримаємо значення дисперсій у виразах (2.16) диференціальних ентропій, як лінійних функцій від R^2 :

$$\begin{cases} \sigma_f^2 = S \cdot R^2; \\ \sigma_{\Delta f}^2 = \frac{S(1-R^2)}{m-2} \end{cases} \quad (2.23).$$

З урахуванням дисперсій (2.23) та виразів (2.16), (2.15) кількість очікуваної інформації (в одиницях «нат») буде визначатися наступним рівнянням:

$$I = \ln \sqrt{1 + \frac{R^2}{(1-R^2)} \cdot (m - 2)} \quad (\text{нат}), \quad (2.24),$$

для будь-якої з досліджуваних F -статистик (2.11).

Одиниці {нат} використані в якості одиниць виміру інформації для вимірювання інформаційної ентропії, що визначається за натуральним логарифмом на відміну від «біт» або «трїт» та інших одиниць виміру інформації. Так нат більше біт але менше трїта (рис.2.1). Формально: $1 \text{ нат} = \log_2 e \approx 1,44 \text{ біт}$; $1 \text{ трїт} \approx \log_2 3 = 1,58 \text{ біт}$. Заміна числа, що логарифмується з $e, 2, 3, 10, 256$ призводить відповідно к нат (натуральним) еквівалентам таких одиниць виміру інформації як біт, трїт, Хартдіт (деціт), байт: $1 \text{ біт} = \ln 2 \approx 0,693 \text{ нат}$; $1 \text{ трїт} = \ln 3 \approx 1,099 \text{ нат}$; $1 \text{ Хартдіт (деціт)} = \ln 10 \approx 2,303 \text{ нат}$; $1 \text{ байт} = \ln 256 \approx 5,545 \text{ нат}$ [32].

Рівняння (2.24) показує, що 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 вимірів.

В таблиці 2.5 наведені результати розрахунку F -статистик (2.11) за початковими даними таблиць, що наведені в додатках, а також, оцінки (за вибіркою $m=12$) коефіцієнтів кореляції R_T з урахуванням даних таблиці.

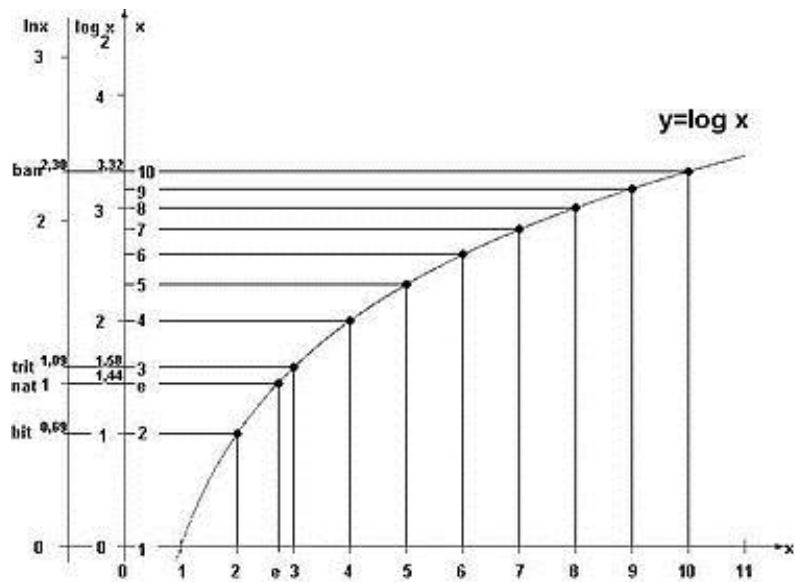


Рисунок 2.1 - Залежність одиниць вимірювання інформації [32]

Таблиця 2.5

Результати розрахунку значень *F*-статистик Фішера (2.11) та коефіцієнтів їх кореляції *R* з даними про самопочуття оператора (для останніх проведено ранжування за ступенем покращення самопочуття) з біомедичним показником – ЧСС

	стан спокою				навантаження 50Вт			
	Φ _{ГН}	Φ _{НА}	Φ _{ЛН}	Φ _{НМ}	Φ _{ГН}	Φ _{НА}	Φ _{ЛН}	Φ _{НМ}
<i>F</i> -стат. для №1	0,003593	0,032	1,198	0,44	1,5	6	1,8 1	0,95
<i>F</i> -стат. для №12	0,008955	1,513	1,075	0,425	0,069	0,617	0,057	0,3
<i>R</i>	-0,38394	-0,0018	0,2608	0,1757	0,0337	0,6507	0,5695	0,554

Оцінку інформативності *F*-статистик (2.11) проведена з урахуванням двох умов.

Перша умова – коефіцієнт кореляції *R* має бути позитивний, що дозволяє тестувати (контролювати на значимість *F*-статистик) рівень біологічної нестабільності об’єкту дослідження.

Друга умова – сам коефіцієнт кореляції має статистично значимо відрізнятися від нуля. Останнє можливо, якщо виконується умова:

$$R \geq R_{кр}, \quad (2.25)$$

де критичне значення розраховується за рівнянням [201]:

$$R_{кр} = \left(\frac{F_{1,m-2,\alpha}}{m-2 + F_{1,m-2,\alpha}} \right)^{0,5} \quad (2.26)$$

У рівнянні (2.6) критичне значення F -статистики $F_{1,m-2,\alpha}$ є верхньою границею α відсотковою точкою F -розподілу Фішера – Снедекора з одною та $(m-2)$ ступенями вільності (α – рівень значущості, що задається при тестуванні коефіцієнта кореляції R). Для $\alpha = 0,05$ та $\alpha = 0,1$ значення $R_{кр}$ наступні:

$$\begin{cases} \alpha = 0,05, R_{кр(0,05)} = 0,5758; \\ \alpha = 0,1, R_{кр(0,1)} = 0,497; \end{cases} \quad (2.27)$$

Аналіз отриманих результатів (табл.2.5) був проведений для двох рівнів значущості: $\alpha = 0,05$ та $\alpha = 0,1$ (достовірність висновків, відповідно, $P=0,95$ та $P=0,9$).

1. Для $P=0,9$ статистично значущими є кореляції $R_{НА} = 0,6506$, $R_{ЛН} = 0,5695$, $R_{НМ} = 0,5540$ (навантаження в активному експерименті «50 Вт»; біомедичний показник – ЧСС). Для навантаження «150 Вт» значимою є кореляція $R_{НА} = 0,5482$.

2. Для $P=0,95$ значимою є кореляція $R_{НА} = 0,6506$ навантаження «50 Вт», ЧСС). Примітка індекс при коефіцієнті кореляції відповідає індексу досліджуваної F -статистики (2.11).

3. Тільки для першого оператора, який має максимальну кількість скарг (45) на самопочуття F -статистики $F_{НА} = 6$, та $F_{НМ} = 10,95$. Її критичне значення $F_{кр(НМ)} = 10,13$.

Примітка: критичне значення для F -статистики враховувалося на основі числа ступенів вільності з табл.2.4.

Для ілюстрації невід’ємного (нелінійно прямого) впливу коефіцієнта кореляції R на кількість очікуваної інформації (рівняння (2.24)), яку містять

досліджувані F -статистики (2.11) можна скористатися будь-яким з варіантів (за навантаженням на об'єкт дослідження) табл.2.5.

В табл.2.6 наведені результати розрахунків кількості інформації за рівнянням (2.24) для коефіцієнтів кореляції R статистик Фішера (2.11) (показник – ЧСС, навантаження «50 Вт».

Таблиця 2.6

Результати розрахунку інформації (в натах) для F -статистики за показником – ЧСС на навантаженню «50 Вт»

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

2.4. Метод оптимізації моделі за критерієм статистичної стійкості

2.4.1. Уніфікація простору вимірюваних значень. Корекція результатів дисперсійного аналізу ймовірнісної моделі

Ймовірнісні моделі результатів фізично однорідних змін (2.5) та їхніх випадкових та систематичних відхилень (2.7) 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. Така заміна можлива, якщо виконуються наступні умови [235]:

а) різнорідні фізичні величини, що об'єднуються мають бути безрозмірними, що досягається операціями їхнього центрування та нормування;

б) вимірювання всіх фізичних різнорідних величин повинні, формально, проводитися в ті самі моменти часу;

в) групування різнорідних часових рядів повинно здійснюватися на одних і тих самих інтервалах спостережень.

Нехай, L – кількість X_1, \dots, X_L різнорідних фізичних величин, що піддаються вимірювань в одних тих самих t_{ji} моментах часу. Нехай кожна з величин $X_1, \dots, X_e \dots X_L$ піддається лінійному перетворенню:

$$\dot{X}_e = \frac{X_e - \bar{X}_e}{\delta_e}, \quad (2.28)$$

де \bar{X}_e – математичне очікування величини X_e ;

δ_e – середнє квадратичне відхилення, $e = \overline{1, L}$.

Перетворення (2.28), є лінійним, не змінює ймовірнісних властивостей вихідної випадкової величини [73], перетворює останню в величину безрозмірну х нульовим середнім та одиничною дисперсією. Якщо моменти часу t_{ji} ($j = \overline{1, k}, i = \overline{1, n_j}$) однакові для всіх величин X_1, \dots, X_L , а групування результатів вимірювань для цих величин здійснюються з однаковими параметрами k та n_j , то перетворення (2.28) дозволяє розглядати множину $\{\dot{X}_1, \dots, \dot{X}_L\}$ як величини фізично однорідні, а результати їх вимірювань – як багатократні, що відображають зміни уніфікованого результату x_{eji} :

$$x_{eji} = \bar{X} + \tilde{B}_0(t_{ji} - \bar{t}) + \{(\tilde{B}_c - \tilde{B}_m)(\bar{t}_j - \bar{t}) + z_{ej}\} + (B_{ej} - \tilde{B}_c)(\bar{t}_i - \bar{t}) + \varepsilon_{eji} \quad (2.29)$$

де $\tilde{B}_c = \left\{ \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (t_{ji} - \bar{t}_j) \right\}^{-1} \left\{ \sum_{e=1}^L \sum_{j=1}^k B_{ej} \sum_{i=1}^{n_j} (t_{ji} - \bar{t}_j)^2 \right\}$,

$$\tilde{B}_m = \frac{\sum_{e=1}^L \sum_{j=1}^k n_j (\bar{X}_{ej} - \bar{X})(\bar{t}_j - \bar{t})}{\theta_m},$$

$$\tilde{B}_0 = \frac{\theta_c \cdot \bar{B}_c + \theta_m \cdot \bar{B}_m}{\theta_o},$$

\bar{X}_{ej} - середнє j -тої групи для e -того біомедичного показника;

B_{ej} - кутовий коефіцієнт j -тої групової регресії для e -того показника;

z_{ej} та ε_{eji} – реалізації дискретної та неперервної випадкових величин з дисперсіями, що не залежать від часу,

e – кількісний індекс, присвоєний відповідній (за порядком використання в моделі (2.29)) фізичній величині.

Результати дисперсійного аналізу уніфікованої ймовірнісної моделі (2.29) подані в табл.2.7.

Таблиця 2.7

Результати дисперсійного аналізу уніфікованої ймовірнісної моделі

Фактор впливу	Сума квадратів	Число ступенів вільності	Середній квадрат
$\Phi_{ГН}$	$Q_{ГН} = \theta_0 \tilde{B}_0^2$	$\nu_1 = 1$	$\overline{Q}_{ГН} = Q_{ГН}$
$\Phi_{НА}$	$Q_{НА} = \frac{\theta_c \cdot \theta_m}{\theta_0} \cdot (\tilde{B}_c - \tilde{B}_m)^2$	$\nu_2 = 1$	$\overline{Q}_{НА} = Q_{НА}$
$\Phi_{ЛН}$	$Q_{ЛН} = \sum_{e=1}^L \sum_{j=1}^K n_j [\overline{X_{e_j}} - \tilde{B}_m \cdot (\bar{t}_j - \bar{t})]^2$	$\nu_3 = KL - 2$	$\overline{Q}_{ЛН} = \frac{Q_{ЛН}}{KL - 2}$
$\Phi_{НМ}$	$Q_{НМ} = \sum_{e=1}^L \sum_{j=1}^K Q_j (B_{e_j} - \tilde{B}_c)^2$	$\nu_4 = KL - 1$	$\overline{Q}_{НМ} = \frac{Q_{НМ}}{KL - 1}$
$\Phi_{МО}$	$Q_{МО} = \sum_{e=1}^L \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} [x_{eji} - \overline{X_{e_j}} - B_{e_j}(t_{ji} - \bar{t}_j)]^2$	$\nu_5 = N - 2KL$	$\overline{Q}_{МО} = \frac{Q_{МО}}{N - 2K}$

В таблиці 2.7: $N = L \sum_{j=1}^K n_j$; параметри $Q_j, \theta_0, \theta_c, \theta_m$ визначаються рівняннями (2.10) для таблиці 2.4.

2.4.2. Метод оптимізації уніфікованої моделі за критерієм статистичної стійкості

Ймовірнісні моделі (2.5) та (2.4), окрім випадкових величин z та ε , включають, неявно й випадкові кутові коефіцієнти (як статистичні оцінки B_j, B_{e_j}) групових лінійних регресій.

Оскільки дисперсійний аналіз результатів вимірювань $\{x_{ji}\}$ або $\{x_{eji}\}$ проводяться в рамках стандартної процедури «Перевірка статистичних гіпотез»:

H_0 : біологічна стабільність (або метрологічна однорідність) – в нормі;

H_1 : є порушення біологічної стабільності (або метрологічна однорідність);

то статистична стійкість еквівалента потужності критерії Фішера, що використовується.

Кількісно стійкість критерію визначається відношенням критеріальної F – статистики, що досліджується (з (2.11)) к статистиці критичної ($F_{кр}$):

$$\delta = \frac{F}{F_{кр}} \quad (2.30)$$

В якості останньої ($F_{кр}$) використаний верхню α -відсоткову точку, що мають ті самі ступені вільності що і F – статистики [201].

Число ступенів вільності задається табл.2.7. Рівень значимості $\alpha = 0,05$, згідно плану біомедичного експерименту (підрозділ 2.3).

В таблиці 2.8. наведені значення F – статистик (2.11) для уніфікованої ймовірності моделі (2.29) та результатів її дисперсійного аналізу (табл.2.7). Біомедичний показник «ЧСС».

В цій самій ж таблиці вказані з числа супінів вільності і значення відповідних критичних статистик $F_{кр}$ для $\alpha = 0,05$ [201]. Варіанти уніфікації задані поєднанням навантажень «0», ... «150» з їх попереднім ранжуванням за зменшенням F – статистики $F_{нм}$ оператора з максимальною кількістю скарг на самопочуття (оброблені данні щодо показника «Самопочуття» наведені у відповідній таблиці додатку Г).

В таблиці 2.9 представлені результати обрахунків функції статистичної стійкості δ (вираз (2.30)) в залежності від складності уніфікації моделі (2.29), що визначається числом L , об'єднаних величин $\{X_e\}_1^L$.

Таблиця 2.8

Значення F – статистик Фішера за варіантом уніфікації

К-сть скарг	П індекс	Норма				Нагрузка 50				Нагрузка 100				Нагрузка 150			
		F0	FWG	FG	FW	F0	FWG	FG	FW	F0	FWG	FG	FW	F0	FWG	FG	FW
45	Дам	0,003593	0,032	1,198	0,44	1,5	6	1,8	10,95	3,738	0,185	0,615	1,038	2,101	4,993	0,684	4,131
43	Дзп	0,612	2,449	1	2,633	1,088	0,51	0	0,053	0,126	8,084	0,421	2,921	3,672	0,001594	0,83	0,944
40	БеБО	0,753	1,34	0,07	0,488	0,372	3,352	0,862	1,241	0,697	0,46	0,383	0,252	4,267	5,4	2	8,167
31	СтП	0,041	0,266	0,136	0,06	0,691	0,194	0,964	0,293	0,012	0,362	0,022	0,232	0,203	0,066	0,087	0,01
24	БуОВ	0,208	1,875	1	2,083	1,309	2,327	0,03	1,091	1,57	0,213	0,014	0,174	2,959	0,442	1,938	1,38
23	Луг	2,402	0,441	0,941	0,02	0,294	0,372	0,31	0,356	2,457	1,217	1,618	0,101	5,348	2,133	1	4,481
23	СаЛО	0,343	2,183	0,749	0,63	0,894	0,894	0,053	1,103	3,618	3,12	0,005538	1,907	3,619	2,523	0,032	2,046
21	Пров	0,002459	0,416	0,074	0,172	0,2	1,8	0,667	0,5	1,793	0,948	0,309	1,815	4,059	0,155	1,934	2,252
19	Бро	2,403	0,135	0,035	1,302	1,018	0,021	0,00277	0,208	1,259	0,708	0,41	0,639	1,846	0,462	0,138	0,046
17	Зас	1,005	0,682	0,49	0,843	1,084	0	0,004016	0,253	0,227	2,045	0,03	0,636	1,273	1,195	0,009326	0,544
16	Шро	3,778	1,955	0,003876	1,081	2,371	0,117	0,61	0,659	0,54	4,86	3,2	1,8	0,069	0,617	0,057	0,3
15	ХрВ	0,008955	1,513	1,075	0,425	0,069	0,617	0,057	0,3	0,075	3,675	6,25	3	1,967	0,492	0,016	0,344
Коеф.кореляції		-0,38393605	-0,00178	0,260894	0,175726	0,033747	0,650659	0,569502	0,554007	0,183215	0,027583	0,41618	0,06939	0,257909	0,54827	0,34706	0,53014
Коеф.кореляції без першого оператора		0,30827106	0,271221	0,042046	0,316549	-0,153	0,424729	0,283514	0,122226	0,18092	0,207488	-0,444	0,04946	0,373385	0,341121	0,424907	0,475771

Фізична однорідність модельована різними факторними фізичними навантаженнями. Біомедичний показник – «ЧСС».

Таблиця 2.9

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

Варіанти навантажень, Ступінь уніфікації L Функція статистичної стійкості для F – статистики $F_{на}$ для F – статистики $F_{нм}$

«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.2.4 наведені графічні реалізації залежностей $\delta = f(L)$ для дослідження F – статистик біологічної нестабільності $F_{на}$ та $F_{нм}$

З таблиці 2.9 та рис.2.4. видно, що параметр δ є цільовою функцією оптимізації (за максимумом статистичної стійкості δ), оптимум уніфікації відповідає $L=2$. F – статистика $F_{на}$ статистично більш стійка (її максимум 2,1443 більше максимуму 1,2062 статистики $F_{нм}$).

Обґрунтованість використання функції δ (2.30) для оптимального вибору ступеня уніфікації L_{opt} базується на суворому виконанні умов еквівалентності статистичної стійкості та статистичної потужності правил прийняття рішень.

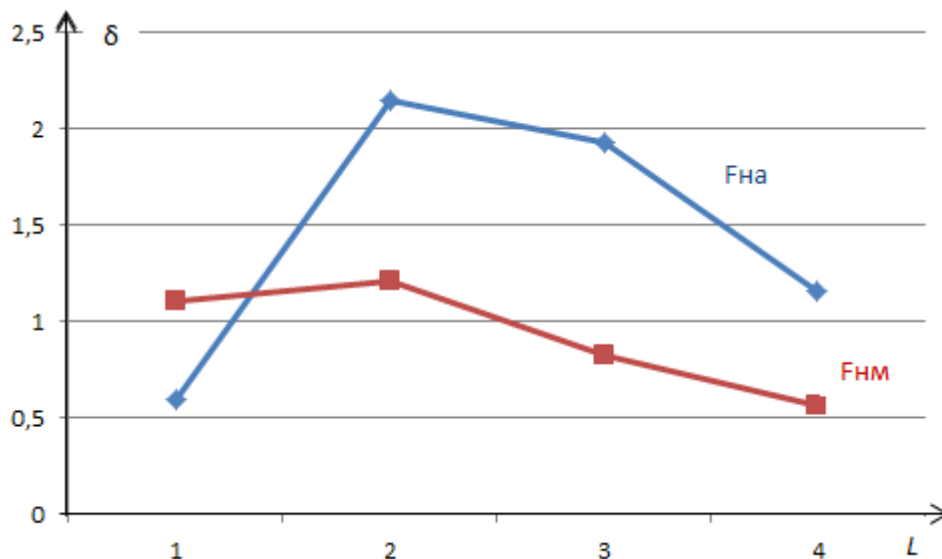


Рисунок 2.4. - Залежності δ від L для $F_{на}$ та $F_{нм}$

Це означає, що для оптимізації мають використовуватися об'єкти, по відношенню до яких справедлива гіпотеза H_1 (в даному випадку, оператор з максимальною великою кількістю скарг на самопочуття). Ця умова також забезпечує максимальні (більше критичних) значень біологічної рівноваги (виводи підрозділу 2.3), коли з ймовірністю $P = 1 - \alpha$ функція $\delta \geq 1$. Ця умова також забезпечує максимальні (більше критичних) значення статистик Фішера $F_{на}$ та $F_{нм}$, що є чутливими до порушень динаміки біологічної рівноваги. Аналіз отриманих результатів (табл.2.9) був проведений для двох рівнів

значущості: $\alpha = 0,05$ та $\alpha = 0,1$ (достовірність висновків, відповідно, $P=0,95$ та $P=0,9$) [136].

2.5. Розробка методу контролю стабільності процесів біологічного функціонування

Розвиток інформаційних технологій контролю змін властивостей сигналів та динамічних системи [73,229-231] показує, що для будь якого методу подібного контролю характерний розподіл отриманої інформації (за результатами вимірювального експерименту) на первинну (кількісно вимірювальну) та на вторинну (якісно вимірювальну, що представлена у формі логічних рішень).

Такий розподіл, з урахуванням наукових результатів підрозділів 2.2-2.4 дозволяє синтезувати метод, що розробляється як послідовність двох базових інформаційних перетворень, що розбиті на послідовні елементарні етапи:

1. Первинне інформаційне перетворення.

1.1. Отримання масивів об'ємом N результатів виміру (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 $F(кр)_{на}$ та $F(кр)_{нм}$ та прийняття одного з двох альтернативних рішень по кожній з порівнюваних F - статистик $F_{на}$ та $F_{нм}$.

а) $\gamma_0^{(на)}$: якщо $F_{на} < F(кр)_{на}$ (гіпотеза H_0 не відкидається)

$\gamma_1^{(на)}$: якщо $F_{на} \geq F(кр)_{на}$ (гіпотеза H_0 відкидається та не відкидається гіпотеза H_1).

б) $\gamma_0^{(HM)}$: якщо $F_{HM} < F(kp)_{HM}$ (гіпотеза H_0 не відкидається)

$\gamma_1^{(HM)}$: якщо $F_{HM} \geq F(kp)_{HM}$ (гіпотеза H_0 відкидається та не відкидається гіпотеза H_1).

Розроблений метод був використаний в 7-ми вимірювальних тривалих експериментах для операторів в групах 11-14 чоловік учасників дослідження за період 2011-2018 роки. Загальний об'єм вимірювань (для показника, наприклад «ЧСС» $N=432$) достовірність методу $P \geq 0,902$; ризик першого роду $\alpha = 0,05$, ризик другого роду $\beta = 0,146$ [136].

2.6. Валідація методу контролю біологічної стабільності. Підтвердження метрологічних вимог на відсутність систематичних похибок

Фактори глобальної (Φ_{GH}) та локальної (Φ_{LN}) неоднорідності, що були використані в підрозділі 2.2 формально можуть моделювати появу систематичних складових загального відхилення Δx_{ji} (математична модель (2.7)), яким відповідають середні квадрати відхилень $\overline{Q_{GH}}$ та $\overline{Q_{LN}}$ таблиці 2.4 результатів дисперсійного аналізу.

При цьому необхідно відзначити, що:

а) середній квадрат $\overline{Q_{GH}}$ відповідає за появу (та зміну в часі на всьому інтервалі спостережень) систематичної похибки нуля [237] відповідних засобів вимірювань біологічних показників;

б) середній квадрат $\overline{Q_{LN}}$ відповідає за появу систематичної випадкової похибки [237], обумовленої сезонними змінами.

Оскільки модель (2.7) є адитивною, відокремлення факторів неоднорідності від факторів біологічної нестабільності (за ефектом впливу на складові загального відхилення Δx_{ji}) то перевірка відсутності глобальної та локальної неоднорідності може бути здійснена за F - статистиками Фішера F_{GH} та F_{LM} (вираз (2.11)). Така перевірка є необхідним доповненням до методу контролю біологічної стабільності, що наведений в попередньому розділі 2.4 та фактично може розглядатися як метод валідації статистичної значущості

рішень про відсутність біологічної нестабільності об'єктів, що контролюються в біомедичних експериментах.

В статистичному плані базовою процедурою валідації має бути тест на значимість [234], що використовує тільки основну гіпотезу H_0 : «глобальні та локальні неоднорідності відсутні».

Альтернативна гіпотеза (про наявність неоднорідностей) не повинна розглядатися, якщо в якості неоднорідності виступають систематичні похибки засобів вимірювання. Це пов'язано з тим, що похибки – це тільки елемент множини з усіх можливих неконтрольованих факторних ефектів неоднорідності, яка може проявлятися в ході експерименту з двох боків:

- а) «неоднорідність відсутня» - відсутня не тільки систематична похибка, але і всі інші елементи факторних ефектів проявів неоднорідностей;
- б) «присутність неоднорідності» - є місце будь якій з елементів факторних ефектів (не тільки систематичні похибки) [233].

Варіант а) допустимий для уточнення основної гіпотези H_0 : «систематичні похибки відсутні», якщо вимірювальний експеримент не має методичних метрологічних порушень.

Виводи про справедливість гіпотези H_0 будуть строго однозначні, якщо гіпотеза H_0 справедлива, а ризик похибки задається фіксованим (наприклад $\alpha = 0,05$) за планом експерименту. Цей варіант ще більше кращий, так як дозволяє розширити уточнену основну гіпотезу включивши до неї доповнення про відсутність метрологічних порушень $H_0^{(M)}$: «відсутність систематичних похибок засобів вимірювань та відсутнє метрологічне порушення вимірювального експерименту».

Оскільки варіант б) характеризується повною апріорною невизначеністю по відношенню елементів неоднорідностей в множині їх факторних ефектів. Тестом для перевірки справедливості варіанта а) є тільки тест контролю на значимість [212].

Для валідації розробленого методу контролю біологічної стабільності (підрозділ 2.5) була розглянута оптимізована уніфікована модель біомедичного експерименту (таблиця 2.8, варіант «50»+ «150», $L_{\text{OPT}}=2$).

Методологічна основа процедури валідації повністю відповідає положенням міжнародного стандарту ISO 900:2005. Рішення $\gamma_0^{(M)}$ про справедливість гіпотези $H_0^{(M)}$ враховує одночасне виконання умов:

$$\begin{cases} F_{\text{ГН}} < F_{(\text{КР})\text{ГН}} \\ F_{\text{ЛН}} < F_{(\text{КР})\text{ЛН}} \end{cases} \quad (2.31)$$

для будь-якого з біологічних об'єктів, що тестуються ($F_{(\text{КР})\text{ГН}}$, $F_{(\text{КР})\text{ЛН}}$ - критичні F -статистики табл. 2.8 для $\alpha = 0,05$).

Оскільки умови (2.31) повністю виконуються, можна стверджувати з достовірністю $P=0,95$, що систематичні похибки та метрологічні порушення в тривалому біомедичному дослідженні були відсутні.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

2.1. Проведений аналіз факторного впливу на динаміку часових рядів результатів біомедичних вимірів та введена класифікація видів такого впливу (табл. 2.1).

2.2. Розроблена часткова (2.5) та уніфікована (2.29) модель часових рядів (результатів вимірювань), що доповнена ймовірнісними збуреннями, визначені інформативні параметри (2.11) у формі F -статистик Фішера, що несуть первинну інформацію про порушення біологічного функціонування.

2.3. Отримано рівняння (2.24) для оцінювання кількості інформації про динамічні порушення для порівняння статистик Фішера за інформативністю.

2.4. Розроблена методика оптимізації уніфікованої ймовірнісної моделі для різних варіантів фізичних навантажень впродовж біомедичного експерименту (п. 2.4.2), за критерієм статистичної стійкості діагностичних

рішень, що дозволила зменшити кількість навантаження при проведенні експериментальних досліджень в 2 рази.

2.5. Розроблений метод контролю стабільності біологічного функціонування в тривалих біомедичних експериментах (п.2.5.) з урахуванням особливостей фізичного навантаження біологічних об'єктів.

2.6. Розроблений метод статистичної валідації результатів тривалого біомедичного експерименту на їхню відповідність вимогам відсутності систематичних похибок вимірювань та відсутність метрологічних порушень.

Список публікацій здобувача за матеріалами другого розділу

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

2.2. Іванець О.Б. Особливості оцінювання функціонального стану оператора в умовах невизначеностей. Міжнародний науково-технічний журнал «Проблеми керування та інформатики». 2024. №1. С.105-120. ISSN 2786-6491. (група А).

2.3. Еременко В.С., Буриченко М.Ю, Іванець О.Б., Метод обробки результатів вимірювань медичних показників. Наукоємні технології. 2020. № 3(47), С. 392 - 398. DOI: 10.18372/2310-5461.47.14937

2.4. Іванець О.Б., Кошева Л.О. Моїсеєнко Є.В. Метод оптимізації досліджень для оцінювання біологічної рівноваги людини. Метрологія та прилади. 2020. №5 (85). С. 11-16.

2.5. Volodarsky, E., Ivanets, O., Kosheva, L.O., Features of assessing the condition of complex objects. 2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA), 07-11 September 2021 / IEEE, 2021. P. 1-5 DOI: 10.1109/MMA52675.2021.9610867 (Scopus).

РОЗДІЛ 3.

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОПЕРАТОРА

3.1. Функціональна модель процесу управління біологічною системою

Використання системного підходу як наряду завданням якого є розробка методів дослідження й конструювання складних за організацією об'єктів як систем спрямований на розкриття цілісності об'єктів, виявлення в них різноманітних типів зв'язків та зведення їх у єдину теоретичну картину [185]. Як зазначалося в другому розділі для оцінювання функціонального стану оператора, що виконує свої професійні обов'язки при дії факторів дестабілізації дослідження та оцінювання гомеостазу як стійкого стану організму людини, надає змогу в повній мірі використати методологію системного підходу для визначення різноманітних типів зв'язків підсистем організму як складної цілісної системи з впливом великої кількості дестабілізуючих факторів. Дослідження системних об'єктів здійснюється на основі діалектико-матеріалістичних принципів.

Важливе місце в системних дослідженнях посідає їхня логіко-методологічна сторона: побудова спеціальних методів для вивчення системних властивостей об'єктів, логічного апарату дослідження, виявлення особливостей системних теорій [185]. В якості методу реалізації системного підходу запропоновано використання методології IDEF0 (Integrated DEFinition), що дозволяє представити організм людини у вигляді системи з трансформацією складного перетворення вхідних, дестабілізуючих та регулюючих чинників з урахуванням біологічного зворотного зв'язку.

В запропонованому дослідженні використана технологія IDEF0 в якості методу структурного аналізу та проектування. Так запропонований системний підхід для оцінювання стану організму. На рис.3.1 подана діаграма верхнього рівня, що описує стан всього організму. Стан організму розглядається як система, що має вплив дестабілізуючих зовнішніх факторів, що мають як

позитивний так і негативний вплив. Такими факторами можуть бути такі зовнішні впливи як стрес, порушення сну, кліматичні впливи, емоційне перенавантаження та інші. А також механізми регуляції як зовнішні: прийом медикаментів, фізичні навантаження, процедури релаксації, відпочинок та інші.; так і внутрішні: біологічний зворотній зв'язок, компенсаційний вплив окремих систем та інші. Так використовуючи технологію IDEF0 організм може бути представлений в якості системи, як подано на рис.3.1.

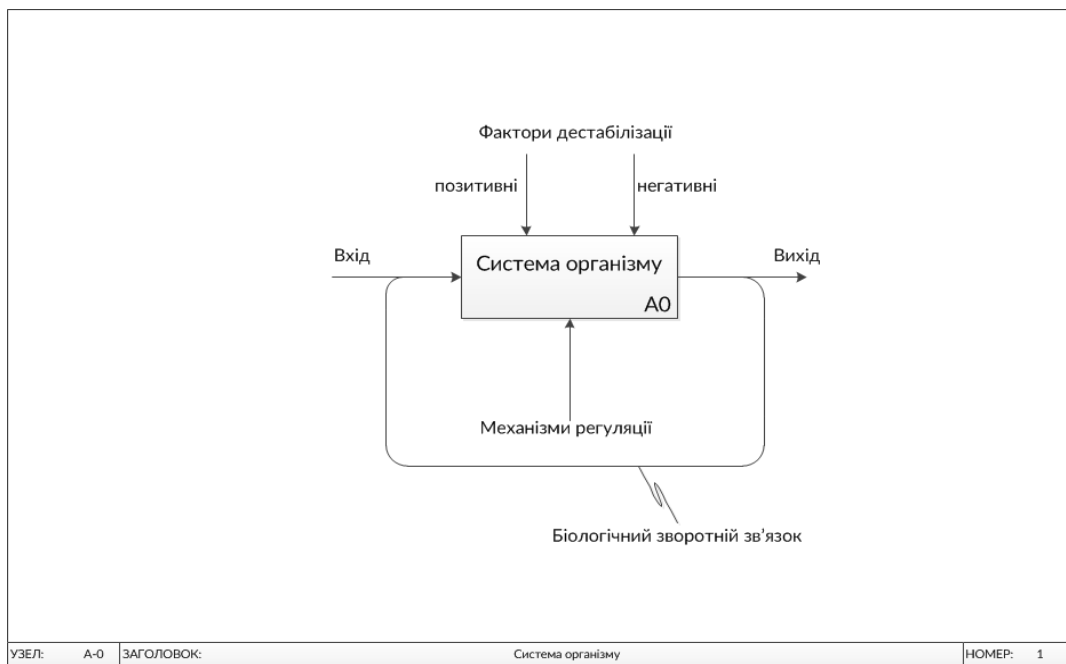


Рисунок 3.1 - Змодельована схема (верхній рівень ієрархії) системи організму оператора

Декомпозиція діаграми, що подана на рис.1 може бути здійснена в якості підсистем організму, де всі системи знаходяться в тісному взаємозв'язку, а нервова та ендокринна система в свою чергу виконують керуючу функцію. Як видно з рисунку 3.2 кожна з підсистем має власну декомпозицію [38].

Метод IDEF0 використовує графічне відображення функціонального змісту складних систем, в якому здійснена ідентифікація елементів об'єкта, а також інформації про компоненти, які об'єднують його функції. Процес аналізу системи організму оператора умовно представлений на рис. 3.1, що відображає систему організму, фактори впливу на систему (дестабілізуючі фактори, що

поділяються на позитивні та негативні), механізми внутрішньої регуляції, а також біологічні зв'язки. Даний метод не призначений для детального проектування системи, так як не містить конструкцій, необхідних для проектування, тобто відображають послідовності дій, вибір шляху і т.і. Результатом аналізу є дані про статичні можливості об'єкта – його подальшу декомпозицію, склад та інформацію, механізми, що використовуються для регуляції і так далі [163].

Завдяки даному візуальному апарату можна скласти наочну декомпозицію всіх органів та систем організму людини. Основною відмінністю від схожих систем наочного моделювання є наявність в мові додаткової аналітики. Даний стандарт опису систем в медичній сфері пропонує показувати не просто входи і виходи підсистем та їх взаємодію, а пропонує ввести три типи входів. Перший тип входів має назву вхід, а два інших типи входу це управління і механізми.

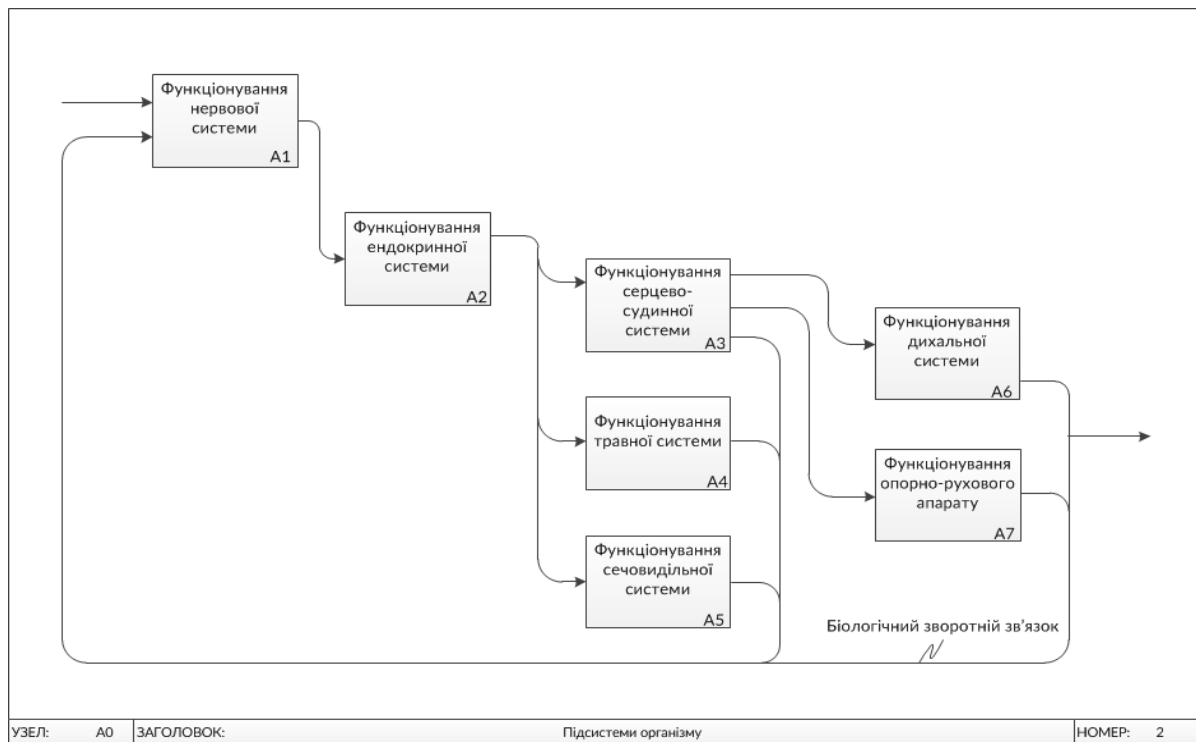


Рисунок 3.2 - Наочна декомпозиція систем організму людини

Представлена IDEF0 - діаграма дозволяє наочно показати взаємозв'язок елементів ділянки в процесі його функціонування, визначити склад інформації

та допомогти медичному персоналу у разі необхідності. Однак вона не містить динамічної складової і не дозволяє провести аналіз характеристик, пов'язаних з часом, коефіцієнтів використання медичного обладнання, продуктивності, кількості використаних біологічних речовин і таке інше. На даній схемі, на якій ілюстративна зображено підсистеми організму людини наочно відображено, які головні функціональні системи представлені у роботі всього організму людини, та як вони взаємодіють одна з одною. Головною та фундаментальною підсистемою на даній схемі виступає нервова система, як зв'язуюча ланка між всіма іншими підсистемами організму.

Серцево-судинна система займає центральне місце, з точки зору інформативності її параметрів для оцінювання функціонального стану організму, що доведено в результаті численних фізіологічних і клінічних досліджень [175]. Також існує можливість застосування даних вимірювання сукупності функціональних показників серцево-судинної системи як індикатора адаптивних реакцій цілісного організму і показника ризику розвитку втоми. Використання такого підходу є можливим, оскільки система кровообігу слугує сполучною ланкою між усіма органами та системами організму, між «центрами керування» та «елементами керування», що наочна видно в результаті декомпозиції блоку 3.

Варіабельність серцевого ритму відображає ступінь напруження регуляторних систем, що виникає у відповідь на стресорний вплив та фактори дестабілізації, тому в даному дослідженні так багато уваги приділяється оцінюванню функціонального стану за параметрами серцево-судинної системи. Тому, саме аналіз варіабельності серцевого ритму був проведений в пункті 3.4.

Адаптація організму до дії різних факторів навколишнього середовища в значній мірі пов'язана з реакціями серцево-судинної системи і її регуляторних механізмів [112]. Даний блок декомпозиції являється доволі чутливим індикатором всіх змін в організмі. Ритм скорочень серця, що регулюється симпатичним і парасимпатичним відділами вегетативної системи, реагує на будь-які стресорні дії та зовнішні фактори дестабілізації.

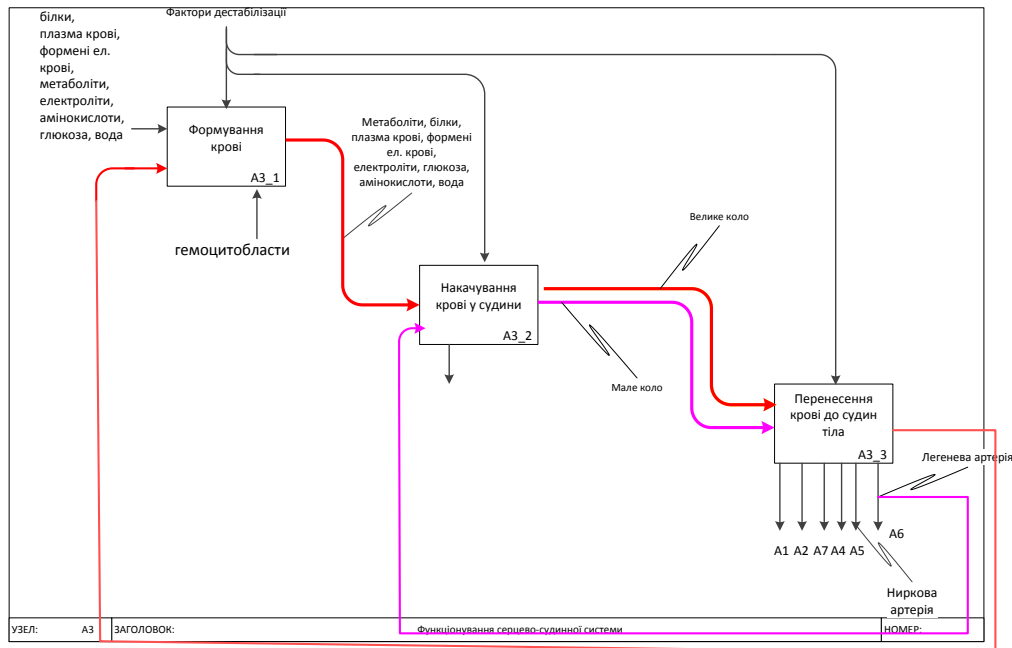


Рисунок 3.3 - Діаграма декомпозиції блоку А3. Процеси функціонування серцево-судинної системи

Наявність багаторівневого ритмогенезу забезпечує надійність та функціональну досконалість системи формування ритму серця. Серед рефлекторних механізмів, котрі впливають на серцеву діяльність, найбільш важливими є барорецепторний рефлекс, рефлекс Бейнбриджа та хеморецепторний рефлекс [117]. Барорецепторний рефлекс починається від барорецепторів, котрі сприймають механічне розтягіння стінок артерій, та розташовані у каротидних синусах і дузі аорти. Аферентні імпульси від цих рецепторів у головний мозок надходять по нервах каротидних синусів та аортальним нервам [111]. Еферентна частина рефлексу представлена симпатичними та парасимпатичними волокнами. Частота імпульсації барорецепторів збільшується при підвищенні середнього артеріального тиску у рефлекторних ділянках, що викликає зменшення активності у еферентних симпатичних волокнах, та підвищення активності у еферентних парасимпатичних волокнах [117].

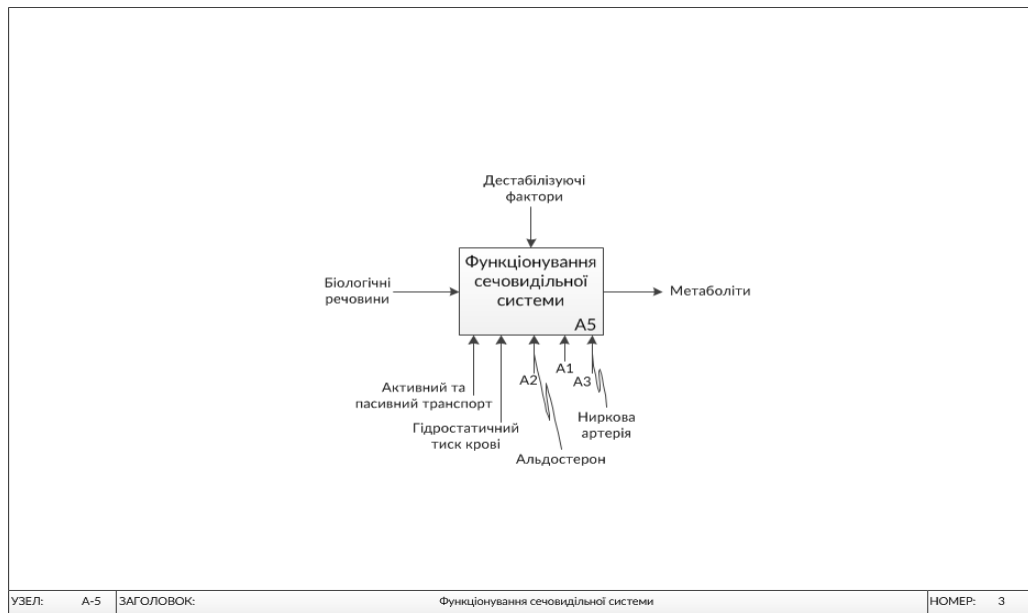


Рисунок 3.4 - Контекстна діаграма А5. Функціонування сечовидільної системи

Декомпозиція блоку підсистем організму (контекстна діаграма А5) наочно демонструє функціонування сечовидільної системи людини та зв'язки, що протікають на клітинному рівні даної системи, такі як біологічні речовини, метаболіти, що беруть участь в обміні речовин, активні та пасивні транспорти, дестабілізуючі фактори, які негативно впливають на обмінні процеси тощо.

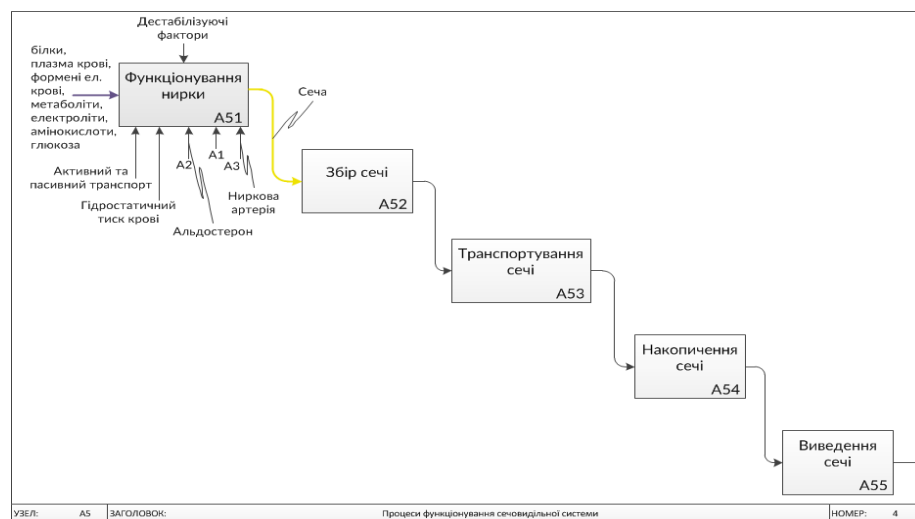


Рисунок 3.5 - Діаграма декомпозиції блоку А5. Процеси функціонування сечовидільної системи

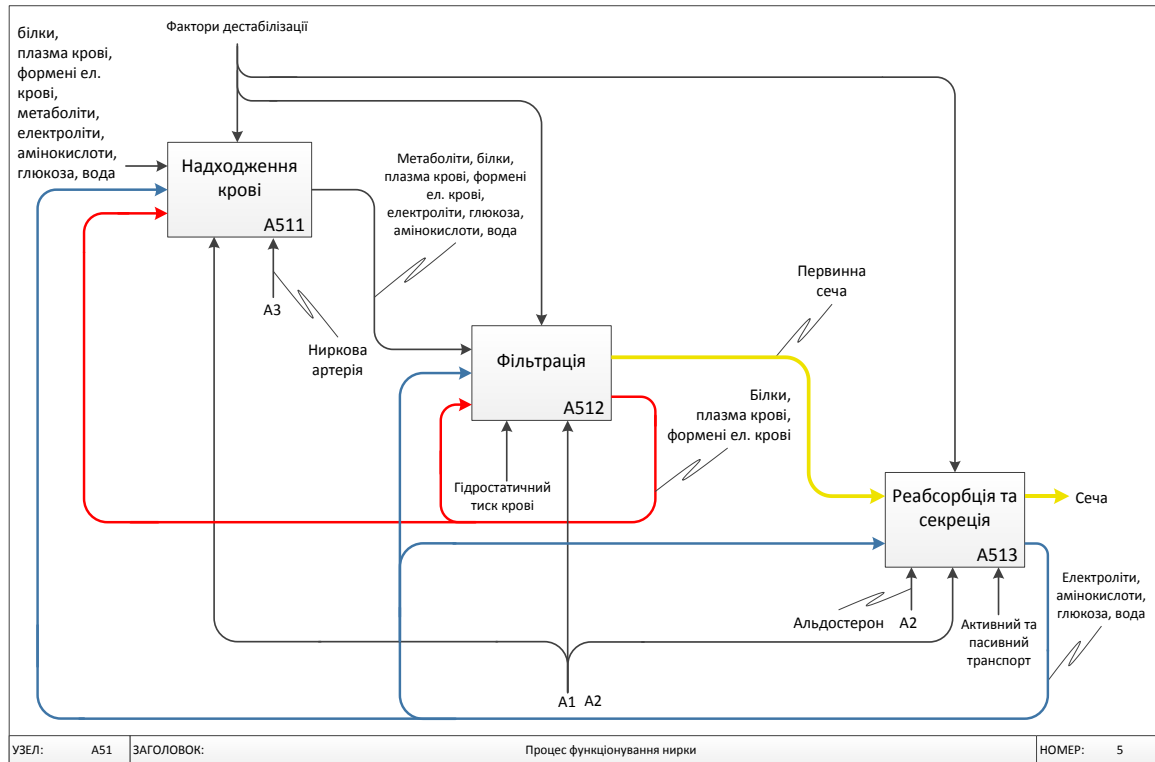


Рисунок 3.6 - Діаграма декомпозиції блоку А51. Процеси функціонування нирки

Діаграма декомпозиції блоку А51 відображає функціональні властивості, а саме процеси, що задіяні під час нормального функціонування нирки та графічно розбиває їх на окремі складові, такі як фільтрація, надходження крові, реабсорбція, секреція та інші. На даній схемі наочно видно, як всі складові (мікро та макроелементи) впливають на роботу нирки в цілому, яку роль відіграє гідростатичний тиск крові, де задіяні метаболіти, білки та формені елементи крові, як впливають дестабілізуючі фактори і так далі.

Декомпозиція процесу функціонування нирок надала змогу визначити параметри входу вузла А51, а саме: білки, плазма крові, формені елементи крові (еритроцити, тромбоцити, лейкоцити та інші), метаболіти, електроліти, амінокислоти, глюкоза та вода.

В свою чергу серед факторів дестабілізації необхідно визначити фізіологічні, психологічні та соціальні фактори, які практично неможливо оцінити на місці [55].

На пілота, як носія індивідуального людського фактору, що є складовою системи управління безпекою польотів, у разі абстрагування від фактора відмови техніки, впливають наступні три групи факторів дестабілізації:

- фактори мікрорівня ;
- фактори макрорівня ;
- фактори індивідуального характеру [106].

Фактори впливу на оператора – є центральними важелями, які впливають на кваліфікаційний, психофізіологічний і особистісний потенціали оператора, що визначають оптимальність прийняття ним рішень в процесі виробничої діяльності, які обумовлюють рівень безпеки польотів.

В свою чергу перелічені фактори можна проаналізувати наступним чином.

1. Фактори макрорівня - фактори, що діють на рівні авіапідприємства.

- Корпоративна культура: зразки поведінки, ціннісні установки і правила, прийняті в конкретній організації; структурні характеристики, методи управління і погляди керівників авіапідприємства [180].
- Психологічний клімат в колективі: рівень психологічної сумісності співробітників, відсутність конфліктів, добропорядні відносини, взаємодопомога і взаємовиручка [5].
- Рівень матеріальної мотивації: форми і системи оплати праці, що діють на підприємстві; додаткові форми оплати праці за якісними показниками роботи; наявність матеріальних пільг для членів сімей льотного складу [73].
- Рівень трудової мотивації: забезпечення виконання робіт відповідно до рівня кваліфікації льотного складу, створення умов праці та відпочинку екіпажів відповідно до ергономічними і санітарно-гігієнічними нормами [180].
- Рівень статусної мотивації: наявність умов для професійного вдосконалення і кар'єрного зростання [180].

2. Факториммакрорівня - фактори, вплив яких проявляється на рівні держави.

- Макроекономічні чинники: стан економіки, рівень валового внутрішнього продукту на душу населення, доходи на душу населення, рівень інфляції, рівень розвитку інфраструктури галузі цивільної авіації [14].

- Політичні фактори: рівень політичної стабільності; забезпечення конституційних прав і гарантій, стабільність і дієвість законодавчо-нормативної бази, наявність ефективних регулюючих і контролюючих механізмів управління галуззю цивільної авіації [14].

- Соціальні фактори: рівень соціального захисту населення, наявність ефективного пакету державних соціальних гарантій, рівень соціального розширення населення [106].

- Науково-технічні фактори: наявність науково-дослідних об'єднань (центрів, лабораторій і т.і.), що займаються удосконаленням діючої і розробкою нової авіатехніки. Скорочення часу впровадження фундаментальних наукових відкриттів в області авіації, створення прогресивних технічних засобів; відповідність стану техніки і технології сучасним вимогам (ресурсоекономії, простоті у використанні, використання новітніх інформаційних і комп'ютерних систем, високому рівню автоматизації і безпеки) [75].

- Географічні чинники: географічне розташування держави, його місце в міжнародному транспортному авіасполученні, рівень сприятливості кліматичних умов для розвитку авіаційної галузі [5].

- Культурно-історичні чинники: релігійна приналежність; ступінь і характер розподілу населення на шари, сформовані за ознакою елітарності, національної приналежності і т. і.; особливості історичних традицій; мовні особливості, загальний рівень розвитку держави [5].

- Фактор міжнародних подій: будь-які політичні, економічні, соціальні, військові події, що відбуваються в державах, пунктів призначення польотів конкретних суб'єктів авіаційної діяльності [180].

- Фактор міжнародного оточення: економічне, політичне і соціальне становище держав, з якими співпрацює авіапідприємство [180].

3. Фактори індивідуального характеру - фактори, що визначають рівень розвитку кваліфікаційного, особистісного та психофізіологічного стану пілота [180]:

- Структурно-демографічні фактори: стать, вік, расова приналежність, національна приналежність.

- Психофізіологічні чинники: тип нервової системи, емоційна стійкість, оперативна пам'ять і мислення, координація рухів, швидкість і швидкість в діях, стійкість психомоторних і сенсорних компонентів діяльності в екстремальних умовах і інші.

- Інтелектуальні фактори: загальна ерудованість, високий рівень інженерної ерудованості, продуктивність мислення, розвинені пізнавальні інтереси, прагнення до професійного вдосконалення.

- Морально-психологічні чинники: дисциплінованість, самостійність, наполегливість, рішучість.

- Фактор спеціально-технічної підготовленості: знання з авіаційної техніки, знання по літаководінню, знання з практичної аеродинаміки; знання, навички та вміння по радіообміну і фразеології; знання й уміння по фізичній і психофізіологічній підготовці [73].

При оцінці факторів, що впливають на пілота в його виробничій діяльності слід враховувати, що всі вони взаємозалежні (зміна одного призводить до зміни інших), динамічні (рухливість зовнішнього і внутрішнього середовища зростає в міру науково-технічного, економічного і політичного розвитку), рухливі (змінюються з великою швидкістю), складні (надають широкий спектр впливу) [73].

Важливою особливістю професійної діяльності пілота є також і висока емоційна напруга. Пілотові сучасного літака необхідно досконало знати причини та особливості відмов пілотажно-навігаційних приладів і систем літака. На тлі високого нервово-емоційного напруження, викликаного відмовою

техніки, пілота потрібно своєчасно виявити несправність, оцінити обстановку, прийняти єдино правильне рішення і реалізувати його у відповідних діях в суворій послідовності відповідно до інструкції. Все це слід виконати в гранично стислі часові інтервали [13].

Загальнолюдські помилки пілотів дуже часто пов'язують з фактичним станом здоров'я в польоті, функціональними можливостями організму, його окремими адаптаційно-приспосувальними механізмами, резервами (з рівнем професійної працездатності, ступенем втоми і т. і.). Зазначені помилки можна віднести до групи соціальних і психофізіологічних [56].

Помилкові дії льотного складу служать найважливішою характеристикою причин авіаційних подій, пов'язаних з людським фактором. Їх основні причини такі:

- недоліки авіаційної техніки;
- недосконалість методики навчання;
- об'єктивна складність складних умов (швидкоплинність ситуації, відмови життєво важливих систем і т.і.);
- погіршення стану здоров'я членів екіпажу в польоті: вплив факторів польоту, надмірна робоче навантаження, невиявлені захворювання, несприятливі психічні стани та ін. [56]. Однією з досить істотних причин зниження функціональної надійності пілота є стомлення [92].

Слід зазначити, що більшість причин, що призводять до помилкових дій льотного складу, носять комплексний характер.

Як вже було зазначено при оцінювання функціонального стану організму необхідно на основі системного підходу врахувати параметри контролю усіх його підсистем. Але у зв'язку з тим що нервова система має обмежену кількість кількісних параметрів контролю, зазвичай в професійній діяльності її роль виконують психологічні тести. В роботі запропонована модель нервової система представлена у вигляді «сірого» ящика в якому перетворення гормонів при дії дестабілізуючих факторів впливають на різні системи організму (рис.3.6.) [137]. Так соматична система після дії зовнішніх дестабілізуючих факторів

регулює роботу скелетних м'язів та опорно-рухового апарату. Вегетативна система, яка в свою чергу ділиться на симпатичну та парасимпатичну регулює роботу внутрішніх органів, трофіку клітин та тканин. Центральна нервова система, яка складається з головного та спинного мозку за допомогою гормонів регулює усі функції організму [185]. Для того щоб кожна із перерахованих нервових систем почала працювати потрібна зовнішня дія подразників. Вхідними даними для запропонованої моделі можуть бути або загальні фактори дестабілізації, такі як стрес, голод, перенавантаження тощо, або ті «данні» які соматична система отримує через органи чуття (зір, дотик, слух, нюх і т.і.) [176]. Вихідними ж реакціями які стимулюється нервовою системою організму на всі ці подразники можуть бути:

- поведінкові (агресія, втеча, дезорієнтація в просторі);
- фізіологічні (автономне збудження, нейроендокринні зміни);
- когнітивні (порушення концентрації уваги, пам'яті, неправильне тлумачення ситуації);
- емоційні (страх, гнів, смуток) [182].

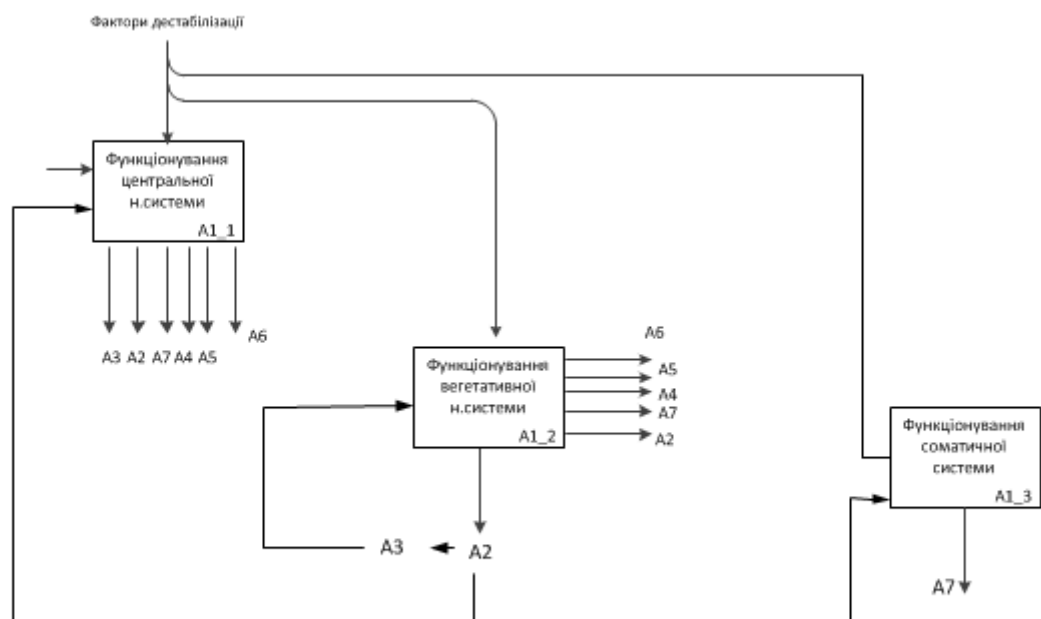


Рисунок 3.6 – Декомпозиція блоку A7. Схема функціонування нервової системи

Нервова система як об'єкт дослідження має складності опису як самої нервової тканини так і її функцій. Тому для врахування реакції нервової системи на дію стресу необхідний аналіз алгоритму реакції нервової системи. В організмі виділення гормонів стимулюється дією стресу [110]. Стрес може бути постійної дії або мати короткочасний вплив на організм. Нервова система реагує на стрес, ініціюючи складну послідовність внутрішніх реакцій на сприйняту загрозу [110]. Якщо загроза проходить швидко, ці екстрені реакції стихають і фізіологічний стан повертається до нормального. Якщо стресова ситуація триває, виникають інші внутрішні реакції в міру того, як людина намагається адаптуватися до хронічного стресору [176]. Гомеостаз, що підтримує функціональну стабільність формує певний алгоритм реакції дії стресу на організм та шляхи його деактивації. Алгоритм реакції нервової системи на дію стресу зазвичай носить послідовність, що подана на рис. 3.7

Даний підхід що полягає в забезпеченні стабільності функціонування організму описує алгоритм реакції організму на різні види стресу, послідовність виникнення фізіологічних реакцій, їхню якісну оцінку та порядок дій гомеостазу для того щоб впоратися із негативними наслідками стресу. Під дією стресу в організмі в надмірній кількості виділяються певні групи гормонів, зокрема специфічних гормонів (група котехоламінів, зокрема) [110].

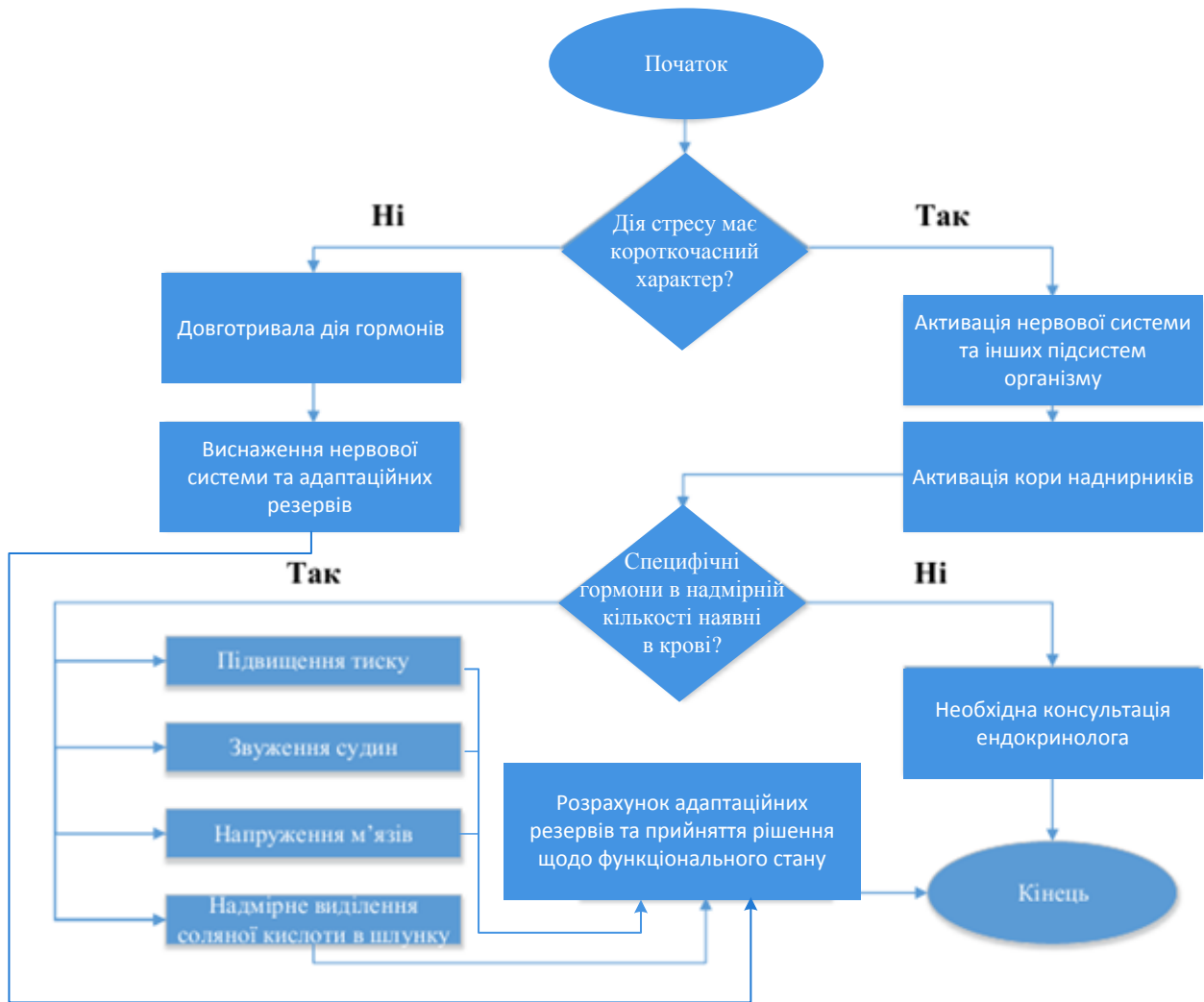


Рисунок 3.7 - Алгоритм реакції підсистем організму на дію стресу

Але така дія гормонів короткочасна, тому існують певні труднощі у визначенні їх кількості в практичній ситуації доволі складно [176].

Головним завданням процесу оцінювання функціонального стану є пошук найбільш оптимальних методів фізіологічних досліджень, що засновані на реєстрації медико-біологічних параметрів з огляду на кінцеву мету оцінювання з точки зору часової складової: поточне оцінювання, оцінювання при професійному відборі, оцінювання адаптаційних можливостей в різні проміжки часу [182].

Запропонований принцип системного підходу для оцінювання функціонального стану операторів за допомогою технології проектування IDEF0, що базується на графічному відображенні функціонального змісту

складних дискретних систем, включаючи ідентифікацію елементів об'єкта, а також інформації про компоненти, які об'єднують його функції дозволяє провести декомпозицію кожної з підсистем організму для урахуванням особливостей функціонування організму за умов підтримки гомеостазу на основі принципів стійкості [38]. Також системний підхід дозволяє знайти місце в цілісній системі функціонування організму вплив зовнішніх факторів, що можуть призвести до зниження працездатності. Завдяки даному візуальному апарату можна скласти наочну декомпозицію всіх органів та систем організму оператора [164]. Даний стандарт опису систем надає змогу визначати не просто входи і виходи підсистем організму та їх взаємодію, а наочно представляє перетворення ресурсних потоків на всіх рівнях ієрархії для можливості опису функціональних складових організму для визначення його адаптаційних можливостей, визначення факторів дестабілізації та механізму їх управління.

3.2. Метод визначення індивідуальних меж норм медико-біологічних показників з використанням T^2 статистики Хотеллінга

Для оцінювання функціонального стану оператора необхідно використання формалізованого математичного методу, який би надав можливість урахуванням кореляційних взаємозв'язків підсистем організму. Для оцінювання функціонального стану оператора, як можливого триггеру в системі управління безпекою авіаційною діяльністю необхідний підхід, який дозволив враховувати індивідуальні особливості оператора та надав змогу визначити індивідуальні межі норми для кожного окремого учасника дослідження.. Даний математичний метод також має враховувати особистісні, унікальні, генетичні, та інші біологічні особливості організму як зазначалось в 1 розділі. Тому виникає необхідність дослідження можливостей багато параметричних критеріїв при оцінці стабільності багато параметричної системи. В якості такого математичного методу запропоноване використання критерію Хотеллінга. За відомої коваріаційній матриці статистика Хотеллінга має хи-

квадрат розподіл [62]. Особливістю використання даного методу є можливість розрахунку точкових значень T^2 на основі відомої коваріаційної матриці [62].

Даний математичний апарат широко використовується для аналізу процесів різного типу для підвищення достовірності при аналізі багатопараметричних показників.

У роботі проведені дослідження функціонального стану організму за допомогою статистики Хотелінга. При багатовимірних параметрах обчислюється незміщена оцінка S матриці Σ . В цьому випадку статистика - Хотелінга задається формулою 3. 1:

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

де S -вибіркова оцінка коваріаційної матриці, \bar{X} -вектор середніх значень параметрів в миттєвих вибірках, μ_0 -вектор цільових середніх (значення, яке найчастіше зустрічається в вибірці), n -обсяг вибірки [42].

При цьому незміщена оцінка коваріаційної матриці визначається на підставі вираження наведеного в формулі 3.2:

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

В даному випадку, отримане на підставі виразу (3.1) значення T_H^2 необхідно порівняти з критичним значенням, що обирається на основі заданого рівня статистичної значущості $\alpha=0,05$ та числа ступенів свободи $p=2, \cdot (n-p)=8$. Критичне значення статистики Хотелінга визначається за формулою 3.3:

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

де F – розподіл Фішера [102].

При нормальному процесі для всіх значень за формулою 3. 4:

$$T_H^2 < T_{кр}^2 \quad (3.4)$$

Якщо ж нерівність (3. 4) не виконується, необхідно визначити показники, що здійснюють критичний вплив на функціональний стан організму оператора [85]. В цьому разі використовується приватний критерій Хотелінга:

$$T_{Hj}^2 = n[C_j^T (\bar{X}_j - \mu_{0j})^2] / [C_j^T S C_j]$$

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 функціональний стан організму, і тому потрібно вжити заходів щодо його корекції [85].

3.3. Розрахунок медико-біологічних показників для визначення індивідуальної межі норми

В якості предмету дослідження були обрані медико-біологічні показники операторів, що в силу своїх професійних обов'язків піддаються впливу факторів дестабілізації. В дисертаційній роботі запропоновано використання T^2 – статистики Хотеллінга для визначення індивідуальних меж норми. В якості прикладу обрані показники аналізу крові. В якості показників обрані значення кількості гемоглобіну, еритроцитів, лейкоцитів в крові операторів, що діагностуються. Показники визначалися впродовж календарного року Для проведення розрахунків була використана T^2 – статистика Хотеллінга для відокремлення показників, або їх поєднання, за якими можливо здійснити процедуру оцінювання функціонального стану як окремих підсистем організму так і порушення функціонального стану всього організму [122].

Таблиця 3.1.

Медико-біологічні параметри (показники крові) для оператора 1

Показники	Оператор 1												Сред.знач
	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень	
Гемоглобін	14,8	15,3	15,7	15,2	14,8	14,5	15,2	14,8	14,4	13,8	13,2	12,7	14,5
Еритроцити	4,4	5	5,1	5,1	5,1	5,3	5,2	5,1	5,1	4,9	4,3	4	4,9
Лейкоцити	4,3	6,2	6,3	6,5	6,4	6,5	6,5	6,5	5,2	6,5	5,2	6,7	6,1

Вхідні данні оператора 1 використані для формування коварційної матриці, що має наступний вигляд:

S1

$$= \frac{1}{n-1} * \begin{vmatrix} 14,8 - 14,5 & 15,3 - 14,5 & 15,7 - 14,5 & \dots & 13,8 - 14,5 & 13,2 - 14,5 & 12,7 - 14,5 \\ 4,4 - 4,9 & 5,0 - 4,9 & 5,1 - 4,9 & \dots & 4,9 - 4,9 & 4,3 - 4,9 & 4,0 - 4,9 \\ 4,3 - 6,1 & 6,2 - 6,1 & 6,3 - 6,1 & \dots & 6,5 - 6,1 & 5,2 - 6,1 & 6,7 - 6,1 \end{vmatrix}$$

*

$$* \begin{vmatrix} 14,8 - 14,5 & 4,4 - 4,9 & 4,3 - 6,1 \\ 15,3 - 14,5 & 5,0 - 4,9 & 6,2 - 6,1 \\ 15,7 - 14,5 & 5,1 - 4,9 & 6,2 - 6,1 \\ \dots & \dots & \dots \\ 13,8 - 14,5 & 4,9 - 4,9 & 6,5 - 6,1 \\ 13,2 - 14,5 & 4,3 - 4,9 & 5,2 - 6,1 \\ 12,7 - 14,5 & 4,0 - 4,9 & 6,7 - 6,1 \end{vmatrix} = \frac{1}{11} * \begin{vmatrix} 8,76 & 3,02 & 0,45 \\ 3,02 & 1,88 & 1,27 \\ 0,45 & 1,27 & 6,16 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,79 & 0,27 & 0,04 \\ 0,27 & 0,17 & 0,11 \\ 0,04 & 0,11 & 0,55 \end{vmatrix}$$

$$= 0,025$$

На підставі вихідних даних, наведених в табл.3.1, проведений розрахунок T^2 - критерій Хотеллінга.

$$T_H^2 = 12 * \begin{vmatrix} 14,5 - 14,8 & 4,9 - 5,1 & 6,1 - 6,5 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 3,09 & -5,47 & 0,87 \\ -5,47 & 16,4 & -2,90 \\ 0,87 & -2,90 & 2,33 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 14,5 - 14,8 \\ 4,9 - 5,1 \\ 6,1 - 6,5 \end{vmatrix} = 4,74$$

Для заданого рівня значущості $\alpha=0,05$ за таблицею критичне значення T^2 – критерію буде дорівнювати [35]:

$$T_{кр}^2 = (2(12 - 1)/(12 - 2)) * 4,459 = 9,8$$

Таким чином, $T_H^2 = 4,74 < T_{кр}^2 = 9,8$, а це означає, що функціональний стан організму стабільний.

Аналогічно проведений розрахунок для всіх операторів. В якості прикладу наведені розрахунки іншого оператора .

Показники клінічного аналізу крові оператора за порядковим номером 12 наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2.

Медико-біологічні параметри (показники крові) для оператора 12

Показники	Оператор 12												Сред.знач
	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень	
Гемоглобін	14,1	13,8	13,7	13,8	14,4	15	13,8	14,7	15	14,5	13,9	14,8	14,3
Еритроцити	4,7	4,4	4,5	5	4,4	4,4	5,1	4,9	4,3	4,8	4,2	4,8	4,6
Лейкоцити	5,4	5,6	6	5,6	6,1	5,6	5,5	5,6	5,6	6	6,3	6,9	5,9

Оцінка коваріаційної матриці на основі таблиці 3.2. буде дорівнювати:

$$S_{12} = \frac{1}{n-1} * \begin{vmatrix} 14,1 - 14,3 & 13,8 - 14,3 & 13,7 - 14,3 & \dots & 14,5 - 14,3 & 13,9 - 14,3 & 14,8 - 14,3 \\ 4,7 - 4,6 & 4,4 - 4,6 & 4,5 - 4,6 & \dots & 4,8 - 4,6 & 4,2 - 4,6 & 4,8 - 4,6 \\ 5,4 - 5,9 & 5,6 - 5,9 & 6,0 - 5,9 & \dots & 6,0 - 5,9 & 6,3 - 5,9 & 6,9 - 5,9 \end{vmatrix}$$

$$* \begin{vmatrix} 14,1 - 14,3 & 4,7 - 4,6 & 5,4 - 5,9 \\ 13,8 - 14,3 & 4,4 - 4,6 & 5,6 - 5,9 \\ 13,7 - 14,3 & 4,5 - 4,6 & 6,0 - 5,9 \\ \dots & \dots & \dots \\ 14,5 - 14,3 & 4,8 - 4,6 & 6,0 - 5,9 \\ 13,9 - 14,3 & 4,2 - 4,6 & 6,3 - 5,9 \\ 14,8 - 14,3 & 4,8 - 4,6 & 6,9 - 5,9 \end{vmatrix} = \frac{1}{11} * \begin{vmatrix} 2,75 & -0,26 & 0,43 \\ -0,26 & 0,97 & -0,22 \\ 0,43 & -0,22 & 2,29 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,25 & -0,02 & 0,04 \\ -0,02 & 0,09 & -0,02 \\ 0,04 & -0,02 & 0,21 \end{vmatrix}$$

$$= 0,004$$

Розраховуємо T^2 – критерій Хотелінга:

$$T_H^2 = 12 * \begin{vmatrix} 14,3 - 13,8 & 4,6 - 4,4 & 5,9 - 5,6 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 4,17 & 0,76 & -0,72 \\ 0,76 & 11,5 & 0,94 \\ -0,72 & 0,94 & 4,98 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 14,3 - 13,8 \\ 4,6 - 4,4 \\ 5,9 - 5,6 \end{vmatrix}$$

$$= 24,04$$

На основі розрахунків було визначено, $T_H^2 = 24,04 > T_{кр}^2 = 9,8$, що надає змогу зробити висновок, що функціональний стан організму оператора був не стабільний на протязі року але як видно з таблиці 3.2 значення його показників крові не виходять за межі прийнятої норми. Таким чином можна зробити висновок що використання карт Хотелінга є більш чутливим методом порівняно з традиційним [122].

Аналогічним чином були розраховані показники клінічного аналізу всіх операторів. Результати розрахунків та порівняльного аналізу подані на рис. 3.8.

Розрахункові значення порівняні з критичними значеннями. Якщо значення T_H^2 перевищує значення $T_{кр}^2$, тобто контрольної границі, то можна зробити висновок про порушення функціонального стану організму в тому числі виходу за межі норми гомеостазису. Результати порівняльного аналізу подані в графічному вигляді на рис.3.8.

Червоною лінією встановлене критичне значення. Всі значення, які знаходяться вище червоної лінії свідчать про порушення функціонального стану організму. Можна зробити висновок, що параметри крові п'яťох операторів виходять за межі критичного значення, що свідчить про порушення функціонального стану та потребує подальших діагностичних процедур.

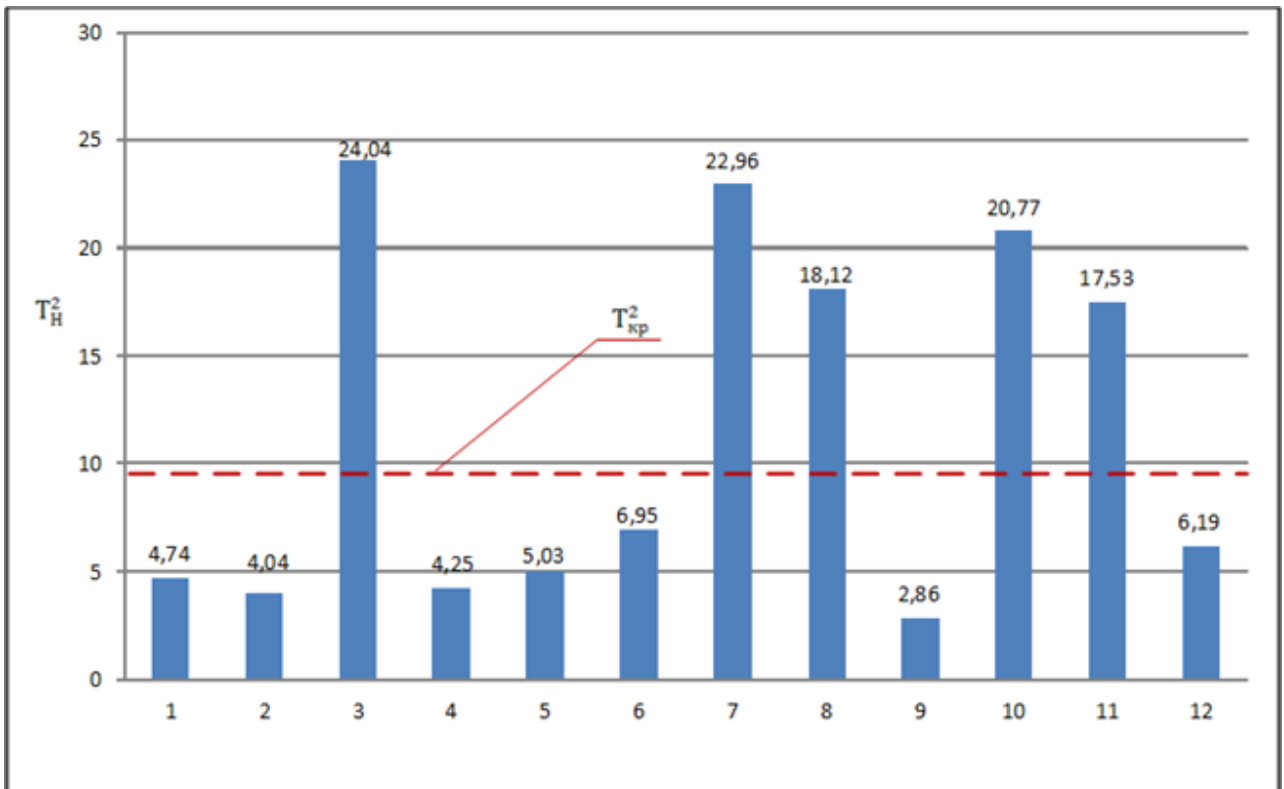


Рисунок 3.8 – Результати порівняльного аналізу отриманих розрахунків значень з їх критичним значенням

Так, згідно з результатами розрахунків, порушення функціонального стану організму було визначено у п'ятох операторів, в той час як за традиційним підходом наявних відхилень не було виявлено. Таким чином, застосування статистики Хотеллінга для оцінювання змін в системі організму людини, дає більш достовірні результати порівняно з традиційним підходом.

Також за допомогою запропонованого підходу можна визначити індивідуальну межу норми, коливання в межах якої свідчать про стабільність функціонального стану оператора. В той час як коливання, що виходять за $T_{кр}^2$, свідчать про недостатній рівень адаптаційних можливостей організму протидіяти факторам дестабілізації та дають висновок про вихід даного організму зі стану стабільності та можуть бути тригером виникнення негативної події за рахунок людського фактора та помилок пов'язаних з ним.

3.4. Використання часових рядів для оцінювання неперервних біомедичних сигналів

Як зазначалося в пункті 3.1 даного розділу параметри серцево-судинної системи часто є першочерговими при оцінюванні стану операторів. Аналіз параметрів серцево-судинної системи для оцінювання функціональної стабільності організму пов'язана з її вразливістю до факторів дестабілізації. Тому вважається, що саме параметри серцево-судинної системи є найбільш інформативними з точки зору оцінювання біологічного дисбалансу [152]. Окрім підходу зазначеного в пунктах 2.1. та 2.2. використання часових рядів для оцінювання функціонального стану оператора може бути здійснений класичними методами обробки неперервних сигналів від організму оператора таких як електрокардіограма, варіабельність серцевого ритму, електроенцефалограма, тощо. Але класичний підхід до аналізу біомедичних сигналів в часовій та частотній областях виявив, що формування кардіосигналу, зокрема, має більш складну структуру ніж можна описати за допомогою класичних підходів [147]. Тому сьогодні все більше додаткових методів використовується для підвищення надійності обробки кардіосигналів. В той самий час варіабельність серцевого ритму є одним з найбільш перспективних показників для визначення аналізу кількісних досліджень показників вегетативної активності серця. На сьогоднішній день використовуються різні підходи до автоматизації як процесу вимірювання так і процесу обробки варіабельності серцевого ритму, однак значення і важливість багатьох його показників більш складні, ніж прийнято вважати. Дослідження методів нелінійної динаміки для оцінювання складних процесів серцево-судинної системи може надати додаткову інформаційну складову про стан як самої серцево-судинної системи так і про стабільність функціонування всього організму в цілому. Використання методів нелінійної динаміки дозволяє окрім кількісних значень медико-біологічних параметрів отримати додаткову інформацію про динамічні зміни стану системи в різні проміжки часу. Використання методів нелінійної динаміки дозволяє отримати, по-перше

додаткової інформації про трансформацію біологічних процесів за рахунок зворотніх біологічних зв'язків, для забезпечення рівноваги функціонування, а по-друге для аналізу хаотичності процесів, що відбуваються в організмі [46].

У зв'язку з тим, що при прийнятті рішення щодо стабільності функціонування організму виникає необхідність оцінювання стану даного об'єкту за певними показниками для зменшення інформаційної невизначеності, необхідне дослідження різних методів, що дозволяють вивчити перетворення інформаційних параметрів в різні моменти часу [147]. При вивченні складної динаміки параметрів серцево-судинної системи класичний підхід на основі аналітичних обчислень індивідуальних траєкторій, наприклад на основі диференціальних рівнянь не працює. За цією причиною постає необхідність дослідження функціональної стійкості організму на основі вивчення ролі інваріантних різноманітностей перетворення інформаційних параметрів серцево-судинної системи, аналізу геометричної структури траєкторій часових рядів, сформованих на основі кардіосигналу [22]. Хоча такий підхід і не дає змоги представити рішення у явному вигляді, але він дозволяє якісно описати багато важливих особливостей організму як динамічної системи [67]. З огляду на нелінійність такої динамічної системи використання методів нелінійної динаміки дозволяє дослідити хаотичність процесів в організмі, що представлені в просторі станів [66].

Варіабельність серцевого ритму тісно пов'язана з нелінійними явищами. Така не лінійність пов'язана зі складними процесами взаємодіями та впливом центральної та вегетативної нервової систем як реакції на зовнішні фактори дестабілізації, як зазначалося у підрозділі 3.1. Використання аналізу варіабельності серцевого ритму на основі методах нелінійної динаміки містить важливу інформаційну складову про фізіологічну варіабельність процесів в організмі в цілому [46]. Використання методів нелінійної динаміки для аналізу частоти серцевих скорочень і артеріального тиску дозволяє отримати додаткову інформаційну складову та стимулює значну інноваційну динаміку досліджень серцево-судинної системи та інтелектуальний аналіз зазначених даних [66].

Вплив факторів дестабілізації, як зазначалося у підрозділі 3.1, характеризуються як короткочасною так і довготривалу дією та стимулюють відповідну адаптаційну реакцію організму, що призводить до формування складних фізіологічних даних з певною кількістю трендів. В свою чергу такі складні фізіологічні сигнали хоча часто, нестаціонарні, але вони вміщують в собі не випадкову складову, так складність може стати новим клінічним біомаркером для прогнозування порушення стабільності функціонування організму операторів [1].

Інтелектуальний аналіз (data mining) варіабельності серцевого ритму на основі нелінійної фрактальної динаміки дозволив отримати додаткову інформативну складову від вже знятих кардіосигналів, що дозволяє зменшити невизначеність оцінювання функціонального стану без необхідності додаткових діагностичних вимірювань. Було досліджено, що мінливість, що є основою інтервалів серцево-судинних скорочень не є випадковою [27]. Використання фазових портретів, зокрема карт Пуанкаре дозволило, спостерігати ознаки нелінійної динаміки частоти серцевих скорочень та наочно дослідити біомедичні сигнали [66]. Відкриття мультифрактальної природи динаміки варіабельності серцевого ритму показало, що модуляція серцевого ритму є навіть складнішою, ніж раніше вважалося, що характеристики потребують численних показників для аналізу багатовимірної складності та визначення доречності використання як якісних так і кількісних показників для оцінювання хаотичності пульсацій кардіосигналів [22].

Біомедичний сигнал представлений у вигляді часових рядів що описують зміну параметрів серцево-судинної системі в часі. В якості біомедичного сигналу розглянута варіабельність серцевого ритму що представлена у вигляді довготривалих часових рядів контрольної групи здорових учасників дослідження. Для імпорту сигналу в MATLAB була використана відкрита база біомедичних сигналів сайту Physionet.org [31]. Часові ряди сформовані з біомедичних сигналів хотлерівського моніторингу впродовж 24 годин для збереження інформації про біологічну добову мінливість [31]. Файл

складається з стовпця даних тривалості поточного R-R інтервалів у мілісекундах [31]. Вхідні данні можуть бути використані як контрольна група для здорових груп населення, що пройшли професійним відбір. Після проведення фільтрації зазначених даних були побудовані атратора фазової траєкторії динамічної системи як одного з найпростіших і наочних способів оцінки її хаотичної поведінки [147]. Цей метод використовується для статистичного та фрактального аналізу властивостей атракторів фазових траєкторій: якщо розглядати фазовий простір коливальної системи, то скінченна множина точок атратора притягує фазові траєкторії. Так як атратори можуть бути простими, регулярними, з постійною модою і з неперіодичними модами: для складних динамічних систем біологічної природи атратори наділені масштабною інваріантністю. У літературі їх називають «дивними» і їх критеріями є, у свою чергу, нестабільність траєкторії у вигляді експоненціального розбіжності від зони тяжіння та дробової розмірності [17].

Для таких складних динамічних систем, як організм оператора, що піддається впливу факторів дестабілізації, дивний атратор можна побудувати з часового ряду однієї спостережуваної динамічної змінної. Відповідно до теореми Такенса [80], основні властивості атратора будуть такими ж, як і у досліджуваного об'єкта, і його характеристики можна визначити за подібністю. Графіки атракторів досліджуваних сигналів ВСР наведені на рис. 2

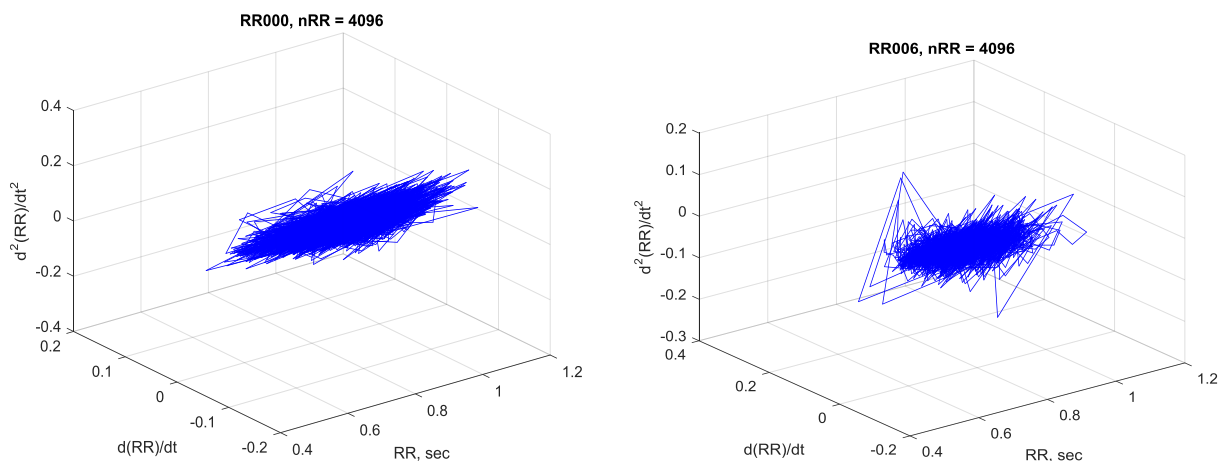


Рисунок 3.9 – Результати побудови атракторів сигналів 1 та 2

Аналіз типу атракторів варіабельності серцевого ритму полягає в аналізі інтегральних процесів, заснованих на взаємодії між окремими компонентами серцево-судинної системи або між цими компонентами та поєднаними характеристиками в інших органах і системах, що протікає як явище самоорганізації або синергії [46], як зазначалося в пункті 3.1.

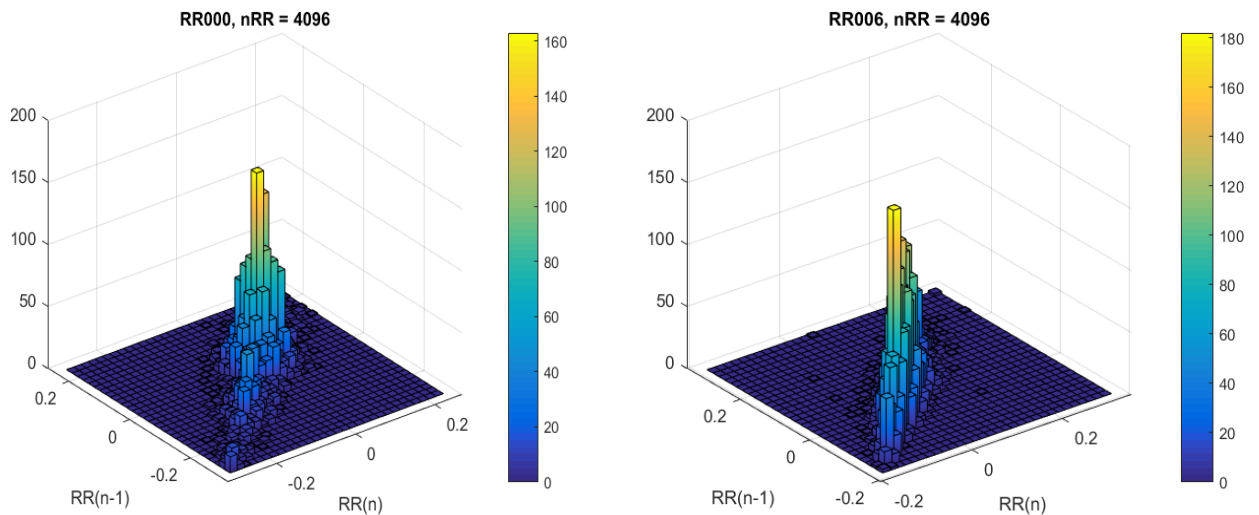


Рисунок 3.10 – Тривимірні гістограми 1 та 2

У загальному випадку фазовий простір є N -вимірним, однак для практичних випадків простір відображення можна вважати тривимірним, тобто $N = 3$ [47]. Таким чином атрактор сигналу варіабельності серцевого ритму є тривимірною візуалізацією змінної та її похідних 1-го та 2-го порядку. Така візуалізація дає чітке уявлення про динаміку процесу [46].

Для аналізу динаміки варіабельності серцевого ритму були побудовані карти Пуанкаре, що представляють біомедичний сигнал у просторі станів та дозволяють визначити нелінійні властивості за рахунок того, що графік Пуанкаре часового ряду представляє собою діаграму розсіювання змінної $X(n)$ відносно $X(n + 1)$ або, що еквівалентно, $X(n - 1)$ проти $X(n)$. Зазвичай регулярна «кометоподібна» форма графіка Пуанкаре часового ряду інтервалів RR показує статистичний зв'язок між послідовними точками даних, де даний інтервал RR, ймовірно, слідуватиме або передуватиме інтервалу подібної тривалості [1].

Розкид точок даних у напрямку, перпендикулярному до діагоналі графіка Пуанкаре, є мірою локальної дисперсії часового ряду, що визначається як короткострокова мінливість біомедичної системи. Стандартний графік Пуанкаре долає одне обмеження гістограми, яке полягає в тому, що гістограма не представляє інформацію про кореляції між точками даних [28]. В той час як стандартні чорно-білі карти Пуанкаре мають суттєві обмеження, що полягає у відсутності інформацію про щільність точок даних в роботі включені відносні частоти пар послідовних точок даних у стандартний графік Пуанкаре, що дозволяє отримати двовимірної гістограми $RR(n)$, $RR(n + 1)$ рис.3.10 [22]. При такому підході формується сукупність точок з центром на бісектрисі. Причому відстань від початку координат до центру характеризує найбільш очікувану тривалість серцевого циклу, а відхилення точок від бісектриси показує на скільки n -й інтервал між послідовними R зубцями довший або коротший за $(n+1)$ -й інтервал [28].

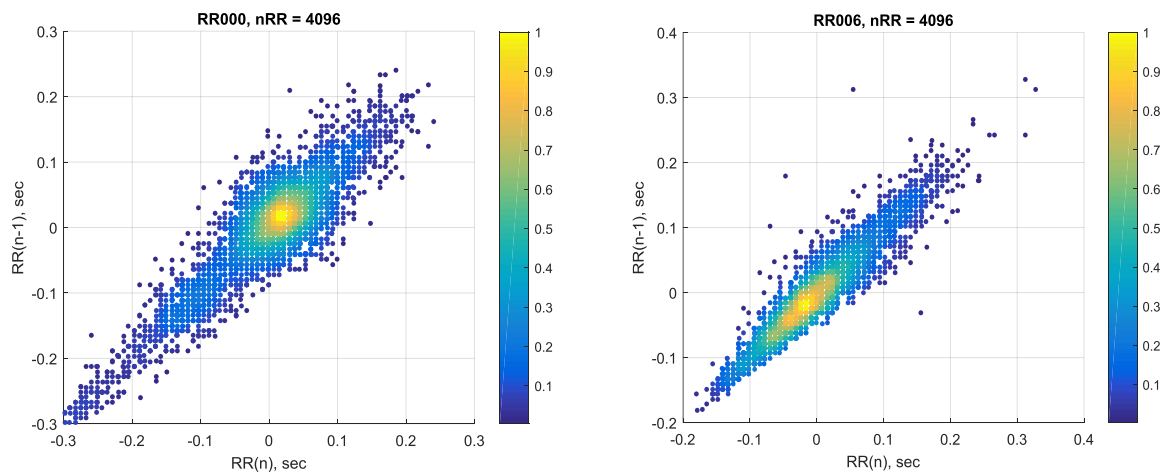


Рисунок 3.10 – Результати побудови графіків Пуанкаре для сигналів 1 та 2

Першим етапом дослідження сигналів варіабельності серцевого ритму методами нелінійної динаміки цього дослідження була оцінка хаусдорфової розмірності. Якщо $N(\delta)$ - кількість комірок розміром δ , що покривають криву Хаусдорфова розмірність D дивного атратора може бути обчислена як:

$$D = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln(N(\delta))}{\ln(1/\delta)} \quad [1].$$

Наступним етапом є оцінка старшого показника Ляпунова. Важливою характеристикою хаотичних пульсацій є показники Ляпунова, які визначають швидкість експоненціального зростання малих збурень (розбіжності двох початково близьких траєкторій атрактора). Оцінку ступеня хаотичності системи традиційно визначають за старшим показником Ляпунова [46]. Для цього розглядаються два стани системи, виміряні в початковий момент часу відстань між дорівнює [22]:

$$|X_1(0) - X_2(0)| = \delta_0 \ll 1$$

Відстань змінюється з часом t , тоді:

$$\delta(t) = |X_1(t) - X_2(t)|,$$

а старший показник Ляпунова λ можна визначити за формулою [1]:

$$\delta(t) = \delta_0 \exp(\lambda t).$$

У разі хаотичної поведінки старший показник Ляпунова завжди додатний ($\lambda > 0$) [1]. Крім того, за цим критерієм нескладно визначити ступінь неупорядкованості системи, тобто ступінь її хаотичності: чим вищий найвищий показник, тим глибший хаос [67]. Прагнення позитивного показника Ляпунова до нуля означає зменшення хаосу в системі [67]. Алгоритми оцінки старшого показника Ляпунова для однієї реалізації досліджуваного процесу базуються на тому, що з часом відстань між двома траєкторіями збільшується зі швидкістю, яка визначається λ [66]. Якщо один відлік $x(t)$ від спостережуваної реалізації x , то усі зчитування цієї реалізації $x(i)$, для яких виконується умова $|x(t) - x(i)| < \varepsilon$, вважаються початками ε -близьких траєкторій [87]. Відстань між даною та сусідніми траєкторіями через інтервал часу τ після початку порівняння визначається як:

$$dist(x(t), x(i), \tau) = |x(t + \tau) - x(i + \tau)|$$

У зв'язку з коливанням відстані між сусідніми траєкторіями вздовж траєкторії, для отримання стійкої оцінки старшого показника Ляпунова необхідно усереднити відстань по всіх ε -сусідніх траєкторіях та по всіх відліках $x(t)$ досліджуваного часу серії, у зв'язку з чим [89]:

$$S(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_t} \text{dist}(x(t), x(i); \tau) \right).$$

Саме крутизна кривої $S(t)$ на лінійній ділянці визначає показник Ляпунова λ . Якщо старший показник Ляпунова $\lambda > 0$, то система є хаотичною. Хаотичність механізмів фізіологічної регуляції використовується для підвищення достовірності оцінки функціонального стану організму.

Наступним етапом оцінки біомедичного сигналу є оцінка ентропії за Колмогоровом, яка дозволяє здійснити оцінку швидкості втрати інформації про процеси, що відбуваються в біомедичній системі в часі. Ентропію Колмогорова часто називають сумою всіх позитивних показників Ляпунова [89]:

$$\langle \xi(\tau) \rangle_{\tau} = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \xi(\tau).$$

Використання класичного методу нормованого розмаху (R/S-метод) для аналізу ВСР із застосуванням методу Херста полягає в обчислюється середнє значення $\langle \xi(t) \rangle$ на інтервалі часу τ , що має ту ж розмірність, що і час t для наявного часового ряду $\xi(t)$. Для розрахунку залежності накопиченого відхилення $X(t, \tau)$ від інтервалу часу τ використана залежність [89]:

$$X(t, \tau) = \sum_{u=1}^{\tau} \{ \xi(u) - \langle \xi(t) \rangle_{\tau} \}.$$

Для розрахунку абсолютної функції діапазону R , що відповідає накопиченому відхиленню використана формула:

$$R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau).$$

Діапазон залежить від довжини інтервалу і може збільшуватися з його збільшенням [28]. Залежність безрозмірної функції R/S від довжини інтервалу часу τ отримується шляхом поділу R на стандартне відхилення S ряду $\xi(t)$:

$$s(\tau) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{u=1}^{\tau} \left\{ \xi(u) - \langle \xi(t) \rangle_{\tau} \right\}^2}$$

За результатами дослідження багатьох природних процесів встановлено емпіричний зв'язок між нормованим діапазоном R/S і довжиною інтервалу τ через показник H [28]:

$$\frac{R}{S} = \left(\frac{\tau}{2} \right)^H,$$

де H може приймати значення від 0 до 1. Величина $H > 0,5$ характеризує збереження тенденції ряду до зростання або зменшення як у минулому, так і в майбутньому [22]. Якщо $H < 0,5$, то це означає тенденцію ряду до зміни тренду: зростання змінюється зменшенням і навпаки. Останнім кроком є оцінка наближеної та вибіркової ентропії. Вибіркова ентропія (SampEn) є модифікацією наближеної ентропії (ApEn), яка використовується для оцінки складності фізіологічних часових рядів сигналів, діагностики порушення функціонального стану [87]. SampEn має дві переваги перед ApEn: незалежність від довжини даних і відносно безпроблемна реалізація [1]. Описані вище етапи дозволили синтезувати процес обробки варіабельності серцевого ритму, зокрема, методами нелінійної динаміки. Запропонований підхід до оцінки варіабельності серцевого ритму на основі розрахунків його показників дозволяє визначити показники Херста, ентропію Колмагорова, апроксимативну та вибірккову ентропії. Результати впровадження описаного підходу з використанням емпіричних даних представлені в табл. 3.3. Описаний підхід забезпечує покращену оцінку часових рядів і має бути корисним інструментом у дослідженнях динаміки серцево-судинних захворювань людини [87]. Методи нелінійної динаміки оцінюють кілька параметрів, які сприяють розширеній діагностиці функціонального стану організму. Методика

оцінювання варіабельності серцевого ритму нелінійні методами аналізу RR-інтервалів ЕКГ-сигналу та складається з наступних етапів: імпорт записаного сигналу RR-інтервалів у середовище MATLAB; очищення сигналу від артефактів; побудова атрактора варіабельності серцевого ритму; оцінка ентропії Колмогорова; оцінка індексу Херста; формування висновку [147].

Таблиця 3.3

Результати розрахунку ентропій як мір невизначеності для деяких файлів

Файл сигналу	Ентропія Колмогорова	Показник Херста	Наближена ентропія ApEn	Вибіркова ентропія SaEn
RR000	4.6386	0.051	1.0805	0.9733
RR006	4.1877	0.187	1.0361	0.9674

Аналіз даних таблиці дозволяє зробити висновок про високу нерегулярність біоритмів сигналу RR006 і може бути ознакою розвитку серцево-судинних захворювань. Також візуальний аналіз карти Пуанкре (рис. 3.10) доводить ознаки порушення стабільності роботи серцево-судинної системи за відсутністю хмари орієнтуючих точок уздовж лінії тотожності та утворенням гострого кінця в лівому нижньому кінці графіка [46]. При розробці методу використовувалися бази даних біомедичних сигналів із сайту Phisyonet.org [31]. У зв'язку з відсутністю біомедичних даних зазначеної тривалості у операторів льотного складу, провести апробацію даного методу на емпіричних даних не було змоги, але даний метод, може бути корисним при стратифікація ризику на основі варіабельності серцево-судинної системи в подальших дослідженнях.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

3.1. Проведений аналіз функціонування організму оператора, який надав змогу з використанням системного підходу розробити функціональну модель роботи організму з урахуванням впливу факторів дестабілізації.

3.2. Розроблено підхід до визначення індивідуальних меж норми на основі багатопараметричного критерію Хотеллінга, який визначається на основі результатів вимірювального контролю медико-біологічних параметрів оператора. Впровадження розробленого з використанням цього критерію відповідного методу дозволить вчасно встановлювати факт наявності порушення стабільності функціонування організму, що може призвести до помилкових дій оператора.

3.3. Отримав розвиток метод багатопараметричного контролю, що дозволяє враховувати зв'язок що існує між змінними, що описують процес функціонування системи організму, що дозволить підвищити достовірність оцінювання функціонального стану організму з урахуванням індивідуальних особливостей.

3.4. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що використання багатопараметричного критерію Хотеллінга з урахуванням індивідуальних особливостей організму є більш чутливим методом ніж використання існуючого підходу з визначенням загальноприйнятих значень норми.

Список публікацій здобувача за матеріалами третього розділу

3.1. 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 (Scopus).

3.2 Іванець ОБ, Буриченко МЮ, Архирей МВ, Братко ВЮ. Особливості використання методів нелінійної динаміки для обробки біомедичних даних. Наукоємні технології. 2022;4(56):317-334.

3.3. Іванець ОБ. Використання індивідуального підходу для оцінювання функціонального стану організму. У: АВІА-2021: матеріали XV міжнародної науково-технічної конференції. К.: НАУ, 2021.

3.4. Іванець ОБ, Морозова ІВ, Назарчук МА, Миколушко АМ, Іваницький ЄС Синтез інформаційної системи діагностування складних об'єктів Українській метрологічний журнал. 2020;1А:50-51. doi:10.24027/2306-7039.1А.2020.193279

3.5. Ivanets O, Morozova I, Nazarchyk M, Mykolushko A, Ivanytskyi Ye. Approach in the Analysis of Complex Objects. In: Metrology and Metrology Assurance (MMA): proceeding 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.

3.6. Іванець ОБ. Використання індивідуального меж норми при оцінюванні складних об'єктів. У: Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: матеріали XI міжнародної науково-практичної конференції. 27-27 травня 2021 р. Чернігів; 2021р. Том 2, с.176.

3.7. Іванець ОБ. Використання індивідуального підходу для оцінювання функціонального стану організму. У: АВІА-2021: матеріали XV міжнародної науково-технічної конференції. К.: НАУ, 2021.

3.8. Іванець ОБ, Морозова ІВ, Назарчук МА, Миколушко АМ, Іваницький ЄС. Підхід до аналізу складних об'єктів. У: Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2019): тези п'ятої міжнародної наукової конференції. 29 – 31 жовтня 2019 р. Вінниця. С.44-45. ISBN 978-966-641-781-0

3.9. Ivanets O; Morozova I; Burichenko M; Kvach Y. Actual aspects of flight safety on the basis of measuring electrical indicators. In: Metrology and Metrology Assurance (MMA): proceeding proceeding of the XXXI International Scientific Symposium;7–11September 2021. Sozopol, Bulgaria,.IEEE. 2021 doi: 10.1109/MMA52675.2021.9610872.

3.10. Cherevko IS, Ivanets OB, Melnykov OV. Evaluation of complex objects. In: AVIA-2021: proceedings of the XV International Scientific and Technical Conference. Kyiv: NAU, 2021.

3.11. Ivanets O, Burichenko M.. Monitoring biological indicators of homeostasis. In: AVIA-2019: proceedings of the XIV International Scientific and Technical

Conference . April 23-25, 2019. Kyiv: NAU.. Section 24 Biotechnology and Biomedical Engineering in Aviation and Astronautics. pp. 24.5 – 24.7.

3.12. Іванець ОБ, Булигіна ОБ, Безвершнюк КО. Метод прогнозування розвитку захворювань. Вісник інженерної академії України. 2018;2:147-151.

3.13. Іванець ОБ, Мельников ОБ, 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. doi:10.31891/2219-9365-2020-66-2-4.

3.14. 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.org/10.15588/1607-3274-2023-2-7.

3.15. Ivanets OB, Hnatiuk GV, Archirei MV (2018). A method of assessing the adaptation capabilities of Antarctic winterers. Bulletin of the Academy of Engineering of Ukraine. No. 1. p. 135-139.

3.16. Ivanets O. Peculiarities of processing information parameters of complex objects with stochastic influence. Proceedings of XIV International Conference on Modern Achievements of Science and Education, Neetania (Israel), September 26 – October 3, 2019.

РОЗДІЛ 4

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОРГАНІЗМУ

4.1. Критерій оцінювання стану функціонального стану організму на основі результатів вимірювального контролю його параметрів

При оцінюванні функціонального стану оператора необхідно враховувати велику кількість медико-біологічних параметрів, що характеризують стан як окремих підсистем організму так і стан всього організму в цілому. Але, як зазначалось у другому розділі не всі медико-біологічні параметри мають однаковий ступінь інформативності. Але при аналізі окремих медико-біологічних параметрів не завжди відхилення від загальноприйнятої норми одного параметру достовірно буде свідчити про порушення функціонального стану організму оператора в цілому, тобто, у багатьох випадках невідповідність значення певного параметра межах допуску не гарантує наявності відповідної негативної події. У відповідності з, відхиленням оцінювання функціонального стану організму від норми, як правило, супроводжується одночасною зміною та знаходженням за межами допуску певної кількості його параметрів [181]. Таким чином, оцінити стан складових елементів організму можливо на основі результатів вимірювального контролю декількох його параметрів, що і було покладено в пергий етап методології, яка буде описана в сьомому розділі.

Як зазначалось в третьому розділі існує індивідуальна межа норми, а відповідно і границя допуску як для окремих медико-біологічних параметрів так і для їх сукупності. Для вирішення цього завдання, в дисертаційній роботі дістав подальшого розвитку критерій оцінювання стану складових елементів організму оператора на основі результатів вимірювального контролю його параметрів, який визначається наступним чином.

Під контрольованим параметром першого рівня будемо розуміти такий медико-біологічний параметр, відхилення якого від норми є основною ознакою виникнення певного відхилення стану складового елементу [181].

Нехай для виявлення відхилення стану складового елемента від індивідуальної межі норми здійснюється вимірювальний контроль N_k параметрів, що мають кореляцію з контрольованим параметром першого рівня [181].

Позначимо через $P_{k1}, P_{k2}, P_{ki}, \dots, P_{kN_k}$ - результати вимірювального контролю біомедичних параметрів $1, 2, \dots, i, \dots, N_k$ рівня (табл 4.1) [129].

Таблиця 4.1

Частиний синтез параметрів для скрінінгового оцінювання функціонального стану організму

Назва	Позначення P_{kN_k}	Рівень N_k
Частота серцевих скорочень (ЧСС)	P_{11}	N_1
Систолічний артеріальний тиск (АТс)	P_{12}	N_1
Діастолічний артеріальний тиск (АТд)	P_{13}	N_1
Індекс Скібінської (ІС)	P_{21}	N_2
Індекс гіпоксії (ІГ)	P_{22}	N_2
Вентиляційний індекс (ВІ)	P_{23}	N_2
Температура тіла(Т)	P_{31}	N_3
Вага (В)	P_{32}	N_3
Індекс маси тіла (ІМТ)	P_{33}	N_3

Параметри другого рівня характеризують стан дихальної системи, робота якої тісно пов'язана з роботою серцево-судинної системи.

Якщо значення контрольованого параметра i - го рівня не відповідає індивідуальній нормі, то $P_{ki} = 1$, в іншому випадку $P_{ki} = 0$ [181]. Якщо

позначити $p_{K11}, p_{K12}, \dots, p_{K1i}, \dots, p_{K1Nk}$ як коефіцієнти кореляції між контрольованим параметром першого рівня та контрольованими параметрами $1, 2, \dots, i, \dots, N_k$ рівня, тоді в результаті проведення серії з n_k вимірювань визначається послідовність результатів вимірювання контрольованого параметра першого рівня $p_{K11}, p_{K12}, \dots, p_{K1i}, \dots, p_{K1Nk}$, та послідовність з n_k результатів вимірювання контрольованих параметрів i -го рівня $p_{Ki1}, p_{Ki2}, \dots, p_{KiNk}$, їх середнє значення визначається за виразами [181]:

$$\bar{p}_{K1} = \frac{1}{n_K} \sum_{j=1}^{n_K} p_{K1j}$$

$$\bar{p}_{Ki} = \frac{1}{n_K} \sum_{j=1}^{n_K} p_{Kij}$$

Так при визначенні функціонального стану організму для трьох різних рівнях згідно таблиці 1 були обчислені кількісні показники серцево-судинної та дихальної системи, а також антропометричні показники. Були зібрані та оброблені данні за 8 місяців [129]. В якості прикладу наведений розрахунок для одного учасника дослідження:

$$\bar{p}_{11} = \frac{1}{8} (67 + 65 + 68 + 71 + 72 + 70 + 71 + 70) = 65,63$$

$$\bar{p}_{12} = \frac{1}{8} (120 + 130 + 125 + 125 + 130 + 120 + 120 + 130) = 125$$

$$\bar{p}_{13} = \frac{1}{8} (80 + 85 + 79 + 80 + 79 + 82 + 84 + 85) = 81,75$$

$$\bar{p}_{21} = \frac{1}{8} (61 + 62 + 60 + 61 + 60 + 60 + 62 + 70) = 60,75$$

$$\begin{aligned} \bar{p}_{22} &= \frac{1}{8} (0,411 + 0,415 + 0,412 + 0,415 + 0,423 + 0,425 + 0,412 + 0,415) \\ &= 0,416 \end{aligned}$$

$$\bar{p}_{23} = \frac{1}{8} (1,2 + 1,3 + 1,2 + 1,2 + 1,2 + 1,2 + 1,2 + 1,3) = 1,225 [129].$$

Дисперсія вищевказаних результатів вимірювання визначається за наступними формулами:

$$D_{Ki} = \frac{1}{n_K} \sum_{j=1}^{n_K} (p_{Kj} - \bar{p}_{Ki})^2 \quad D_{K1} = \frac{1}{n_K} \sum_{j=1}^{n_K} (p_{Kj} - \bar{p}_{K1})^2$$

$$D_{11} = \frac{1}{8} ((67 - 65,53)^2 + (65 - 65,53)^2 + \dots + (70 - 65,53)^2) = \frac{415,9}{8} = 51,98$$

...

$$D_{21} = \frac{1}{8} ((61 - 60,75)^2 + (62 - 60,75)^2 + \dots + (70 - 60,75)^2) = \frac{5,5}{8} =$$

0,6875 [129].

Аналогічним чином були розраховані дисперсії D_{12} , D_{13} , D_{22} , D_{23} , D_{31} , D_{31} , D_{32} , D_{33} [181].

Коваріація, як міра зв'язку вищевказаних послідовностей даних результатів вимірювання може бути розрахована за наступними рівняннями [129]:

$$Y_K = \frac{1}{n_K} \sum_{j=1}^{n_K} (p_{Kj} - \bar{p}_{K1})(p_{Kj} - \bar{p}_{Ki})$$

$$Y_1 = \frac{1}{8} (62 - 65,625)(120 - 125) + (80 - 81,75)(120 - 125) \dots = 1,56$$

$$Y_2 = \frac{1}{8} (80 - 81,75)(120 - 125) + (80 - 81,75)(60 - 61,75) \dots = 4,15$$

$$Y_3 = \frac{1}{8} (0,411 - 0,416)(60 - 61,75) + (0,411 - 0,416)(1,2 - 1,225) \dots$$

$$= 0,00056$$

Відповідно коефіцієнт кореляції ρ_{K1i} , який знаходиться в межах від -1 до 1, визначається за виразом:

$$\rho_{K1i} = \frac{Y_K}{\sqrt{D_{K1} D_{Ki}}}$$

$$\rho_1 = \frac{Y_1}{\sqrt{D_{K1} D_{K3}}} = \frac{1,56}{\sqrt{D_{11} D_{13}}} = 0,13$$

$$\rho_2 = \frac{Y_2}{\sqrt{D_{K1} D_{K3}}} = \frac{4,15}{\sqrt{D_{21} D_{23}}} = 0,475$$

$$\rho_3 = \frac{Y_3}{\sqrt{D_{K1} D_{K3}}} = \frac{0,00056}{\sqrt{D_{31} D_{33}}} = 0,5 [129].$$

Розрахунок коваріації та кореляцій медико-біологічних параметрів є першим етапом для кількісного оцінювання критерію стану складових елементів за виразом [181]:

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

Враховуючи, що сенс визначати критерій оцінювання стану елементів на основі результатів вимірювального контролю його параметрів існує, коли $P_{K i} = 1$, а у будь-якому випадку $|\rho_{K 11}| = 1$, тоді [181]:

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

Відповідно, наближення значення критерію наближається до одиниці, збільшує імовірність наявності відповідного відхилення стану складових елементів від норми [181]. Від чисельного значення критерію залежить прийняття рішення стосовно оцінювання функціонального стану організму, спрямованих на усунення подій, що спричинили вищевказане відхилення стану [181].

У випадку, якщо критерій оцінювання стану прийняв значення більше, ніж мінімально можливе, вищевказані заходи треба провести негайно. Слід відзначити, що корельованість параметрів оцінювання функціонального стану організму при виникненні різних варіантів відхилень стану її складових елементів від норми у теперішній час повністю не досліджена та потребує додаткових досліджень, зокрема для операторів авіаційної галузі.

4.2. Метод оцінювання небезпеки відхилення стану біологічного об'єкту від межі норми медико-біологічних показників за рахунок врахування індивідуальної межі норми

Функціональний стан організму підтримується за рахунок взаємодії наступних підсистем: серцево-судинної, дихальної, сечовидільної, опорно-рухомої. Нервова та ендокринна системи виконують функції управління (регуляції) для забезпечення стану функціональної стійкості [150].

Для оцінювання функціонального стану організму доцільним є критеріальне оцінювання небезпеки відхилення від норми стану складових підсистем організму з метою прогнозування виникнення негативної події. Для такого оцінювання на основі результатів вимірювання та вимірювального контролю параметрів організму пропонується застосувати функцію Йордана [181]:

$$f_{\delta}(y) = \frac{\cos y}{\sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2 y}} \quad (4.1)$$

Основна властивість цієї функції полягає в тому, що із зміною її параметра ε_K в діапазоні $-1 < \varepsilon_K \leq \infty$ при $-\pi/2 \leq y \leq \pi/2$ форма функції змінюється від практично прямокутної до дельта-функції Дірака. Максимум функції Йордана дорівнює одиниці при $y = 0$, при $y = \pm\pi/2$ функція Йордана дорівнює нулю [181]. Виходячи з цього, для оцінювання небезпеки відхилення від норми стану складових елементів параметрів підсистем організму на основі результатів вимірювання та вимірювального контролю його параметрів, пропонується використати функцію [181]:

$$f_K(y) = 1 - f_{\varepsilon}(y) = 1 - \frac{\cos y}{\sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2 y}} \quad (4.2)$$

Як впливає з рис. 2.1, на якому наведено просторове зображення цієї функції, незалежно від ε_K , вона досягає максимального значення, яке дорівнює одиниці, при $y = \pm\pi/2$, а її мінімальне значення дорівнює нулю при $y = 0$ [181]. Тобто, можна прийняти, що номінальному значенню контрольованого параметра P_K і NOM відповідає нульове значення змінної y функції (4.2) [181].

Позначимо через Δ_{Ki} допустиме відхилення контрольованого параметра від номінального значення. Тоді значенню змінної $y = \pi/2$ функції (4.2) буде відповідати верхня границя допуску контрольованого параметра, яка визначається виразом [181]:

$$P_{KiMAX} = P_{KiNOM} + \Delta_{Ki} \quad (4.3)$$

Значенню змінної $y = -\pi/2$ функції (2) буде відповідати нижня границя допуску контрольованого параметра, яка визначається виразом

$$P_{KiMIN} = P_{KiNOM} - \Delta_{Ki} \quad (4.4)$$

Змінна ε_K функції (4.2) визначається на основі результатів експерименту та експертного оцінювання взаємозв'язку між результатами вимірювання параметрів підсистем організму та імовірністю небезпеки подальшого їх виходу за межі допуску [181]. Таким чином, змінну y функції (4.2), у загальному випадку можна представити як функцію [181]

$$y = f(P_{Ki}, \Delta_{Ki}, P_{KiNOM}), \quad (4.5)$$

де P_{Ki} - результат вимірювання i -го параметра однієї з підсистем організму.

Як випливає з (4.3) та (4.4), зміні результату вимірювання параметра підсистем організму на величину Δ_K відповідає зміна значення y на $\pi/2$, тобто коефіцієнт пропорційності між цими величинами визначається виразом [151]:

$$k_y = \frac{2\Delta_{Ki}}{\pi}. \quad (4.6)$$

Виходячи з цього, справедливе співвідношення:

$$k_y y = P_{Ki} - P_{KiNOM}. \quad (4.7)$$

Підставивши (6) до (7) та провівши нескладні перетворення, отримуємо аналітичний вираз для функції (4.5):

$$y(P_{Ki}, \Delta_{Ki}, P_{KiNOM}) = \frac{\pi(P_{Ki} - P_{KiNOM})}{2\Delta_{Ki}}. \quad (4.8)$$

При проведенні вимірювального контролю, як правило, виконуються умови $\Delta_{Ki} = const$ та $P_{KiNOM} = const$ [79]. Якщо границі допуску симетричні відносно номінального значення i -того контрольованого параметра організму (наприклад, при вимірювальному контролі серцево-судинної системи за рахунок артеріального тиску), то залежність кількісного показника небезпеки відхилення цього параметра від норми, від результату його вимірювання, якщо контрольований параметр знаходиться в межах допуску, отримуємо, підставивши (4.8) до (4.2):

$$f_{Ki}(P_{Ki}) = 1 - \frac{\cos\left(\frac{\pi(P_{Ki} - P_{KiNOM})}{2\Delta_{Ki}}\right)}{\sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2\left(\frac{\pi(P_{Ki} - P_{KiNOM})}{2\Delta_{Ki}}\right)}}, P_{Ki} \in [P_{KiMIN}; P_{KiMAX}] \quad (4.9)$$

Якщо i -тий контрольований параметр підсистем організму знаходиться поза межами допуску, тобто, якщо виконується співвідношення [181]:

$$P_{Ki} \in (-\infty; P_{KiMIN}) \cup (P_{KiMAX}; +\infty), \quad (4.10)$$

пропонується вважати, що кількісне оцінювання небезпеки відхилення цього параметра від норми дорівнює максимальному значенню функції (4.2) – одиниці [181]. Таким чином, для симетричного відносно номінального значення інтервалу границь допуску i -того контрольованого параметра підсистем організму, залежність кількісного показника небезпеки відхилення цього параметра від норми, від результату його вимірювання, визначається виразом [181]:

$$f_{Ki}(P_{Ki}) = \begin{cases} 1, & P_{Ki} \in (-\infty; P_{KiMIN}) \cup (P_{KiMAX}; +\infty); \\ 1 - \frac{\cos\left(\frac{\pi(P_{Ki} - P_{KiNOM})}{2\Delta_{Ki}}\right)}{\sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2\left(\frac{\pi(P_{Ki} - P_{KiNOM})}{2\Delta_{Ki}}\right)}}, & P_{Ki} \in [P_{KiMIN}; P_{KiMAX}]. \end{cases} \quad (4.11)$$

Типові графіки цієї функції при різних значеннях ε_K наведено на рис. 4.3 [181].

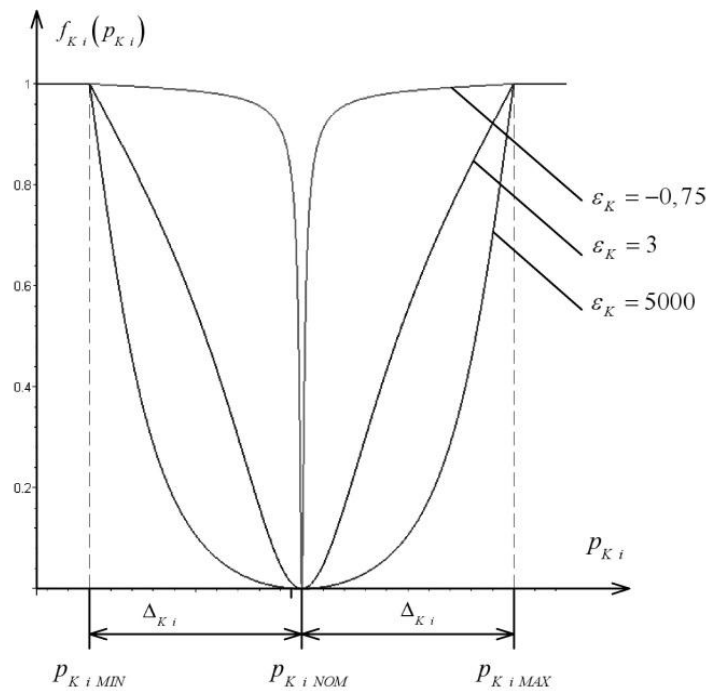


Рисунок 4.1 – Типова залежність кількісного показника оцінювання небезпеки відхилення параметра підсистем організму від норми від результату його вимірювання при симетричному інтервалі границь допуску та різних значеннях ϵ_K [181].

У випадку асиметричного, відносно номінального значення контрольованого параметра інтервалу допуску (наприклад, при вимірювальному контролі часу діагностування), верхня границя i -того контрольованого параметра визначається за виразом (4.13), а нижня границя контрольованого параметра визначається за виразом

$$P_{K_i MIN} = P_{K_i NOM} - k_a \Delta_{K_i}, \quad (4.12)$$

де k_a - коефіцієнт асиметрії [181].

Як і у попередньому випадку, якщо i -тий контрольований параметр підсистем організму знаходиться поза межами допуску, оцінювання небезпеки його відхилення від норми дорівнює одиниці. Якщо результат вимірювання дорівнює номінальному значенню i -того контрольованого параметра підсистем організму, оцінювання небезпеки його відхилення від норми дорівнює нулю. Таким чином, залежність показника оцінювання небезпеки відхилення i -того

параметра від норми, від результату його вимірювання, при асиметричному інтервалі границь допуску визначається виразом [181]:

$$f_{K i(P_{K i})} = \begin{cases} 0, P_{K i} = P_{K i N O M}; \\ 1, P_{K i} \in (-\infty; P_{K i M I N}) \cup (P_{K i M A X}; +\infty); \\ 1 - \frac{\cos\left(\frac{\pi(P_{K i} - P_{K i N O M})}{2k_a \Delta_{K i}}\right)}{\sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2\left(\frac{\pi(P_{K i} - P_{K i N O M})}{2k_a \Delta_{K i}}\right)}}; P_{K i} \in [P_{K i M I N}; P_{K i N O M}]; \\ 1 - \frac{\cos\left(\frac{\pi(P_{K i} - P_{K i N O M})}{2\Delta_{K i}}\right)}{\sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2\left(\frac{\pi(P_{K i} - P_{K i N O M})}{2\Delta_{K i}}\right)}}; P_{K i} \in [P_{K i N O M}; P_{K i M A X}]. \end{cases} \quad (4.13)$$

При вимірювальному контролі параметрів підсистем організму іноді існує тільки одна границя допуску. У цьому випадку, можливі два варіанти – існує тільки верхня границя контрольованого параметра (наприклад, при вимірювальному контролі діастолічного тиску), або існує тільки нижня границя контрольованого параметра (наприклад, вага). У першому випадку параметр підсистем організму відповідає нормі, якщо він не перевищує граничне значення $P_{K i M A X}$, відповідно, справедливим є співвідношення [181]:

$$\Delta_{K i} = P_{K i M I N M}, \quad (4.14)$$

де $P_{K i M I N M}$ - мінімальне можливе значення контрольованого параметра, яке у даному випадку еквівалентне параметру $P_{K i N O M}$ у виразі (4.8) [181].

Виходячи з цього, підставивши (14) до (8), та врахувавши, що $\Delta_{K i} = const$ та $P_{K i M I N M} = const$, отримуємо вираз для змінної у функції (4.2) [43]:

$$y(P_{K i}) = \frac{\pi(P_{K i} - P_{K i M I N M})}{2(P_{K i M A X} - P_{K i M I N M})}. \quad (4.15)$$

Якщо значення i - того контрольованого параметра підсистем організму знаходиться вище границі допуску, то оцінювання небезпеки відхилення його від норми дорівнює одиниці, а якщо його значення менше, ніж мінімальне значення контрольованого параметра, оцінювання небезпеки відхилення дорівнює нулю [181]. Підставивши (4.15) до (4.2) отримуємо у загальному вигляді вираз для оцінювання небезпеки відхилення i - того параметра

підсистем організму від норми від результату його вимірювання, при наявності тільки верхньої границі допуску [181]:

$$f_{K i(P_{K i})} = \begin{cases} 0, P_{K i} < P_{K i \text{ MIN } M}; \\ 1, P_{K i} > P_{K i \text{ MAX } M}; \\ 1 - \frac{\cos\left(\frac{\pi(P_{K i} - P_{K i \text{ MIN } M})}{2(P_{K i \text{ MAX } M} - P_{K i \text{ MIN } M})}\right)}{\sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2\left(\frac{\pi(P_{K i} - P_{K i \text{ MIN } M})}{2(P_{K i \text{ MAX } M} - P_{K i \text{ MIN } M})}\right)}}; P_{K i} \in [P_{K i \text{ MIN } M}; P_{K i \text{ MAX } M}]. \end{cases} \quad (4.16)$$

У другому випадку, параметр підсистем організму відповідає нормі, якщо він не менше, ніж граничне значення $P_{K i \text{ MIN } M}$, відповідно, справедливим є вираз

$$\Delta_{K i} = P_{K i \text{ MAX } M} - P_{K i \text{ MIN } M}, \quad (4.17)$$

де $\Delta_{K i} = P_{K i \text{ MAX } M}$ - максимальне можливе значення контрольованого параметра, яке у даному випадку еквівалентне параметру $P_{K i \text{ NOM}}$ у виразі (4.18) [181].

Виходячи з цього, підставивши (4.15) до (4.8), та врахувавши, що $\Delta_{K i} = \text{const}$ та $P_{K i \text{ MAX } M} = \text{const}$, отримуємо вираз для змінної \uparrow функції (4.2) [181]:

$$y(P_{K i}) = \frac{\pi(P_{K i} - P_{K i \text{ MAX } M})}{2(P_{K i \text{ MAX } M} - P_{K i \text{ MIN } M})}. \quad (4.18)$$

Якщо, значення i - того контрольованого параметра підсистем організму знаходиться нижче границі допуску, то оцінювання небезпеки його відхилення від норми дорівнює одиниці, а якщо його значення більше, ніж максимальне можливе значення контрольованого параметра, оцінювання небезпеки відхилення дорівнює нулю [181]. Врахувавши це, та підставивши (4.18) до (4.2), отримуємо вираз для залежності показника небезпеки відхилення i - того параметра підсистем організму від норми від результату його вимірювання, при наявності тільки нижньої границі допуску [181]:

$$f_{K i(P_{K i})} = \begin{cases} 1, P_{K i} < P_{K i \text{ MIN } M}; \\ 0, P_{K i} > P_{K i \text{ MAX } M}; \\ 1 - \frac{\cos\left(\frac{\pi(P_{K i} - P_{K i \text{ MAX } M})}{2(P_{K i \text{ MAX } M} - P_{K i \text{ MIN } M})}\right)}{\sqrt{1 + \varepsilon_K \sin^2\left(\frac{\pi(P_{K i} - P_{K i \text{ MAX } M})}{2(P_{K i \text{ MAX } M} - P_{K i \text{ MIN } M})}\right)}}; P_{K i} \in [P_{K i \text{ MIN } M}; P_{K i \text{ MAX } M}]. \end{cases} \quad (4.19)$$

Критерій небезпеки відхилення стану підсистем організму від норми на основі результатів вимірювання та вимірювального контролю його параметрів пропонується у загальному вигляді визначати за виразом [181]:

$$K_{PN} = a_1 f_{K_1}(P_{K_1}) + a_2 f_{K_2}(P_{K_2}) + \dots + a_{N_K} f_{K_{N_K}}(P_{K_{N_K}}) = \sum_{i=1}^{N_K} a_i f_{K_i}(P_{K_i}), \quad (20)$$

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 норми стану елементів підсистем організму.

Вагові коефіцієнти у виразі (4.20) повинні задовольняти умові [181]:

$$\sum_{i=1}^{N_K} a_i = 1. \quad (4.21)$$

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 норми. Тип відхилення визначається контрольованим параметром першого рівня [181].

Таким чином використання даного математичного підходу дозволяє зменшити витрати на проведення повної функціональної діагностики при скрінінгових дослідженнях операторів та своєчасно визначити зрив адаптаційних можливостей організму, що може бути використаний як критерій для формування добровільних та обов'язкових сповіщень згідно Авіаційних правил України «Порядок сповіщення про події в галузі цивільної авіації, розгляду отриманої інформації, її аналізу та вжиття відповідних заходів» затверджений наказом Державної авіаційної служби України № 1817 від 27.12.2019 р. [92] Що пов'язано з особливістю використання запропонованого математичного апарату, який дозволяє використати ієрархічний підхід при якому при відповідності параметрів функціонального стану першого рівня

переходити для процедури діагностування параметрів другого рівня і так само до рівня N [129].

У випадку, якщо критерій оцінювання стану прийняв значення більше, ніж мінімально можливе, вищевказані заходи щодо добровільних сповіщень треба провести негайно.

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 норми. Тип відхилення визначається контрольованим параметром першого рівня [129].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

4.1. Визначено критерій кількісного оцінювання функціонального стану оператора, що дозволяє, використовуючи метод оцінювання небезпеки вчасно встановлювати факт наявності високої імовірності відхилень функціонального стану оператора від значень індивідуальної норми та приймати відповідні заходи для їх нормалізації.

4.2. Отримав подальший розвиток метод оцінювання небезпеки відхилення стану біологічного об'єкту від індивідуальної межі норми функціонального стану організму. Впровадження розробленого методу дозволить здійснювати прогнозування виникнення відхилень функціонального стану від індивідуальної межі норми, приймати відповідні міри для попередження відхилень.

Список публікацій здобувача за матеріалами четвертого розділу

4.1. O. Ivanets, I. Morozova, P. Kulakov, V. Kucheruk, A. Kulakova, Y. Moskvichova, Criterion Assessment of the Probability of Deviation of Objects from the Normal State, 2021 XXXI International Scientific Symposium

Metrology and Metrology Assurance (MMA), 2021, pp. 1-5 doi: 10.1109/MMA52675.2021.9610867

4.2. Кучерук В. Ю., Іванець О. Б., Кулаков П. І., Кулакова А. П. Підхід до критеріального оцінювання ступеню відхилення від норми стану об'єкта. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, 2020. № 2(66). С.10-15. DOI: 10.31891/2219-9365-2020-66-2-2

4.3. 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). С. 441 -448.

4.4. Іванець О.Б., Кулаков П.І., Загрійчук М.С., Дейниченко А.Г., БуриченкоМ.Ю. Особливості використання статистичного аналізу для обробки медичних даних. Українській метрологічний журнал №1А (2020) С. 48-49. doi.org/10.24027/2306-7039.1A.2020.193279,

4.5. Іванець О. Б., Мельников О.В., Мусієнко М. П., Кулікова А. П., Іванець Б.М. Оцінювання функціонального стану дихальної системи організму. Вісник інженерної академії України. 2019. №4 . С. 127-131.

4.6. Іванець О.Б., Булигіна О.В., Безвершнюк К.О. Метод прогнозування розвитку захворювань./ Вісник інженерної академії України. 2018. №2. С. 147-151.

4.7. Schapov P., Ivanets O., Kosheva L., Kulakov P. Increasing the reliability of diagnosis and control in the uncertainty of primary information. Chemmotology problems theory and practice of the rational use of traditional and alternative fuel and lubricants. 21-25 jule 2021 Kamenets-Podilskiy

РОЗДІЛ 5. ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ АДАПТАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

5.1. Аналіз факторів дестабілізації, що впливають на виконання професійних обов'язків оператора

Важливим етапом для аналізу функціонального стану оператора є визначення факторів, які впливають на процес прийняття рішення при виконанні своїх службових обов'язків. Проблема оцінки, контролю і підтримки працездатності операторів як членів диспетчерських пунктів так і членів льотно-повітряного складу є необхідною і важливою для забезпечення безпеки польотів, збереження здоров'я та виконання професійних обов'язків впродовж певного періоду часу [73].

Практика показує, що основними факторами, що впливають на працездатність, є:

- граничне робоче навантаження;
- нерівномірність робочого навантаження;
- раптові ускладнення в повітряному судні;
- рівень професійної підготовленості;
- технічний рівень оснащення диспетчерських пунктів;
- умови праці і довкілля [184].

Чинниками, що впливають на роботу оператора, є:

1. Фізичні фактори - включають в себе індивідуальні фізичні можливості, необхідні для виконання поставленого завдання (наприклад, сила, висота, розмах рук, зір і слух) [184].

2. Фізіологічні фактори - включають в себе ті чинники, які впливають на внутрішні фізичні процеси оператора і можуть поставити під загрозу фізичну і когнітивну здатність виконання роботи. Наприклад, недолік кисню, загальне здоров'я і самопочуття, хворобливість, вживання тютюну, алкоголю або наркотиків, негаразди в особистому житті, стомлення або вагітність [182].

3. Психологічні фактори - включають в себе ті чинники, які впливають на психологічну готовність оператора до впливу зовнішніх факторів дестабілізації. [116].

4. Психо-соціальні фактори - включають в себе зовнішні чинники соціального середовища, як робочого так і приватного, до таких факторів відносяться комунікативні взаємовідносини з оточуючими [116].

Наслідки впливу факторів дестабілізації на організм оператора.

При виконанні професійних обов'язків оператори як члени льотних екіпажів піддаються впливу факторів, що мають дестабілізуючий вплив на стабільність функціонального стану організму.

Фактори дестабілізації, що впливають на оператора в польоті.

1. Знижений атмосферний тиск (630-567 мм рт. ст., що відповідає висоті 1.600-2.400 метрів над рівнем моря).

2. Іонізуюча радіація (рівень підвищується зі збільшенням висоти).

3. Шум двигунів.

4. Прискорення.

5. Вібрація.

6. Знижений парціальний тиск кисню.

7. Низька вологість повітря в салоні (близько 20%).

8. Перетин декількох часових поясів (перельоти на схід переносяться важче, ніж на захід).

9. Гіподинамія (стан зниженої рухової активності, обумовлене загальною м'язовою слабкістю в результаті обмеження руху).

10. Гіпокінезія (обмеження кількості і обсягу рухів, обумовлене особливостями професійної діяльності) [119].

В польоті, при певних умовах можливий розвиток таких станів і захворювань:

1. Висотна хвороба (хворобливий стан, пов'язане з кисневим голодуванням внаслідок зниження парціального тиску кисню у вдихуваному повітрі).

2. Повітряна хвороба (порушення функцій і структури органів і систем, що виникають в умовах перебування оператора на висоті).
3. Баротравма середнього вуха та придаткових порожнин носа.
4. Висотна декомпресійна хвороба.
5. Вібраційна хвороба.
6. Висотний метеоризм.
7. Висотні зубні болі.
8. Десинхроноз - зміна різних фізіологічних і психічних функцій організму в результаті порушення добових ритмів його функціональних систем.
9. Венозний тромбоз.
10. Стрес [19].

Тому необхідним є розробка адекватного методу для визначення здатності організму протидіяти факторам дестабілізації, що впливають при виконанні професійних обов'язків. У результаті численних фізіологічних і клінічних досліджень школою Баєвського Р.М. [185] доведено можливість використання медико-біологічних параметрів серцево-судинної системи для аналізу адаптаційного потенціалу всього організму, тобто індикатора адаптаційних резервів, що можуть протидіяти факторам дестабілізації. Це пов'язано з особливістю серцево-судинної системи, яка щільно пов'язана з іншими підсистемами організму та слугує сполучною ланкою між усіма органами.

Перехід від стану здоров'я до стану порушення функціонального стану проходить через ряд послідовних стадій, протягом яких організм пристосовується до нових умов існування, змінюючи рівень функціонування та напруги регуляторних механізмів. Вони можуть характеризуватись як:

- нормальні адаптаційні реакції;
- напруга механізмів адаптації (короткочасна, або нестійка адаптація);
- перенапруга та розлад у роботі механізмів адаптації.

Найбільшого поширення набув спосіб визначення адаптаційного потенціалу за Р. М. Баєвським [187]. Перевагою даного методу є простота

використання та він може бути рекомендований для масових обстежень. За допомогою цього методу визначають адаптаційний потенціал системи кровообігу. Для його отримання реєструють такі показники:

- вік,
- масу тіла,
- зріст,
- частоту серцевих скорочень,
- артеріальний тиск [187].

В якості показника для оцінювання ризику порушення функціонального стану організму оператора був обраний адаптаційний показник (АП) за Баєвським Р.М [187]. Даний показник дозволяє оцінити адаптаційні можливості організму та визначити ризик розвитку професійних захворювань [227].

Постійний контроль та використання прогресивних методів та засобів для моніторингу та прогнозування стану організму операторів необхідний для безпеки виконання їх професійних завдань. Тому що специфіка роботи операторів авіаційної галузі передбачає знаходження в умовах дії факторів дестабілізації.

Для розрахунку адаптаційного потенціалу були оброблені статистичні данні медико-біологічних параметрів 12 операторів зібраної впродовж 6 місяців.

За запропонованим Баєвським Р.М. методом адаптаційний потенціал оператора може бути розрахований за наступною формулою:

$$AP = 0,011 * ЧСС + 0,014 * AT_c + 0,008 * AT_d + 0,009 * MT + 0,014 * B - 0,009 * DT - 0,27,$$

де ЧСС – частота серцевих скорочень, AT_c і AT_d - систолічний і діастолічний артеріальний тиск, MT – маса тіла в кілограмах, B – вік в роках; DT - довжина тіла в сантиметрах; 0,011; 0,014; 0,008; 0,009; 0,27 – коефіцієнти [187].

Адаптаційний показник було розраховано для 12 операторів при розрахунку були використані показники, що виміряні у стані спокою.

Розраховані дані були використані для подальшого аналізу з використанням статистики Хотеллінга. Розраховані значення адаптаційного потенціалу для 12 операторів наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Розраховані значення адаптаційного потенціалу

№ оператора	АП 1	АП 2	АП 3	АП 4	АП 5	АП 6
Оператор 1	2,6995	2,6995	2,6895	2,6995	2,6155	2,7440
Оператор 2	2,7440	2,7440	3,3016	2,7440	3,1936	3,1162
Оператор 3	2,3860	2,3860	2,4000	2,3860	2,438	2,439
Оператор 4	2,2576	2,2576	2,2736	2,2776	2,5436	2,2638
Оператор 5	2,7696	2,7696	2,6436	2,7696	2,7062	2,5756
Оператор 6	2,8368	2,8368	2,7378	2,8368	2,8498	2,5480
Оператор 7	2,4610	2,6850	2,6350	2,7410	2,5450	2,7770
Оператор 8	2,3600	2,0800	1,9240	2,0800	2,0880	2,2320
Оператор 9	2,6760	2,6760	2,3590	2,6760	2,4030	2,6640
Оператор 10	2,3048	2,3048	2,3598	2,3048	2,3598	2,5538
Оператор 11	3,2350	3,2350	3,1310	3,2350	3,1290	2,8020
Оператор 12	2,6605	2,6605	2,9435	2,6605	2,9595	2,9520

Ранжування за ступенем адаптаційних можливостей змінюється наступним чином: 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. [187].

Аналізуючи розрахований адаптаційний показник (АП) операторів, можна зробити висновок, що в усіх операторів спостерігається напруженість механізмів адаптації, яка з'являється через стресово-екстремальні умови виконання професійних обов'язків.

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 умов впливу факторів дестабілізації у

них відповідно було вище значення АП (оператори 2, 10, 11). Відповідно до значення АП можемо поділити операторів на групи, залежно від ймовірності виникнення негативної події таблиця 5.2 [145].

Таблиця 5.2

Результати розрахованих значень адаптаційного потенціалу

№ оператора	Межі АП	Ймовірність виникнення негативної події
8	< 2,1 у.о	10 %
1,2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11,12	від 2,11 у.о. до 3,2 у.о.	20 %
10	від 3,21 у.о. до 4,3 у.о.	70 %

Таким чином, було встановлено, що адаптаційні можливості організму адаптуються до факторів дестабілізації, зокрема іонізуючої радіації, шум двигунів, вібрації та інших. Але ресурси організму мають тенденцію до виснаження, тому у операторів присутній високий рівень напруженості механізмів адаптації.

5.2. Вдосконалений метод оцінювання адаптаційного потенціалу

В дисертаційній роботі було вдосконалено метод розрахунку адаптаційного потенціалу організму на основі методу Баєвського Р.М. [187].

Недоліком підходу, запропонованим Баєвським, є неврахування індивідуальних особливостей як до нейтралізації факторів дестабілізації так і до виснаження з огляду на біологічну унікальність та особливість кожного окремого індивідуума. А також індивідуальних особливостей організму та складного впливу однієї підсистем на іншу, що призводить до наявності кореляції між медико-біологічними параметрами різних підсистем організму. Тому для підвищення достовірності оцінювання адаптаційних можливостей організму оператора необхідно провести дослідження адаптаційного потенціалу

за допомогою карт Хотеллінга для чого для перевірки гіпотези про стабільність функціонального стану операторів в одновимірному випадку за вибіркою обсягом n за відомої дисперсії генеральної сукупності використано статистику:

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

При дослідженні багатовимірної випадкової величини [85]:

$$z^2 = n(\bar{x} - \mu_0)^2 (\sigma)^{-1}$$

яке в матричній формі можна представити наступним чином:

$$T_H^2 = n(\bar{X} - \mu_0)^T \Sigma^{-1} (\bar{X} - \mu_0)$$

Даний вираз є характеристикою Хотеллінга (T^2 – статистика Хотеллінга), що використовується при оцінюванні якості багатопараметричної системи у присутності кореляції її показників [42].

Були обраховані значення z^2 адаптаційного потенціалу операторів з використанням формули, що використовує показники частоти серцевих скорочень, даних тиску, ваги та віку операторів. Ступінь свободи для T^2 – статистики Хотеллінга для даного випадку дорівнює: $n - 1 = 5$.

Розраховані значення адаптаційного потенціалу за Хотеллінгом подані в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Результати розрахунків адаптаційного потенціалу з використанням T^2 – статистики

№ опера тора	АП 1	АП 2	АП 3	АП 4	АП 5	АП 6	\bar{x}_i	z^2
x_1	2,6995	2,6995	2,6895	2,6995	2,6155	2,744	2,691	0,009774
x_2	2,744	2,744	3,3016	2,744	3,1936	3,1162	2,974	1,226133
x_3	2,386	2,386	2,4	2,386	2,438	2,439	2,4	0,091197
x_4	2,2576	2,2576	2,2736	2,2776	2,5436	2,2638	2,31	0,158017

x_5	2,7696	2,7696	2,6436	2,7696	2,7062	2,5756	2,7	0,301418
x_6	2,8368	2,8368	2,7378	2,8368	2,8498	2,548	2,77	0,197924
x_7	2,461	2,685	2,635	2,741	2,545	2,777	2,64	0,098215
x_8	2,36	2,08	1,924	2,08	2,088	2,232	2,13	0,089633
x_9	2,3048	2,3048	2,3598	2,3048	2,3598	2,5538	2,36	0,222569
x_{10}	3,235	3,235	3,131	3,235	2,929	2,802	3,095	0,635828
x_{11}	2,6605	2,6605	2,9435	2,6605	2,9595	2,952	2,806	0,796991

Необхідно перевірити гіпотезу H_0 про стабільність адаптаційних можливостей операторів. Для даного випадку $z^2 = T^2$, розрахункові значення якого порівнюють з табличним квантилем $\chi^2_{0,99,5}$. Якщо значення T^2 перевищує значення $\chi^2_{0,99,5}$ як контрольної границі, то можна зробити висновок про порушення адаптаційних можливостей оператора. Результати порівняльного аналізу подані в графічному вигляді на рис.5.1 [85].

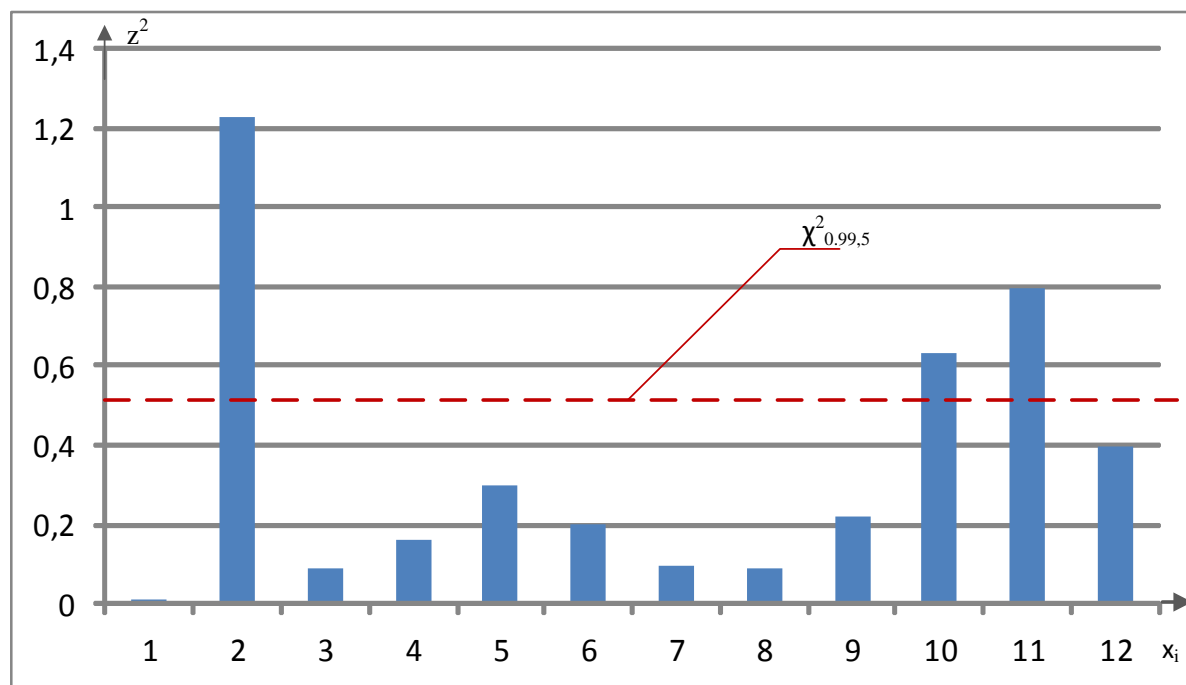


Рисунок 5.1 – Порівняння розрахункових значень T^2 – статистики з критичним значенням

Червоною лінією визначене критичне значення $\chi_{0.99,5}^2$ [68]. Всі значення z^2 , що вище червоної лінії свідчать про порушення адаптаційних можливостей до дії факторів дестабілізації. Дані порушення можуть свідчити про недостатню кількість резервних можливостей організму, що може вплинути на ефективність виконання професійних обов'язків та прийняття адекватних рішень при виникненні нестандартної ситуації. А також потребує додаткової уваги при проведенні процедур відновлення. Так, згідно з результатами розрахунків, порушення адаптаційних можливостей було визначено у трьох операторів, в той час як ранжування за Баєвським визначило незадовільну адаптацію тільки у одного оператора.

Так, використання T^2 - статистики Хотеллінга надало більш достовірні результати порівняно з класичним методом розрахунку адаптаційного потенціалу за Баєвським для даної групи досліджуваних операторів на 16,67%.

Таким чином, використання T^2 - статистики Хотеллінга для завдань оцінювання таких складних систем як організм людини дає більш достовірні результати порівняно з існуючими методами [85].

Але кількість адаптаційного потенціалу має прямий зв'язок з впливом факторів дестабілізації, як зазначалось в 3 розділі. Відповідно до цього не можливим є визначення адаптаційного потенціалу без урахуванням факторів, що можуть призвести до несприятливої події в екстремальній ситуації. До загальних факторів дестабілізації при виконання професійних обов'язків можна віднести наступні:

1. Фактор постійного включення в підвищену небезпеку.

Від даного чинника в великій мірі залежить характер екстремальної ситуації. Істотність впливу даного чинника проявляється і в тому, що він впливає в сукупності з іншими факторами, посилюючи або послаблюючи їх вплив [196].

2. Фактор раптовості.

Непрогнозований зміна обстановки при виникненні екстремальної ситуації вимагає коригування плану дій всього екіпажу повітряного судна. При

цьому заздалегідь вироблені моделі і алгоритми діяльності членів екіпажу в реальних умовах коригуються під впливом змін ситуації, які виявилися неврахованими. Чим більше величина відмінності реального зміни обстановки від очікуваного, тим сильніше виявляється дія чинника раптовості. При цьому командир повітряного судна часто змушений відмовитися від запланованого алгоритму організації діяльності екіпажу і з безлічі варіантів повинен вибрати новий, найбільш оптимальний. Нездатність командира повітряного судна багатоваріантно реагувати на фактор раптовості може поставити під загрозу не тільки досягнення мети діяльності, а й безпеку екіпажу [18].

3. Фактор невизначеності.

Найбільш напруженими в діяльності пілотів є умови невизначеності. Розрізняють такі види невизначеності: тимчасова, інформаційна та процесуальна (алгоритмічна).

- тимчасова невизначеність обумовлена тим, що неможливо з точністю до 100% передбачити значення того чи іншого фактора в майбутньому;

- інформаційна невизначеність обумовлена нестачею інформації для вирішення тих чи інших завдань;

- процесуальна (алгоритмічна) невизначеність обумовлена невідповідністю дій суб'єкта і об'єкта відносин в процесі безпосередньої взаємодії [83].

Ситуацію, що включає невизначеність, і отже, вимагає прийняття рішення, називають проблемною.

Процес прийняття рішення включає: виявлення проблемної ситуації; уявне висунення різних варіантів рішення (гіпотез); оцінку (контроль) висунутих варіантів; вибір варіанта рішення, який повинен забезпечити досягнення необхідного результату [221].

Залежно від співвідношення процесів висунання гіпотез і їх контролю можна виділити п'ять типів прийняття рішення в ситуації невизначеності:

- 1) імпульсивне рішення (висунута гіпотеза без контролю);
- 2) рішення з ризиком (висунута гіпотеза контролюється лише частково);

3) врівноважене рішення (процеси висунення гіпотез і їх контроль збалансовані);

4) обережне рішення (контроль як би починає пригнічувати висунення гіпотез);

5) інертне рішення (процеси контролю пригнічують процеси висунення гіпотез, а останні протікають повільно і невпевнено) [83].

Крайні типи рішення (імпульсивні і інертні) часто виявляються досить неефективними. Аналіз діяльності екіпажів в складних ситуаціях під час польоту показує, що найбільш ефективними є рішення, що поєднують ризик з обачністю (так звана «обережна сміливість»).

4. Фактор новизни (нестандартності) ситуації. Новий алгоритм, невідомі раніше умови діяльності або їх досить істотні зміни можуть кардинально змінити характер і ефективність діяльності командира повітряного судна. Новизна і нестандартність, що вносяться до діяльності командира повітряного судна, знижують її ефективність при невідповідності здібностей командира вимогам неординарної ситуації. При цьому, в основному, позначається його невідповідність до творчої ініціативної різноманітної діяльності [55].

5. Фактор екстремальності ситуації.

Виявляється через екстремальні характеристики ситуації. Крім того, його дія може істотно посилюватися ступенем невідповідності сформованих професійно важливих якостей командира повітряного судна вимогам, що пред'являються екстремальними характеристиками ситуації. У більшості екстремальних ситуацій неможливо забезпечити успішний вихід з неї тільки за рахунок збільшення темпу дій. У таких випадках часто необхідна зміна самої структури діяльності. При цьому важливо прийняти рішення на використання неординарних, але єдино вірних в даній ситуації дій [55].

6. Фактор дефіциту часу.

Умови дефіциту часу можуть надавати як дезорганізують, так і оптимізує вплив, пов'язане з перебудовою змісту діяльності. Формування загальної

здібності успішно діяти в ситуації дефіциту часу передбачає спеціальне включення цього показника в навчання [83].

Таким чином, фахівець може бути прекрасно підготовлений в професійному відношенні, але в екстремальних умовах діяльності в залежності від типу реакції виглядає абсолютно безпорадним через відсутність у нього необхідних характеристик по відношенню до різного роду стрес-факторів. У цих умовах людина може або не діяти, або пропускати сигнали інформації, або приймати неправильні рішення і неадекватно програмі реалізовувати їх [18].

Стійкість інтелектуальної працездатності, рухових навичок, евристичних компонентів професіонала залежить від наявності сформованих соціальних механізмів стійкості до екстремальних факторів [180]. При виникненні екстремальної ситуації на екіпаж повітряного судна починає впливати цілий комплекс соціальних факторів, серед основних можна позначити як: відсутність належної взаємодії в екіпажі (немає чіткої ієрархії підпорядкування), в результаті чого втрачається злагодженість і узгодженість дій, що вживаються для виходу з екстремальної ситуації; безпосередньо особистісні особливості членів екіпажу, які формуються під впливом соціальних факторів; міжособистісні відносини в колективі [227]. Вплив перелічених факторів порушує стабільність функціонування організму оператора. Підтримання сталості функціонального стану підтримується за рахунок адаптаційного потенціалу. Але з огляду на динамічні процеси впливу факторів дестабілізації та реакції організму необхідна розробка математичних моделей, що враховують можливості організму протидіяти факторам впливу, що буде розглянуте у шостому розділі.

На основі проведених досліджень було розроблено методику, щодо визначення адаптаційного потенціалу для профорієнтаційного відбору та прийняття рішення щодо допуску до виконання професійних обов'язків:

1. Провести вимірювання вхідних параметрів:
2. Провести оцінювання вхідних параметрів

3. Провести збір в єдину базу данні та здійснити оброблення отриманих даних.
4. Побудувати матрицю, даними якої будуть різниця значення вимірюючого показника від його середнього значення, $x_i - \bar{x}$.
5. Розрахувати значення матриці та визначити її обернену форму.
6. Розрахувати $T_{кр}^2$ для даного випадку, використовуючи табличні значення (на основі рівня значущості).
7. Використовуючи обернену матрицю розрахувати критерій T_H^2 для кожного показника функціональності системи.
8. Провести порівняння T_H^2 з $T_{кр}^2$.
9. Якщо $T_H^2 > T_{кр}^2$, показники знаходять с нормі. Можна зробити висновок, що фактори дестабілізації не порушують сталість функціонального стану організму, а існуючі коливання є індивідуальною нормою для даного оператора.
10. Якщо $T_H^2 < T_{кр}^2$, необхідно провести додаткові розрахунки T-критерію окремо для кожного фактору.
11. Порівняти $T_{кр}^2$ з отриманими вирахованими значеннями T-критерія для кожної з багатовимірної досліджуваної системи.
12. Той показник, який матиме значення більше ніж $T_{кр}^2$, це свідчить про незадовільну адаптацію до впливу факторів дестабілізації в даний період для даного оператора.

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

Прогнозування процесів, що відбуваються в серцево-судинній системі організму оператора характеризує адаптаційні можливості всього організму та за рахунок розрахунку адаптаційного потенціалу може бути використаний як

критерій рівня втоми та стабільності функціонального стану оператора. Як зазначалості в розділі 2 використання біомедичних показників у вигляді часових рядів дозволяє визначити характер досліджуваних процесів [105]. Серед різних моделей часових рядів широкого застосування, набуло використання авторегресійної моделі $AR(p)$ порядку p , в якій поточне значення часового ряду лінійно залежить від p попередніх значень цього ж ряду [105].

Авторегресійна модель процесу $\mathbf{X} = \{X_n\}$, $n = \overline{1, N}$ де N – кількість відліків, якими представлено процес), з математичним сподіванням $m_X = 0$ може бути представлена таким чином [105]:

$$X_t - \gamma_1 X_{t-1} - \dots - \gamma_p X_{t-p} = \xi_t, \quad (5.1)$$

де X_t – часовий ряд \mathbf{x} , який у $AR(p)$ моделі залежить від p попередніх значень цього ж процесу; $\boldsymbol{\gamma} = \{\gamma_i\}$, $i = \overline{1, p}$, – вектор коефіцієнтів $AR(p)$ моделі, $\{\xi_t\} \square N(0, \sigma_\xi^2)$ – дельта-корельований дискретний випадковий процес.

Прикладне застосування моделі (5.1) в контексті прогнозування біомедичних процесів полягає у представленні прогнозованих значень процесу X_t на основі його p попередніх значень:

$$X_t = \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} + \xi_t. \quad (5.2)$$

При цьому ξ_t розглядається як невизначеність прогнозування тому необхідна її мінімізація шляхом визначення значень $\boldsymbol{\gamma}$ для спостережуваного процесу \mathbf{x} . В якості критерію її мінімізації обираємо σ_ξ^2 , тоді оптимальними коефіцієнтами $AR(p)$ моделі є $\boldsymbol{\gamma} = \arg \min_{\boldsymbol{\gamma}} [\sigma_\xi^2(\boldsymbol{\gamma} | \mathbf{X})]$. Данні коефіцієнти визначаються за допомогою рівнянь Yule-Walker [105].

Особливістю використання $AR(p)$ моделі для прогнозування біомедичних процесів є, як зазначалось в розділі 2, наявність неоднорідностей, відхилень та аномалій, внаслідок чого, зокрема, порушується умова їхньої стаціонарності.

Наявність відхилень (відповідних аномальних значень відліків, які спостерігаються у процесі \mathbf{x} , що може бути як реакція на дію факторів дестабілізації) може призводити до збільшення невизначеності прогнозування. Це пов'язано з тим, що при використанні рівнянь Yule-Walker на етапі навчання моделі (визначення γ при спостережуваному \mathbf{x}) виникають відхилення від γ .

В той час як на етапі прогнозування (визначення X_t з використанням γ) збільшується σ_ξ^2 як через вплив окремих значень X_{t-i} у складі (5.2), які можна вважати аномаліями чи відхиленнями, так і через вплив відхилень від γ , які є оптимальними для процесу \mathbf{x} в цілому (без аномалій чи відхилень). Вплив аномальних значень відліків на точність прогнозування супроводжується наступною тенденцією: одне аномальне значення $X_n = X_{t-1}$ призводить до збільшення похибок у підмножині прогнозованих значень $\{X_t, \dots, X_{t+p-1}\}$, які охоплює $AR(p)$ модель в рамках дії її порядку p .

На практиці виникає складність виявлення відхилень у процесі \mathbf{x} , оскільки для цього можуть використовуватися різні критерії, а відповідно і різні методи. Але при оцінюванні функціонального стану оператора аномальні значення з процесу \mathbf{x} як мають суттєву інформаційну складову, що може надати додаткову прогностичну інформацію як на етапі навчання моделі, так і на етапі прогнозування, оскільки відхилення можуть містити в своєму складі, особливо для біомедичних процесів, також корисну інформацію щодо перебігу процесу \mathbf{x} . Одним з підходів до розв'язання задачі підвищення точності прогнозування біомедичних процесів в умовах збереження в них можливих аномалій чи відхилень є використання різних метрик як при аналізі значень цих процесів, так і при аналізі похибки прогнозування, що обмежує вплив аномалій чи відхилень [105]. Для підвищення точності прогнозування запропоновано

використання функції Geman-McClure [105] та модифікація $AR(p)$ моделі шляхом подання похибки прогнозування в метриці на основі функції Geman-McClure [174]. Характерною рисою даної метрики є той факт, що в області малих значень вона наближується до Евклідової метрики L_2 , а в області великих значень – характеризується обмеженням зверху, що і визначає можливість її прикладного використання [105].

Якщо похибку прогнозування ξ_t в $AR(p)$ моделі (5.2) дорівнює:

$$\xi_t = X_t - \hat{X}_t, \text{ де } \hat{X}_t = \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i}.$$

Квадрат відстані між $\mathbf{X} = \{X_t\}$ та $\mathbf{X} = \{\hat{X}_t\}$, $t = \overline{(p+1), N}$, в метриці L_2 :

$$\|\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}}\|_2^2 = \sum_{t=p+1}^N \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)^2.$$

При цьому $\sigma_\xi^2 = \frac{1}{N-p} \|\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}}\|_2^2$, $\sigma_\xi^2 \propto \|\mathbf{X} - \hat{\mathbf{X}}\|_2^2$.

Тоді задача визначення коефіцієнтів $AR(p)$ в метриці L_2 , які мінімізують σ_ξ^2

:

$$\gamma_2 = \arg \min_{\gamma} [\sigma_\xi^2(\gamma | \mathbf{X})] = \arg \min_{\gamma} \|\mathbf{X} - \mathbf{X}(\gamma | \mathbf{X})\|_2^2. \quad (5.3)$$

Тоді, її розв'язком (5.3) буде наступний вираз:

$$\frac{\partial \left(\|\mathbf{X} - \mathbf{X}(\gamma | \mathbf{X})\|_2^2 \right)}{\partial \gamma_k} = -2 \sum_{t=p+1}^N X_{t-k} \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right) = 0, \quad k = \overline{1, p},$$

який можна звести до наступної системи рівнянь

$$\sum_{t=p+1}^N X_{t-k} \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right) = 0, \quad k = \overline{1, p}. \quad (5.4)$$

З системи (5.4) отримуємо систему p ($k = \overline{1, p}$) лінійних алгебраїчних рівнянь відносно γ :

$$\sum_{t=p+1}^N X_t X_{t-k} = \gamma_1 \sum_{t=p+1}^N X_{t-1} X_{t-k} + \gamma_2 \sum_{t=p+1}^N X_{t-2} X_{t-k} + \dots + \gamma_{p-1} \sum_{t=p+1}^N X_{t-p+1} X_{t-k} + \gamma_p \sum_{t=p+1}^N X_{t-p} X_{t-k}. \quad (5.5)$$

При поділі лівої та правої частини (5.5) на $(N-p)\sigma_x^2$, де σ_x^2 – дисперсія процесу \mathbf{x} , можна отримати систему:

$$\hat{r}(k) = \gamma_1 \hat{r}(k-1) + \gamma_2 \hat{r}(k-2) + \dots + \gamma_{p-1} \hat{r}(k-p+1) + \gamma_p \hat{r}(k-p), \quad k = \overline{1, p}, \quad (5.6)$$

де $\hat{r}(\tau) = \hat{r}(-\tau) = \frac{\sum_{t=p+1}^N X_{t-u} X_{t-u-\tau}}{(N-p)\sigma_x^2}$, $\tau = \overline{0, p}$, $\mathbf{u} \in \square_0$, – оцінки значень нормованої

кореляційної функції процесу \mathbf{x} (з урахуванням умов його стаціонарності та центрованості); при цьому також можна вважати $\hat{r}(0) = 1$.

Система (6) є своєрідною системою рівнянь Yule-Walker [174], отримання якої було реалізовано шляхом мінімізації похибки прогнозування $AR(p)$ моделі при її поданні в метриці L_2 . З урахуванням $\hat{r}(-\tau) = \hat{r}(\tau)$ система (5.6) та її розв'язок, який також є розв'язком (5.3), набуває вигляду [123]:

$$\mathbf{R}\boldsymbol{\gamma} = \hat{\mathbf{r}}, \quad \boldsymbol{\gamma}_2 = \boldsymbol{\gamma} = \mathbf{R}^{-1} \hat{\mathbf{r}}, \quad (5.7)$$

$$\text{де } \mathbf{R} = \begin{pmatrix} 1 & \hat{r}(1) & \hat{r}(2) & \dots & \hat{r}(p-1) \\ \hat{r}(1) & 1 & \hat{r}(1) & \dots & \hat{r}(p-2) \\ \hat{r}(2) & \hat{r}(1) & 1 & \dots & \hat{r}(p-3) \\ & & & \dots & \\ \hat{r}(p-1) & \hat{r}(p-2) & \hat{r}(p-3) & \dots & 1 \end{pmatrix}, \quad \hat{\mathbf{r}} = \begin{pmatrix} \hat{r}(1) \\ \hat{r}(2) \\ \hat{r}(3) \\ \dots \\ \hat{r}(p) \end{pmatrix}, \quad \boldsymbol{\gamma} = \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \gamma_3 \\ \dots \\ \gamma_p \end{pmatrix}.$$

Наявність в процесі \mathbf{x} неоднорідностей чи відхилень, що можуть проявлятися великими абсолютними значеннями, може призводити до того, що при мінімізації похибки прогнозування $AR(p)$ моделі в метриці L_2 (тобто при визначенні коефіцієнтів $AR(p)$ моделі з використанням класичних рівнянь Yule-Walker) ці аномалії чи відхилення суттєвим чином (залежно від квадрату їхніх значень) визначатимуть коефіцієнти $AR(p)$ моделі у порівнянні з іншими значеннями процесу \mathbf{x} , але при цьому на фоні неоднорідностей, аномалій чи відхилень у складі $\|\mathbf{X} - \mathbf{X}\|_2^2$ корисна статистична інформація про перебіг біомедичного процесу \mathbf{x} , яка міститься у його значеннях та є важливою для

його подальшого коректного прогнозування, починає ставати несуттєвою на фоні великих абсолютних значень неоднорідностей, аномалій чи відхилень.

Для зменшення впливу відхилень, що проявляються великими абсолютними значеннями процесу \mathbf{X} , необхідно визначити похибки прогнозування $AR(p)$ моделі в інших метриках, відмінних від L_2 , яка використовує функцію $\phi_2(\xi) = \xi^2$. Поширеними метриками, які також використовуються при статистичному аналізі та обробленні сигналів і даних ϵ , наприклад, наступні [105].

Мангеттенська метрика L_1 використовує функцію $\phi_1(\xi) = |\xi|$, де відстань між $\mathbf{X} = \{X_t\}$ та $\mathbf{X} = \{X_t\}$, $t = \overline{(p+1), N}$:

$$\|\mathbf{X} - \mathbf{X}\|_1 = \sum_{t=p+1}^N \left| X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right|;$$

Метрика функції $\phi_{21}(\xi) = \sqrt{s^2 + \xi^2} - s$, для якої відстань між $\mathbf{X} = \{X_t\}$ та $\mathbf{X} = \{X_t\}$, $t = \overline{(p+1), N}$:

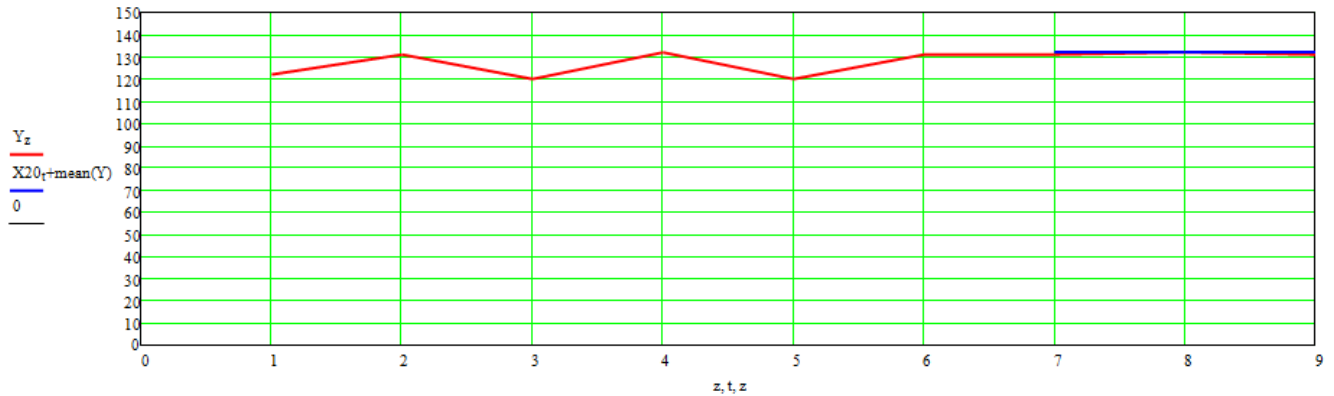
$$\|\mathbf{X} - \mathbf{X}\|_{21} = \sum_{t=p+1}^N \left[\sqrt{s^2 + \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)^2} - s \right] = -s(N-p) + \sum_{t=p+1}^N \sqrt{s^2 + \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)^2};$$

Метрика функції Geman-McClure [105] $\phi_{20}(\xi) = \xi^2 / (s^2 + \xi^2)$, для якої нормована відстань між $\mathbf{X} = \{X_t\}$ та $\mathbf{X} = \{X_t\}$, $t = \overline{(p+1), N}$ [111]:

$$\|\mathbf{X} - \mathbf{X}\|_{20} = \sum_{t=p+1}^N \frac{\left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)^2}{s^2 + \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)^2}. \quad (5.8)$$

Особливістю функції Geman-McClure $\phi_{20}(\xi)$ є те, що серед розглянутих функцій $\phi(\xi)$ лише вона має обмежену зверху область допустимих значень

$\phi_{20}(\xi) \in [0;1]$, що обмежує вплив неоднорідностей, аномалій чи відхилень, пов'язаних з великими абсолютними значеннями ξ [105] рис.5.2.



. Рисунок 5.2 – Результати використання функції Geman-McClure для прогнозування динаміки медико-біологічних параметрів

При цьому в області малих значень ξ функція Geman-McClure є близькою до квадратичної функції та використовується в метриці L_2 , в якій отримано класичні рівняння Yule-Walker для визначення оптимальних коефіцієнтів $AR(p)$ моделі γ у випадку стаціонарного центрованого процесу \mathbf{X} .

Якщо визначити оптимальні коефіцієнти $AR(p)$ моделі, що мінімізують нормовану відстань (5.8) між $\mathbf{X} = \{X_t\}$ та $\mathbf{X} = \{X_t\}$, $t = \overline{(p+1), N}$, в метриці Geman-McClure, тобто

$$\gamma_{20} = \arg \min_{\gamma} \left\| \mathbf{X} - \mathbf{X}(\gamma | \mathbf{X}) \right\|_{20}. \quad (5.9)$$

Тоді розв'язання задачі (5.9) має наступний вигляд:

$$\frac{\partial \left(\left\| \mathbf{X} - \mathbf{X}(\gamma | \mathbf{X}) \right\|_{20} \right)}{\partial \gamma_k} = -2s^2 \sum_{t=p+1}^N \frac{X_{t-k} \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)}{\left[s^2 + \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)^2 \right]^2} = 0, \quad k = \overline{1, p},$$

при $s \neq 0$ зводиться до системи p ($k = \overline{1, p}$) нелінійних рівнянь відносно γ :

$$\sum_{t=p+1}^N \frac{X_{t-k} \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)}{\left[s^2 + \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)^2 \right]^2} = 0, \quad k = \overline{1, p}. \quad (5.10)$$

При виконанні умови $s^2 + \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)^2 = 1, \quad t = \overline{(p+1), N}$, система (5.10)

переходить у систему (5.4), яку було отримано при поданні та аналізі похибки прогнозування AR(p) моделі в метриці L_2 , з подальшим отриманням класичних рівнянь Yule-Walker та їхнього розв'язку (5.6) та (5.7). Таким чином, подання та аналіз похибки прогнозування AR(p) моделі в метриці L_2 можна вважати частинним випадком її подання та аналізу в метриці Geman-McClure [105].

Для розв'язання системи нелінійних рівнянь (5.10) використаний метод що є ітераційною процедурою, на кожній ітерації якої уточнюються наближені значення коренів системи шляхом розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь, отриманих шляхом лінеаризації системи нелінійних рівнянь, яка потребує розв'язку [105].

Розв'язанням системи (5.10) при використанні даного методу дозволяє отримати наступний вигляд:

$$\gamma^{(q)} = \gamma^{(q-1)} - \mathbf{F}'(\gamma^{(q-1)})^{-1} \mathbf{f}(\gamma^{(q-1)}), \quad (5.11)$$

де $\gamma^{(q)} = (\gamma_1^{(q)} \quad \gamma_2^{(q)} \quad \dots \quad \gamma_p^{(q)})^T$ – наближення розв'язку системи (5.10) на q -й

ітерації, $q \in \mathbb{N}$;

$\mathbf{f}(\gamma^{(q-1)}) = (f_1(\gamma^{(q-1)}) \quad f_2(\gamma^{(q-1)}) \quad \dots \quad f_p(\gamma^{(q-1)}))^T$ – матриця-стовпець значень

функцій

$$f_k(\gamma) = \sum_{t=p+1}^N \frac{X_{t-k} \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)}{\left[s^2 + \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)^2 \right]^2}, \quad k = \overline{1, p},$$

з яких утворена система (5.10), при $(q-1)$ -му наближенні її розв'язку

$$\boldsymbol{\gamma} = \boldsymbol{\gamma}^{(q-1)} = \left(\gamma_1^{(q-1)} \quad \gamma_2^{(q-1)} \quad \dots \quad \gamma_p^{(q-1)} \right)^T;$$

$\mathbf{F}'(\boldsymbol{\gamma}^{(q-1)})$ – матриця що є матрицею

$$\mathbf{F}'(\boldsymbol{\gamma}) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1(\boldsymbol{\gamma})}{\partial \gamma_1} & \frac{\partial f_1(\boldsymbol{\gamma})}{\partial \gamma_2} & \dots & \frac{\partial f_1(\boldsymbol{\gamma})}{\partial \gamma_p} \\ \frac{\partial f_2(\boldsymbol{\gamma})}{\partial \gamma_1} & \frac{\partial f_2(\boldsymbol{\gamma})}{\partial \gamma_2} & \dots & \frac{\partial f_2(\boldsymbol{\gamma})}{\partial \gamma_p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_p(\boldsymbol{\gamma})}{\partial \gamma_1} & \frac{\partial f_p(\boldsymbol{\gamma})}{\partial \gamma_2} & \dots & \frac{\partial f_p(\boldsymbol{\gamma})}{\partial \gamma_p} \end{pmatrix},$$

$$\frac{\partial f_k(\boldsymbol{\gamma})}{\partial \gamma_m} = \sum_{t=p+1}^N \frac{X_{t-k} X_{t-m} \left[3 \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)^2 - s^2 \right]}{\left[s^2 + \left(X_t - \sum_{i=1}^p \gamma_i X_{t-i} \right)^2 \right]^3}, \quad k = \overline{1, p}, \quad m = \overline{1, p},$$

при $(q-1)$ -му наближенні розв'язку системи (5.10) $\boldsymbol{\gamma} = \boldsymbol{\gamma}^{(q-1)} = \left(\gamma_1^{(q-1)} \quad \gamma_2^{(q-1)} \quad \dots \quad \gamma_p^{(q-1)} \right)^T$ [237].

Початкове наближення розв'язку системи (5.10) на ітерації $q=1$ доцільно обрати таким, що $\boldsymbol{\gamma}^{(0)} = \boldsymbol{\gamma}_2$, тобто спочатку слід знайти коефіцієнти AR(p) моделі в метриці L_2 з використанням класичних рівнянь Yule-Walker та їхнього розв'язку (5.6) та (5.7). У цьому контексті можна вважати, що AR(p) модель в метриці L_2 уточнюється в метриці Geman-McClure [105].

Розв'язком системи (5.10), тобто оптимальними коефіцієнтами AR(p) моделі в метриці Geman-McClure, є

$$\boldsymbol{\gamma}_{20} = \arg \min_{\boldsymbol{\gamma}} \left\| \mathbf{X} - \mathbf{X}(\boldsymbol{\gamma} | \mathbf{X}) \right\|_{20} \approx \boldsymbol{\gamma}^{(q)} \quad \text{при} \quad \left| \gamma_i^{(q)} - \gamma_i^{(q-1)} \right| < \varepsilon \quad \text{для всіх} \quad i = \overline{1, p}, \quad (5.12)$$

причому ε – мала додатна величина, при якій точність наближень розв'язку системи (5.10) можна вважати достатньою [237].

Значення ε у (5.12) визначає умову зупинки ітераційної процедури. Також використовується критерій зупинки ітераційної процедури, що полягає у необхідності виконання q -ї ітерації лише в тому випадку, коли $\sum_{k=1}^p f_k^2(\gamma^{(q-1)}) \geq \Delta$, де Δ – мала додатна величина, при якій точність наближень розв’язку системи (5.10) можна вважати достатньою в контексті $f_k(\gamma^{(q-1)}) \approx 0$, $k = \overline{1, p}$. В цьому випадку при достатньо точному початковому наближенні $\gamma^{(0)}$ ітераційна процедура не проводиться, а $\gamma_{20} \approx \gamma^{(0)}$.

Таким чином, модифікація $AR(p)$ моделі полягає у визначенні її оптимальних коефіцієнтів при поданні похибки прогнозування в метриці на основі Geman-McClure. За аналогією з системою рівнянь (5.4) для $AR(p)$ моделі в метриці L_2 , з якої можна отримати класичні рівняння Yule-Walker, систему нелінійних рівнянь (5.10) можна вважати системою рівнянь Yule-Walker в узагальненому вигляді в метриці Geman-McClure.

Для моделювання було використано модель біомедичного процесу X що в загальному вигляді містить стаціонарний центрований випадковий процес з різним ступенем корельованості, що відображає динаміку змін його значень у часі (часовий ряд) з наявністю неоднорідностей та відхилень пов’язаних з дією зовнішніх факторів дестабілізації.

Моделювання складової, що є стаціонарним центрованим випадковим процесом з різним ступенем корельованості, було проведено в два етапи. Перший полягає в формуванні дельта-корельованого дискретного випадкового процесу на основі рівномірно розподілених псевдовипадкових чисел w_n , отриманих з використанням мультиплікативного конгруентного методу [114]:

$$w_n = (aw_{n-1} + c) \bmod m, \quad n = 2, 3, \dots, \quad (5.13)$$

де $w_1 = 115249$, $a = 37633$, $c = 3889$, $m = 27644437$ – прості числа.

Другий етап - період повторення T псевдовипадкових чисел $w_{n+uT} = w_n$, $u \in \mathbb{N}$ що отримані з використанням (5.13) при зазначених параметрах w_1 , a , c та m ,

що дозволяє на їх основі моделювати біомедичні процеси $\mathbf{X} = \{X_n\}$, $n = \overline{1, N}$, представлені $N < T$ відліками. При моделюванні процесів було змодельовано $N = 10000$ відліків для кожної реалізації процесу \mathbf{x} .

З використанням w_n отримано модель центрованого дельта-корельованого дискретного випадкового процесу, представленого відліками y_n , $-0,5 \leq y_n \leq 0,5$, шляхом перетворення $y_n = \frac{w_n}{m} - 0,5$, $n = 1, 2, \dots$

Використання моделі стаціонарного центрованого випадкового процесу з різним ступенем корельованості (корельованого процесу) з нормованою кореляційною функцією виду $r(\tau) = \exp(-\alpha|\tau|)$, де $\tau = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ – зсув між оригіналом процесу та його копією, дозволяє отримати модель корельованого процесу у кількості відліків. Таку модель представлено відліками x_n , можна отримати з використанням y_n та методу рекурсивної фільтрації []:

$$x_n = a_0 y_n + b_1 x_{n-1}, \quad n = 2, 3, \dots,$$

де $x_1 = y_1$, $a_0 = \sqrt{1 - \exp(-2\alpha)}$, $b_1 = \exp(-\alpha)$.

Моделювання процесу $\mathbf{X} = \{X_n\}$, $n = \overline{1, N}$, з урахуванням неоднорідностей можна реалізувати з використанням мультиплікативної складової μ_n шляхом перетворення $X_n = \mu_n x_n$, де

$$\mu_n = \begin{cases} 1, & |y_n| \leq \frac{1-P}{2}; \\ \beta, & |y_n| > \frac{1-P}{2}. \end{cases} \quad (5.14)$$

У виразі (5.14), з урахуванням рівномірного розподілу значень y_n , $-0,5 \leq y_n \leq 0,5$, P – ймовірність виникнення у поточному відліку неоднорідностей, аномалії чи відхилення, що може проявлятися великим абсолютним значенням. В свою чергу, коефіцієнт що характеризує ступінь аномалії чи відхилення $\beta > 1$.

Для порівняльного аналізу $AR(p)$ моделі в метриці Geman-McClure з класичною $AR(p)$ моделлю в метриці L_2 використаємо показник підвищення точності прогнозування K , який показує у скільки разів значення σ_{ξ}^2 в метриці Geman-McClure менше значення σ_{ξ}^2 в метриці L_2 . При цьому в метриці L_2 коефіцієнти $AR(p)$ моделі знаходитимемо з використанням рівнянь Yule-Walker (5.7), а в метриці Geman-McClure – на основі рівнянь (5.10) з використанням ітераційної процедури (5.11) за умови використання критерію зупинки ітераційної процедури $\sum_{k=1}^p f_k^2(\gamma^{(q-1)}) < \Delta$ при $\Delta = 10^{-9}$.

Отримані значення K при використанні $AR(p)$ моделі для змодельованого процесу x з різним ступенем корельованості та аномаліями чи відхиленнями показано для різних значень параметра адаптаційного потенціалу та частоти серцевих скорочень для різних груп операторів подана в Додатку Ж.

Таким чином, запропонована модифікація $AR(p)$ моделі полягає у визначенні її оптимальних коефіцієнтів при поданні похибки прогнозування в метриці на основі Geman-McClure. За аналогією з системою рівнянь (5.4) для $AR(p)$ моделі в метриці L_2 , з якої можна отримати класичні рівняння Юла-Уокера, систему нелінійних рівнянь (5.10) можна вважати системою рівнянь Yule-Walker в узагальненому вигляді в метриці 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 Ж. 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.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

5.1. Проведений аналіз факторів дестабілізації, що впливають на операторів авіаційної галузі при виконанні професійних обов'язків. Даний аналіз довів необхідність розробки методу для оцінювання адаптаційних можливостей організму.

5.2. Розроблений 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, для розглянутої групи досліджуваних, зменшити невизначеність розрахунку на 16,67%.

5.3. Розроблена авторегресійна 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.

5.4. Запропонована модифікація AR(p) моделі прогнозування динаміки медико-біологічних параметрів з визначенням його оптимальних коефіцієнтів при поданні похибки прогнозування в метриці на основі функції Geman-McClure.

Список публікацій здобувача за матеріалами п'ятого розділу

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

5.2. Іванець О.Б., Морозова.І.В., Назарчук М.В, Миколушко А.В, Іваницькій Є. Approach in the Analysis of Complex Objects. Метрологія та метрологічне

забезпечення: зб. доп. 29 нац. наук. симпоз. 6-10 вер. 2019 р. Созополь (Болгарія). СОФТРЕЙД, 2019.

5.3. Іванець О.Б., Гнатюк Г.В., Архирей М.В. Метод оцінювання адаптаційних можливостей антарктичних зимівників. Вісник інженерної академії України. 2018. №1 С. 135-139.

5.4. Голубничий, О., Заліський, М., Щербина, О., & Іванець, О. (2023). Подання похибки AR моделі через функцію Джимана-МакКлура при прогнозуванні процесів у телекомунікаціях. Вісті вищих учбових закладів. Радіоелектроніка. <https://doi.org/10.20535/S0021347022090023>. Q3 (третій квантіль, що дорівнює 2 публікаціям).

5.5. 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.

5.6. Volodarsky, E., Ivanets, O., Kosheva, L.O., Features of assessing the condition of complex objects. 2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA), 2021, pp. 1-5 doi.org/10.1109/MMA52675.2021.9610867 (*Scopus*).

РОЗДІЛ 6.

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕДУРИ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ
ПОРУШЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ З
ВИКОРИСТАННЯМ ЕМПІРИЧНОГО ТА ТЕОРЕТИЧНОГО ПІДХОДІВ**

Сорокова сесія технічної комісії Асамблеї ІСАО наголошує на необхідність врахування особливого взаємозв'язку між людським та організаційними факторами з системою управління безпекою польотів, що вимагає системного підходу до визначення можливих факторів ризику для безпеки польотів. В рамках про-активного підходу до управління безпекою польотів безпекою вважається , стан, при якому ризики, пов'язані з авіаційною діяльністю, що стосуються експлуатації повітряних суден або безпосередньо забезпечує таку експлуатацію, знижено до прийняттого рівня та контролюються. Про-активний підхід в якості нової концепції управління безпекою діяльності, що націлює на проведення профілактичної роботи з виявлення, ідентифікації та усунення джерел небезпеки визначає необхідність виявлення причин, тригерів для того, щоб завчасно попередити прояв негативної події до моменту початку її впливу на заплановану виробничу діяльність. При впровадженні системи про-активного управління безпекою з'являються принципово нові об'єкти, що визначають зміст профілактичної роботи у вигляді небезпек (небезпечних факторів) Саме вони «передують» помилковим діям і стають причинами небезпеки. Тому відповідно до про-активного підходу при управлінні безпекою акцент робиться на виявлення та усунення небезпек (небезпечних факторів) у всіх компонентах авіаційної, що беруть участь у роботі [16].

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 [196]. 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 [60].

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 [61].

Таким чином, два суттєвих компонента ризику - це наявність невизначеності і можливість несприятливого події як наслідку (результату), цієї невизначеності.

Трактування 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.

6.1. Емпіричний підхід до розрахунку впливу ризиків

Для кількісного (якісного) розрахунку впливу ризику на основі емпіричного підходу запропоновано використання системи рівнянь, що описує

рівновагу між факторами дестабілізації та рівня адаптаційного потенціалу для компенсації дії факторів дестабілізації.

Вплив факторів дестабілізації на особу, що приймає рішення може призвести до помилкових рішень при прийнятті рішень. Здатність організму протидіяти зовнішнім, часто негативним факторам залежить від внутрішніх резервів організму до здатності організму протидіяти цим факторам. Недостатня рівень адаптаційних можливостей виводить організм зі стану рівноваги. В свою чергу порушення рівноваги як реакції на вплив зовнішніх фактором може призвести до запуску розвитку захворювань та запуску внутрішніх факторів дестабілізації організму. Необхідно визначити, як буде змінюватися така рівновага за певний час ΔT в такій ситуації [185].

Як адаптаційний потенціал АП так і вплив факторів дестабілізації ДП є функціями від часу T .

Враховані наступні фактори:

1. Природне збільшення факторів дестабілізації
2. Природне зменшення факторів дестабілізації
3. Зменшення впливу факторів дестабілізації за рахунок адаптаційного впливу організму
4. Природне зменшення адаптаційного потенціалу за рахунок впливу факторів дестабілізації
5. Збільшення кількості адаптаційного потенціалу.

Для врахування динаміки зміни адаптаційного потенціалу як реакції на вплив факторів дестабілізації необхідно розробити систему рівнянь з урахуванням особливостей зміни із часом.

Якщо за деякий час ΔT кількість адаптаційного потенціалу та факторів дестабілізації зміниться на ΔAP та ΔDF .

Зміна кількості АР за час ΔT визначається :

- збільшенням унаслідок компенсації на дію факторів дестабілізації (розмноження наприклад, антигенів або інших збудників) [185]

$$(\Delta AP)_1 = A * AP * \Delta T \quad (6.1)$$

A – коефіцієнт швидкості збільшення концентрації факторів дестабілізації у даних умовах, (часто пропорційний температурі);

- зменшенням кількості факторів дестабілізації через дію адаптаційного потенціалу та самотійну загибель

$$(\Delta AP)_2 = -C * AP * \Delta T \quad (6.2),$$

де C - коефіцієнт самотійної нейтралізації

Взаємодія « $AP-DF$ », впливає, наприклад на кількість антитіл та кількість антигену [185].

Частота їх взаємодії пропорційна і кількості адаптаційного потенціалу і кількості впливу факторів дестабілізації, тобто їх добутку $AP*DF$.

Таким чином:

$$(\Delta AP)_3 = -B * AP * DF * \Delta T \quad (6.3),$$

де B - частота взаємодії « $AP-DF$ »

Отже, з урахуванням всіх факторів рівняння набуває наступного вигляду:

$$\Delta AP = A * AP * \Delta T - B * AP * DF * \Delta T - C * AP * \Delta T \quad (6.4),$$

$$\frac{dAP}{dT} = A * AP - B * AP * DF - C * AP \quad (6.5).$$

В свою чергу зміна факторів дестабілізації ΔDF визначається :

- збільшенням через природне розмноження та збільшенням кількості факторів

$$(\Delta DF)_1 = D * Z * \Delta T \quad (6.6),$$

де D - коефіцієнт збільшення (розмноження) факторів дестабілізації,

Z - кількість основ для збільшення (розмноження)

- зменшенням через вплив адаптаційного потенціалу

$$(\Delta DF)_2 = -L * DF * \Delta T \quad (6.7),$$

де L – коефіцієнт зниження впливу факторів дестабілізації

Частота їх взаємодії пропорційна і кількості адаптаційного потенціалу і кількості впливу факторів дестабілізації, тобто їх добутку $AP*DF$.

В свою чергу:

$$(\Delta DF)_3 = -B * AP * DF * \Delta T \quad (6.8).$$

Тобто друге рівняння системи:

$$\Delta DF = D * Z * \Delta T - B * AP * DF * \Delta T - L * DF * \Delta T \quad (6.9).$$

$$\frac{dDF}{dT} = D * Z - B * AP * DF - L * DF \quad (6.10).$$

Третє рівняння характеризує швидкість утворення необхідних механізмів для відповіді на фактори дестабілізації.

Визначаються на основі:

1. Швидкості їх утворення

$$(\Delta Z)_1 = M * F(x) * \Delta T \quad (6.11),$$

де M – швидкість утворення механізмів регуляції (біологічного зворотного зв'язку), наприклад плазматичних клітин, (часто пропорційна температурі) [185].

$$F(x) = \frac{x}{Q+x} \quad (6.12).$$

2. Самостійної ліквідації механізмів регуляції

$$(\Delta Z)_2 = -N * Z * \Delta T \quad (6.13).$$

Повне 3 рівняння має вигляд

$$\frac{dZ}{dT} = M * F(x) - N * Z \quad (6.14).$$

В результаті всіх перетворень маємо систему рівнянь[5]:

$$\begin{cases} \frac{dAP}{dT} = A * AP - B * AP * DF - C * AP \\ \frac{dDF}{dT} = D * Z - B * AP * DF - L * DF \\ \frac{dZ}{dT} = M * F(x) - N * Z \end{cases} \quad (6.15).$$

Дослідження математичної моделі зводиться до розв'язку отриманої системи диференціальних рівнянь за відомих значень коефіцієнтів та початкових умов.

Одна та сама модель, за різних початкових умов або коефіцієнтів дає різну динаміку процесу [190].

Значення цих коефіцієнтів отримують за результатами ретроспективних даних, з урахуванням індивідуальних особливостей організму.

Розв'язок запропонованої математичної моделі надає змогу кількісно оцінити рівень рівноваги відповіді адаптаційного потенціалу організму на фактори дестабілізації та може бути використаний для розрахунку ризикового навантаження. Етапи моделювання для визначення ризиків можна представити наступним чином:

Етап побудови апріорної концептуальної моделі об'єкта (процесу) необхідний для отримання початкової (попередньої) інформації про будь-якому об'єкті (процесі). Цей етап підтримується теорією подібності, що вказує доцільну структуру параметрів моделі, і теорією аналогій, що вивчає зв'язок моделей фізичних систем різних видів. Окремі питання концептуального моделювання зустрічаються в теоріях геометричних, динамічних, статистичних вимірювань, ідентифікації, планування експерименту. Проте в цілому теорія такого моделювання не побудована [123].

Заслужують на увагу, зокрема: можливість опису одних і тих же об'єктів моделями різного виду; зв'язку між моделями, що описують різні сторони об'єкта; використання людиною ієрархій моделей, що розрізняються ступенем наочності (і взагалі поняття наочної моделі). Інтерес, очевидно, представляє також дуалізм між структурою моделі та її параметрами. Недостатньо вивченим є питання про класах моделей, притаманних тим чи іншим видам пізнавальних процедур. Нарешті, мало уваги приділяється загальному підходу до невизначеності моделей [96].

В результаті виконання етапу побудови апріорної концептуальної моделі об'єкта повинен бути отриманий перелік параметрів, що ймовірно характеризують даний об'єкт, а також для кожного з параметрів повинен бути відомий тип (ціле число, дійсне число, якісний показник і т.і.) і, по можливості, межі діапазону значень [123].

Після отримання апріорної концептуальної моделі об'єкта (процесу) необхідно її конкретизувати для отримання математичного опису об'єкта - його математичної моделі. Зробити це можна виконавши деяку пізнавальну процедуру. Всі пізнавальні процедури, які потребують звернення до об'єкта пізнання, повинні включати функцію, яку зазвичай називають сприйняттям, хоча з точки зору біологічної аналогії правильніше говорити про рецепції. У техніці рецепцією вважається реалізація деякого процесу, загального для об'єкта та технічної системи, що несе необхідну інформацію про об'єкт [174].

У багатьох випадках для здійснення рецепції потрібно активний вплив на об'єкт – його стимуляція, або, принаймні, завдання умов його функціонування (факторів) [174].

Етап планування експерименту ставить своїм завданням отримання моделі експерименту (випробувань), що дозволяє при мінімальній кількості випробувань виробів на надійність, довговічність і т.і. отримати експериментальні дані, що характеризують властивості об'єкта, на основі яких можна побудувати його математичну модель, що задовольняє певним вимогам, найголовнішим з яких є адекватність моделі [218].

Після побудови плану експерименту логічним є здійснення етапу проведення експерименту. На якому здійснюються випробування об'єктів і збираються експериментальні дані, що характеризують ці об'єкти [218].

Після збору експериментальних даних про об'єкт пізнання ці дані необхідно обробити певним чином, щоб виключити (або принаймні зменшити) похибки та інші негативні фактори, що вплинули на результати вимірювань.

На основі оброблених експериментальних даних побудова адекватної моделі не завжди може бути здійснена відразу, оскільки не всі параметри за допомогою яких охарактеризований даний об'єкт на етапі побудови апріорної концептуальної моделі мають значення для побудови моделі, крім того, деякі параметри можуть чинити негативний вплив на модель [174].

Тому на наступному етапі необхідно оцінити інформативність (значимість) параметрів (ознак) об'єкта пізнання і відібрати найбільш значимі з

них для використання на наступних етапах діагностики (розділ 2). Виконання цього етапу дозволяє не тільки підвищити достовірність моделі, виключивши шкідливі і непотрібні параметри, але і спростити і здешевити процес оцінювання за рахунок скорочення вимірювань параметрів.

Але, при побудові концептуальної моделі об'єкта пізнання не завжди вдається вибрати такий набір ознак, який був би тісно пов'язаний з тими параметрами моделі, моделювання яких необхідно здійснити. Найчастіше деякі параметри, тісно пов'язані з модельованими параметрами об'єкта пізнання, в набір ознак безпосередньо не включаються, а присутні в ньому побічно через інші параметри, пов'язані з ними. Тому для з'ясування наявності таких прихованих параметрів і визначення їх зв'язку з параметрами, що входять в концептуальну модель необхідно здійснювати етап факторного аналізу [72].

Після обробки та аналізу експериментальних даних, а також виконання відбору інформативних ознак можна виконати математичне моделювання, яке може полягати в моделюванні якісної або кількісної (чисельної) зв'язку між певними параметрами об'єкта пізнання, для чого необхідна локалізація пізнавальної процедури, тобто завдання (або знаходження) тієї області в часі і в фізичному просторі або в структурі об'єкта, до якої повинен бути віднесений результат процедури. Після побудови та оптимізації математичної моделі об'єкта прогнозування необхідно оцінити її достовірність - адекватність об'єкта пізнання при певних припущеннях [72].

Однак, виконання всіх даних етапів послідовно один за одним далеко не завжди призводить до отримання адекватної моделі і на практиці, як правило, необхідно багаторазово повторювати окремі етапи процесу діагностики для отримання прийнятної моделі.

6.2. Розробка моделі прогнозування різкого порушення стану серцево-судинної системи оператора на основі застосування елементів штучного інтелекту (штучних нейронних мереж)

Тому 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 її в якості інструменту прогнозування для наступних учасників дослідження.

Методика використання штучних нейронних мереж для завдань прогнозування виникнення несприятливої події полягає і наступному [167]:

1. Відповідно до задачі прогнозування обрати структуру або архітектуру нейронної мережі. Важливою особливістю є необхідність обрання декілька архітектур мережі і після її навчання провести процедуру обрання найефективнішої за отриманим результатом.

2. Підготувати набір навчальних та тестових даних. Кількість навчальних даних має перевищувати 100 даних. Необхідно перевірити щоб приклади навчальної множини не повторювалися в тестовій, адже в цьому випадку мережа просто запам'ятає результат і відтворить його.

3. Вибір кількості вхідних та вихідних нейронів, прихованих шарів. На початку роботи потрібно чітко визначити число вхідних параметрів – це і буде кількість вхідних нейронів, а вихідні параметри відповідно визначають кількість вихідних нейронів. Число прихованих шарів нейронної мережі можна скоригувати і в процесі роботи саме тут потрібно провести ряд експериментів, щоб визначити найоптимальніший варіант.

В даній роботі в якості прикладу вирішена задача прогнозування, що є однією з основних для штучних нейронних мереж. Для вирішення визначеної задачі були обрані наступні архітектури нейромереж: багат шаровий перцептрон, імовірнісна нейронна мережа. Оскільки ці структури дають більш

ефективні результати при використанні в області прогнозування. Також варто використовувати модифікації цих мереж зі зворотними зв'язками, даний підхід дозволяє підвищити ефективність мережі, але недоліком є збільшення часу навчання, але даний недолік не є суттєвим у зв'язку з поставленим завданням [142].

Найбільш популярними програмами для створення нейромереж є:

1. NeuroXL Package
2. NeuroSolutions
3. STATISTICA Neural Networks
4. MATLAB Neural Network Toolbox [167]:

Представлені програмні продукти полегшують процедуру конструювання, навчання та використання штучних нейронних мереж (ШНМ). Етапи підготовки до розробки штучної нейронної мережі:

- Визначити до якого загального типу задач можна віднести задачу. І відповідно до задачі обрати структуру або архітектуру нейронної мережі, при цьому необхідно використати порівняльний аналіз між різними архітектурами розроблених мереж обрати декілька і перевірити яка з них дасть найліпший результат [100].

- Підготувати набір навчальних та тестових даних. Перевірити щоб приклади навчальної множини не повторювалися в тестовій, адже в цьому випадку мережа просто запам'ятає результат і відтворить його.

- Вибір кількості вхідних та вихідних нейронів, прихованих шарів. На початку роботи потрібно чітко визначити число вхідних параметрів – це і буде кількість вхідних нейронів, а вихідні параметри відповідно визначають кількість вихідних нейронів. Число прихованих шарів нейронної мережі можна скоригувати і в процесі роботи саме тут потрібно провести ряд експериментів, щоб визначити найоптимальніший варіант [100].

В даній роботі поставлена задача прогнозування виникнення негативної події, що є однією з основних для штучних нейронних мереж. Для вирішення визначеної задачі були обрані наступні архітектури нейромереж:

багатошаровий перцептрон, імовірнісна нейронна мережа. Оскільки ці структури можуть бути ефективно використані при прогнозуванні. Також варто використовувати модифікації цих мереж зі зворотними зв'язками, хоча це і підвищить час навчання але покращить результат [100].

В якості тестової вибірки використовуємо дані медичного обстеження 110 пацієнтів кардіологічного відділення Інституту геронтології, ці дані були зібрані працівниками відділення на протязі 2-х років і характеризують стан серцево-судинної системи за 17-ма показниками (АЧТВ, ПП, ТЧ, рівень холестерину, АТ-3, МНО, РФМК, ТГ, ЛПВП, Д-Димер, рівень фібриногену, ОНП, НП, С-РБ, ЛП, ФВ), в якості вихідних параметрів вказується час від обстеження до виникнення мікроінфаркту (i) та наявність чи відсутність мікроінфаркту (k). Тестова вибірка містить діагностичні дані десяти пацієнтів [148]. Навчальна та тестова множина діагностичних даних наведені в додатку Ж дисертаційної роботи.

Кількість вхідних нейронів обумовлена кількістю вхідних показників і становитиме 17, вихідних 2. Число прихованих шарів не більше 2-х. Для оцінки результатів навчання мережі та її узагальнюючих властивостей використаний критерій регулярності [148].

Отже визначені початкові параметри для штучної нейронної мережі встановлені інші параметри обираються в процесі навчання та функціонування мережі.

Програма NeuroXL

NeuroXL Package програма працює в середовищі Microsoft Excel і призначена для вирішення задач двох типів класифікації та прогнозування. При розробці штучної нейронної мережі в даній програмі можна змінити лише деякі параметри, а саме кількість ітерацій, мінімум помилки дельта, функцію активації та кількість нейронів у прихованому шарі.

Варто відзначити переваги програми: можливість роботи з даними в середовищі Microsoft Excel, що не потребує спеціального представлення даних;

простота у використанні. Так недоліки: обмежене коло завдань; обмежена кількість змінних параметрів; лише одна структура нейромережа – багат шаровий перцептрон.

В програмі NeuroXL Package було побудовано 7 нейромереж, результат побудови п'яти, у яких помилка на тестовій множині виявилася найменшою подані в таблиці 6.1. Різниця побудованих нейромережа полягає в кількості нейронів у прихованому шарі та величині похибки навчання Δ . Хоча похибка на навчальній множині не перевищує 0,01, проте похибка при перевірці на тестовій множині.

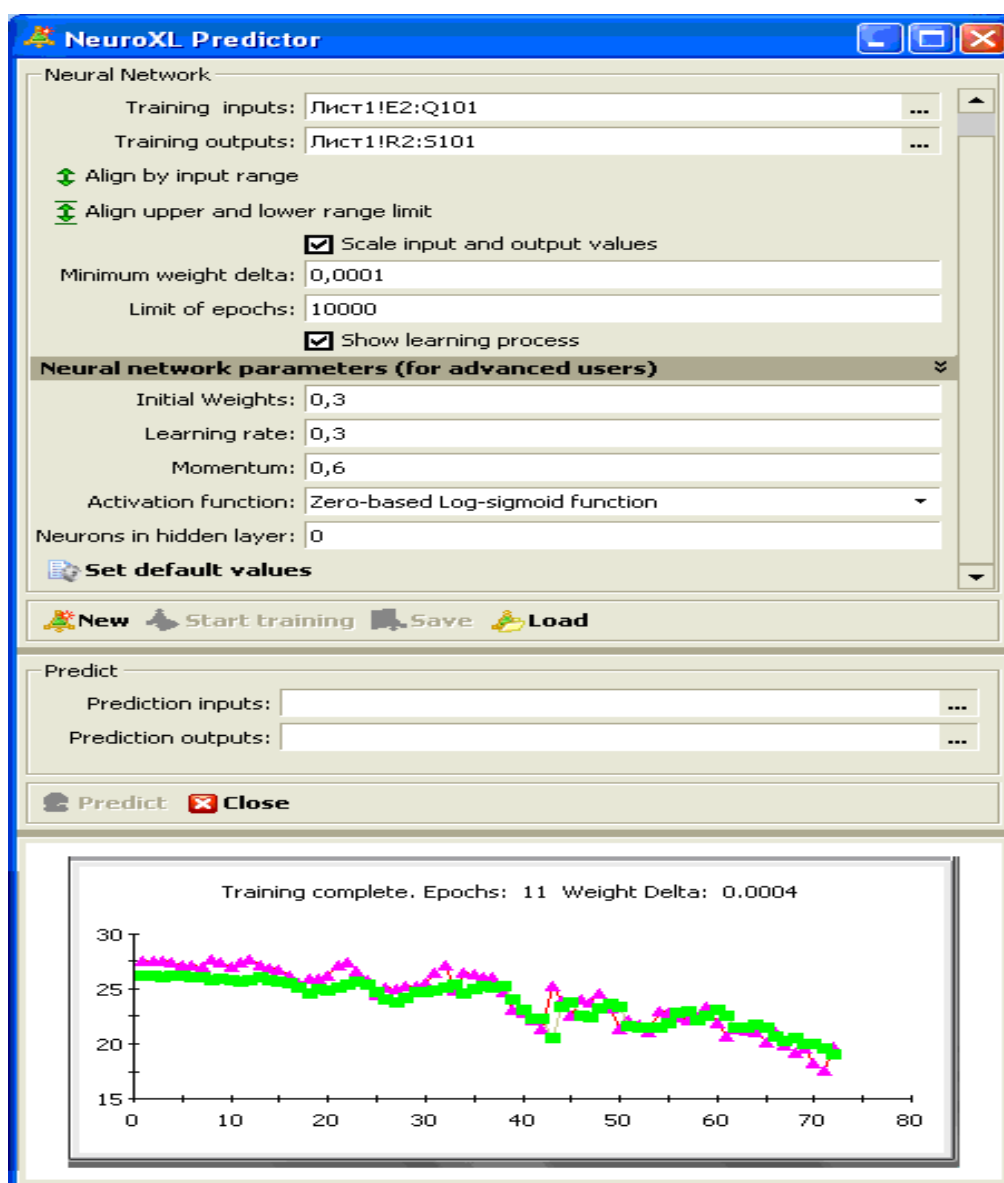


Рисунок 6.1 - Програма NeuroXL

Дані представлені в таблиці 6.1 визначають результат прогнозування двох параметрів 5-ма нейронними мережами в програмі NeuroXL. При використанні даного програмного продукту для розв'язання задач прогнозування результати виявилися не адекватними, а похибка яка характеризує критерій регулярності, для ШНМ з найкращим результатом (мережа №2), становила 0,5 [167].

Таблиця 6.1

Загальний опис 5-ти нейромереж побудованих в NeuroXL

Фактичні дані		Мережа №1 Прогнозовані дані		Мережа №2 Прогнозовані дані		Мережа №3 Прогнозовані дані		Мережа №4 Прогнозовані дані		Мережа №5 Прогнозовані дані	
t	k	t_1	k	t_2	k	t_3	k	t_4	k	t_5	k
10	1	11,40	0,21	10,42	0,71	10,91	0,62	10,74	0,90	10,70	0,91
12	0	11,86	0,05	11,92	-0,04	11,85	-0,009	12,00	-0,01	11,93	-0,00
12	0	11,59	0,006	11,85	-0,01	11,94	-0,02	11,89	-0,007	11,92	-0,008
12	1	11,90	-0,04	11,92	0,04	11,98	0,03	11,82	0,12	12,05	-0,008
12	0	11,84	-0,01	11,60	0,03	11,86	0,01	11,92	0,03	11,99	-0,006
7	1	11,90	0,06	11,02	0,49	11,48	0,30	11,55	0,37	11,65	0,23
8	1	11,90	0,03	11,65	0,13	11,84	0,07	11,79	0,18	11,97	0,01
7	1	11,92	0,001	11,56	0,01	11,80	0,006	11,95	0,01	11,97	-0,004
12	0	11,35	0,08	11,23	0,20	11,51	0,12	11,71	0,04	11,86	0,02
9	1	6,98	1,11	8,28	1,09	9,22	1,07	8,69	1,03	8,34	1,05
Помилка на тестовій множині	ε_t	0,06	-	0,04	-	0,05	-	0,05	-	0,05	-
	ε_k	-	0,75	-	0,50	-	0,57	-	0,46	-	0,76

При побудові моделі прогнозування на основі даних наведених в додатку не вдалося отримати мережу у якій помилка на тестові множині була б меншою ніж 0,46, з чого сожна зробити висновок про неможливість їх використання для задачі прогнозування виникнення несприятливої події різкого порушення стану серцево-судинної системи.

NeuroSolutions програма від компанії NeuroDimension, може працювати як в середовищі Microsoft Excel та MATLAB, так і в якості самостійного продукту. Дана програма дає можливість не лише змінювати певні параметри, а й обирати тип мережі із переліку (що містить 10 типів нейромереж), алгоритм оптимізації, можливість внутрішньої перевірки даних, кількість нейронів у прихованому шарі, функцію активації, правило навчання, кількість ітерацій та способи виведення результатів [167].

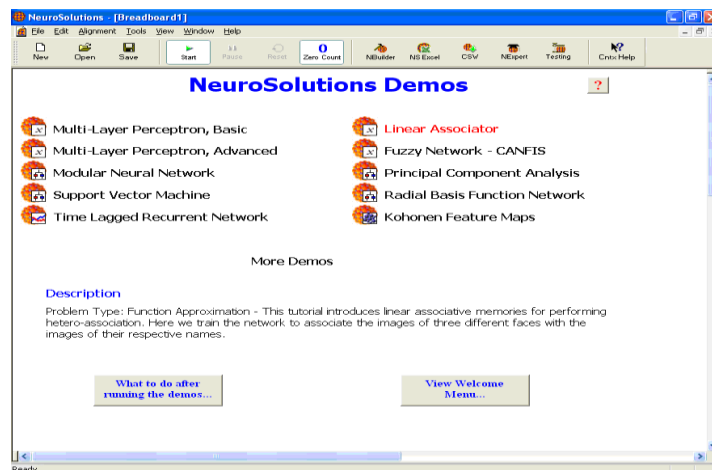


Рисунок 6.2 - Інтерфейс програми NeuroSolutions

Найважливішими параметрами при побудові нейромережі в середовищі NeuroSolutions 6.0 є тип мережі, алгоритм оптимізації та правило навчання. Щодо типу мережі то її можна обрати із переліку 10 найбільш поширених (рис.6.3), кожна мережа має свої особливості і при вирішенні специфічного завдання варто експериментувати та обирати найліпший варіант [167].

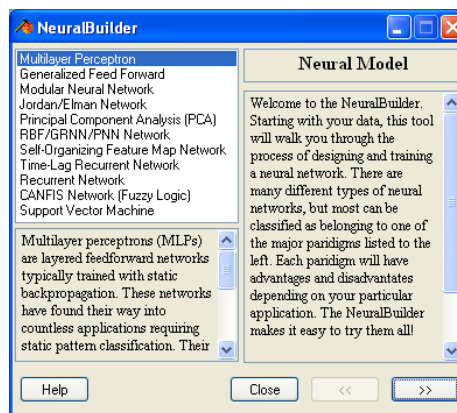


Рисунок 6.3 - Перелік типів мереж доступних для побудови в NeuroSolutions

Алгоритм оптимізації ще один важливий момент при побудові нейромережі, вдало обраний алгоритм може згладити помилки при формуванні навчальної множини та пришвидшити навчання. NeuroSolutions 6.0 дає можливість обирати один з трьох алгоритмів: генетичний алгоритм, алгоритм жадібного пошуку та алгоритм ліквідації вхідних компонентів (видаляються ті дані які погіршують загальний результат) [167].

Правило навчання нейромережі також важливе, адже саме особливості процесу навчання призводять до отримання потрібного результату. В програмі реалізовані правила навчання наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2

Правила навчання нейромережі в програмі NeuroSolutions

Назва правила	Пояснення
Step	Обчислення градієнта
Momentum	Обчислення градієнта та зміна вагів
Quickprop	Обчислення градієнта та швидкості його зміни
DeltaBarDelta	Обчислення градієнта та зміна крок за кроком
Conjugate Gradient	Обчислення градієнта другого порядку
Levenberg Marquardt	Обчислення градієнта другого порядку, поліпшене

Загалом програма не лише дозволяє вирішувати велику кількість завдань що їх ставлять перед нейромережами, але й надає можливість використовувати стандартні моделі та створювати свої, що при вирішуванні специфічних завдань є досить важливим.

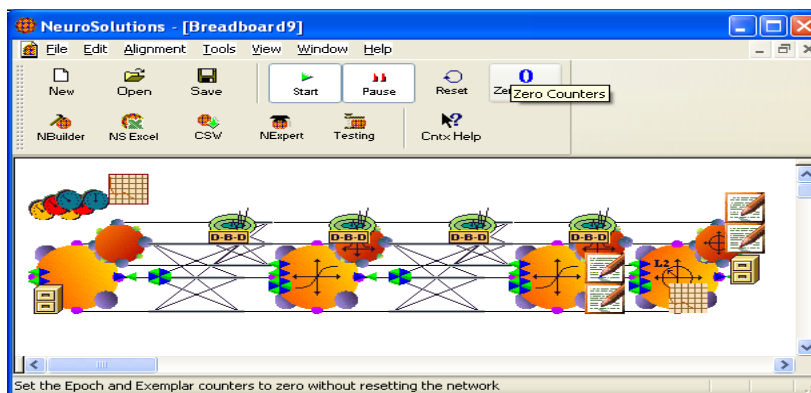


Рис.6.4 Схема побудованої нейромережі в середовищі NeuroSolutions

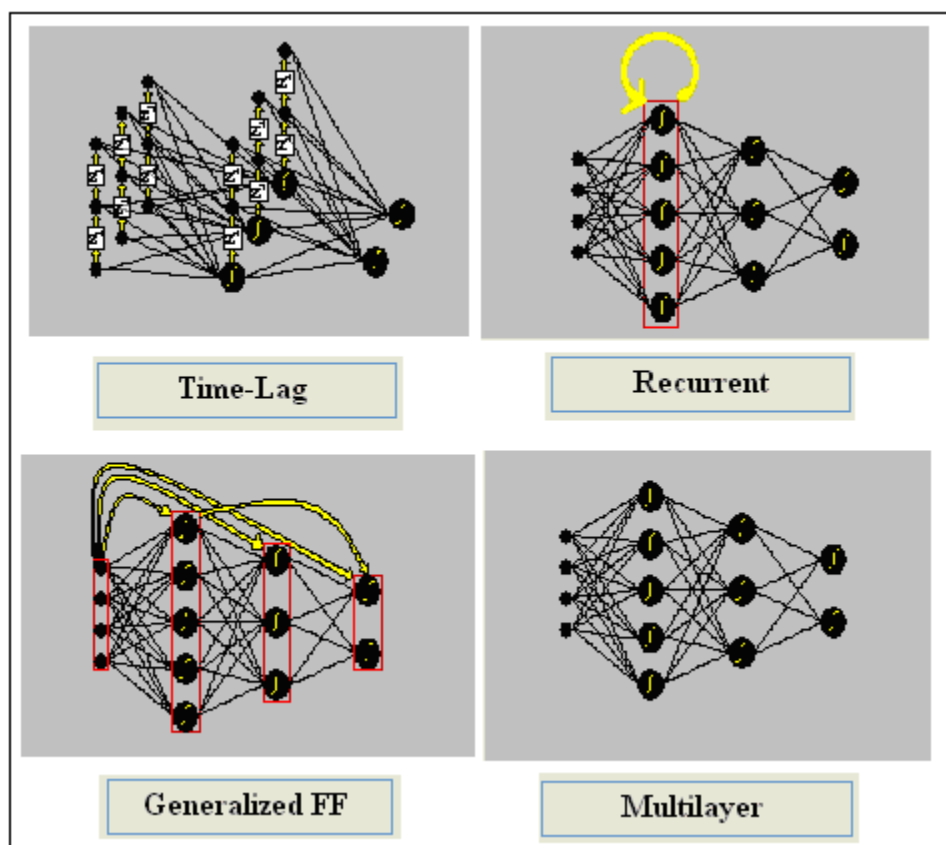


Рисунок 6.5 – Зображення типів мереж в середовищі NeuroSolutions

Також програма має великі можливості в графічному інтерфейсі: моделі нейромереж (рис.6.4), графіки результатів та етапів розробки. В таблиці 6.3 представлені дані прогнозу побудованого в програмі NeuroSolutions. Всього в даній програмі було створено 20 нейромереж архітектур: багатошаровий перцептрон, узагальнена регресійна нейронна мережа [167].

В таблиці представлені п'ять мереж які надали результат з найнижчим значенням на тестовій множині:

1. Нейронна мережа загальної регресії, алгоритм оптимізації з використанням градієнту другого порядку.
2. Нейронна мережа загальної регресії, алгоритм оптимізації з обчисленням градієнту.
3. Багатошаровий перцептрон, алгоритм оптимізації – динамічна зміна вагів та обчислення градієнта.

4. Багатошаровий перцептрон, алгоритм оптимізації – Левенберга Маркворта.

5. Багатошаровий перцептрон, алгоритм оптимізації з використанням градієнту другого порядку [167].

Таблиця 6.3

Загальний опис 5-ти неймереж побудованих в NeuroSolutions

Фактичні дані		Мережа №1 Прогнозовані дані		Мережа №2 Прогнозовані дані		Мережа №3 Прогнозовані дані		Мережа №4 Прогнозовані дані		Мережа №5 Прогнозовані дані	
i	k	t_1	k_1	t_2	k_2	t_3	k_3	t_4	k_4	t_5	k_5
10	1	12,5	0,33	11,35	0,16	10,47	0,5	2,55	1,05	11,57	0,55
12	0	12,5	0,23	7,21	0,32	5,69	0,84	2,5	1,05	7,73	1,05
12	0	12,41	0,17	9,37	0,53	4,08	1,04	12,49	0,05	11,87	0,15
12	1	12,49	0,08	10,33	0,14	4,87	1	2,5	1,05	9,87	1,04
12	0	12,43	0,46	6,12	0,97	5,15	1	12,01	0	7,38	1,06
7	1	12,49	0,32	4,84	0,78	3,39	1,05	8,39	0,85	3,08	1,06
8	1	12,5	0,02	3,35	0,36	2,92	1,04	12,32	0,05	2,75	1,06
7	1	12,5	0,03	7,63	0,37	3,59	1,04	2,6	1,05	3,73	1,06
12	0	12,5	0,01	9,85	0,07	5,09	0,85	2,5	1,05	3,81	1,06
9	1	12,49	0,86	4,55	0,91	8,52	0,42	2,5	1,05	10,51	1,03
Помилка на тестовій множині	ε_t	0,09	-	0,11	-	0,28	-	0,38	-	0,15	-
	ε_k	-	0,66	-	0,61	-	0,68	-	0,52	-	0,59

Хоча перераховані вище неймережі при навчанні виявили придатий результат при навчанні, узагальнююча здатність їх вкрай низька. При проведенні ранжування серед отриманих мереж, мережа що отримала найнижче значення помилки на при навчанні, а саме: ШНМ зі структурою багатошаровий перцептрон і двома прихованими шарами, але дана мережа має помилку обчислена на тестовій множині 0,59. Що вказує на неможливість використання даної мережі при вирішенні завдання прогнозування для вхідних даних додатку [167].

Позитивними якостями програми NeuroSolutions є: декілька можливих середовищ роботи; велика кількість архітектур, алгоритмів оптимізації та

перевірки результатів; графічне відображення результатів; зручний інтерфейс. До недоліків програми можна віднести: складність функціонування певних блоків та високу ціну продукту [167].

Програма STATISTICA Neural Networks

Програма STATISTICA Neural Networks від компанії StatSoft надає користувачу великі можливості по створенню та використанню ШНМ. Дана програма є корисним інструментом при створенні нейронних мереж, вона має великі можливості попередньої статистичної обробки даних, а це досить корисно при роботі з великою кількістю інформації. Адже статистичні дані можна оцінити перед навчанням мережі, що дозволить підвищити ймовірність успішної побудови мережі.

Ще одна перевага програми STATISTICA Neural Networks (SNN) це здатність вирішувати задачі декількох типів: регресія, класифікація, кластерний аналіз та побудову часових серій. Існує можливість обирати тип і спосіб вирішення задачі, програма пропонує два інструменти перший створює мережі при вирішенні завдань прогнозування та обробки даних -Intelligent Problem Solver, інший дає можливість вирішувати специфічні проблеми, використовуючи індивідуальні архітектури мереж, - Custom Network Designer (рис.6.6). SNN дозволяє будувати одночасно від 1 до 999999999 мереж, щоправда велику кількість мереж не варто використовувати адже це займе багато часу, не всі побудовані мережі будуть вдалими тому програма запропонує обрати декілька найліпших і покаже лише їх [142].

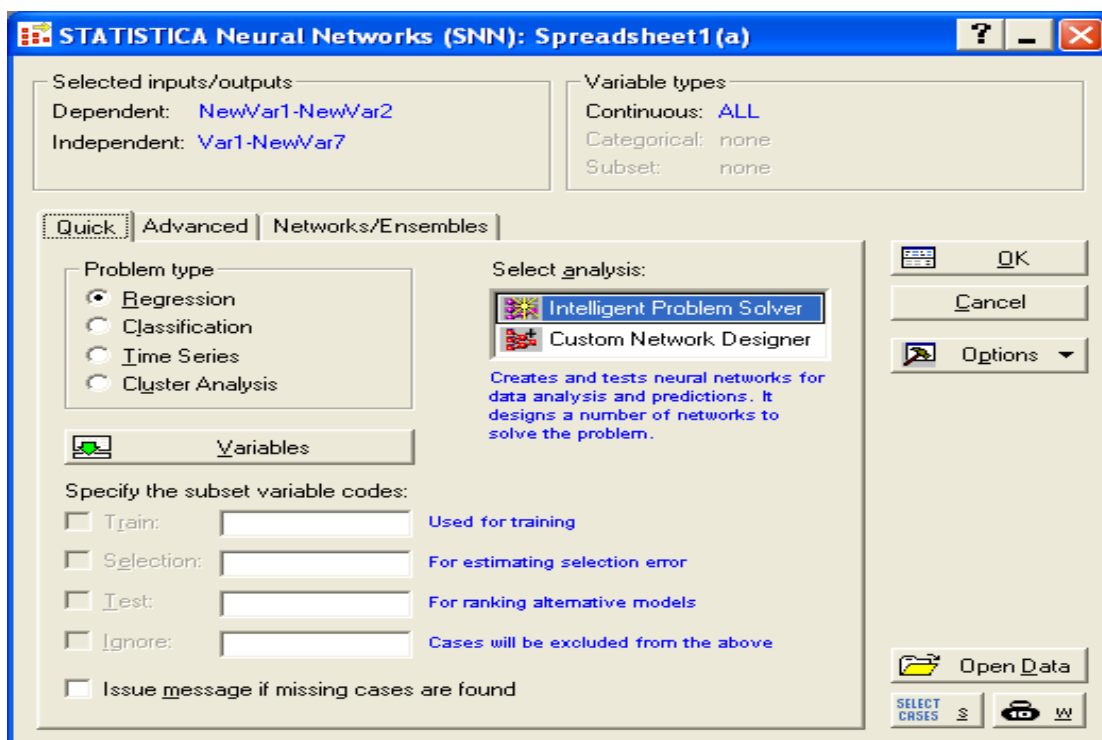


Рисунок 6.6 – Інтерфейс програми STATISTICA Neural Networks

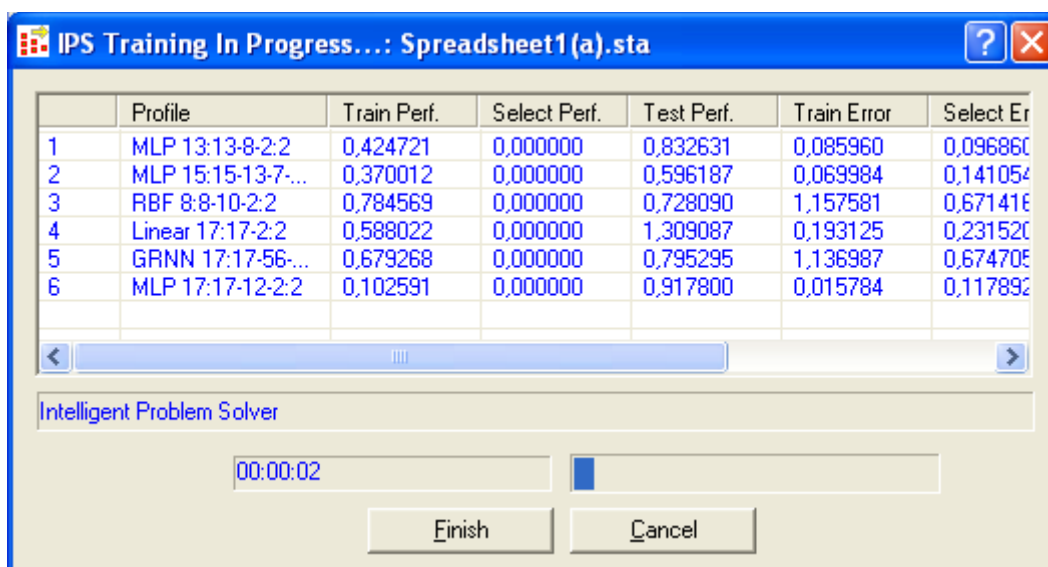


Рисунок 6.7 – Відображення процесу навчання мережі в програмі SNN

При побудові можна використовувати мережі таких типів: лінійні та багатошарові перцептрони, радіально-базисні та узагальнено-регресійні. Також можливо використовувати зворотній зв'язок, встановлювати час навчання мереж тощо. Створену мережу можна переглянути як модель, програма позначає активні нейрони, дозволяє визначити всі статистичні показники,

переглянути отриману помилку на етапі навчання та тестування, а також побудувати графіки (рис.6.8) [142].

Побудована мережа, навчальні дані та статистична інформація, графіки зберігаються окремо і можуть бути використані пізніше. В якості прикладу побудовані та оцінені найефективніші архітектури штучних нейронних мереж, які варто використовувати при вирішенні задачі побудови прогнозу.

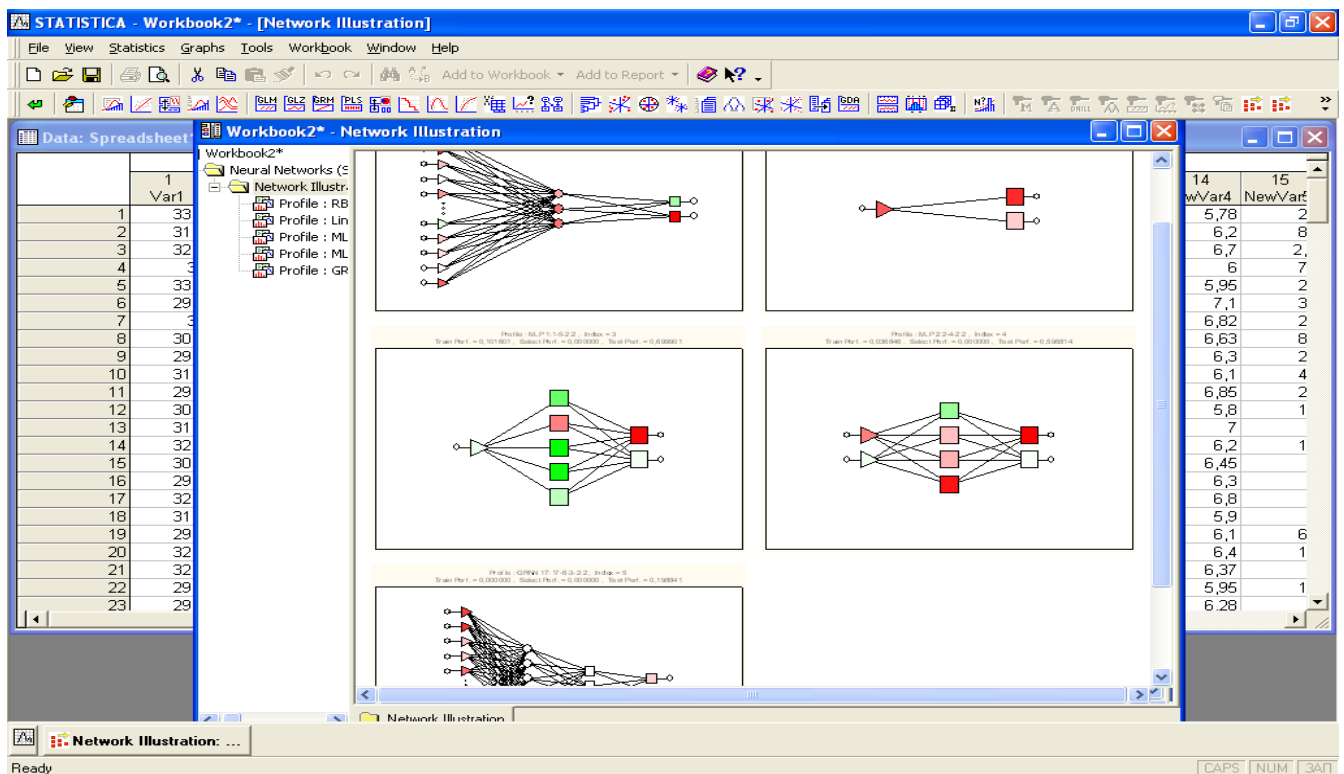


Рисунок 6.8 – Моделі нейромереж побудовані в програмі SNN

В середовищі SNN було побудовано 186 нейронних мереж, з них обрано 5 найліпших (таблиця 6.4).

Використані наступні архітектури нейронних мереж:

1. Радіально-базисна мережа
2. Лінійна мережа
3. Багатошаровий перцептрон
4. Нейронна мережа загальної регресії [142].

Найменшу помилку при перевірці на тестовій множині показала мережа №5, яка належить до типу нейронних мереж загальної регресії містить 17 вхідних нейронів, 6 і 3 нейрони у прихованих шарах [142].

Дана мережа при навчанні має помилку 0,002467, помилка тестування 0,0435 а при перевірці на тестовій множині помилку 0,001. Порівняння результатів прогнозування нейромережами, дані яких наведено в таблиці 6.4, при використанні тестової вибірки наведено в таблиці 6.5.

Таблиця 6.4

Загальний опис 5-ти нейромереж побудованих в SNN [50].

№	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

Ці дані відображають можливість побудованої нейромережі здійснювати прогноз на основі даних, що не використовувалися при навчанні мережі, тому такі результати є досить інформативними при дослідженні якості створених нейромереж.

Схема нейронної мережі з найменшою помилкою навчальної та тестової множини (рис. 6.9) 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. Саме таке розміщення елементів виявилось найбільш результативним для даного типу мережі [142].

Перевагами використання розглянутої програмного пакету SNN є: великий вибір архітектур штучних нейронних мереж, допоміжні інструменти обробки даних, зручний інтерфейс.

Таблиця 6.5

Результат перевірки 5-ти нейромереж на тестовій вибірці [142].

№	Час появи мікроінфаркту (факт)	Наявність мікроінфаркту (факт)	Прогнозовані показники t і k кожної з 5-ти нейромереж									
			t_ϕ (місяць)	k_ϕ	t_n^1	k_n^1	t_n^2	k_n^2	t_n^3	k_n^3	t_n^4	k_n^4
1	12	0	12,15	0,06	8,94	0,41	11,79	-0,04	12,09	-0,02	12,00	0,00
2	12	0	10,54	0,12	10,84	0,13	12,02	-0,03	11,97	0,01	12,00	0,00
3	12	0	12,77	-0,009	10,37	0,20	11,65	-0,043	12,01	0,001	12,00	0,00
4	12	0	11,44	0,12	7,99	0,55	12,31	0,001	12,04	-0,009	11,99	0,001
5	12	0	11,37	0,03	11,84	-0,007	12,32	0,019	11,99	0,002	12,00	0,00
6	3	1	3,46	1,05	8,99	0,40	3,26	1,17	2,61	1,61	3,00	1,00
7	6	1	5,60	0,90	8,28	0,51	1,59	1,34	6,09	1,01	4,80	1,00
8	8	1	5,02	0,59	6,47	0,77	7,47	0,71	10,60	0,22	8,00	1,00
9	12	0	7,77	0,08	10,94	0,12	11,59	0,18	11,82	0,018	12,00	0,00
10	12	0	12,34	-0,10	9,27	0,36	12,32	0,019	12,03	-0,009	12,00	0,00

До недоліків програми можна віднести: високу вартість та необхідність володіння певними навичками для її використання. Зручність у використанні, інформативність та результативність даного програмного продукту підтверджують можливість його використання в якості інструменту обробки даних [50].

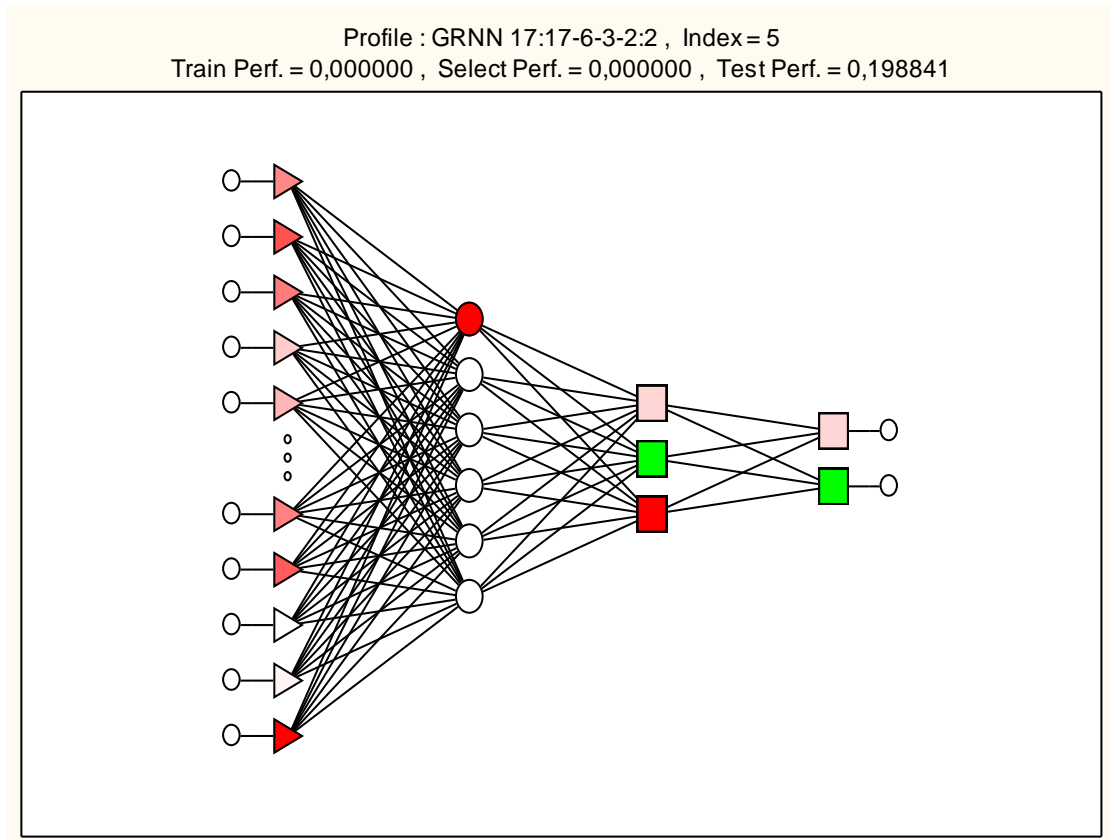


Рисунок.6.9 – Нейромережа GRNN 17:17-6-3-2:2 [12].

Програма MATLAB

Програмний пакет MATLAB від компанії розробника MathWorks один із найпотужніших інструментів обробки даних ШНМ в середовищі MATLAB можна проектувати як за допомогою спеціального вбудованого пакету NNTool так і безпосередньо в командному вікні. MATLAB відомий інструмент аналізу багатовимірних даних одним з вбудованих програмних пакетів якого є Network Data Manager (рис.6.10). Програма дозволяє створювати нейромережі різних типів, використовувати декілька функцій активацій та алгоритмів навчання, обирати кількість прихованих шарів та кількість нейронів у них. Після створення мережу в програмі NNTool можна протестувати, переглянути графік що ілюструє навчальний процес та оцінити помилку обчислену програмою. Дана програма

корисна своїми можливостями створення індивідуальних, нестандартних мереж, проте досить складна у використанні тому, щоб отримати придатні результати потрібно мати спеціальний досвід створення нейронних мереж [148].

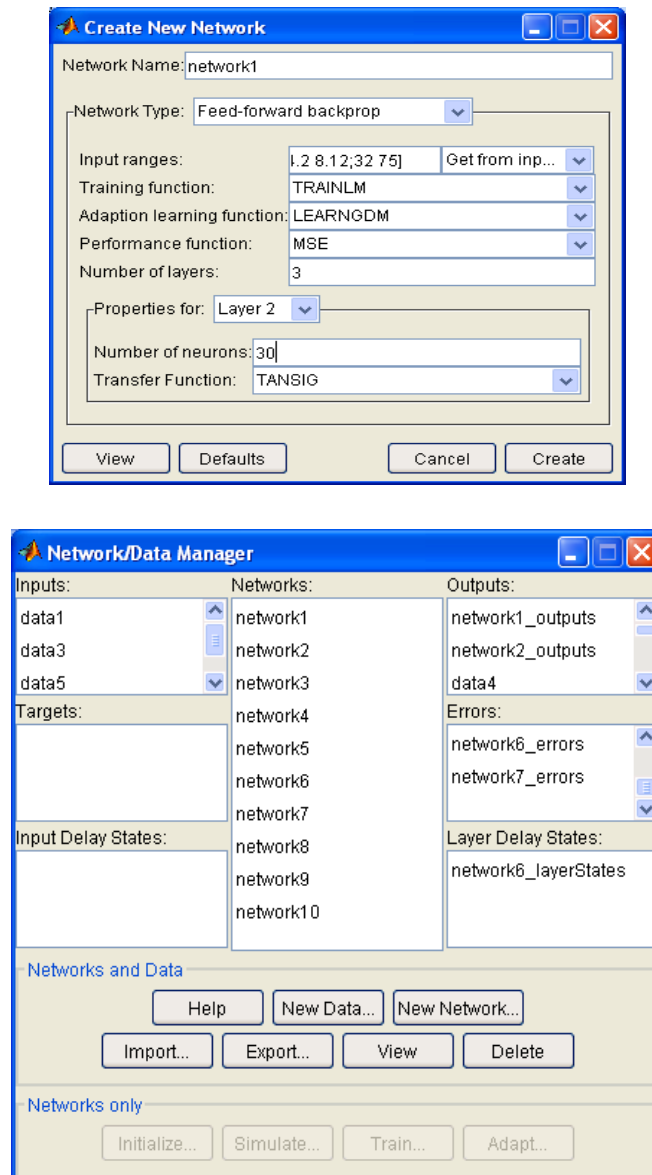


Рисунок. 6.10 – Інтерфейс програми NNTool

Програма MATLAB також надає можливість переглянути модель створеної штучної нейронної мережі (рис.6.11), така модель досить спрощена проте вона дає змогу візуально оцінити кількість нейронів, функції активації та розміщення вагових коефіцієнтів [140].

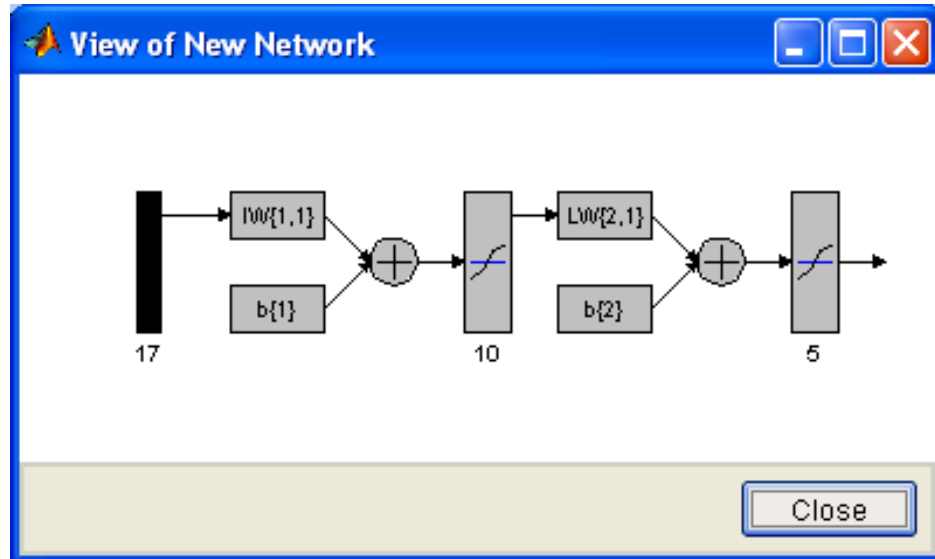


Рисунок 6.11 – Модель ШНМ побудована в середовищі MATLAB

Також, перевагою використання MATLAB є можливість зображення процесу навчання (рис.6.12) у вигляді графіка, що дозволяє наочно визначити процес проходження навчання та визначити кількість циклів навчання, що знадобилося, щоб помилка навчальної множини досягла потрібного рівня.

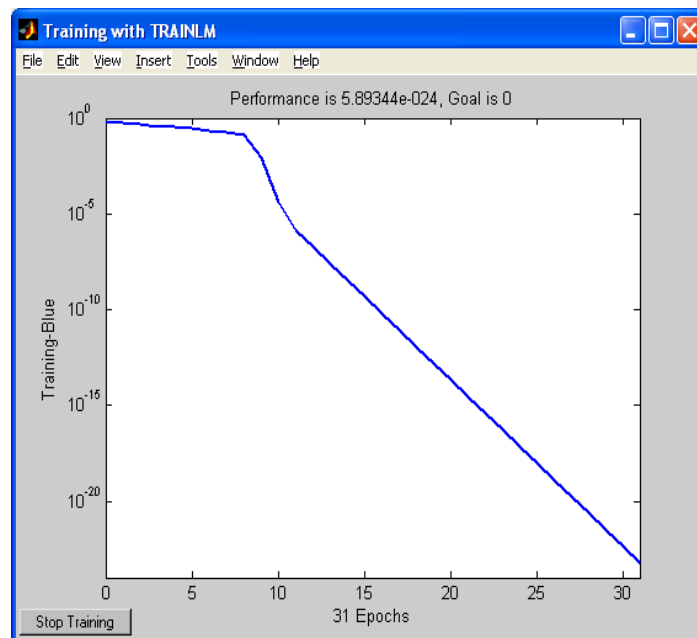


Рисунок 6.12 – Ілюстрація процесу навчання мережі

Важливою перевагою використання програми MATLAB є можливість перегляду та коригування ваг штучної нейронної мережі (рис. 6.13). Більшість програм нейромережевого моделювання позбавлені цієї важливої функції.

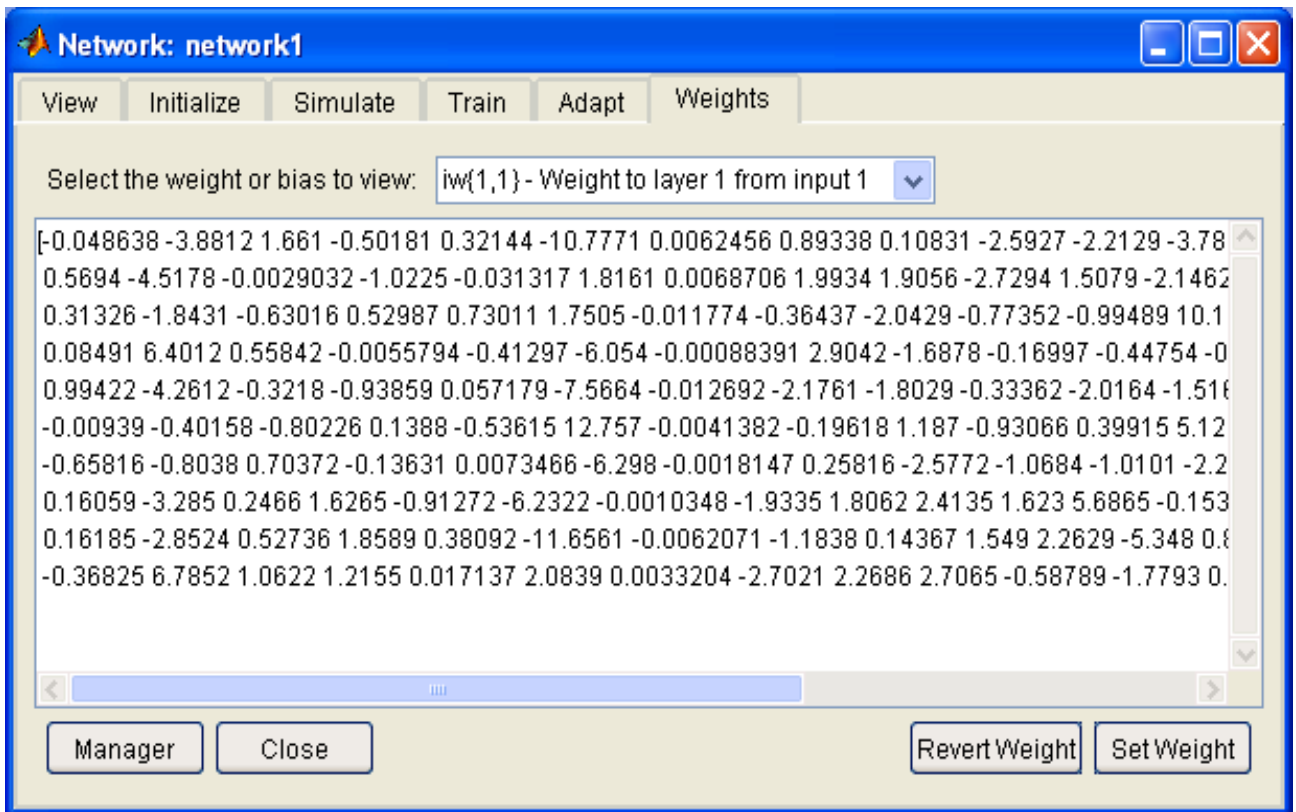


Рисунок 6.13 – Ваги нейронної мережі створеної в середовищі MATLAB

З використанням даної програми було створено 10 нейронних мереж (рис.6.10) результати побудованих прогнозів п'ятьма мережами, що мають найменше значення помилок представлені в таблиці 6.6 [140].

Оцінюючи дані представлені в таблиці можна зазначити, що більшість штучних нейромереж демонструють невелику помилку навчальної множини проте великі значення помилки на тестовій множині вказують на низьку узагальнюючу здатність. Тож основними перевагами використання програми є: можливість створення індивідуальних архітектур та зміни ваг нейронів. До недоліків можна віднести: складність у роботі, обмежена кількість регульованих параметрів для певних структур нейромереж.

Визначення оптимального засобу для прогнозування виникнення небезпечної події.

Таблиця 6.6

Загальний опис 5-ти неймереж побудованих в MATLAB

№	Тип мережі	Помилка обчислена на навчальній множині даних	Помилка обчислена на тестовій множині даних	Кількість вхідних нейронів	Кількість нейронів у прихованому шарі №1	Кількість нейронів у прихованому шарі №2
1	Радіально- базисна	8,34	8,87	17	5	0
2	Мережа загальної регресії	6,13	6,35	17	56	18
3	Багатошаровий перцептрон	0,19	0,25	17	0	0
4	Багатошаровий перцептрон	0,21	0,24	17	14	14
5	Багатошаровий перцептрон	0,20	0,25	17	14	0

Як видно з таблиці 6.6. помилка на навчальній та на тестовій множині даних виявилась більшою ніж при використанні пакету STATISTICA Neural Networks. В процесі виконання роботи було побудовано загалом 223 нейронні мережі з використанням різних програмних продуктів, проаналізовані можливості програм, їх позитивні сторони та недоліки, досліджено отримані результати.

В середовищі програми NeuroXL Package побудовано 7 неймереж, отримані результати не задовольняють поставленої задачі, невелика кількість змінних параметрів при роботі з програмою обумовлює слабкі результати прогнозування.

NeuroSolutions дана програма була використана для побудови 20 неймереж, оскільки була використана тестова версія найліпшої конфігурації

мереж лишилися недослідженими, а отримані результати містять значну помилку навчання.

Програмний продукт MATLAB Neural Network Toolbox був використаний при побудові 10 нейромереж, проте отримані результати поступаються результатам роботи в наступній програмі.

Найбільш ефективним інструментом побудови штучних нейронних мереж виявилася програма STATISTICA Neural Networks (SNN), оскільки вона зручна у використанні як для спеціалістів так і початківців, дозволяє додатково обробляти дані, обирати варіанти з найменшим значенням помилок на тестових та вибіркових множинах даних. В її середовищі було побудовано 186 нейронних мереж, з них обрано 5, що мають найменшу помилку на тестовій множині (таблиця 6.4).

Таким чином завдання побудови прогнозу виникнення мікроінфаркту поставлене в даній роботі виконане, при цьому розглядалися чотири програмних продукти, було створено 223 мережі з яких обрано штучну нейронну мережу з найменшою помилкою на тестовій та вибірковій множині даних.

Звісно основу ефективної роботи мережі являють вхідні діагностичні дані та їхня кількість. В роботі були використані 17-ть діагностичних показників, що відображають стан 120 учасників дослідження. Саме наявна база даних дала можливість створити прогноз. Тому створенню нейромережі передуює етап збору даних від їх якості залежатиме результат.

Результати роботи розроблених штучних нейронних мереж були перевірені за параметрами: помилка на навчальній та тестовій вибірках. Програма STATISTICA Neural Networks, як основний інструмент роботи використана у зв'язку зі зручністю та простотою у користуванні. А мережа GRNN 17:17-6-3-2:2 створена в даному програмному середовищі показала найменшу помилку на навчальній та тестовій множині даних. При її побудові використовувалося правило навчання з вчителем, сигмоїдальна функція активації, два прихованих шари та 9 нейронів у них.

При проектуванні нейронної мережі необхідно в першу чергу вирішити питання про кількість шарів і кількості елементів (нейронів) у кожному шарі. Кількість вхідних і вихідних елементів визначаються властивостями вхідних і вихідних даних, що впливає на визначення розміру прихованого шару. При цьому має місце компроміс між точністю і узагальнюючою спроможністю мережі.

У загальному випадку величина повної похибки, що обумовлює невизначеність при проектуванні нейронної мережі становить:

$$e_i = e_{0i} + \text{reg} - e_i$$

де e_i - похибка, обчислена одним із стандартних способів;

$$\text{reg} - e_i = \frac{\lambda}{p} \sum_i \omega_i^2$$

– функція похибок, що враховує λ - параметр регуляризації, p - розмір тренувальної послідовності, ω_i - ваговий коефіцієнт [100].

З виразу видно, чим більше значення набувають λ та ω_i , тим більше зростає похибка. Величина λ представляє з себе відношення сигнал / шум. Хоча λ є додатковим параметром, його зміна викликає деяку невизначеність при виборі, його досить легко контролювати.

Рекомендація щодо зменшення невизначеності при проектуванні та виборі кількості прихованих шарів. Для встановлення прийнятого рівня узагальнюючої здатності мережі необхідно періодично тестувати мережу на незалежній контрольній множині даних і зупинити тренування, як тільки похибка цього тестування почне зростати. Однак, при цьому збільшується як час тренування, так і необхідна кількість даних. Число прихованих шарів нейронної мережі можна скоригувати і в процесі роботи саме тут потрібно провести ряд експериментів, щоб визначити найоптимальніший варіант [50].

Критерії оцінки якості функціонування мережі. Критерії оцінки слід поділити на внутрішні та зовнішні. Внутрішні критерії формуються на основі

інформації множини даних, які були використані для навчання, тоді як зовнішні критерії використовують нову інформацію тестової множин, елементи яких не використовувались при навчанні. Оптимальна складність моделі мережі встановлюється за сукупністю зовнішніх та внутрішніх критеріїв [12].

До зовнішніх критеріїв вибору моделі можна віднести:

Критерій регулярності Δ_1 - зовнішній критерій, для обчислення значення якого вимагається тестова множина даних.

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^{N_D} (\Phi_i^* - \Phi_i)^2}{\sum_{i=1}^{N_D} (\Phi_i^*)^2} \rightarrow \min$$

де i - номер відгуку; Φ_i - значення відгуків, що продукуються мережею; Φ_i^* - точні значення відгуків [100].

Фізичний сенс застосування критерію регулярності полягає у виборі моделі, яка буде максимально точною на елементах тестової множини, які не входили до складу навчальної множини, тобто мали б найменшу невизначеність.

Рекомендації щодо зменшення невизначеності за критерієм регулярності полягає у виборі моделі, яка буде максимально точною на елементах тестової множини, які не входили до складу навчальної множини [100].

Рекомендації щодо зменшення невизначеності за критерієм мінімального зміщення вимагає максимального співпадіння значень вихідної величини для двох моделей, де в якості навчальних елементів були використані дані різних підмножин навчальної множини.

Критерій мінімального зміщення дозволяє обирати модель, яка "слабо реагує" на зміну навчальної множини і дозволяє вирішити задачу відновлення закону, що діє для зашумлених тестових даних [12].

Рекомендації щодо зменшення невизначеності за критерієм зміщеності показників в часі - допомагає оцінити рівень взаємозв'язку змінних. Окремі показники можуть мати різну післядію, тому розділене прогнозування кожного

з них може забезпечити кращий результат. Відповідно, при наявності тісного взаємозв'язку між показниками, прогнозування їх сукупності покращує результати прогнозу кожного з них. Можливе також включення нового параметра, який може бути або додатковою ознакою або лінійною комбінацією вже включених ознак. Застосування цього критерію допомагає в оптимальному підборі таких ознак явища, які можуть забезпечити вищу точність прогнозування [100].

Рекомендації щодо зменшення невизначеності за критерієм фізичної достовірності - вимагає виключення моделей, які під час проведення експерименту, можуть продукувати нереальні результати (великі викиди для множини, що прогнозується) [1--].

Навчання мережі. Існує три типи похибок. Перший тип - похибка одиничного вихідного елемента, яка необхідна для реалізації процедури зворотного поширення похибки. Другий тип - похибка всієї мережі при конкретному вхідному сигналі, яка дає нам інформацію про те, наскільки правильним є відповідь мережі в даний момент часу. Третій тип - середня похибка мережі, обчислена після пред'явлення всього набору тренувальних даних, яка показує наскільки добре мережа засвоїла закономірності набору тренувальних даних. Остання похибка представляє собою усереднене по всьому набору тренувальних даних значення похибки другого типу [12].

Оскільки другий тип похибки часто обчислюється як відстань (модуль), то значення цієї похибки завжди позитивно і її усереднення не вимагає обчислення абсолютних значень.

На додаток до двох рівнів міри похибок, описаних вище, існують кілька індивідуальних мір похибок, які можуть бути використані. Кожна з них визначається конкретними вимогами до мережі. Найчастіше використовується міра похибки у вигляді простої різниці між значенням еталона та значенням відповідного виходу мережі для кожного вхідного значення з тренувальної послідовності:

$$b = t_i - a_i$$

де t_i - еталонне значення для i -го виходу, a_i - поточне значення того ж виходу [100].

Для того, щоб обчислити похибку всього вихідного шару, ми можемо трактувати еталони і виходи як точки в багатовимірному просторі і обчислювати відстань між ними. Відстань між двома точками обчислюється як квадратний корінь з суми квадратів різниць координат. Похибка виходу мережі з N вихідними елементами дорівнює квадратному кореню з суми квадратів похибок кожного вихідного елемента. Така похибка відома як квадратична похибка (RSE - root squared error), тобто за нею можна обчислити стандартну невизначеність.

$$U(b)\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (t_i - a_i)^2}$$

Один з різновидів RSE - weighted RSE - зважена похибка (під терміном "ваги" в даному випадку розуміється не значення ваг мережі, а міра важливості, привласнена кожному з тренувальних прикладів):

$$b_i = W(t_i - a_i)$$

З кожним прикладом тренувального набору даних пов'язується вага W , яка вказує на значимість даного прикладу.

Значення ваг повинні лежати між 0 і 1. RSE визначається в цьому випадку за формулою:

$$U(b)\sigma = W \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - a_i)^2}$$

Для завдань категоризації можна встановити поріг, так, щоб виходи вихідних елементів отримували значення або 0 (не належить даному класу), або 1 (належить даному класу). Для обчислення мір похибки недостатньо знати "так" чи "ні", необхідно обчислити розмір відхилення.

У деяких випадках представляється необхідним визначити похибку в термінах конкретного завдання, для вирішення якого сконструйовано мережу.

Як правило, після навчання нейромережі здійснюють контрольне відтворення даних, які склали навчальну множину. Якщо точність відтворення задовільна і відхилення знаходяться в допустимих межах, вважають, що побудовано задовільну модель і слід очікувати достатню якість відображення [100].

Причини збільшення невизначеності вихідних даних розробленої штучної нейронної мережі можуть бути викликані наступними причинами: наявністю неточних даних з великою випадковою складовою та неврахуванням суттєвих ознак, які в значній мірі визначають закономірність. Для зменшення першої причини підвищують вимоги до точності вимірювань, якщо використовується часовий ряд, можна здійснити зменшення кроку дискретизації, наприклад використати вимірювання щомісячних значень замість річних, або добових замість місячних. Другу причину вирішують або розширенням набору ознак, що приймаються до уваги або підвищенням інформативності ознаки як наведено в другому розділі.

Невизначеність, що обумовлена похибками мережі по відношенню до розміру навчальної послідовності функціонування мережі поліпшується у міру ітеративного налаштування (тобто поступового наближення) вагових коефіцієнтів. Рівняння

$$\omega \leq p \leq \omega \log_2 \omega,$$

описує результуючі межі числа ваг в мережі.

Вважаючи границю похибок $0 \leq e \leq \frac{1}{8}$ [100], кількість тренувальних прикладів має бути приблизно рівною кількості ваг мережі, помноженому на зворотну величину похибки. Наприклад, для граничної похибки $\varepsilon = 0,1$ необхідно використовувати навчальну послідовність n в 10 разів більшу кількості вагів ω . Ця залежність описується формулою:

$$n \geq \frac{\omega}{e}$$

Причина того, що значення похибки відіграє значну роль, пов'язана із співвідношенням між узагальнюючою здатністю і точністю [100].

Рекомендації щодо зменшення невизначеності за кількістю прихованих елементів. При виборі кількості прихованих елементів, по-перше, не варто обирати кількість прихованих елементів h більше, ніж подвійну кількість вхідних елементів: $h \leq 2i + 1$, по-друге, якщо необхідно забезпечити високу узагальнюючу здатність, необхідно обирати значно меншу кількість прихованих елементів. Крім того, кількість навчальних даних має бути що найменше в $\frac{1}{e}$ разів більше кількості вагів у мережі [50].

Якщо розмірність даних може бути зменшена, то слід використовувати меншу кількість прихованих одиниць.

При навчанні на безструктурних входах необхідно, щоб кількість прихованих одиниць була більшою, ніж кількість входів.

Кількість прихованих одиниць, необхідних для вирішення задач класифікації, має збільшуватися зі збільшенням числа класів, точніше, кількості областей, на які має бути розділено простір входів, що є більш важливим фактором, ніж кількість класів само по собі.

Функції активації елемента (нейрона) підсумовує зважені входи від усіх приєднаних елементів і стискає їх в заданий діапазон значень. Цей діапазон вибирається рівним або $(0; -1)$, або $(-1; +1)$. При цьому великі значення завжди стискаються таким чином, що вони вносили зменшуваний внесок. З цієї причини, а також тому, що мережа повинна моделювати нелінійні процеси, функції активації повинні бути нелінійними.

Рекомендації щодо зменшення невизначеності полягає в підвищенні репрезентативності навчальної, контрольної та тестової множини.

Похибка знайдена за рахунок похибки, що обумовлює невизначеність при проектуванні нейронної мережі використовується для оцінки точності прогнозування $E_{виб}$ та зменшення невизначеності:

$$E_{виб} = \frac{\sum |e_i|}{n_{виб}},$$

тобто чим нижче значення $E_{виб}$ – тим відповідно кращий прогноз [100].

При прогнозуванні за ознаками з класифікацією завдання полягає в поділі досліджуваної сукупності виробів на класи і немає необхідності в оцінці конкретного значення прогнозованого параметра. У більшості практичних застосувань цього методу число класів дорівнює двом. Так буває, наприклад, коли досліджувану сукупність необхідно по заданому правилу розділити на клас придатних та непридатних.

Для вирішення задачі прогнозування методами теорії статистичної класифікації необхідно розташовувати умовними багатовимірними густиною розподілу ознак для кожного класу, тоді завдання полягає в знаходженні способу прийняття оптимального рішення про приналежність перевіряється примірника до того чи іншого класу в умовах невизначеності, тобто в умовах дії випадкових факторів, що маскують зв'язок між ознаками і класом екземпляра.

Класичні статистичні методи дають оптимальне рішення задачі прогнозування. Однак практичне застосування цих методів можливо, якщо проведено спеціальний експеримент зі збору та такій обробці статистичних даних про прогнозований параметрі і ознаках, в результаті якої знайдені відповідні аналітичні моделі умовних багатовимірних щільності розподілу прогнозованого параметра і ознак. Однак у реальних задачах дослідник стикається тут з низкою проблем, тому реалізувати класичні статистичні методи не завжди можливо.

По-перше, для реальних умов навіть при відомій сукупності інформативних ознак (виявлення яких представляє дуже трудомістку задачу) не

завжди вивчені багатовимірні умовні щільності розподілу ознак і прогнозованого параметра.

По-друге, отримання аналітичних моделей цих умовних щільностей розподілу являє трудомісткий процес і може бути поставлено лише окремої самостійної завданням для кожного типу виробів і для даних умов експлуатації.

По-третє, навіть якщо такі аналітичні моделі отримані, необхідні при цих методах прогнозування аналітичні перетворення досить складні. Завдання відносно легко вирішується аналітично, якщо багатовимірні умовні щільності підкоряються нормальному закону, що насправді має місце далеко не завжди.

У зв'язку зі сказаним вище становить інтерес застосування методів вирішення задач прогнозування, заснованих на евристичних алгоритмах. Сенс поняття "евристичний алгоритм" полягає в тому, що в цьому випадку алгоритм прогнозування не впливає із строгих положень теорії, а в значній мірі заснований на інтуїції і досвіді дослідника.

Такі методи можуть давати задовільні результати і при обмеженій вихідної інформації про імовірнісних характеристиках ознак і прогнозованого параметра. Так, для застосування цих методів для прогнозування за ознаками необхідно мати набір ознак, сильно корельованих з прогнозованим параметром, і необов'язково знати вид їх умовних щільностей розподілу.

Слід сказати, що методи прогнозування, засновані на використанні евристичних алгоритмів, не завжди призводять до оптимальних рішень. Однак для їх застосування на практиці достатньо, щоб помилка прогнозування не перевищувала допустимого значення, а цього можна домогтися, наприклад, підбором більш інформативних ознак, застосуванням відповідних способів поліпшення оператора прогнозування.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 6

6.1. Використовуючи проактивний підхід концепції управління безпекою діяльності, для виявлення складової людського фактору, проведено аналіз

складових функціонального стану оператора, що ідентифікуються як джерела небезпеки і мають стохастичну складову. Запропонована модель оцінювання ризику виходу функціонального стану оператора зі стану рівноваги на основі емпіричного та теоретичного підходів. Емпіричний підхід реалізований при розробці системи диференціальних рівнянь, які визначають рівновагу між кількістю адаптаційного потенціалу організму та кількістю факторів дестабілізації, що впливають на даний організм.

6.2. Визначено, що при відсутності необхідної статистики ризиків, які мали місце у даного оператора, необхідно використання теоретичного підходу, який дозволяє на основі тестової множини діагностичних даних операторів з зазначеним ризиком розробити модель прогнозування виникнення такої групи ризику для перевірки операторів, що здійснюють авіаційну діяльність. Теоретичний підхід реалізований на основі використання штучного інтелекту, а саме у розробці штучної нейронної мережі, яка дозволяє прогнозувати виникнення негативної події, що полягає у різкому погіршенні функціонального стану оператора, та в якості тригера запускає виникнення помилкових дій та появу небезпеки. Зазначене погіршення функціонального стану є джерелом небезпеки, прогнозування якої здійснюється на основі розробленої штучної мережі, та дозволяє завчасно попередити виявлення негативної події до моменту початку її впливу на заплановану виробничу діяльність.

6.3. Визначені підходи до побудови штучних нейронних мереж. Виявлені джерела виникнення невизначеності факторів як на етапі вхідних даних так і на етапах побудови та навчання мережі. Запропоновані підходи до зменшення невизначеності, які полягають в переліку рекомендацій для кожного з джерел виникнення невизначеності.

Список публікацій здобувача за матеріалами шостого розділу

- 6.1. Іванець О.Б., Буриченко М.Ю., Букреєва О.В. Використання програмного пакета MATLAB для побудови штучних нейронних мереж. Електроніка та системи управління. 2011. №3(29). С.120-123
- 6.2. Іванець О.Б., Букреєва О.В., Дворнік М.В. Построение моделей прогнозирования с помощью искусственных нейронных сетей. Електроніка та системи управління. 2011. №4(30). С.139-142
- 6.3. Іванець О.Б., Морозова І.В., Нечипорук В.В. Побудова моделей прогнозування реляційних даних. Електроніка та системи управління. 2011. №3(29). – С.124-127.
- 6.4. Іванець О.Б., Булигіна О.В., Безвершнюк К.О. Метод прогнозування розвитку захворювань. Вісник інженерної академії України. 2018. №2 С. 147-151.
- 6.5. Іванець О.Б., Буриченко М.Ю. Шляхи зменшення невизначеності прогнозу стану організму людини при нейромережевому моделюванні. Системи обробки інформації: зб. наук. праць. Харків: Видавництво харківського університету Повітряних сил ім.І.Кожедуба, 2012. №1(99). С.86-90.
- 6.6. Архирей М. В., Іванець О. Б., Дрозд А. М., Лашкул О. К.. Модель прогнозування стану серцево-судинної системи на основі інформаційних параметрів. IV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні системи та технології в медицині» (ICM– 2021). ISBN 978-966-662-842-1.
- 6.7. Burichenko M., 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
- 6.8. 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.

- 6.9. 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 2019 р. С.100.
- 6.10. Іванець О.Б., Буриченко М.Ю. Шляхи зменшення невизначеності прогнозу стану організму людини при нейромережевому моделюванні. 9-th International scientific and technical workshop: “Uncertainty in measurements: scientific, applied, standard and methodical aspects” (UM-2012) Belssko-Biala. Poland, 20-25 February.
- 6.11. Іванець О.Б. Використання індивідуального підходу для оцінювання функціонального стану організму. Матеріали XV міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2021». К.: НАУ, 2021.
- 6.12. 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.

РОЗДІЛ 7

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ АДАПТАЦІЙНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ ОПЕРАТОРА

Як було зазначено в розділі 5 адаптаційний потенціал є інтегральною оцінкою для оцінювання функціональних резервів організму при виконанні професійних обов'язків різного характеру. Але використання резервів організму має бути підпорядковане чіткому алгоритму їх оптимізації для уникнення ситуації переходу адаптаційного потенціалу в статус зриву адаптації [116]. Тому вирішення задачі управління розподілом функціональних резервів організму для ефективного виконання професійних обов'язків є важливою ланкою в загальній проблемі врахування людського фактору як триггеру виникнення небезпечної події в авіації.

При розв'язанні задачі оптимального управління функціональними резервами організму необхідно, як було зазначено в розділах 2 та 6 враховувати вплив факторів дестабілізації, що зменшують загальну кількість резервів організму. Тому, якщо загальний об'єм резервів організму позначити через c , то на виконання кожного i -того процесу професійної діяльності (зміни диспетчера управління повітряним рухом, перельоту льотного екіпажу, процедури діагностування оператором наземної служби, тощо) витрачається a_i кількість функціональний резервів організму. В той самий час існує функція $f_i(a)$, що описує витрати a_i на кожний i -тий процес за умови максимально ефективного виконання i -того процесу. Під максимально ефективним виконанням процесу будемо розуміти виконання професійних обов'язків при нормальній ситуації: виконання професійних обов'язків в повному обсязі згідно чіткої послідовності стандартних процедур пілотування та обслуговування повітряним рухом; при позаштатних ситуаціях – виконання професійних обов'язків в повному обсязі з прийняттям динамічних рішень в бік найоптимальніших процедур (як зазначалося авторами [224] в бік позитивного полюсу прийняття рішення).

Саме недостатність кількості функціональних резервів організму при позаштатній ситуації є тригером настання негативної події, тому що основна кількість негативних подій в авіації стається при позаштатних (неочікуваних) умовах експлуатації. Саме в такому випадку важливим є стабільність функціонального стану оператора та достатня кількість функціональних резервів організму та відповідно присутність задовільної адаптації до зовнішніх факторів впливу (розділ 5).

З огляду на зазначене математична модель розподілу функціональних резервів організму за i -тими технологічними процесами виконання професійних обов'язків має вигляд:

$$\sum_{i=1}^n f_i(a_i) \rightarrow \max,$$

$$a_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n}; \quad \sum_{i=1}^n a_i = c,$$

де n – обирається з урахуванням санітарних норм, вимог трудового законодавства та регламентів авіаційної медицини.

З огляду на те що вирішення завдання розподілу резервів має бути здійснення для різних проміжків часу (доба, тиждень, місяць, рік) необхідно провести її розв'язання для декількох сімейств даної задачі. Замість значення n розглядається число τ процесів, а замість кількості c розглядається кількість b . Тоді для сімейства задач:

$$\sum_{i=1}^{\tau} f_i(a_i) \rightarrow \max,$$

$$a_i \geq 0, \quad i = \overline{1, \tau}; \quad \sum_{i=1}^{\tau} a_i = b.$$

Вводиться функція Беллмана, що має фізичний сенс в максимальній ефективності, що досягається на виконанні τ -тих професійних процесів при використанні b кількості функціональних резервів організму оператора:

$$B(b, \tau) = \max_{\substack{a_i \geq 0, i = \overline{1, \tau} \\ \sum_i a_i = b}} \sum_{i=1}^{\tau} f_i(a_i)$$

Для забезпечення принципу оптимальності для процесу описаного сімейства задач з номером τ виділяється кількість функціональних резервів a_i , що надає змогу проаналізувати залишок $b - a_{\tau}$ одиниць адаптаційного потенціалу.

І хоча вважається, що залишок резервів організму визначається арифметичним відніманням, необхідна перевірка чи достатньої адаптаційних можливостей залишилось для наступного процесу, що може бути перевірено за формулою (5.1.) розділу 5, причому кількість адаптаційного потенціалу має бути не меншою ніж 2,1 у.о., окрім цього має бути здійснена перевірка на не перевищення критичного значення статистики Хотеллінга як зазначено в пп.5.2.

Якщо зазначені вимоги виконуються та при виконанні τ -1 процесу вдалося отримати максимально ефективне виконання даного процесу, тобто:

$$\sum_{i=1}^{\tau-1} f_i(a_i) \rightarrow \max,$$

$$a_i \geq 0, \quad i = \overline{1, \tau - 1}; \quad \sum_{i=1}^{\tau-1} a_i = b - a_\tau,$$

Виконання даного процесу із зазначеними вимогами залежить від кількості функціональних резервів a_τ що були витрачені на τ -тий процес, в такому випадку максимально ефективний розподіл використання функціональних резервів організму оператора буде дорівнювати:

$$f_\tau(a_\tau) + B(b - a_\tau, \tau - 1).$$

У зв'язку з тим що метою використання функціональних резервів організму оператора авіаційної діяльності є максимально ефективний розподіл цих резервів за всіма τ виробничими процесами, необхідно їх обирати таким чином, щоб ефективність розподілу функціональних резервів за всіма процесами було максимальним. Але вибір a_τ має певне обмеження запасом b : $0 \leq a_\tau \leq b$. При чому нульове значення в такому випадку дорівнює значенню адаптаційного потенціалу 4,3 у.о. тобто значення при якому оператор не може виконувати своїх професійних обов'язків з огляду на можливі ризики авіаційної діяльності (червона зона матриці ERCS) [93]. В такому випадку отримаємо математичний вираз принципу оптимальності розподілу функціональних резервів організму оператору, який дорівнює:

$$B(b, \tau) = \max_{0 \leq a_\tau \leq b} \{f_\tau(a_\tau) + B(b - a_\tau, \tau - 1)\}.$$

У зв'язку з тим, що за змінною a_τ береться операція \max тобто вона має статус «німої» та при спрощенні рівняння може мати вигляд:

$$B(b, \tau) = \max_{0 \leq a \leq b} \{f_\tau(a) + B(b - a, \tau - 1)\}.$$

Для рішення даного рівняння необхідно знати крайову умову: при $\tau=1$:

$$B(b, 1) = f_1(b).$$

Тоді можна вирішити первинну задачу.

Визначаючи $\tau=2$ отримаємо:

$$B(b, 2) = \max_{0 \leq a \leq b} \{f_2(a) + B(b - a, 1)\}.$$

Оскільки функція $f_2(a)$ задана, значення функції $B(b - a, 1)$ вже знайдено, то може бути знайдено і $f_2(a) + B(b - a, 1)$. Відповідно, можна знайти $B(b, 2)$. Надалі надаючи змінній τ значення 3, 4 ... через $n-1$ кроків визначається функція $B(b, n)$. За визначенням функції Беллмана значення $B(c, n)$ дорівнює максимально ефективному використанню функціональних резервів оператора авіаційної галузі з використанням n процесів при загальному об'ємі функціональних резервів організму в заданий період часу.

За аналогічним принципом визначається кількість функціональних резервів організму, що необхідно виділити на кожний з n процесів для його максимально ефективного. Вважаючи $b = c$, $\tau = n$ отримаємо наступне рівняння:

$$B(c, n) = \max_{0 \leq a \leq c} \{f_n(a) + B(c - a, n - 1)\}.$$

Нехай, a_n значення при якому права частина досягає максимуму. За змістом вираз, що знаходиться в фігурних дужках значення a_n дорівнює оптимальній кількості функціональних резервів організму оператора, що виділені на n -ий виробничий процес; після виділення a_n кількості функціональних резервів на n -ий виробничий процес залишається $n-1$ процесів на який можна виділити $c - a_n$ функціональних резервів за умови відповідності адаптаційного потенціалу, забезпечення рівноваги факторів дестабілізації з відповідною кількістю резервів, що залишились (розділ 6). Якщо $b = c - a_n$, $\tau = n-1$ отримаємо:

$$B(c - a_n, n - 1) = \max_{0 \leq a \leq c - a_n} \{f_{n-1}(a) + B(c - a_n - a, n - 2)\}.$$

За аналогією можна упевнитися, що значення $a_n - 1$ на якому досягається максимум дорівнює оптимальній кількості функціональних резервів, що витрачаються на виробничий процес під номером $n-1$. Аналогічно провівши розрахунок адаптаційного потенціалу можна визначити для різного часового діапазону, в залежності від мети прогнозування (доба, тиждень, місяць, рік) яку кількість функціональних резервів можна використати аби не допустити зриву адаптації. За такою логікою можна для різних часових періодів отримати кількість розподілених функціональних резервів:

$$a_n, a_{n-1}, \dots, a_1 (\sum_{i=1}^n a_i = c),$$

в залежності від часового інтервалу для якого здійснюється процес оптимізації. Фізичний сенс отриманої залежності полягає в оптимальній кількості функціональних резервів організму оператора, що виділяється на кожний технологічний процес для отримання максимального ефекту від професійної діяльності. Дана задача розподілу функціональних резервів є достатньо важким завданням мінімізації загальної функції ефективного виконання всіх технологічних процесів n за рахунок змінної a_1, \dots, a_n . Декомпозиція даної задачі призвела до сімейства n подібних задач за однією змінною a з постійним контролем залишку функціональних резервів за однією з запропонованих методик: розрахунок вдосконаленого адаптаційного потенціалу (розділ 5), визначення знаходження в межах індивідуального допуску за картами Хотеллінга (розділ 3), за критерієм небезпеки відхилення (розділ 4), за прогнозуванням виникнення небезпечної події за допомогою моделі штучних нейронних мереж (розділ 6). Кожна із зазначених методик обирається з огляду на наявні виміряні медико-біологічні параметри оператора та з огляду на проміжок часу для якого необхідно використати задачу оптимізації. Ключовою складовою ефективного використання описаного підходу є забезпечення адекватності системи прийняття рішення про поточний функціональний стан оператора для того щоб при прийнятті рішення про можливість допуску до виконання наступного технологічного процесу не допустити помилки першого та другого роду.

Описаний підхід є основою для формування добровільних (якщо мова йде про само оцінювання поточного стану) та обов'язкових (згідно додатку до Авіаційних правил України «Порядок сповіщення про події в цивільній авіації») сповіщень в контурі системи управління безпекою польотів, що описана і розглянута в розділі 1 (рис.1.7) [92]. Тому система прийняття рішення щодо поточного функціонального стану є важливою складовою даної методології.

У всіх системах оцінювання поточного стану, діагностування, а також ідентифікації використовують процес перетворення первинної вимірювальної багатомірної інформації в інформацію вторинну, як було зазначено в розділі 2. Отримана вторинна інформація є одномірною, що виявлена логічними рішеннями. Але ефективність даних логічних рішень суттєво залежить від ступеню адекватності математичних моделей інформаційних перетворень тим змінам станів, що характеризуються певними фізичними властивостями біологічного об'єкту. Ступінь даної адекватності залежить від багатьох умов серед яких необхідно виділити наступні: забезпечення заданої точності оцінювання як коефіцієнтів математичної моделі інформаційно-логічного перетворення результатів первинних вимірювань у вторинні статистичні рішення так і вибору показників ефективності роботи системи прийняття рішень, які враховують апріорну невизначеність оцінок коефіцієнтів математичної моделі перетворення, оптимальних, по максимум отримуваної діагностичної інформації; а також визначення найбільш інформативних складових вектора вхідних діагностичних медико-біологічних показників.

При виконанні зазначених також здійснюється по'єднання вивчення об'єкта, що діагностується та побудови умовної моделі на етапі навчання моделі прийняття рішень діагностики, що забезпечує максимально можливу кількість очікуваної діагностичної інформації при її використанні, як наприклад при використанні штучних нейронних мереж розділ 6. Для максимального використання інформаційних і діагностичних можливостей моделі прийняття рішень необхідне вирішення наступних задач: обґрунтування вибору типу математичної моделі для функціональної діагностики з урахуванням

обмеженості апіорної інформації про властивості функціонування біологічного об'єкту; побудова інформаційної моделі процедур комплексного перетворення багатокритеріальних методів в альтернативі діагностичних рішень, які враховують нормативні ризики можливих ймовірностей помилок.

;7.1 Аналіз ймовірносних моделей параметричних правил прийняття рішень

При прийнятті діагностичних рішень за медико-біологічними показниками можна розглядати модель прийняття рішень як систему, яка здійснює виконання інформаційних та логічних перетворень значень медико-біологічних параметрів x_1, \dots, x_n , що є складовими вектору вхідних сигналів

$$\bar{X} = (x_1, \dots, x_n)$$

в одне з рішень:

$$\begin{cases} \gamma_0 : \text{об'єкт в стабільному стані;} \\ \gamma_j : \text{об'єкт має } j - \text{те функціональне порушення } (j = \overline{1, K}). \end{cases}$$

Якщо S_0 характеризує стабільність функціонування біологічної системи в індивідуальних межах то відповідно $\{S_j\}_1^K$ відповідає нестабільному стану, причому загальне число станів буде $(K+1)$ [72].

Якщо відмові умовні щільності розподілення ймовірностей $(f x_i | S_0)$ і $(f x_i | S_j)$, $j = \overline{1, K}$, для будь-якої складової x_i вектора \bar{X} , то вибір рішення про поточний стан системи необхідно проводити за максимумом функції правдоподібності. Для мінімізації ймовірності помилки діагностики зазначена функція за правилом вибору рішень γ_r , в якому вектор \bar{X} відноситься до стану S_r , при заданих q_0, q_1, \dots, q_K апіорних ймовірностях станів S_0, S_1, \dots, S_K , якщо:

$$q_r \times f(\bar{X} | S_r) > \max\{q_j \times f(\bar{X} | S_j)\}, (j = \overline{0, (K+1)}), r \neq j.$$

При наявності двох альтернатив станів, як було зазначено, S_0 і S_1 ($K = 1$) відповідно, рішення γ_0 або γ_1 вибирають по значенню відношення правдоподібності Λ

$$\Lambda = \frac{q_0 \times f(\bar{X}|S_0)}{q_1 \times f(\bar{X}|S_1)} \begin{matrix} \gamma_0 \\ > \\ < \\ \gamma_1 \end{matrix} 1, \quad (7.1)$$

де $f(\bar{X}|S_j)$, $j = \overline{0,1}$ – умовна щільність розподілення ймовірностей значень медико-біологічних параметрів вектору X [237].

Аналітично можна реалізувати дану модель (7.1) у випадку апіорі заданих видів умовних щільностей $f(\bar{X}|S_0)$ і $f(\bar{X}|S_1)$ та числові характеристики (вектори середніх значень, коварційні або дисперсійні матриці) випадкового вхідного вектора X . Загальна модель (7.1) у формі дискримінантної функції $g(\bar{X})$ має вигляд:

$$g(\bar{X}) = \ln \Lambda \begin{matrix} \gamma_0 \\ > \\ < \\ \gamma_1 \end{matrix} 0,$$

яка є логарифмом відношення правдоподібності [237].

В таблиці 7.1 наведені математичні моделі дискримінантної функцій, що включають:

- вектори середніх $\mu_{(0)}, \mu_{(1)}$;
- дисперсійні матриці $D_{(0)}, D_{(1)}$;
- коварційні матриці $\Sigma_{(0)}, \Sigma_{(1)}$.

Повнота апіорної інформації про числові характеристики випадкового вхідного вектора X для станів діагностування S_0 і S_1 (а таблиця 7.1 сформована у порядку їхнього зростання) дозволяє обрати модель з переліку наведених в табл. 7.1. І хоча, моделі табл. 7.1 реалізують альтернативні діагностику функціональних станів вони можуть бути використані і для багатоальтернативної діагностики, з кількістю діагностичних станів $K > 1$ [72]. Це можна здійснити послідовним попарним порівнянням діагностичних станів. Обираючи пару при умові:

$$g(\bar{X}|S_0, S_j) > \max\{g(\bar{X}|S_0, S_r)\}; (j = \overline{1, K}); j \neq r.$$

При малих обсягах навчальних виборок $N \leq 20$ на кожен зі складових вектора \bar{X} , пріоритетною є перша модель, що нечутлива до порушення

нормальності вектора \bar{X} і зміщень в оцінках центральних моментів складових цього вектора. Найбільш ефективні за точністю, і чутливістю до змін станів об'єкту діагностики є четверта і п'ята модель. Але їх недоліком є необхідність наявності великих обсягів вибірки $N > 500$ для їх параметричного синтезу [72].

Такі моделі можуть бути ефективно використанні при інтелектуальному аналізі інформаційних параметрів баз даних, наприклад сайту phisionet.org.

Коваріаційна матриця (або коваріаційна таблиця) має вигляд квадратної матриці, що складена з попарних коваріацій і дисперсій двох або більше випадкових величин. Коваріація як міра спільної мінливості двох випадкових змінних на відміну від дисперсії характеризує міру розсіювання значень випадкової величини, відносно середнього значення розподілу. Тому, чим більші значення дисперсії тим більше відхилення значень випадкової величини від центру розподілу. Крім того, умовні закони оцінок показників ефективності діагностики. Найбільш прийнятна для практичного використання є лінійна дискримінантна функція (що відповідає моделям 2 та 3). Її особливістю є незалежність складових вхідного вектора \bar{X} . Обсяги навчальних вибірок у цьому випадку, відносно невеликі $N > 50$. Оцінка показників ефективності діагностики ризиків першого і другого роду та ймовірність помилок діагностики визначається за достатньо простою процедурою [237].

Таблиця 7.1

Види нормативних параметричних вирішувальних функцій [237]

№	Назва	Математична модель	Відомі числові характеристики
	дискримінантної функції	дискримінантної функції $g(\bar{X})$	
1	Лійний дискримінант Фішера	$[\bar{X} - 0,5(\mu_{(0)} + \mu_{(1)})](\mu_{(0)} - \mu_{(1)})$	$\Sigma_{(j)} = 0;$ $D_{(j)} = 0;$ $j = \overline{0,1}$

Продовження таблиці 7.1

2	Лінійна, незалежними інформаційними ознаками	з	$[\bar{X} - 0,5(\mu_{(0)} + \mu_{(1)})] \times D^{-1}(\mu_{(0)} - \mu_{(1)})$	$\Sigma_{(j)} = 0;$ $D_{(0)} = D_{(1)}$ $= 1;$
3	Лінійна, залежними інформаційними ознаками	з	$[\bar{X} - 0,5(\mu_{(0)} + \mu_{(1)})] \times \Sigma^{-1}(\mu_{(0)} - \mu_{(1)})$	$\Sigma_{(0)} = \Sigma_{(1)}$ $= 1;$
4	Квадратична, незалежними інформаційними ознаками	з	$(\bar{X} - \mu_{(1)})' D_{(1)} (\bar{X} - \mu_{(1)}) - (\bar{X} - \mu_{(0)})' D_{(0)} (\bar{X} - \mu_{(0)}) + \ln(D_{(1)}) - \ln(D_{(0)})$	$\Sigma_{(0)} = \Sigma_{(1)}$ $= 0;$ $D_{(0)} \neq D_{(1)}$
5	Квадратична, залежними інформаційними ознаками	з	$(\bar{X} - \mu_{(1)})' \Sigma_{(1)} (\bar{X} - \mu_{(1)}) - (\bar{X} - \mu_{(0)})' \Sigma_{(0)} (\bar{X} - \mu_{(0)}) + \ln(D_{(1)}) - \ln(D_{(0)})$	$\Sigma_{(0)} \neq \Sigma_{(1)};$

Сама дискримінантна функція $g(\bar{X})$ – це лінійна форма. Вектор \bar{X} і в скалярному вигляді може бути представлено як сума:

$$g(x) = \sum_{i=0}^n \frac{(m_i^{(0)} - m_i^{(1)})}{\sigma_i^2} \left[x_i - \frac{(m_i^{(0)} - m_i^{(1)})}{2} \right] \quad (7.2)$$

де $m_i^{(0)}, m_i^{(1)}$ – оцінки умовних середніх для i -тої складової $x_i, i = \overline{1, n}$;

σ_i^2 – оцінка дисперсії x_i [102].

Ризики діагностики першого і другого роду (α і β) однакові якщо функція інтегралу ймовірності має аргумент $z = \delta/2$ тоді:

$$\alpha = \beta = 1 - \Phi(\delta/2) \quad (7.3)$$

де Φ – інтеграл ймовірності.

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=0}^n \left(\frac{m_i^{(0)} - m_i^{(1)}}{\sigma_i^2} \right)^2} \quad (7.4)$$

Аргументом δ є геометричною, причому нормованою за дисперсією, відстанню в просторі інформативних ознак (x_1, \dots, x_n) між векторами умовних середніх $\mu_{(0)}$ і $\mu_{(1)}$, які характеризують стани $S_{(0)}$ і $S_{(1)}$ (відстань між діагностованими станами) [72].

Модель (7.2) дозволяє, враховуючи, що $x \sim NORM(\mu_{(j)}, D), j = \overline{0,1}$, розрахувати оцінки умовних середніх значень випадкової величини $\varepsilon = g(X)$ та її дисперсію:

$$\begin{cases} \mu_{(\varepsilon|S_0)} = \frac{1}{2} \delta^2; \\ \mu_{(\varepsilon|S_1)} = -\frac{1}{2} \delta^2; \\ \sigma_\varepsilon^2 = \delta^2. \end{cases} \quad (7.5)$$

Числові характеристики (7.5) дискримінантної функції (7.2) надають можливість провести аналіз тих інформаційних властивостей різних δ^2 , обсягів N вимірювань і розмірності n простору інформативних ознак що є вхідними даними процедури діагностування. В той час як розрахунок вірогідності діагностики, при відомих апіорних ймовірностях q_0, q_1 станів S_0, S_1 , можна здійснити за виразом [235]:

$$P_d = 1 - \alpha q_0 - \beta q_1, \quad (7.6)$$

Якщо врахувати вираз (7.4), вірогідність P_d діагностики за дискримінантною функцією 7.3 дорівнює:

$$P_D = \Phi(\delta/2),$$

за умови $\alpha = \beta$ [232].

7.2 Синтез інформаційної моделі процедури альтернативної функціональної діагностики

Дискримінантна функція (7.2) є критеріальною статистикою, що дозволяє перевірити справедливість висунутих при діагностиці гіпотез, що мають дві наступні альтернативи [72]:

$$\begin{cases} H_0 : \text{об'єкт діагностики знаходиться в стані рівноваги;} \\ H_1 : \text{об'єкт має функціональні порушення працездатності.} \end{cases}$$

Ця критеріальна статистика ε є випадковою величиною:

$$\begin{cases} \varepsilon \sim \text{NORM } \mu_{(\varepsilon|S_0)}, \sigma_\varepsilon^2 : \text{якщо справедлива основна гіпотеза } H_0 \\ \varepsilon \sim \text{NORM } \mu_{(\varepsilon|S_1)}, \sigma_\varepsilon^2 : \text{якщо справедлива альтернативна гіпотеза } H_1, \end{cases} (7.7).$$

Вибір одного з двох рішень

$$\begin{cases} \gamma_0 - \text{справедлива гіпотеза } H_0 \\ \gamma_1 - \text{справедлива гіпотеза } H_1 \end{cases} (7.8).$$

Виконується у відповідності до правила

$$\begin{cases} \text{обрати рішення } \gamma_0 - \text{якщо } \varepsilon \in \omega_0 \\ \text{обрати рішення } \gamma_1 - \text{якщо } \varepsilon \in \bar{\omega} \end{cases} (7.9).$$

Область ω_0 допустимих значень і критична область $\bar{\omega}$ є інтервалами

$$\begin{cases} \omega_0 \in (0, \infty] \\ \bar{\omega} \in [-\infty, 0) \end{cases} (7.10).$$

Використовуючи умови (7.7)—(7.10) можна знайти вираз, що характеризує кількість очікуваної діагностичної інформації I , як різницю між H_ε і залишковою $H_{\Delta\varepsilon}$ ентропією для реалізації випадкової величини $\varepsilon = g(X)$, яка розраховується у відповідності з виразом (7.2) [234]:

$$I = H_\varepsilon - H_{\Delta\varepsilon}$$

Для знаходження вихідної ентропії H_ε будемо враховувати, що вона повністю визначається законом розподілу $f(\varepsilon)$ випадкової величини ε . Якщо функціональний стан (S_0 або S_1) об'єкта діагностики характеризується повною апіорною невизначеності, в цьому випадку статистика ε буде комплексною випадковою величиною. А ймовірнісна модель в такому випадку може представляти композицію неперервної Y і дискретної Z випадкових величин:

$$\varepsilon = Y + Z \quad (7.11),$$

$$Y \sim \text{NORM}(0, \delta^2) \quad (7.12).$$

Причому

$$Z = \begin{cases} \mu_{(\varepsilon|S_0)}, & \text{з ймовірністю } q_0 \\ \mu_{(\varepsilon|S_1)} & \text{з ймовірністю } q_1 \end{cases} \quad (7.13),$$

$$q_0 + q_1 = 1$$

Для визначення виду щільності розподілення $f(\varepsilon)$ дослідимо перші чотири кумулянти випадкової величини ε , як алгебраїчну суму кумулянтів K_{iY}, K_{iZ} ($i - \text{порядок кумулянта } i \overline{1,4}$) величин Y і Z :

$$K_{i\varepsilon} = K_{iY} + K_{iZ} \quad [233].$$

З (7.5) і (7.12) випливає, що $K_{1Y} = K_{3Y} = K_{4Y} = 0$, а $K_{2Y} = \delta^2$.

З (7.5) і (7.13) можна знайти кумулянти випадкової величини Z , які визначаються виразами [233]

$$\begin{cases} K_{1Z} = 0.5\delta^2(q_0 - q_1); \\ K_{2Z} = 0.25\delta^4 - K_{1Z}^2 \\ K_{3Z} = 0.125\delta^6(q_0 - q_1) - K_{1Z}^3 \\ K_{4Z} = 0.0625\delta^8 - K_{1Z}^4 - 3K_{2Z}^2 \end{cases} \quad (7.14).$$

Знайдемо кумулятивні коефіцієнти γ_1 і γ_2 , які характеризують відповідно асиметрію і ексес розподілення $f(\varepsilon)$:

$$\begin{cases} \gamma_1 = \frac{K_{3\varepsilon}}{K_{2\varepsilon}^{3/2}} \\ \gamma_2 = \frac{K_{4\varepsilon}}{K_{2\varepsilon}^2} \end{cases}$$

Враховуючи рівняння (7.12), а також що всі кумулянти (крім $K_{2Y} = \delta$) випадкової величини Y дорівнюють нулю, а кумулянти величини Z визначаються виразами (7.14), можна отримати:

$$\gamma_1 = \frac{0.125\delta^6(q_0 - q_1)[1 - (q_0 - q_1)^2]}{[\delta^2 + 0.25\delta^4 - 0.25\delta^4(q_0 - q_1)^2]^{3/2}} \quad (7.15),$$

$$\gamma_2 = \frac{0.0625\delta^8\{-2[1 - (q_0 - q_1)^4] - 6(q_0 - q_1)^2\}}{[\delta^2 + 0.25\delta^4 - 0.25\delta^4(q_0 - q_1)^2]^2} \quad (7.16).$$

Проаналізуємо вирази (7.15) і (7.16) для випадку $q_0 = q_1 = 0.5$. Це і буде критерієм максимальної правдоподібності який дозволяє оцінити асимптотичні наближення до граничних щільності $f(\varepsilon)$ для варіантів:

- а) $\delta^2 = 0$ (висока невизначенність в діагностованих станах S_0 і S_1);
- б) $\delta^2 = \infty$ (невизначенність у виборі виду діагностованих станів відсутня) [234].

Для варіанта (б) проблема підвищення вірогідності діагностики відсутня ($\alpha = \beta = 0$ і $P_D = 1$).

При $q_0 = q_1 = 0.5$ маємо

$$\begin{cases} \gamma_1 = 0 \\ \gamma_2 = -2[1 + 4\delta^{-2}]^{-1} \end{cases}$$

Для варіанта (а) при $\delta^2 = 0$ щільність $f(\varepsilon)$ є нормальною, оскільки γ_1 і γ_2 перетворюються в нуль ($\gamma_1 = \gamma_2 = 0$). Для варіанта (б) при $\delta^2 = \infty$ щільність $f(\varepsilon)$ перетворюється в щільність рівномірного (прямокутного) розподілення, оскільки $\gamma_1 = 0$, а $\gamma_2 = -2$ [237].

Таким чином, всі можливі види щільності $f(\varepsilon)$ змінюються від нормального закону, коли модель діагностики має ймовірнісний характер до рівномірного закону, коли модель діагностики має детермінований характер.

В останньому випадку відсутня проблема підвищення вірогідності діагностики.

Для нормального закону розподілення щільності $f(\varepsilon)$ і сумісної щільності $f(\varepsilon, \Delta\varepsilon)$ отримаємо наступні загальні вирази для ентропій H_ε і $H_{\Delta\varepsilon}$, та кількості інформації:

$$H = \int_{-\infty}^{\infty} f(\varepsilon) \log_2 f(\varepsilon) dx - \log(\Delta g) = \log_2 \left\{ \frac{\sigma_\varepsilon \sqrt{2\pi e}}{\Delta g} \right\}$$

$$H_{\Delta\varepsilon} = - \iint_{-\infty}^{\infty} f(\varepsilon, \Delta\varepsilon) \log_2 \frac{f(\varepsilon, \Delta\varepsilon) \times \Delta g}{f(\Delta\varepsilon)} d\varepsilon d(\Delta\varepsilon) = \log_2 \left\{ \frac{\sigma_\varepsilon \sigma_{\Delta\varepsilon} \sqrt{2\pi e}}{\Delta g \sqrt{\sigma_\varepsilon^2 + \sigma_{\Delta\varepsilon}^2}} \right\}$$

$$I = \frac{1}{2} \log_2 \left[1 + \frac{\sigma_\varepsilon^2}{\sigma_{\Delta\varepsilon}^2} \right] \quad (7.17).$$

де $-\Delta g$ похибка визначення значення дискримінантної функція (7.2);

$\Delta\varepsilon$ – вирішувальна функція $g(X)$, яка приймає значення $\Delta\varepsilon$ після прийняття рішень γ_0 або γ_1 [238].

Визначимо тепер дисперсії σ_ε^2 і $\sigma_{\Delta\varepsilon}^2$ дискримінантної функція $g(X)$ як випадкової величини ε відповідно, до і після діагностики .

За врахуванням моделі перетворення (7.11) і виразів (7.5), (7.12), (7.13) отримаємо:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \delta^2 + \delta^4 q_0 q_1 \quad (7.18).$$

Для виведення виразу по розрахунку дисперсії σ_ε^2 врахуємо, що рішення γ_0 або γ_1 виразу (7.8) можуть містити помилки. Зазначені помилки кількісно характеризуються ризиками діагностики першого (α) і другого (β) роду [228].

Умовні середні значення випадкової величини $\Delta\varepsilon$ визначаються виразами:

$$\begin{cases} \mu_{(\varepsilon|S_0)} = \mu_{(\varepsilon|S_0)} \times (1 - \alpha) - \mu_{(\varepsilon|S_0)} \times \alpha = \mu_{(\varepsilon|S_0)} \times (1 - 2\alpha); \\ \mu_{(\varepsilon|S_1)} = \mu_{(\varepsilon|S_1)} \times (1 - \beta) - \mu_{(\varepsilon|S_1)} \times \beta = \mu_{(\varepsilon|S_0)} \times (1 - 2\beta). \end{cases}$$

З урахуванням виразів дисперсія дискримінантної функції після прийняття рішень γ_0 або γ_1 (після діагностики) буде вираховуватися за виразом:

$$\sigma_{\Delta\varepsilon}^2 = \left\{ [\mu_{(\varepsilon|S_0)} - \mu_{(\varepsilon|S_0)}(1 - 2\alpha)]^2(1 - \alpha) + [\mu_{(\varepsilon|S_1)} - \mu_{(\varepsilon|S_0)}(1 - 2\alpha)]^2\alpha \right\} q_0 + \left\{ [\mu_{(\varepsilon|S_1)} - \mu_{(\varepsilon|S_1)}(1 - 2\beta)]^2(1 - \beta) + [\mu_{(\varepsilon|S_0)} - \mu_{(\varepsilon|S_1)}(1 - 2\beta)]^2\beta \right\} q_1 \quad [234].$$

Враховуючи, що $\mu_{(\varepsilon|S_0)}$ і $\mu_{(\varepsilon|S_1)}$ визначається виразами (7.5) остаточно отримаємо:

$$\sigma_{\Delta\varepsilon}^2 = \delta^4 [\alpha(1 - \alpha)q_0 + \beta(1 - \beta)q_1] \quad (7.19).$$

Підставляючи вираз (7.18) для σ_ε^2 і $\sigma_{\Delta\varepsilon}^2$ в рівнянні (7.17) будемо мати наступну аналітичну інформаційну модель:

$$I = \frac{1}{2} \log_2 \left\{ 1 + \frac{(q_0 q_1 + \delta^{-2})}{[\alpha(1 - \alpha)q_0 + \beta(1 - \beta)q_1]} \right\} \quad (7.20)$$

З аналізу моделі (7.20) випливає, що:

1. Максимальна кількість діагностичної інформації можна забезпечити при виконанні наступної умови:

$$\begin{cases} \alpha \rightarrow 0 \\ \beta \rightarrow 0 \end{cases}$$

що відповідає умові підвищення вірогідності [234]:

$$P_D \rightarrow 1.$$

2. Мінімум діагностичної інформації відповідає умові:

$$\alpha = \beta = P_D = 0.5 .$$

3. Збільшення діагностичної інформації відповідає додатковій умові:

$$\delta^2 \rightarrow 0.$$

що характеризує підвищення вихідної ентропії H_ε і збільшення невизначеності в розрізнені стани S_0 і S_1 (діагностики ускладнення) [234].

4. При рівності один одному ризиків діагностики ($\alpha = \beta$) вираз (7.20) спрощується і приймає вигляд:

$$I = \frac{1}{2} \log_2 \left\{ 1 + \frac{(q_0 q_1 + \delta^{-2})}{\alpha(1-\alpha)} \right\} \quad (7.21),$$

звідки випливає, що будь-які відхилення від умови $q_0 = q_1 = 0.5$ зменшують кількість діагностичної інформації (діагностики ускладнення) [234].

7.3. Модель визначення ризиків оцінювання

Ймовірності ризиків оцінювання, які визначаються за рівняннями (7.3), відповідають умовам:

а) незміщеності коефіцієнтів $m_i^{(0)}, m_i^{(1)}, \sigma_i$ ($i = \overline{1, n}$);

б) відсутню адитивних і мультиплікативних систематичних похибок вимірювання складових $x_1 \dots x_n$ вектора \bar{X} вхідних сигналів моделі прийняття рішень [234].

Будем розглядати дискримінантної функція (7.2) як композицію вимірювальних перетворювань:

$$\varepsilon = \sum_{i=0}^n (A_i + B_i \times x_i) \quad (7.22),$$

де

$$A_i = - \left[(m_i^{(0)2}) - (m_i^{(1)2}) \right] (2\sigma_i^2)^{-1}$$

$$B_i = (m_i^{(0)2} - m_i^{(1)2}) \sigma_i^2$$

Якщо $f(\varepsilon|S_0), f(\varepsilon|S_1)$ – умовні щільності розподілення вимірювальних, по моделі (7.22), значень ε вирішувальної функції (7.2), то ризики діагностики α і β визначаються, у загальному випадку, рівняннями:

$$\begin{cases} \alpha = \int_{-\infty}^0 f(\varepsilon|S_0) d\varepsilon \\ \beta = \int_0^{\infty} f(\varepsilon|S_1) d\varepsilon \end{cases}$$

Якщо номінальні ризики α_0 і β_0 однакові та дисперсії величини ε для станів S_0 і S_1 однакові, а умовні щільності $f(\varepsilon|S_0), f(\varepsilon|S_1)$ – нормальні і

зміщені відсно нуля (рис 7.1), використовуючи допустиму ω і критичну $\bar{\omega}$ області для визначення якісних змін ризиків α і β [234].

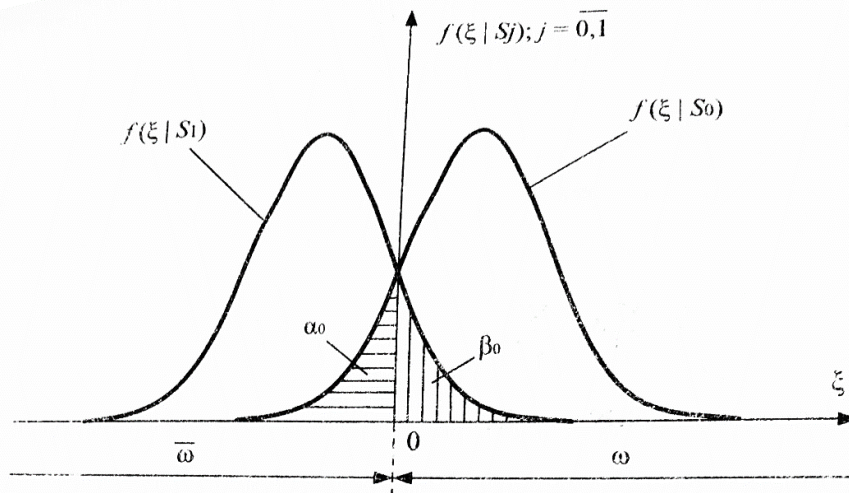


Рис. 7.1. Графічна модель визначення ризиків діагностики [234]

Введено поняття номінального ε_0 і фактичного ε вимірювальних лінійних перетворень на основі моделі (7.22), причому ε_0 відповідає виконанню умов а і б [237]. Тоді перетворення ε визначається як функція:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \sum_{i=0}^n (\Delta A_i) + \sum_{i=0}^n (\Delta B_i)(x + \Delta x_i) + \sum_{i=0}^n B_i(\Delta x_i)$$

де $\Delta A_i, \Delta B_i$ – зміщення коефіцієнтів моделі (7.22);

$\Delta x_i, i = \overline{1, n}$ – абсолютні похибки складових x_1, \dots, x_n [237].

Так як коефіцієнти моделі (7.22) – це параметри зсуву (коефіцієнти A_i) і масштабу (коефіцієнт B_i), то є сенс пронормувати модель (7.22) задавши

$$\begin{cases} A_1 = A_2 = \dots = A_n = 0 \\ B_1 = B_2 = \dots = B_n = 1 \end{cases} \quad (7.23)$$

Позначимо формально нижню ε_H і верхню ε_B границі області ω_0 . Тоді рішення γ_0 та γ_1 відповідають правилам [237]:

$$\begin{cases} \gamma_0: \text{якщо } \varepsilon \in (\varepsilon_H \varepsilon_B] \\ \gamma_1: \text{якщо } \varepsilon \notin (\varepsilon_H \varepsilon_B] \end{cases}$$

З умов (7.23) витікає, що

$$\varepsilon_0 = \sum_{i=0}^n x_i \quad (7.24),$$

$$\varepsilon = \sum_{i=0}^n x_i + \sum_{i=0}^n (\Delta A_i) + \sum_{i=0}^n \Delta B_i x_i + \sum_{i=0}^n B_i (\Delta x_i) \quad (7.25).$$

З останнього виразу визначається, що

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta \varepsilon \quad (7.26),$$

де

$$\Delta \varepsilon = \sum_{i=0}^n (\Delta A_i) + \sum_{i=0}^n \Delta B_i x_i + \sum_{i=0}^n B_i (\Delta x_i) \quad (7.27).$$

Зміщення $\Delta \varepsilon$ дискримінантної функції (7.2) максимальне коли всі окремі зміщення ΔA_i , ΔB_i , Δx_i мають однакові знаки і дорівнюють осередненим (за n) зміщенням [236]:

$$\begin{cases} \Delta A_1 = \dots = \Delta A_n = \Delta A \\ \Delta B_1 = \dots = \Delta B_n = \Delta B \\ \Delta x_1 = \dots = \Delta x_n = \Delta x \end{cases} \quad (7.28).$$

З врахуванням виразів (7.26)-(7.28) реальна (фактична) вимірювальна функція (7.25) має вигляд:

$$\varepsilon = n \times \Delta A + (\sum_{i=0}^n x_i)(1 + \Delta B) + n \times \Delta B \times \Delta x \quad (7.29).$$

Рішення γ_0 будемо приймати, коли:

$$\varepsilon_H < \varepsilon < \varepsilon_B \quad (7.30).$$

Підставимо з (7.29) значення ε в нерівність (7.30) і перетворимо останнє відносно суми результатів вимірювальних значень складових вектора \bar{X} [236]:

$$\varepsilon_H - \varepsilon_H \frac{\Delta B}{(1+\Delta B)} - \frac{n(\Delta A + \Delta B \times \Delta x)}{(1+\Delta B)} < \sum_{i=0}^n x_i < \varepsilon_B - \varepsilon_B \frac{\Delta B}{(1+\Delta B)} - \frac{n(\Delta A + \Delta B \times \Delta x)}{(1+\Delta B)} \quad (7.31).$$

Нерівність (7.31) можна представити в більш простому вигляді, якщо ввести позначення $\Delta\varepsilon_H$, $\Delta\varepsilon_B$ для зміщень границь інтервала допуску ω_0 :

$$\varepsilon_H - \Delta\varepsilon_H < \sum_{i=0}^n x_i < \varepsilon_B - \Delta\varepsilon_B$$

де

$$\begin{cases} \Delta\varepsilon_H = \varepsilon_H \frac{\Delta B}{(1+\Delta B)} - \frac{n(\Delta A + \Delta B \times \Delta x)}{(1+\Delta B)} \\ \Delta\varepsilon_B = \varepsilon_B \frac{\Delta B}{(1+\Delta B)} - \frac{n(\Delta A + \Delta B \times \Delta x)}{(1+\Delta B)} \end{cases} \quad (7.32).$$

Оскільки $\varepsilon_H = 0$, $\varepsilon_B = \infty$, а $\sum_{i=0}^n x_i$ – це модель (з (7.24)) номінального ε_0 вимірювальних значень x_1, \dots, x_n (якщо не враховувати фактичні зміщення $\Delta\varepsilon_H$, $\Delta\varepsilon_B$, які визначаються неточністю виміру як вектора \bar{X} , так і коефіцієнта дискримінантної функції (7.2)), то рішення γ_0 і γ_1 , будуть відповідати фактичним результатам діагностики [72]:

$$\begin{cases} \gamma_0: \text{якщо } \varepsilon_0 > - \frac{n(\Delta A + \Delta B \times \Delta x)}{(1+\Delta B)} \\ \gamma_1: \text{якщо } \varepsilon_0 \leq \frac{n(\Delta A + \Delta B \times \Delta x)}{(1+\Delta B)} \end{cases} \quad (7.33).$$

Права частина нерівностей (7.33) це $\Delta\varepsilon_H = 0$. На рис. 7.2, а,б графічно показано появу різнознакових прирощень $\Delta\alpha$ і $\Delta\beta$ у ризиків діагностики α і β при $\Delta\varepsilon_H \neq 0$. З рис. 7.2, а, б, можна визначити, що при будь-яких знаках прирощень $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$ [234]:

$$\alpha \text{ і } \beta > \alpha_0 + \beta_0,$$

вказує на обов'язкове зниження вірогідності діагностики, якщо $\Delta\varepsilon_H \neq 0$.

Якщо розглядати границі $\varepsilon_H = -\infty$ і $\varepsilon_B = 0$ критичної області $\bar{\omega}$, в такому випадку отриманий висновок може бути використаний і у випадку, коли $\Delta\varepsilon_B \neq 0$. В табл. 7.2 представлені варіанти впливу на ризики α і β систематичних похибок оцінювання коефіцієнтів лінійної дискримінантної функції на етапі навчання [234].

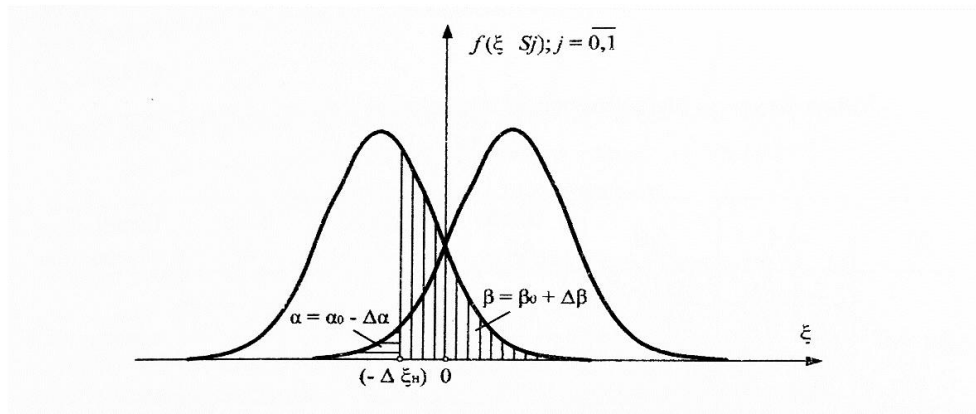
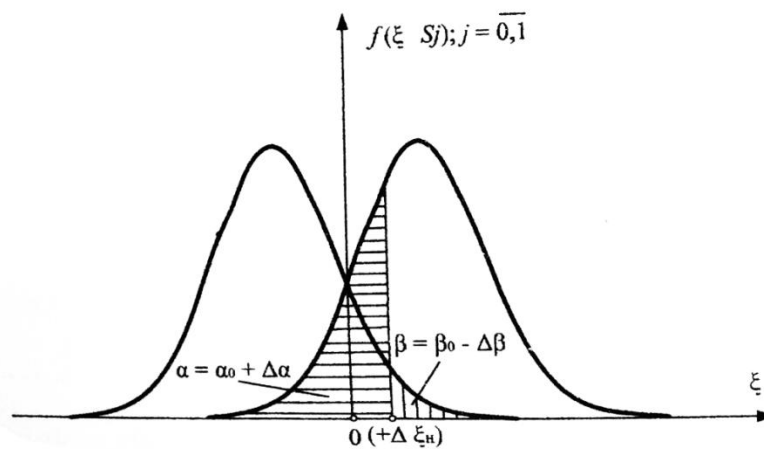
а) $\Delta \varepsilon_H > 0$ б) $\Delta \varepsilon_H < 0$

Рисунок 7.2 – Графічні моделі появи додаткових ризиків діагностики (α_0 і β_0 – номінальні ризики) [234]

З табл. 7.2 видно, що при наявності зміщень в оцінках коефіцієнтів дискримінантних функцій (7.2) вірогідність діагностики знижується, навіть якщо вимірювання складових x_1, \dots, x_n вхідного вектора \bar{X} виконані без систематичних і випадкових похибок ($\Delta X = 0, \Delta A \neq 0, \Delta B \neq 0$). Вірогідність не зменшується тільки в одному випадку, якщо систематична похибка вимірювання значень вектора \bar{X} дорівнює γ .

Це означає, що в принципі можлива компенсація зміщень ΔA і ΔB в оцінках коефіцієнтів вирішувальної функції $g(x)$ за рахунок перерозподілу

співвідношень між адитивною і мультиплікативною складовими перетворення в моделі прийняття рішень (розділ 2):

$$\gamma = \left| \frac{\Delta A}{\Delta B} \right|.$$

Цей висновок добре узгоджується з результатами аналізу сумісного впливу адитивних і мультиплікативних складових за однією інформативною ознакою (одномірною моделлю прийняття рішень) [237].

Як було наведено в розділі 2 новим в отриманих результатах є визначення умов стабільності функціонування в тривалих експериментальних дослідженнях медико-біологічних параметрів, за рахунок планування багатомірного експериментального дослідження при первинних складових вхідного вектора \bar{X} в режимі функціонування моделі прийняття рішень, що відрізняється можливістю урахування особливостей фізичного навантаження біологічних об'єктів та запропоновано відокремлення факторів неоднорідності від факторів біологічної нестабільності на основі методу статистичної валідації результатів зазначених досліджень.

При використанні для альтернативної функціональної діагностики лінійної дискримінантної функції (7.2), її коефіцієнти $m_i^{(0)}, m_i^{(1)}, \sigma_i, i = \overline{1, n}$, оцінюють в ході навчання діагностики. Таке навчання здійснюють за вибірками об'єктів з верифікованими станами S_0 і S_1 . Обсяги N_0 і N_1 таких вибірок, відповідно, для станів S_0 і S_1 , будемо вважати однаковими ($N_0 = N_1 = N$). Після навчання коефіцієнти дискримінантної функції вважають постійними, а невизначеність дискримінантної функції, як випадкової величини ε , залежить від невизначеності вектора \bar{X} вхідних вимірюваних величин [72].

Однак, якщо в ході навчання системи прийняття рішень складових x_1, \dots, x_n вектора \bar{X} супроводжується випадковими похибками, то виникає додаткова невизначеність у значеннях коефіцієнтів дискримінантної функції

Таблиця 7.2

Вплив фактора систематичних похибок вимірювання вхідних показників системи прийняття рішень на ризики діагностики [234]

Δx	ΔA	ΔB	Знак $\Delta \xi_H$	Знак $\Delta \alpha$	Знак $\Delta \beta$	Вірогідність діагностики
$\Delta x = 0$	$\Delta A > 0$	$\Delta B > 0$	-	-	+	Зменшується
	$\Delta A < 0$	$\Delta B < 0$	+	+	-	
	$\Delta A > 0$	$\Delta B < 0$	-	-	+	
	$\Delta A < 0$	$\Delta B > 0$	+	+	-	
$\Delta x > \gamma$	$\Delta A > 0$	$\Delta B > 0$	-	-	+	Зменшується
	$\Delta A < 0$	$\Delta B < 0$	+	+	-	
	$\Delta A > 0$	$\Delta B < 0$	+	+	-	
	$\Delta A < 0$	$\Delta B > 0$	-	-	+	
$\Delta x = \gamma$	$\Delta A > 0$	$\Delta B > 0$	-	-	+	Зменшується
	$\Delta A < 0$	$\Delta B < 0$	+	+	-	
	$\Delta A > 0$	$\Delta B < 0$	$\Delta \xi_H = 0$	$\Delta \alpha = 0$	$\Delta \beta = 0$	Не змінюється
	$\Delta A < 0$	$\Delta B > 0$	$\Delta \xi_H = 0$	$\Delta \alpha = 0$	$\Delta \beta = 0$	
$\Delta x < \gamma$	$\Delta A > 0$	$\Delta B > 0$	-	-	+	зменшується
	$\Delta A < 0$	$\Delta B < 0$	+	+	-	
	$\Delta A > 0$	$\Delta B < 0$	-	-	+	
	$\Delta A < 0$	$\Delta B > 0$	+	+	-	

Виявимо вплив такої невизначеності на кількість очікуваної діагностичної інформації, якщо значення вхідного вектор \bar{X} представлено фіксованою множиною [10]

$$\{x_1, \dots, x_n\} \quad (7.34)$$

результатів вимірювання його випадкових складових (x_1, \dots, x_n).

Реалізація (7.34) не є випадковими величинами, а сама дискримінантна функції (7.2) може бути представлено наступною нелінійною, щодо випадкових коефіцієнтів $m_i^{(0)}$, $m_i^{(1)}$, σ_i , моделлю [237]:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \left[x_i \left(\frac{m_i^{(0)}}{\sigma_i^2} \right) - x_i \left(\frac{m_i^{(1)}}{\sigma_i^2} \right) - \frac{1}{2} \frac{m_i^{(0)2} - m_i^{(1)2}}{\sigma_i^2} \right]. \quad (7.35).$$

Оскільки модель (7.35) нелінійна, а кореляція між оцінками середніх $m_i^{(0)}$, $m_i^{(1)}$ і оцінками σ_i відсутня, в силу нормальності складових вектора \bar{X} , то розкладемо функцію [237]:

$$\varepsilon = F \left\{ m_i^{(0)}, m_i^{(1)}, \sigma_i^2 \mid \bar{x} \right\}$$

в ряд Тейлора, за умови, що виміряне значення вектора не є випадковою величиною [186]. Таке розкладання буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \xi = F \left\{ m_i^{(0)}, m_i^{(1)}, \sigma_i^2 \mid \bar{x} \right\} + \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{\partial \xi}{\partial m_i^{(0)}} \right) \cdot \Delta m_i^{(0)} + \left(\frac{\partial \xi}{\partial m_i^{(1)}} \right) \cdot \Delta m_i^{(1)} + \right. \\ \left. + \left(\frac{\partial \xi}{\partial \sigma_i^2} \right) \cdot \Delta \sigma_i^2 \right] + A_T \end{aligned} \quad (7.36),$$

де частинні похідні під знаком суми визначаються диференціюванням функцій (7.35), відповідно, по $m_i^{(0)}$, $m_i^{(1)}$, σ_i^2 :

$$\begin{cases} \frac{\partial \varepsilon}{\partial m_i^{(0)}} = \frac{1}{\sigma_i^2} (x_i - m_i^{(0)}); \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial m_i^{(1)}} = \frac{1}{\sigma_i^2} (-x_i - m_i^{(1)}); \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma_i^2} = -\frac{12}{\sigma_i^3} \left[x_i m_i^{(0)} - x_i m_i^{(1)} - \frac{1}{2} (m_i^{(0)2} - m_i^{(1)2}) \right], \end{cases} \quad (7.37)$$

а A_T – залишковий член ряду Тейлора [199].

Врахуємо, що дисперсії випадкових відхилень $\Delta m_i^{(0)}$, $\Delta m_i^{(1)}$, $\Delta \sigma_i^2$ обернено пропорційні обсягу N вибірки об'єктів з верифікованими станами:

$$\begin{cases} D_{\Delta m_i^{(0)}} = \sigma_i^2 \cdot N^{-1}; \\ D_{\Delta m_i^{(1)}} = \sigma_i^2 \cdot N^{-1}; \\ D_{\Delta \sigma_i^2} = 2\sigma_i^4 \cdot N^{-1}. \end{cases} \quad (7.38).$$

Так як корекція між $m_i^{(0)}$, $m_i^{(1)}$, σ_i^2 відсутня, то залишковий член A_T ряду Тейлора (7.36) дорівнює 0. Дисперсія вирішувальної функції, яка представлена розкладаннями (7.36) буде тоді визначатися виразом [199]:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial m_i^{(0)}} \right)^2 \cdot D_{\Delta m_i^{(0)}} + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial m_i^{(1)}} \right)^2 \cdot D_{\Delta m_i^{(1)}} + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma_i^2} \right)^2 \cdot D_{\Delta \sigma_i^2} \right] \quad (7.39).$$

Підставимо з (7.37) і (7.38) в (7.39) вирази для частинних похідних і дисперсій відповідає [199]. Отримаємо тоді дисперсію σ_ε^2 наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \sigma_\varepsilon^2 = & \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \sigma_i^{-2} \left\{ (x_i - m_i^{(0)})^2 + (x_i - m_i^{(1)})^2 + 16 (x_i - m_i^{(0)})^2 \times \right. \\ & \left. \times [x_i - (m_i^{(0)} + m_i^{(1)}) \cdot 0.5]^2 \right\}. \end{aligned} \quad (7.40)$$

З виразу (7.40) видно, що дисперсія дискримінантної функції мінімальна, якщо виконується умова:

$$x_i = (m_i^{(0)} + m_i^{(1)}) \cdot 0.5$$

У цьому випадку мінімум дисперсій дискримінантної функції (від неправильної оцінки її коефіцієнтів) визначається виразом:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \delta^2 (2N)^{-1} \quad (7.41)$$

Дисперсія σ_ε^2 є додатковою складовою у залишковій дисперсії дискримінантної функції, що представлена виразом (7.19):

$$\sigma_{\Delta \varepsilon}^2 = \delta^4 [\alpha(1 - \alpha)q_0 + \beta(1 - \beta)q_1] + \sigma_\varepsilon^2$$

Використовуючи вирази (7.18) і (7.41) для дисперсій дискримінантної функції до і, відповідно, після діагностики, знайдемо з рівняння [234]:

$$I = \log_2 \sqrt{1 + \frac{\sigma_x^2}{\sigma_{\Delta x}^2}}$$

кількість очікуваної діагностичної інформації з урахуванням випадкових похибок в оцінюванні коефіцієнтів дискримінантної функції при обмежених навчальних вибірках ($N \ll \infty$) [234]:

$$I = \frac{1}{2} \log_2 \left\{ 1 + \frac{(1 + \delta^2 q_0 q_1)}{\{\delta^2 [\alpha(1 - \alpha)q_0 + \beta(1 - \beta)q_1] + (2N)^{-1}\}} \right\}. \quad (7.42)$$

Чисельник і знаменник доданка у виразі (7.42) під логарифмом – це, відповідно, дисперсії дискримінантної функції (7.35) до і після діагностики з урахуванням додаткової дисперсії δ_ε^2 (7.39) [233].

З виразу (7.42) випливає, що для отримання, наприклад L біт інформації при функціональній діагностиці, необхідно забезпечити умову:

$$1 + \frac{(1 + \delta^2 q_0 q_1)}{\{\delta^2 [\alpha(1 - \alpha)q_0 + \beta(1 - \beta)q_1] + (2N)^{-1}\}} \geq 2^{2L}.$$

З цієї умови випливає, що:

$$\delta^2 \leq \frac{(1 - 2^{2L}(2N)^{-1})}{\{2^{2L}[\alpha(1 - \alpha)q_0 + \beta(1 - \beta)q_1] - q_0 q_1\}} \quad (7.43)$$

Аналіз нерівності (7.43) дозволяє зробити наступні можливі висновки, що відносяться до задачі планування процедури навчання системи діагностики при обмеженнях на обсяги N навчальних вибірок, якщо $\delta_2 > 0$ [237].

Чисельник відношення в правій частині нерівності (7.43) повинен бути тільки позитивним [237]. Тоді існує нижня межа N_{min} для обсягу навчальних вибірок [237]:

$$N_{min} > 2^{(2L-1)} \quad (7.44)$$

З (7.44) випливає, наприклад, що для отримання при діагностиці хоча одного біта інформації ($L=1$) необхідно забезпечити мінімальне значення обсягу навчальної вибірки по кожному зі станів S_0 і S_1 на рівні $N_{min} = 3$ (тобто по три значення медико-біологічного параметру з верифікованими станами) [234].

Так як позитивними повинний бути і знаменник відношення в правій частині нерівності (7.43), то кількість L (в бітах) діагностичної інформації завжди більше нуля, якщо $\alpha < 0,5$ і $\beta < 0,5$ ($q_0 = q_1 = 0.5$) [234]:

$$L_{min} > 0.5 - \log_2 \sqrt{\alpha(1 - \alpha) + \beta(1 - \beta)}.$$

Якщо кожен з вихідних значень моделі прийняття рішень характеризується одним і тим же значенням:

$$\overline{\delta^2} = \left(\frac{m_i^{(0)} - m_i^{(1)}}{\sigma_i} \right)^2, i = 1, n,$$

то існує верхня межа n_{max} для допустимого числа n складових вектора \bar{X} вхідних сигналів (розмірності n простору інформативних параметрів):

$$n_{max} \leq \frac{[1 - 2^{2L}(2N)^{-1}]}{\overline{\delta^2}\{2^{2L}[\alpha(1-\alpha)q_0 + \beta(1-\beta)q_1] - q_0q_1\}} \quad (7.45)$$

З (7.45) випливає, що при $\overline{\delta^2} = \text{const}$ додавання нових інформативних значень для системи діагностики можна здійснити, забезпечуючи збільшення N навчальної вибірки [237]. З цього випливає також, що завжди існує оптимальне, по максимуму діагностичної інформації число n_{max} інформативних параметрів, що забезпечує мінімально можливі значення ризиків діагностики першого і α і другого β роду [237]:

$$n_{opt} < n_{max}$$

Якщо кількість очікуваної діагностичної інформації дорівнює L біт ($I = L$), то з (7.45), з урахуванням того, що для лінійної вирішувальної функції [234]:

$$\begin{cases} \alpha = \beta; \\ 1 - \alpha = 1 - \beta = P_d, \end{cases} \quad (7.46)$$

отримаємо наступне рівняння, що зв'яже вірогідність діагностики P_d , геометричну відстань δ , кількість інформації L , апріорно ймовірності q_0q_1 і обсяг вибірки N :

$$-P_d^2(2^{2L} - 1)\delta^2 + P_d(2^{2L} - 1)\delta^2 + \left[\frac{(2^{2L}-1)}{2N} - 1 - \delta^2q_0q_1 \right] = 0 \quad (7.47)$$

Вирішуючи квадратичне, щодо P_D , рівняння (7.47), можна знайти залежність максимально можливої вірогідності діагностики P_{Dmax} від кількості очікуваної інформації L (за умови $N \rightarrow \infty$) [234]:

$$P_{Dmax} = 0.5 + 0.5 \sqrt{1 - \frac{4}{\delta^2(2^{2L}-1)} - \frac{4q_0q_1}{(2^{2L}-1)}}. \quad (7.48)$$

Якщо припустити, що $q_0 = q_1 = 0$, то отримаємо спрощену залежність вірогідності діагностики від L і δ^2 :

$$P_{Dmax} = 0.5 + 0.5 \sqrt{1 - (2^{2L} - 1)^{-1}(4\delta^{-2} + 1)}. \quad (7.49)$$

З виразів (7.48) і (7.49) випливає, що вірогідність збільшується, якщо збільшуються як δ^2 , так і кількість діагностичної інформації $I = L$ (біт) [234]. В асимптотиці вірогідність P_D спрямовується до одиниці, якщо $L \rightarrow \infty$, $\delta^2 \rightarrow \infty$, $N \rightarrow \infty$, що має певну кореляцію і з технічною діагностикою [237].

Дослідження впливу обмеженості інформації на вірогідність діагностики.

Розглянутий, у попередніх підрозділах, підхід до аналізу кількості очікуваної діагностичної інформації, пов'язаної на прикладі рівнянь (7.46 – 7.49), з вірогідністю діагностики показує, що остання визначається величиною δ^2 і N [234]. Величина обсягу навчальної вибірки, N кількісно впливає як на систематичні так і на випадкові похибки оцінювання коефіцієнтів вирішувальної функції, а через них і на ризики діагностики α і β , а на відповідно і на саму вірогідність [237]. Окрім кількісного має місце і якісний вплив обсягу навчальної вибірки N на вірогідність діагностики. Цей вплив виражається в невірному виборі виду вирішувальної функції та порушення апріорних припущень про моделі умовних законів розподілення на складових векторах \bar{X} , включаючи апріорні припущення про їх взаємкореляційні властивості. На рис. 7.3. представлені варіанти можливих проявів обмеженості обсягу навчальної вибірки, що впливають на кількість діагностичної інформації на виході моделі прийняття рішень [234]. Аналіз рис. 7.3. надає змогу зробити

висновок, що для конкретної системи діагностики величина вірогідності прийняття рішень – це величина постійна, яку можна підвищити збільшуючи обсяг навчальної вибірки. Якщо розглянути безліч моделей прийняття рішень, які використовують однакову модель вирішувальної функції, але навчених по різному, причому однаковими за обсягом N , навчальними вибірками, то реалізація вірогідності прийняття рішень будуть різними проявами випадкової вірогідності P_N , математичне сподівання якої $M[P_N]$ і дисперсія $D[P_N]$ будуть функціями обсягу навчальної вибірки N [234].

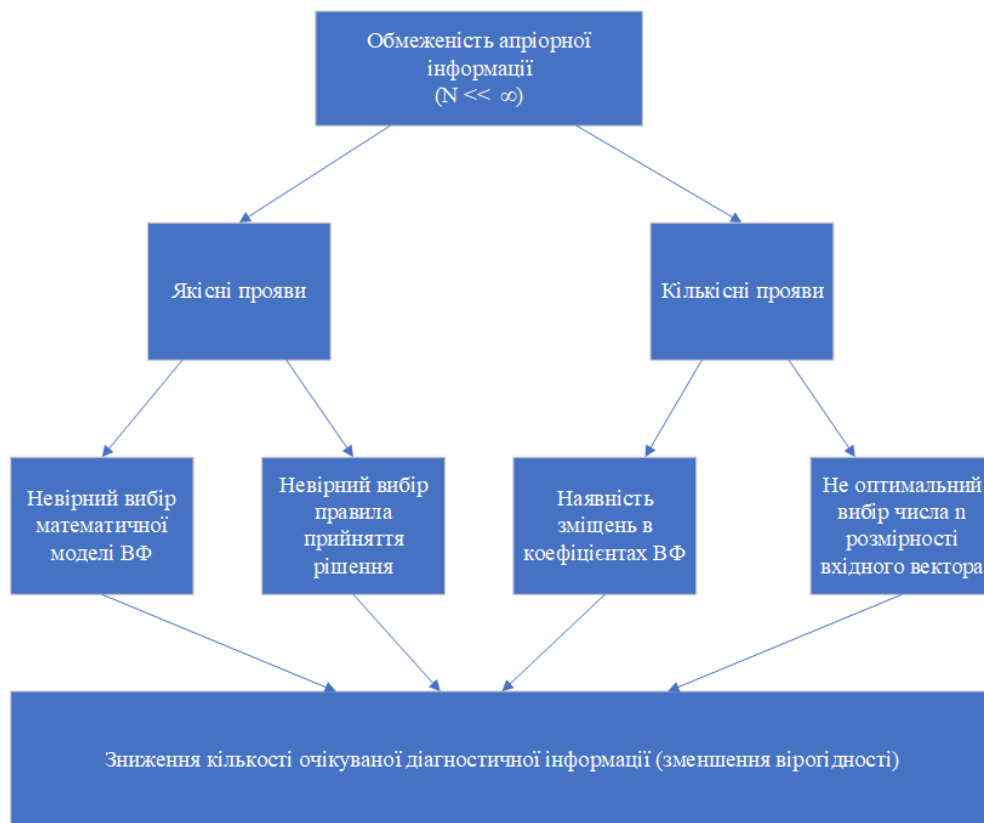


Рисунок 7.3 – Варіанти впливу обмеженості обсягу навчальної вибірки N на причини зниження вірогідності функціональної діагностики [234]

В свою чергу при збільшенні N :

$$\begin{cases} \text{а) } M[P_N]_{N \rightarrow \infty} \rightarrow P_{D \max} \\ \text{б) } D[P_N]_{N \rightarrow \infty} \rightarrow 0 \end{cases} \quad (7.50)$$

Вірогідність $M[P_N]$ як середня (очікувана за середнім) вірогідність діагностики, а $P_{D \max}$ – вірогідність асимптотична. Якщо P_{\max} – це гранично

максимальна, за відсутності якісних і кількісних проявів [234]:

$$P_{D \max} \leq P_{\max} \quad (7.51)$$

В нерівності (7.51) припускається, що для $P_{D \max}$ мають місце якісні прояви обмеженості обсягу навчальної вибірки N (наприклад, можливий невірний вибір моделі). Наведені міркування характерні і для ймовірностей похибок діагностики.

З умов (7.50) слідує, що для випадкових вірогідностей P_N існує умовна щільність $f(P_N|N)$ розподілення їх ймовірностей, що залежить від обсягу навчальної вибірки N , тому вірогідність P_N , будемо називати умовною. На рис. 7.4 представлені щільності $f(P_N|N)$, математичне сподівання $M[P_N]$ і вірогідності $P_{D \max}$ і P_{\max} , графічно ілюструючи ймовірнісні властивості самої вірогідності P_D при обмеженнях обсягу навчальної вибірки N і складність її оцінювання [234].

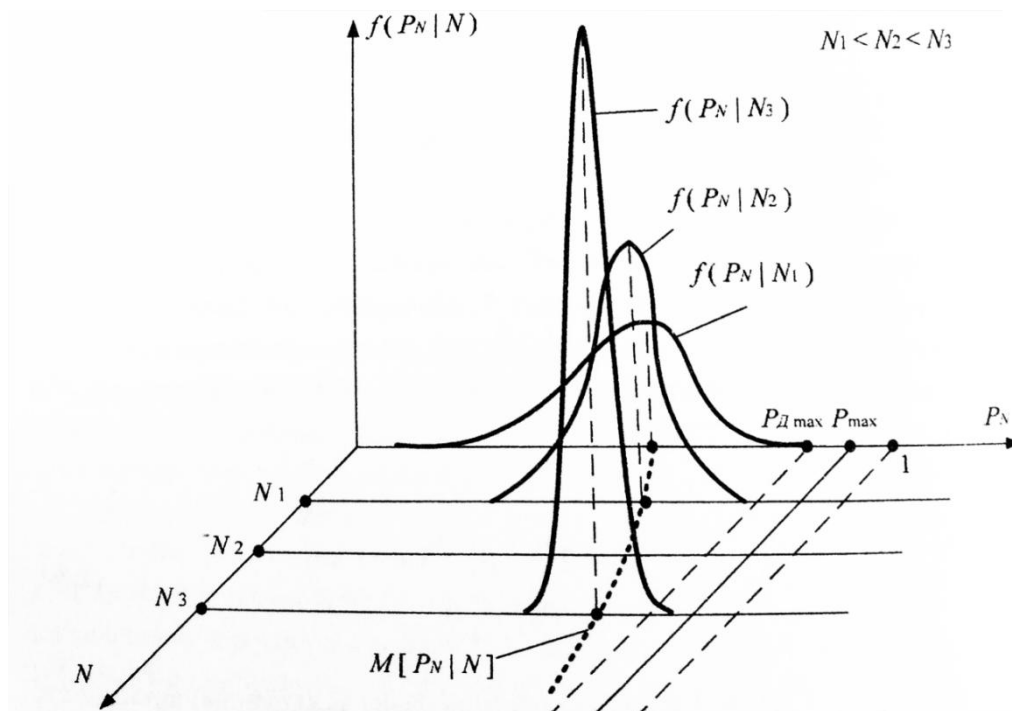


Рис. 7.4. Ймовірнісні графічні моделі видів вірогідності діагностики [234]

З рис. 7.4. і виразі (7.50) слідує, що в реальних умовах (при $N \ll \infty$) ефективність роботу будь-якої моделі прийняття рішень визначається

ймовірностями P_N і $M[P_N]$, причому існує статистично реалізована можливість не тільки точкового оцінювання цих видів вірогідності, але і оцінювання інтервального, що враховує обсяг навчальної вибірки N та задану довірчу ймовірність оцінювання [211].

7.4. Аналіз інформаційних властивостей моделі прийняття рішення щодо функціонального стану організму

В процесі прийняття рішень щодо функціонального стану організму фактично здійснюється вибір найкращого варіанту дій. Ці функції виконує особа, що приймає рішення (ОПР). Для системи управління ризиками в авіації це може бути або член льотного екіпажу, що самостійно проводить оцінку та за процедурою добровільних сповіщень інформує про наявність відхилення функціональної рівноваги свого організму експерта з безпеки польотів, що проводить остаточну оцінку про можливість виконання поточних службових обов'язків з огляду на зовнішні фактори дестабілізації (складність польотних умов, тривіальність польоту, навички та досвід кожного окремого завдання). Окрім цього в процесі прийняття рішення можуть приймати участь експерти, тобто професіонал в тій або іншій медичній або технічній області, до якого звертаються за оцінками і рекомендаціями всі учасники процесу прийняття рішення [175].

Варіанти рішень характеризуються різними показниками їх привабливості для ОПР. Ці показники є ознаками, чинниками, атрибутами або критеріями.

Критерії процесу оцінювання альтернатив

Критерії оцінки альтернатив є показники їх привабливості (або непривабливості) для учасників процесу прийняття рішення.

Якщо рішення приймає безпосередньо оператор авіаційної діяльності або член льотного екіпажу, то в такому випадку, з огляду на можливості виміру медико-біологічних параметрів, достатньо ефективно можуть бути використані параметри, що описані та наведені в якості прикладу в розділі 2. Ефективність

використання такого підходу підвищується наявністю власного індивідуального набору значень даних медико-біологічних параметрів в різних станах з урахуванням добової та сезонної мінливості. Що в свою чергу дозволяє своєчасно визначити вихід значень медико-біологічних параметрів за межі індивідуальної норми (особливості використання якої подані в розділі 3). Але недоліком такого підходу може бути певний суб'єктивізм оцінювання з огляду на можливі фінансові втрати, який в свою чергу може бути знижений за рахунок впровадження здорової культури безпеки конкретного суб'єкту надання авіаційних послуг та впровадження принципів мотивації процедури сповіщень. Якщо у суб'єкта надання авіаційних послуг розроблена і впроваджена політика управління ризиками безпеки польотів, що включає як добровільні так і обов'язкові сповіщення від працівників, що здійснюють медичне забезпечення професійної діяльності авіаційного персоналу на всіх етапах виконання професійних обов'язків, то в такому випадку вибір критеріїв часто визначається багаторічною практикою, досвідом. Перевагою в такому випадку є можливість одночасного використання моделей прогнозування, наприкладі тих що описані в розділі 4 та можливість використання як запрограмованих математичних моделей, що можуть бути використанні при прийнятті рішення так і інших засобах підтримки лікарських рішень з огляду на особливості надання авіаційних послуг. В такому випадку можуть бути використані як незалежні так і залежні критерії при яких оцінка альтернативи по одному з них визначає (однозначно або з великим ступенем вірогідності) оцінку по іншому критерію. На складність завдань прийняття рішень впливає також кількість критеріїв. При невеликій кількості критеріїв (два—три) завдання порівняння двох альтернатив достатньо просте і прозоре, якості за критеріями можуть бути безпосередньо зіставлені і вироблений компроміс. Такий підхід пропонується при проведенні власної оцінки. При великому числі критеріїв завдання стає більш складним, тому використання комп'ютеризованої системи підтримки рішень з математичними моделями наведеними в розділах 2-5 дозволяє сформулювати більш мотивоване сповіщення

в разі порушення біологічної рівноваги та наявності виходу критеріїв за межі індивідуальної норми. При достатньо великій кількості критеріїв вони зазвичай можуть бути об'єднані в групи, причому підставою для такого угруповання критеріїв є можливість виділити плюси і мінуси альтернатив, їх переваги і недоліки (наприклад, вартість і ефективність). Такі групи, як правило, незалежні. При появі багатокритеріальних задач виникли додаткові труднощі їх рішення, пов'язані з отриманням інформації від особи, що приймає рішення. Природною реакцією на це було прагнення отримати таку інформацію відразу і швидко усунути багатокритеріальність. Цей підхід був реалізований шляхом об'єднання багатьох критеріїв в один за допомогою вагових коефіцієнтів важливості критеріїв та був описаний автором в [193]. Глобальний критерій обчислюється за формулою:

$$C_{Гл} = \sum_{i=1}^N C_i w_i ,$$

де C_i - приватні критерії ($i=1, \dots, N$); w_i - ваги (коефіцієнти важливості) критеріїв: $0 \leq w_i \leq 1$; $\sum_{i=1}^N w_i = 1$.

Але описаний в розділі 4 підхід на основі оцінювання критерію безпеки відхилення дозволяє обрати такий саме підхід причому перевірка функціонального стану оператора починається з критерію якій має найбільшу інформативність пп.4.1. Враховуючи, що постановки задач, а також вживані методи їх рішення, істотно залежать від ступеня невизначеності параметрів аналізованої системи і стану зовнішнього середовища, загальноприйнятою є класифікація задач прийняття рішення []:

- Задачі прийняття рішень з детермінованими параметрами – характеризуються тим, що всі параметри аналізованої системи і зовнішнього середовища є детермінованими, а шукані рішення – безперервними або дискретними.
- Задачі прийняття рішень в умовах ризику – характеризується тим, що для ряду параметрів невідомі точні значення, а визначені діапазони їх змін і

на кожному з діапазонів задана щільність розподілу випадкових величин. Необхідно вибрати таке рішення, яке для заданих розподілів ймовірностей забезпечує екстремум показника ефективності.

- Задачі прийняття рішень в умовах невизначеності – характеризується тим, що для кожного з параметрів задані можливі дискретні значення і для них визначені значення показника ефективності, відповідні кожному з варіантів альтернативних рішень, тобто початкова задача представляється у вигляді таблиці, в якій рядки відповідають альтернативним рішенням, а стовпці – дискретним значенням параметрів.

Необхідно відзначити, що перераховані типи задач можуть бути як однокритеріальними, так і багатокритеріальними. У багатокритеріальних задачах аналітик при виборі альтернативи прагне поліпшити значення двох і більше показників.

Етапи прийняття рішень.

Прийняття рішень на основі медичних даних складний трудомісткий багатокритеріальний процес. На першому етапі збирається вся доступна на момент прийняття рішення інформація: фактичні дані, думка експертів. Там, де це можливо, будуються математичні моделі; проводяться опити; визначаються погляди на проблему з боку активних груп, що впливають на її рішення. Другий етап пов'язаний з визначенням того, що можна, а що не можна робити в наявній ситуації, тобто з визначенням варіантів рішень (альтернатив). І вже третій етап включає порівняння альтернатив і вибір найкращого варіанту (або варіантів) рішення [186]. Основними етапами прийняття рішень [186], що виконуються в процесі аналізу структурованих проблем, є:

Етап 1. Постановка проблеми, включаючи побудову якісної моделі процесу або системи.

Етап 2. Конструювання концептуальної моделі.

Етап 3. Вибір критерію ефективності.

Етап 4. Побудова математичної моделі.

Етап 5. Вибір алгоритму оптимізації.

Етап 6. Чисельна реалізація алгоритму.

Етап 7. Збір даних і перевірка моделі.

Етап 8. Аналіз отриманих результатів і формування остаточного рішення.

Етап 1. Формування проблеми припускає докладний аналіз досліджуваної системи, що виконується системним аналітиком. Цей аналіз пов'язаний з виділенням елементів системи, встановленням функціональних, інформаційних і керуючих зв'язків між ними, а також включає докладний опис її функціонування. На основі аналізу виділяються проблема, яка повинна бути вирішена, і причини, що викликали цю проблему, *Якісна модель*, отримана в результаті аналізу, характеризується: складом локальних моделей; рівнем деталізації; розмірністю; переліком керованих, некерованих і технологічних параметрів. Доцільність декомпозиції початкової якісної моделі на локальні моделі залежить від її масштабу. Як зазначалось в третьому розділі одним із засобів такої декомпозиції доречно використовувати методологію IDEF0. Вибір рівня деталізації моделі визначається необхідністю обліку всіх існуючих і постійно діючих факторів. Розмірність якісної моделі включає перелік всіх змінних, які діляться на керовані, некеровані і технологічні. *Керовані параметри* можуть бути змінені особою, що приймає рішення, *некеровані параметри* істотно впливають на модельовану діяльність, але не можуть бути змінені органом, що управляє. *Технологічні параметри* представляють сукупність констант граничних значень змінних і співвідношень між ними. На цьому етапі формується перелік варіантів дій, які прийнято називати *альтернативами*. Вони діляться на залежні і незалежні. Залежні альтернативи характеризуються тим, що оцінки одних альтернатив впливають на якість інших [245]. *Етап 2.* Конструювання *концептуальної моделі* припускає підбір однієї з типових концептуальних схем, яка відповідає якісному опису модельованої діяльності. *Етап 3.* Критерій ефективності – кількісний показник, який встановлює ступінь досягнення мети для кожного з варіантів прийняття рішення. Мета задається поза системою, зазвичай системою більш верхнього рівня по відношенню до даної системи. Як показники можуть використовуватися

економічні (дохід, прибуток, капіталізація, ліквідність, мультиплікатор капіталу), технічні (надійність, швидкодія, перешкодозахисна, безпека), соціальні (рівень доходу персоналу, ступінь дії на навколишнє середовище). До критерію зазвичай пред'являються наступні вимоги: показність; чутливість; простота обчислення; наявність якісного сенсу. Показність припускає, що критерій кількісно виражає цілі. Чутливість – це реагування значення критерію на зміну параметра [245]. Вибір форми критерію залежить від типу завдання прийняття рішення, тобто від ступеня детермінованості параметрів, що характеризують модельовану діяльність. В тому випадку, якщо всі параметри детерміновані, то і значення критерію є детермінованою величиною. Якщо параметри носять імовірнісний характер, то як критерії можуть виступати: середнє значення; комбінація середнього значення і дисперсії; вірогідність настання певної події; одне з дискретних значень критерію, якому відповідає найбільша вірогідність. *Етап 4.* Призначений для встановлення кількісної залежності між показником ефективності, характеристиками і параметрами системи: як керованими так і некерованими. Використання математичних моделей всіх типів аналітичних, імітаційних і аналітико-імітаційні дозволяють в повному обсязі використати математичний апарат для діагностики та прогнозування. Аналітичні моделі дозволили використати символічне позначення медико-біологічних параметрів, зв'язаних між собою різними математичними операціями. Були використані наступні типи співвідношень для аналітичних моделей: емпіричні співвідношення, побудовані на основі ретроспективних даних, аналізу експериментальних даних, тощо. Імітаційні моделі дозволили відтворити алгоритми функціонування системи з постійним вимірюванням значень величини, що спостерігається, і подальшою обробкою цих значень методами математичної статистики [211]. В той час як аналітико-імітаційні моделі, що засновані на комбінації перших двох типів моделей дозволили використати переваги обох підходів. Аналіз математичних моделей, що були використані в роботі підтвердили загальні висновки щодо моделей такого типу, а саме: використання аналітичних моделей відрізняються компактністю, але їх

застосування для опису складних процесів в організмі є трудомісткою задачею з певними труднощами при оптимізації їх параметрів, в той час як використання імітаційних моделей дозволяють описати певні залежності процесів, що відбуваються в підсистемах організму, але потребують істотні витрати витрати машинного часу для отримання точних результатів (розділ 6). *Етап 5.* Призначений для вибору методу оптимізації. Вибір методу залежить від виду критерію і обмежень, а також від ступеня дискретності параметрів і наявності інформації про їх ймовірнісні закони розподілу. У разі неможливості використання оптимізаційних алгоритмів для первинної реалістичної моделі необхідно вибрати один з двох варіантів: виконати спрощення моделі за рахунок ухвалення певних допущень і потім до отриманої моделі застосувати точний оптимізаційний алгоритм; для реалістичної моделі розробити евристичний алгоритм пошуку рішення, що близький до оптимального. *Етап 6.* Пов'язаний з реалізацією алгоритму оптимізації і виконується або за допомогою стандартних пакетів прикладних програм, або розробляються оригінальні програмні системи. *Етап 7.* Збір даних проводиться для перевірки правильності розробленої моделі, а також для практичного використання отриманих результатів з метою підтримки процесів прийняття рішень. Одне із завдань цього етапу полягає в правильному визначенні ступеня необхідної точності початкових даних. Перевірка моделі включає оцінку її несуперечності, чутливості, реалістичності і працездатності. *Несуперечність* припускає логічний аналіз результатів моделювання при варіюванні початкових параметрів. Детальній оцінці піддаються результати оптимізаційних розрахунків для граничних значень параметрів. *Чутливість* заснована на аналізі зміни характеристик системи і показника ефективності при найбільших варіаціях керованих параметрів. Одним з методів перевірки *реалістичності* моделі є встановлення відповідності результатів моделювання відомим окремим випадкам. *Працездатність* моделі пов'язана з оцінкою ресурсів, необхідних для збору початкових і проведення машинних експериментів. *Етап 8.* Припускає проведення чисельних експериментів і отримання кількісних залежностей, які представляються або в графічній, або в табличній формах. *Етап 9.* Мета етапу –

якісний аналіз отриманих результатів рішень, інтерпретація графічних даних і конструювання системним аналітиком остаточного рішення [228]. В процесі прийняття рішень найбільша увага традиційно приділяється етапу вибору кращої альтернативи. За визнанням важливості пошуку інформації і виділення альтернатив слідує розуміння того, що ці етапи надзвичайно неформалізовані. Способи проходження етапів залежать не тільки від змісту задач прийняття рішень, але і від досвіду, навичок та компетентності особи, що приймає рішення. Хоча ці ж чинники присутні при порівнянні альтернатив, тут їх роль помітно менше. Науковий аналіз проблем прийняття рішень починається з моменту, коли хоч би частина альтернатив і/або критеріїв відома. При прийнятті рішень центральне місце займають багатокритерійні задачі вибору [186]. Аналізуються три основні задачі прийняття рішень.

1. *Впорядкування альтернатив.* Для ряду задач представляється цілком обгрунтованою вимога визначити порядок на безлічі альтернатив. У загальному випадку вимогу впорядкування альтернатив означає визначення відносної цінності кожній з альтернатив.

2. *Розподіл альтернатив по класах рішень.*

3. *Виділення кращої альтернативи.*

Як вже зазначалось в третьому розділі для таких складних об'єктів як організм людини необхідний формалізований підхід для визначення параметрів даного об'єкту.

На практиці оцінювання складних об'єктів здійснюється за рахунок забезпечення максимально повноти отримання інформації про параметри даного об'єкта за рахунок вимірювання фізичних значень, що корелюються з даним параметром [245]. Ступінь спільності процесів вимірювання та діагностування в інформаційному відношенні значна, що відкриває можливості їхнього сумісного дослідження та отримання співвідношень справедливих і при вимірюваннях і при контролі. В обох випадках обов'язковою є операцію порівняння з нормою, окрім цього є статистична залежність між значеннями контрольованої величини, що оцінюється (тобто станом об'єкта) до та після

проведення вимірів. Необхідно враховувати, що при прийнятті рішення щодо функціонального стану оператора авіаційної діяльності в якості норми необхідно використовувати індивідуальний підхід, як описано в розділі 3, а також враховувати, що більшість медико-біологічних параметрів за якими буде здійснюватися процес прийняття рішення можуть бути корельовані. При цьому незалежний контроль за окремими показниками може призвести до помилкових рішень про стан системи. Тому пропонується використання статистичних методів з можливістю використання багато параметричних критеріїв для оцінювання та діагностування стабільності складних об'єктів (розділ 3).

Те, що первинна інформація після перетворення приймає форму кількісних суджень про стан об'єкта, не заважає розглядати будь-яку багатопараметричну систему контролю, діагностики, як систему інформаційну. Ступінь спільності процесів вимірювання та контролю, в інформаційному відношенні велика, що відкриває можливість їх спільного дослідження і отримання ряду співвідношень, справедливих і при вимірах, і при контролі.

Якщо в якості складного складний об'єкту розглядати, організм оператора, що характеризується параметром Y тоді X_1, \dots, X_k - вимірювані фізичні величини (контрольовані величини), що відображають властивості складного фізичного об'єкта. Якщо Y - випадкова величина в тому сенсі, що відсутня можливість точного, метрологічного обґрунтування відтворення будь-якого її заданого значення в діапазоні A_y всіх її можливих змін [2]. Однак, дисперсія величини Y в будь-якій точці діапазону - кінцева і постійна ($\delta_y^2 = const$), а для математичних сподівань Y і X існує функціональний, але апріорі невідома зв'язок:

$$M[Y] = F(M[X_1], \dots, M[X_k]).$$

Узагальнену структурну схему отримання і перетворення вимірювальної інформації про значення контрольованого параметра за результатами вимірювань значень контрольованих величин наведено на рис.7.5.

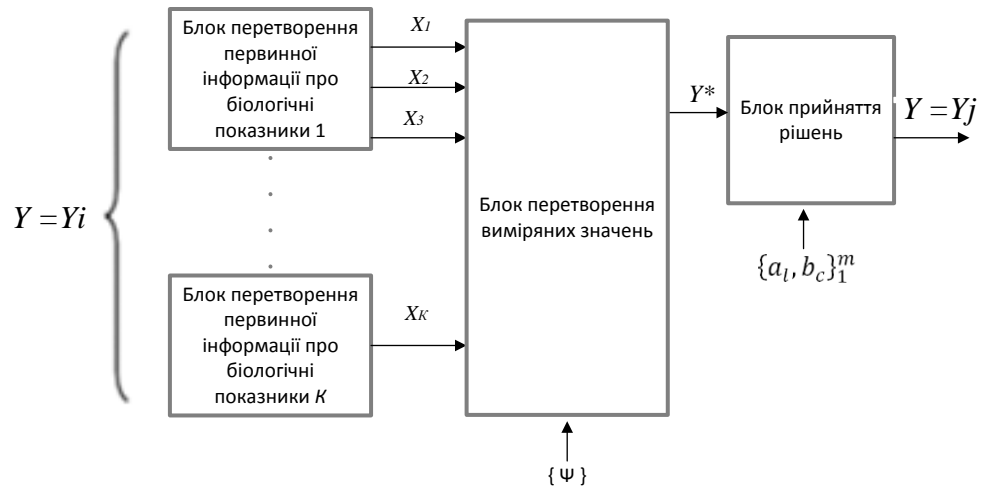


Рисунок 7.5 – Структурна схема інформаційних перетворень

Блок B (вимірювання) здійснює перетворення виміряних значень X_1^*, \dots, X_k^* контрольованих величин, в оцінку Y^* значення параметра Y , де a_1, \dots, a_p – коефіцієнти математичної моделі перетворення:

$$M[Y] = F(M[X_1], \dots, M[X_k]).$$

Оцінка коефіцієнтів a_1, \dots, a_p здійснюється на етапі вивчення об'єкта контролю за вибіркою об'єму n для кожної з фіксованих величин $Y_j, j = \overline{1, m}$ рівнів параметра Y (етап навчання системи контролю). Блок Π (прийняття рішень) здійснює вибір $\{a_l, b_c\}_1^m$ одного $y_j \{a_l, b_c\}_1^m$ із багатьох $\{y_l\}_1^m$ рішень про значення Y , після порівняння Y^* з нормою $(a_l, b_l), l = \overline{1, m}$ у відповідності з правилом вибору рішення $\forall Y^* [Y^* \in (a_j, b_j) \rightarrow Y^* \in Y_j]$ [50].

Множина $\{\psi\}$ – це фактори, які впливають на правильність вибору моделі перетворення $\hat{F}(\cdot)$ і на точність оцінювання коефіцієнтів a_1, \dots, a_p цієї моделі.

Знайдемо оцінку кількості інформації про параметр Y , вважаючи, що ширина Δ допусків інтервалів $(a_j, b_j), j = \overline{1, k}$ однакова, а загальна кількість дорівнює k . В такому вигляді кількість інформації визначається різницею вихідної $H(Y)$ і умовної $H(Y|Y_j)$ ентропії $I = H(Y) - H(Y|Y_j)$ [50].

$$\text{де, } H(Y) = - \sum_{j=1}^k \left[\int_{a_j}^{b_j} f(y) dy \right] \ln \left[\int_{a_j}^{b_j} f(y) dy \right];$$

$f(y)$ - щільність розподілу величини Y в діапазоні A_y .

Умовну ентропію знайдемо через умовну ймовірність $P(Y_i | Y_j)$ того, що істинне значення $M[Y] = Y_j$, в той час як результат контролю (рішення y_j) дав значення $Y = Y_j$:

$$H(Y|Y_j) = - \sum_{i=1}^k P(Y_i|Y_j) \ln P(Y_i|Y_j).$$

При рівноймовірному розподілі значень Y_1, \dots, Y_k і нормальному закону розподілу відхилення Y^* від дійсного значення $M[Y] = \text{const}$, якщо дисперсія цього відхилення дорівнює σ_y^2 маємо:

$$H(Y) = \ln \frac{A_y}{\Delta};$$

$$H(Y|Y_j) = \ln \frac{\sigma_y \sqrt{2\pi e}}{\Delta}$$

Оцінка кількості інформації, з врахуванням двох останніх виразів, має вигляд:

$$I = \ln \frac{A_y}{\sigma_y \sqrt{2\pi e}}$$

Середньоквадратичне відхилення σ_y , при умові, що модель $\hat{F}(\cdot)$ представлена лінійною множинною регресією, має вигляд:

$$\hat{y} = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i.$$

Нехай для простоти аналізу, абсолютні похибки визначення коефіцієнтів a_0, \dots, a_k однакові та дорівнюють Δ_Ψ , що обумовлено фактором Ψ (обмеження вибірки об'ємом n). Нехай контрольовані величини X_1, \dots, X_k є незалежними і мають однаковий розмір і дисперсії $\sigma_{x_1}^2 = \sigma_{x_2}^2 = \dots = \sigma_{x_k}^2 = \sigma_X^2$.

В цьому випадку дисперсія σ_y^2 може бути представлена виразом:

$$\sigma_y^2 = \Delta_\Psi^2 (1 + k \sigma_X^2) n^{-1}.$$

При багаторазових вимірюваннях параметра Y (число вимірювань дорівнює) маємо:

$$\sigma_y^2 = \Delta_\Psi^2 \left(1 + \frac{k}{N} \sigma_X^2 \right) n^{-1}$$

Підставивши останній вираз в рівняння отримаємо:

$$I = \ln \frac{A_y}{\Delta_\Psi^2 \sqrt{2\pi e \left(\frac{1}{k} + \frac{\sigma_X^2}{N} \right)}} \sqrt{\frac{n}{k}}.$$

Аналіз інформаційної моделі. Вираз можна розглядати, як кількість очікуваної вимірюваної інформації про контрольовану величину Y при дисперсії σ_X^2 вхідних вимірюваних величин X_1, \dots, X_k , яку не можна усунути. Існування дисперсії, яка є однаковою для всіх величин, не заважає збільшувати кількість вимірюваної інформації за рахунок збільшення k цих величин. Однак, в даному випадку, відношення об'єму вибірок n до числа k вхідних величин має залишатися або постійною величиною, або теж збільшуватися. Це означає, що об'єм вибірки повинен зростати прямопропорційно при збільшенні вхідних величин. Фактично можна дотримуватися умови: $n/k = \text{const}$.

Вона узгоджується з положеннями теорії класифікації сигналів в умовах невідомості і дискримінантного аналізу. Наявність в знаменнику, під знаком логарифму у виразі, зміщення Δ_Ψ вказує на те, що етап навчання системи контролю або діагностики відіграє важливу роль. Він визначає величину систематичних зміщень, які не можна усунути, при оцінках коефіцієнтів моделі вимірювального перетворення. Зменшити ці зміщення, а, відповідно, підвищити достовірність контролю за рахунок збільшення об'єму вибірки n . Збільшення лише числа N багаторазових вимірювань не усуває негативні ефекти факторів $\{\Psi\}$ [50].

Закінчуючи аналіз інформаційних властивостей системи контролю (діагностики) об'єктів з випадковими параметрами, величини k, n, N , а також число рівнів m контрольованого параметра не можуть бути вибрані поодиночі. Вони взаємопов'язані в рамках моделі і їхній вибір - це оптимізаційна задача, в якій критерієм якості є кількість можливої інформації.

7.5. Підвищення достовірності прийняття рішення за рахунок визначення похибок першого та другого роду

Помилки першого роду (type I errors, α errors, false positives) і помилки другого роду (type II errors, β errors, false negatives) при прийнятті рішення при оцінюванні функціонального стану оператора є основними поняттями завдань перевірки статистичних гіпотез. Проте, їх використання також є актуальним при ухваленні «бінарного» рішення (так/ні) на основі певних критеріїв (тестів, перевірок, контролю, виміру, тощо), який з деякою вірогідністю може давати помилковий результат.

Ймовірність прийняття помилкового рішення визначаються таким чином [211]. Помилка першого роду або «хибна тривога», є імовірністю того, що коли контрольований параметр відповідає нормі, результатом контролю буде інформація про те, що параметр, або вся система не відповідає нормі. Помилка першого роду, у загальному вигляді, визначається за виразом

$$\alpha_K = \int_{-k_a \Delta_K}^{\Delta_K} \left(\int_{-\infty}^{\bar{X}_2 - y} p(y, \Delta) d\Delta + \int_{\bar{X}_1 - y}^{\infty} p(y, \Delta) d\Delta \right) dy,$$

де Δ – похибка вимірювання; y – центроване значення контрольованого параметра; $p(y, \Delta)$ – сумісна щільність імовірності центрованого значення контрольованого параметра y та похибки вимірювання Δ ; Δ_K – допустиме відхилення контрольованого параметра; k_a – коефіцієнт асиметрії полів допуску; \bar{X}_1 та \bar{X}_2 – параметри, які визначаються співвідношеннями

$$\bar{X}_1 = \Delta_K + \bar{c}_2'' - \bar{c}_1,$$

$$\bar{X}_2 = -k_a \Delta_K - \bar{c}_2' - \bar{c}_1,$$

де \bar{c}_1 – математичне очікування похибки вимірювання, систематична похибка; \bar{c}_2' , \bar{c}_2'' – контрольні прирости полів допуску відповідно за нижньою та верхньою межами допуску [234].

Центроване значення контрольованого параметра визначається за виразом

$$y = y' - \bar{y}',$$

де y' – контрольований параметр; \bar{y}' – номінальне значення контрольованого параметра, його математичне очікування.

Сумісна двовимірна щільність імовірності двох безперервних випадкових величин за умови їх незалежності, у відповідності з [245], дорівнює добутку функцій розподілу окремих величин, що входять до системи, тобто

$$p(y, \Delta) = p(\Delta) \cdot p(y).$$

Помилка другого роду або «пропуск сигналу», є імовірністю того, що коли контрольований параметр не відповідає нормі, результатом моніторингу буде інформація про те, що параметр відповідає нормі. Помилка другого роду, у загальному вигляді, визначається за виразом

$$\beta_K = \int_{-\infty}^{-k_a \Delta_K} \int_{\bar{x}_2 - y}^{\bar{x}_1 - y} p(y, \Delta) d\Delta dy + \int_{\Delta_K}^{\infty} \int_{\bar{x}_2 - y}^{\bar{x}_1 - y} p(y, \Delta) d\Delta dy \quad [234].$$

Загальна ймовірність прийняття помилкового рішення при моніторингу визначається виразом

$$P_0 = \alpha_K + \beta_K.$$

З врахуванням цього помилку першого роду часто називають помилковою тривою, помилковим спрацьовуванням або псевдопозитивним спрацьовуванням — наприклад, аналіз медико-біологічних параметрів показав наявність захворювання, хоча насправді оператор здоровий. Із-за можливості помилкових спрацьовувань не вдається повністю автоматизувати процесу діагностування. Як правило, вірогідність помилкового спрацьовування корелює з вірогідністю пропуску події (помилки другого роду) [123]. Тобто, чим вища чутливість система, тим більше небезпечних подій вона в змозі виявити і, отже, запобігти. Але при підвищенні чутливості неминуче зростає і вірогідність помилкових спрацьовувань. Тому занадто чутливо (параноїдально) налагоджена система захисту може звиродніти в свою протилежність і привести до того, що побічна шкода від неї перевищуватиме користь.

Відповідно, помилку другого роду інколи називають пропуском події або псевдонегативним спрацьовуванням — оператор має порушення серцево-судинної системи, але аналіз крові цього не визначив.

Міра чутливості системи управління ризиками має бути компромісом між вірогідністю помилок першого і другого роду. Де саме знаходиться точка балансу, залежить від оцінки обох видів помилок [233].

Вірогідність помилки першого роду при перевірці статистичних гіпотез в якості рівня значущості зазвичай позначається грецької буквою α (α -errors). В той час як вірогідність помилки другого роду, позначається грецькою буквою β (β -errors), хоча не має особливої загальноприйнятої назви, проте саме з нею пов'язане значення потужності критерію, що обчислюється за формулою $(1 - \beta)$ та відповідно складає повну групу подій [123]. Таким чином, чим вище потужність, тим менше вірогідність зробити помилку другого роду.

Обидві ці характеристики зазвичай обчислюються за допомогою так званої функції потужності критерію. Зокрема, вірогідність помилки першого роду є функція потужності, обчислена при нульовій гіпотезі. Для критеріїв, заснованих на вибірці фіксованого об'єму, вірогідність помилки другого роду є одиниця мінус функція потужності, обчислена в припущенні, що розподіл спостережень відповідає альтернативній гіпотезі. Для послідовних критеріїв це також вірно, якщо критерій зупиняється з вірогідністю одиниця (при даному розподілі з альтернативи).

У статистичних тестах зазвичай доводиться йти на компроміс між прийнятним рівнем помилок першого і другого роду. Для ухвалення рішення використовується порогове значення, яке може варіюватися з метою зробити тест строгішим або, навпаки, м'якшим. Цим пороговим значенням є рівень значущості, яким задаються при перевірці статистичних гіпотез [102]. Наприклад, в разі проведення сертифікації підвищення чутливості приладу приведе до збільшення ризиків помилки першого роду (помилкове визнання непридатним тривога), а пониження чутливості — до збільшення ризику

помилки другого роду (визнання придатним оператора з нестабільними медико-біологічними параметрами.

Помилки другого роду є істотною проблемою при оцінюванні функціонального стану. Вони дають досліджуваному і особі, що приймає рішення помилкове переконання, що захворювання, або порушення функціонального стану відсутнє, тоді як насправді воно є. Це призводить до недоречного або неадекватного рішення при прийнятті рішення. Типовим прикладом є довіра результатам моніторингу медико-біологічних параметрів при виявленні порушення функціонального стані, в той час як індивідуальна межа норми знаходиться в зміщеному положенні, відносно центра межі загальноприйнятої норми, та свідчити індивідуальну мінливість коливань значень.

Помилки другого роду викликають серйозні і важкі для розуміння проблеми, особливо коли шукана умова є широко розповсюдженою. Якщо тест з 10%-ним рівнем помилок другого роду використовується для обстеження групи, де вірогідність «достеменно-позитивних» випадків складає 70 %, то багато негативних результатів тесту виявляться помилковими. Помилки першого роду також можуть викликати серйозні і важкі для розуміння проблеми. Це відбувається, коли шукана умова є рідкою. Якщо рівень помилок першого роду в тесту складає один випадок на десять тисяч, але в тестованій групі людей вірогідність «достеменно-позитивних» випадків складає в середньому один випадок на мільйон, то більшість позитивних результатів цього тесту будуть помилковими. Найповнішою характеристикою засобів контролю і діагностики в частині ефективності рішень, що приймаються, є достовірність діагностування або, точніше, достовірність отриманої діагностичної інформації [234]. Чим повніше і точніше ця інформація, тим більше упевненості в тому, що оператор, що діагностується, працездатний і правильно допущений до виконання професійних обов'язків.

Як показники достовірності контролю і діагностики за медичними параметрами можуть бути використані помилки першого і другого роду. Вірогідність появи помилок є мірою невірогідності отримуваних результатів.

Аналітичну достовірність D можна представити у вигляді:

$$D = 1 - \alpha - \beta$$

де α – помилка першого роду,

β – помилка другого роду.

Помилкове рішення при оцінюванні функціонального стану організму приводять до втрат різного роду. Аналітично α і β можна представити у вигляді:

$$\alpha = \int_{ar}^{br} f_1(x) \left[\int_{-\infty}^{bn-x} f_2(y) dy \right] dx + \int_{ar}^{br} f_1(x) \left[\int_{bn-x}^{\infty} f_2(y) dy \right] dx$$

$$\beta = \int_{-\infty}^{ar} f_1(x) \left[\int_{an-x}^{bn-x} f_2(y) dy \right] dx + \int_{br}^{\infty} f_1(x) \left[\int_{an-x}^{bn-x} f_2(y) dy \right] dx$$

де ar, br – гарантійний допустимий параметр;

an, bn – попереджувальний допуск;

$f_1(x)$ - щільність розподілу контрольованого параметра;

$f_2(x)$ - щільність розподілу випадкових помилок автоматизованої системи

контроля.

Якщо прийняття рішення здійснюється за декількома параметрами, то:

$$\alpha_{\Sigma} = \prod_{i=1}^N P_i - \prod_{i=1}^N (P_i - \alpha_i) ;$$

$$\beta_{\Sigma} = \prod_{i=1}^N (P_i - \alpha_i + \beta_i) - \prod_{i=1}^N (P_i - \alpha_i)$$

де α_{Σ} - сумарна помилка I – роду;

β_{Σ} - сумарна помилка II – роду;

P_i - апіорна вірогідність знаходження в полі допуску i -го параметра.

В якості прикладу в дисертаційній роботі представлений розрахунок невизначеності результатів вимірювання медико-біологічних параметрів.

7.7. Врахування невизначеності результатів вимірювання, обробки даних та прийняття рішення при оцінюванні функціонального стану оператора

Головне значення для медико-біологічних досліджень набуває невизначеність, яка проявляється у взаємному впливі один на одного біологічного об'єкту і технічних засобів, неточності виконання методики експерименту, змінності властивостей об'єкта в процесі дослідження, шумах внутрішнього і зовнішнього походження.

Іншими джерелами невизначеності можуть бути:

- нерепрезентативна вибірка;
- неадекватність моделей, що використовуються;
- вплив параметрів зовнішнього середовища;
- недостатнє вивчення вихідних величин;
- можливі кореляції параметрів;
- кваліфікація експертів и операторів.

Окремим завданням є аналіз невизначеності вимірювання показників, що описують стан окремих підсистем та всього організму, а також невизначеності, пов'язаної з точністю медичних приладів, які здійснюють процес перетворення та вимірювання біологічних показників [51], а також врахування групової та міжгрупової варіабельності медико-біологічних показників.

В даній роботі в якості підсистеми організму розглянута дихальна системи, яка є важливою складовою гомеостазу в цілому. Аналіз досліджень функціональних проб для оцінки дихальної системи та підходи Гарріс-Бенедикта, Вотчала-Тіффно, Гаррісона що розробили як власні таблиці для розрахунку вентиляційного еквіваленту з урахуванням ваги та зросту, а також аналізу метаболічних показників на основі енергетичних затрат [51] визначають необхідність врахування медико-біологічних показників дихальної системи організму оператора при оцінюванні його функціональних резервів. Взявши до

уваги всі попередні розробки та методи в роботі запропонований власний підхід на основі існуючих напрацювань в даній предметній області.

В якості інтегрального показника оцінювання стану дихальної підсистеми запропоноване наступне рівняння [56]:

$$Y = 100 * \frac{A*B-C*D}{A} \quad (7.52)$$

де A -максимальна вентиляція легенів;

B - індекс гіпоксії,

C - індекс Скібінської,

D - вентиляційний індекс за Гаррісоном.

На рис.7.9. запропонована модель оцінювання функціонального стану дихальної підсистеми на основі інтегрального показника.



Рисунок 7.9 – Модель оцінювання функціонального стану дихальної підсистеми [51]

Відповідно до моделі (7.9) вентиляційний індекс розраховують за формулою:

$$D = \frac{x_2}{x_0}, \quad (7.53)$$

де x_2 – хвилинний об'єм дихання, мл/хв;

x_0 – фактична життєва ємність легень (ЖЄЛ), мл.

Значення вентиляційного індексу можна визначити як критерій реалізації потенційних можливостей системи зовнішнього дихання конкретного індивідуума.

Індекс Скібінської розраховується як:

$$C = x_0 \frac{x_1}{x_4}, \quad (7.54)$$

де x_1 – час затримки дихання на видиху, с.;

x_4 – частота серцевих скорочень, уд/хв.

Індекс Скібінської характеризує не тільки потенційні можливості системи зовнішнього дихання, її стійкість до гіпоксії, але і, певною мірою, рівень узгодженості функціонування дихальної підсистеми з серцево-судинною підсистемою організму.

Індекс гіпоксії традиційно розраховують за формулою:

$$B = \frac{x_1}{x_2}. \quad (7.55)$$

Цей розрахунковий показник характеризує ступінь стійкості організму до дефіциту кисню. Дихальна система має тісні зв'язки з серцево-судинною системою. Так, кількість дихального об'єму напряму пов'язана з частотою дихання та серцевими скороченнями. Тому були оцінені частота серцевих скорочень та час затримки дихання.

Отже, математична модель являє собою вираз:

$$y = \frac{x_1 \cdot (x_3 - x_2)}{x_4 \cdot x_3}, \quad (7.56)$$

де x_3 – максимальна вентиляція легенів, мл..

Математичне рівняння (7.55) є основою для побудови узагальненої інформаційної моделі прийняття рішення щодо стану дихальної системи, наведеної на рис.7.10.

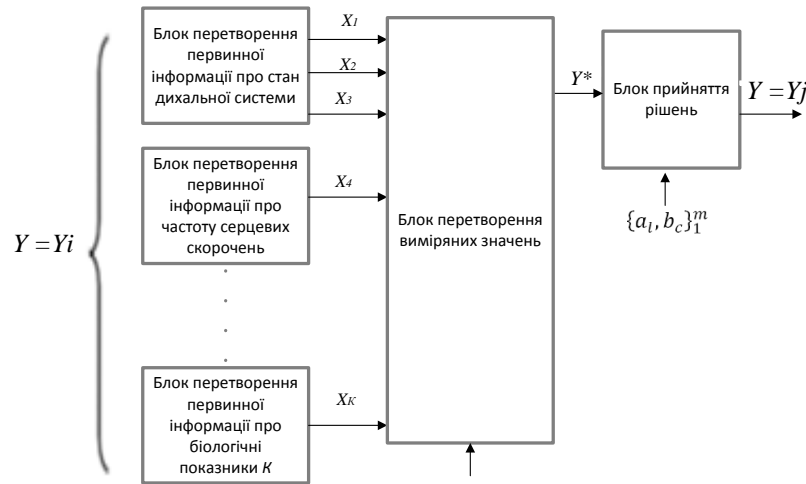


Рис. 7.10. Узагальнена інформаційна модель для оцінювання стану дихальної системи

Блок перетворення вимірних значень (вимірювання) здійснює перетворення вимірних значень x_1^*, \dots, x_k^* контрольованих величин за допомогою спірографа SP100 HEACO та тонометра OMRON MIT3:

Запропонована модель надає змогу контролювання більшу кількість показників. Однак, при проведенні експериментальних досліджень були виміряні тільки значення x_1, \dots, x_4 .

Блок перетворення вимірних значень здійснює перетворення x_1^*, \dots, x_k^* в оцінку Y^* значення параметра Y за математичною моделлю перетворення:

$$M[Y] = F(M[X_1], \dots, M[X_k]).$$

Оцінювання стану дихальної системи здійснюється на етапі вивчення об'єкта діагностування за вибіркою обсягом n для кожної з фіксованих величин $Y_j, j = \overline{1, m}$ рівнів параметра Y .

Блок прийняття рішень здійснює вибір $\{a_l, b_c\}_1^m$ одного $y_j \{a_l, b_c\}_1^m$ із багатьох $\{y_l\}_1^m$ рішень про значення Y (рис.2), після порівняння Y^* з нормою $(a_l, b_l), l = \overline{1, m}$. відповідно до правила прийняття рішення [138].

$$\forall Y^* [Y^* \in (a_j, b_j) \rightarrow Y^* \in Y_j].$$

Розрахунок невизначеності виконано за рекомендаціями міжнародного документу. Базою розрахунку взяті значення моніторингу стану легеневої підсистеми 8 учасників дослідження, об'єднаних у референтну групу, протягом 6 місяців при дії факторів дестабілізації під час виконання професійних обов'язків. Враховані впливи умов, які пов'язані з місцем перебування та впливають на гемодинаміку організму (підвищення тиску під дією низьких температур, зниження відносної вологості, що призводить до підвищення парціального тиску кисню у повітрі, що вдихається тощо) [140].

Дане рівняння також використовується як модельне для проведення розрахунку сумарної невизначеності вимірювання показників стану дихальної системи.

На підставі отриманого статистичного матеріалу розраховані оцінки стандартної невизначеності за типом А для кожного з виміряних показників x_1, \dots, x_4 за формулою:

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; \quad (7.57)$$

Середнє арифметичне ряду спостережень для x_1 – часу затримки дихання учасників експедиції дорівнює:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} = 50,62. \quad (7.58)$$

Значення стандартних невизначеностей за типом А для показників $x_1 \dots x_4$ складають:

$$u_{A_1}(x_{i_1}) = 1,426. \quad (7.59)$$

$$u_{A_2}(x_{i_2}) = 0,148. \quad (7.60)$$

$$u_{A_3}(x_{i_3}) = 2,26. \quad (7.61)$$

$$u_{A_4}(x_{i_4}) = 1,8898. \quad (7.62)$$

Стандартні невизначеності за типом В, асоційовані з показниками точності засобів вимірювання – спірографа SP100 HEACO та тонометра OMRON M1T3 складають:

Для частоти серцевих скорочень:

$$u_{B_4}(x_{i_4}) = 0,03 \quad (7.63)$$

для величин x_1, \dots, x_3 :

$$u_{B_{1..3}}(x_{i_{1..3}}) = 0,06 \quad (7.64)$$

Для оцінювання сумарної стандартної невизначеності розраховані коефіцієнти чутливості c_i для кожної вхідної величини та розраховані їх внески $u(y_i)$ у сумарну стандартну невизначеність

для x_1 :

$$u(y_1) = \frac{x_3 - x_2}{x_4 \cdot x_3} \cdot \sqrt{u_{B_{1..3}}(x_{i_{1..3}})^2 + u_{A_1}(x_{i_1})^2} = 0,018$$

для x_2 :

$$u(y_2) = \frac{x_1(x_3 - 1)}{x_4 \cdot x_3} \cdot \sqrt{u_{B_{1..3}}(x_{i_{1..3}})^2 + u_{A_2}(x_{i_2})^2} = 0,1099$$

для x_3 :

$$u(y_3) = \frac{x_1(1-x_2)}{x_4 \cdot (-x_3)^2} \cdot \sqrt{u_{B_{1..3}}(x_{i_{1..3}})^2 + u_{A_3}(x_{i_3})^2} = 0,000817 ;$$

для x_4 :

$$u(y_4) = \frac{x_1(x_3 - x_2)}{x_3 \cdot (-x_4)^2} \cdot \sqrt{u_{B_4}(x_{i_4})^2 + u_{A_4}(x_{i_4})^2} = 0,032$$

Сумарна стандартна невизначеність складає:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)} = 0,126.$$

Розширена невизначеність складає за $p=0.95$:

$$U = 0,25$$

Отже, без врахування індивідуальної мінливості та між групової мінливості показника, тільки за рахунок недосконалості їх вимірювання, результат можна подати у вигляді:

$$Y = (50,62 \pm 0,25) \text{ за } p = 0,95$$

Для прийняття рішення про стан організму необхідно враховувати індивідуальну V_i та міжіндивідуальну варіабельність V_G . Наприклад, для розглядуваної групи V_i ЖЕЛ може коливатися у межах 15 % , V_G – у межах 14%; індекс Скибицької V_i – у межах 24%, V_G – у межах 33%; частота серцевих скорочень за 5 хвилин V_i – у межах 8%, V_G – у межах 10 % [55].

Невизначеність впливу факторів при оцінці показника та забезпечення необхідного рівня достовірності прийняття рішення про стан системи організму має задовольняти нерівність:

$$U < 0,25(CV_i^2 + CV_G^2)^{1/2}$$

Достовірність 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. Ухвалення рішення про функціональний стан всіх підсистем біологічного об'єкта з урахуванням невизначеності дасть підставу для пропозиції (визначення) інтегрального показника для оцінювання всієї системи.

7.8. Топологічна модель оцінювання функціонального стану оператора з використанням мереж Петрі

Для підвищення ефективності збору та обробки медико-біологічних даних запропонована бази даних, яка б забезпечила спрощення операцій збору медико-біологічних параметрів при здійсненні практичної підготовки в «Центрі льотної підготовки» Національного авіаційного університету для проведення навчання та отримання наступних свідоцтв: приватного пілота (Private Pilot License - PPL); комерційного пілота (Commercial Pilot License - CPL) та

кваліфікаційних відмінок: дозвіл на виконання польотів за приладами (Instrument Rating - IR(A)); дозвіл на пілотування багатодвигунних повітряних суден (Multi engine rating - MER) та дозвіл на польоти вночі. Особливості даної бази даних є можливість зберігання візуальної інформації (що може бути використана при обробці методами нелінійної динаміки (п. 3.4.)) у вигляді форм та визначає обсяги і типів даних, від яких безпосередньо залежить продуктивність бази даних, тобто об'єм інформації впливає на розмір бази даних, а типи даних виступають у ролі факторів, що визначають обмеження, що накладаються на структуру даних.

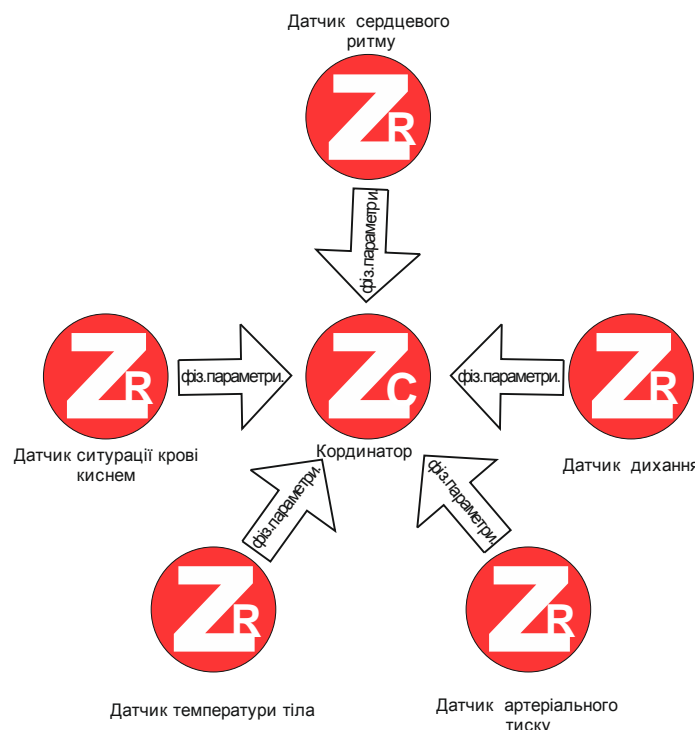


Рисунок 7.11 – Архітектура DAS

База даних характеризується можливістю збору та обробки даних за бездротову технологію для передачі отриманої інформації від оператора до блоку візуального моніторингу з використанням технології Bluetooth, ZigBee і Wi-Fi. Функція DAS призначена для отримання медико-біологічних параметрів для подальшої їх обробки. При проведенні практичних навичок з використанням тренажеру бездротові датчики забезпечують більшу мобільність та не впливають на якість здійснення практичної підготовки. На кожного оператора встановлено п'ять датчиків, які здатні виміряти основні медико-біологічна

параметри (в тому числі частоту серцевих скорочень, насичення киснем, артеріальний тиск, частоту дихання і температуру). Датчики забезпечені бездротовим зв'язком ZigBee. Головний вузол контролює зв'язок 5-ти датчиків усередині WPAN.

Медико-біологічні параметри, отримані від DAS в графічній формі, візуалізуються, аналізуються за індивідуальними межами і виявляються адаптаційні стани. Блок прототип централізованого управління використовується для відображення медико-біологічних параметрів в режимі реального часу. Інтерфейс користувача, для відображення і аналізу (рис.7.12).

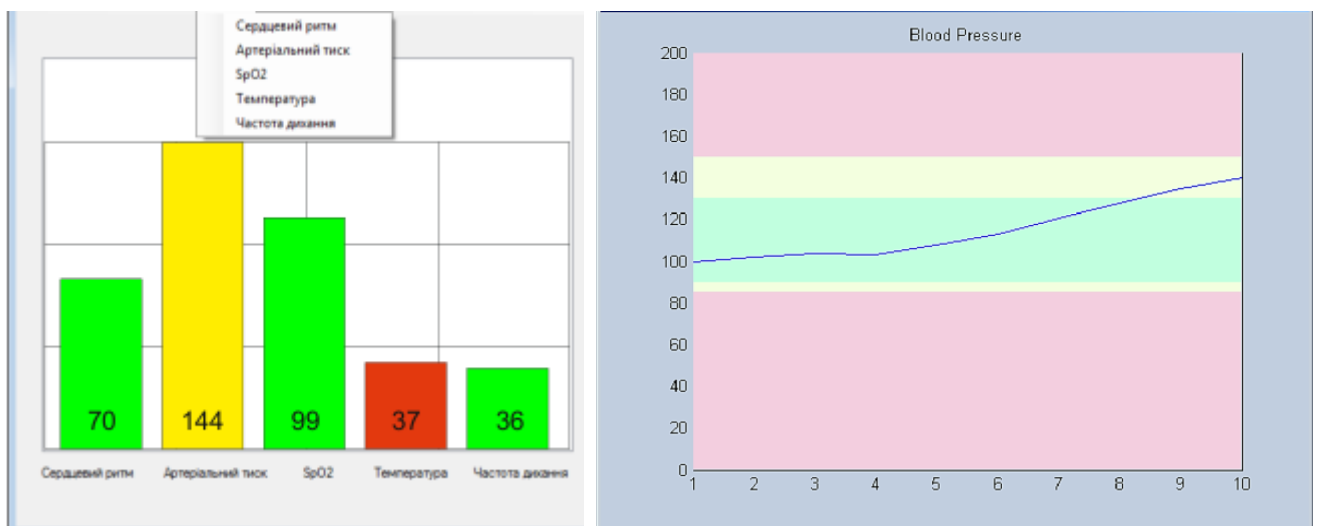


Рисунок 7.12 – Приклади обробки даних з використанням запропонованої бази даних

Колір значків може бути змінений, в залежності від порогу спрацювання і зручності користування. Колір смуги вказує на границю індивідуальної норми для медико-біологічних параметрів. Наприклад зелений колір означає, що медико-біологічний параметрів знаходиться в межах індивідуальної норми – відповідно оператор знаходиться в стабільному стані. Бази даних в блоці управління, можуть також надавати порівняльну характеристику за індивідуальною межею норми, як зазначено в п.3.3. На рис. 7.13. Лістинг програми прототипу написаний за алгоритмом на мові C++, базовою функцією якого є опитування датчиків і відправка отриманих значень в послідовний порт.

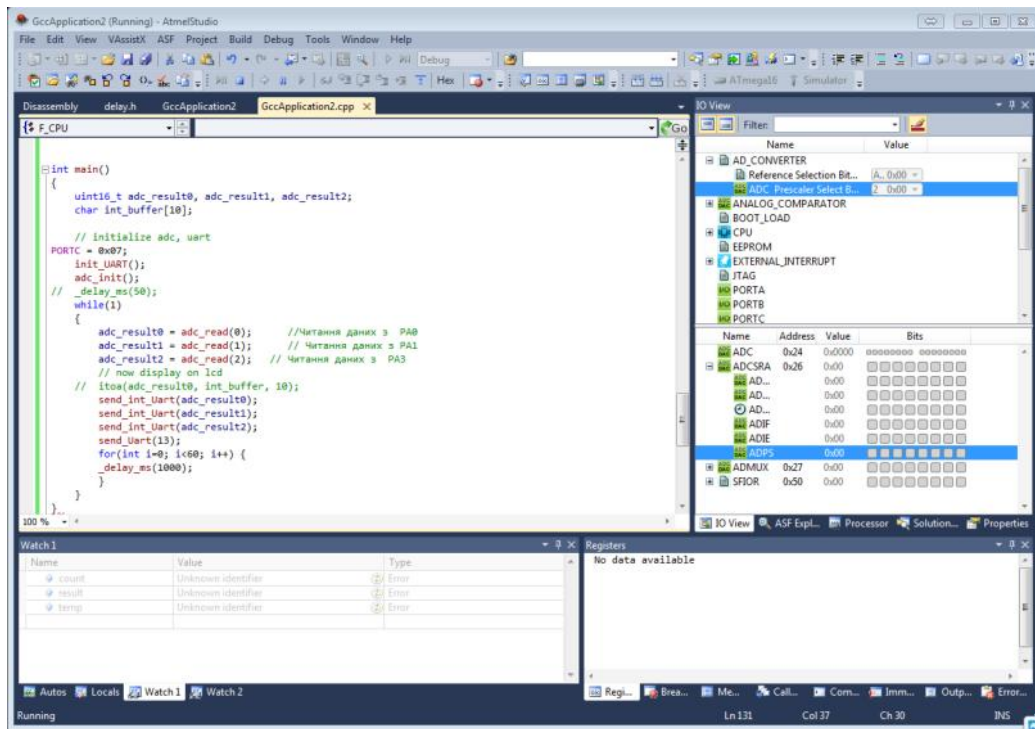


Рисунок 7.13 – Лістинг програми

Визначення запропонованих методів для оцінювання поточного функціонального стану оператора з урахуванням впливу факторів дестабілізації дає підставу для коректного (ефективного) використання всіх видів ресурсів, як матеріальних так і трудових. Дає 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). 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.

Обстеження серцево-судинної системи

Результати клінічних досліджень крові

Група крові та ресурс-фактор
Група 0(I) -

Загальний (розгорнутий) аналіз крові

Параметри	Результат
1. Гемоглобін, г.%(од)	<input type="text"/>
2. ШОЕ, мм/год	<input type="text"/>
3. Кількість еритроцитів	<input type="text"/>
4. Кількість лейкоцитів	<input type="text"/>
*сегментоядерних,	<input type="text"/>
*палочкоядерних, %	<input type="text"/>
5. Кількість тромбоцитів	<input type="text"/>
6. Кольоровий показник крові	<input type="text"/>
7. Гематокритний показник крові	<input type="text"/>

Показники функціональної здатності серцево-судинної системи

Пульс

Систолічний тиск (мм.рт.ст.)

Діастолічний тиск (мм.рт.ст.)

Інші функціональні проби

Стандартна 12-електродна електрокардіограма в стані спокою (ЕКГ) Завантажити ЕКГ

Загальні вимоги
Заявники, які мають перелічені нижче симптоми, повинні бути оцінені як непридатні:

1. Захворювання коронарної артерії, що потребує лікування
2. Інфаркт міокарда
3. Порушення суправентрикулярного ритму
4. Ускладнення тахікардії
5. Аневризми грудної або черевної аорти

Попередня
Наступна
Зберегти

Рисунок 7.14 – Приклад використання бази даних

. 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 втоми розроблена топологічна модель мережами Петрі, що поєднала в себе всі розроблені в дисертаційній роботі моделі, критерії та методики рис.7.14. 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.

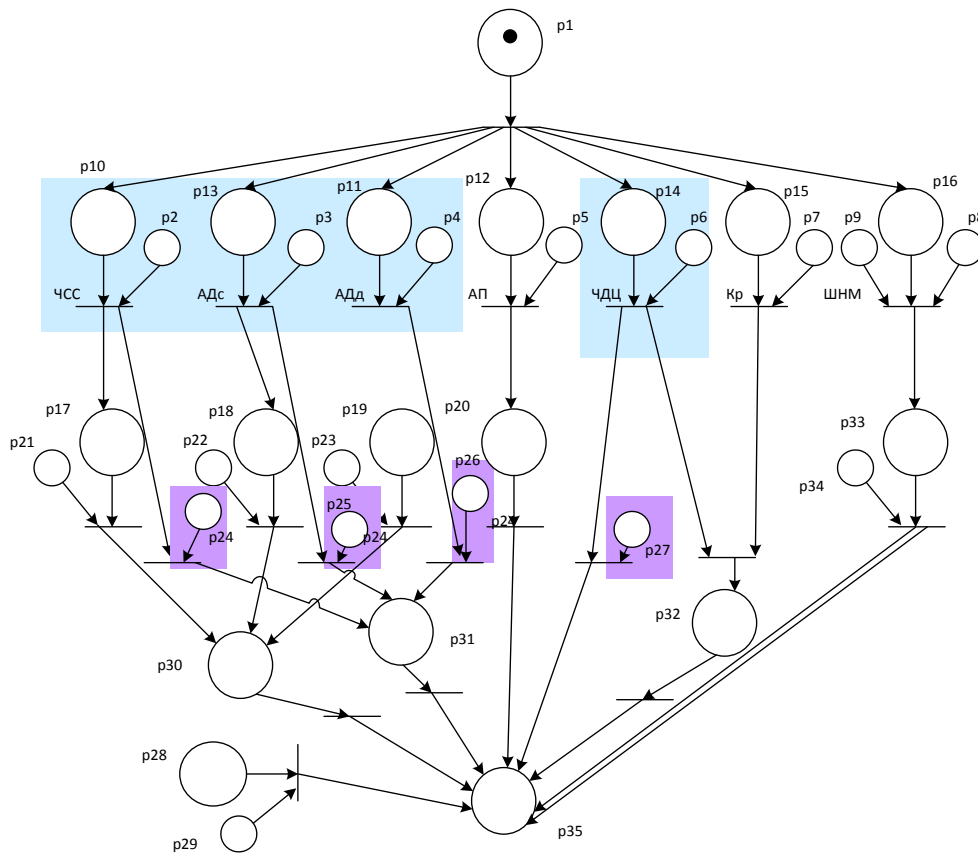
Достовірність прийняття рішень про функціональний стан такої складної системи як біологічний об'єкт вимагає всебічного аналізу всіх його складових. А також обліку невизначеності впливу факторів при оцінюванні медико-біологічних показників кожної з підсистем. Ухвалення рішення про функціональний стан всіх підсистем біологічного об'єкта з урахуванням невизначеності дасть підставу для визначення адаптаційних резервів організму та поточного рівня втоми.

Визначення адаптаційного потенціалу для оцінювання поточного функціонального стану оператора з урахуванням впливу факторів дестабілізації дає підставу дозволить 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.

В дисертаційній роботі методи, моделі та критерії, що були розглянуті в попередніх розділах були синтезовані в єдину топологічну модель для оцінювання функціонального стану оператора. Зазначена модель розроблена за допомогою мереж Петрі та може бути представлена як сукупність множин: $N=\{P, T, G, M\}$ в якій $P=\{p1, p2, \dots, p35\}$ множина всіх позиції розробленої мережі, причому в позиції $\{p9\}$ з'являється маркування при комерційній доречності, така доречність описана в Додатку І і пов'язана з наявними можливостями авіакомпанії, тому що позиція $\{p16\}$ відповідає процесу оцінювання за допомогою штучних нейронних мереж, а для її використання в якості моделі прогнозування необхідні додаткові клінічні дослідження. В позиції $\{p8\}$ маркування встановлюється при позитивному прогнозі різкого порушення функціонального стану штучною нейронною мережею.. Позиції $\{p10, p11, p13, p14\}$ сформовані згідно рівнів контрольованих медико-біологічних параметрів, як було зазначено в розділі 4, відповідно в топологічній моделі представлен перші чотири рівні за їх інформативною значимістю. Позиції $\{p24...p27\}$ відповідають процесу прогнозування з використанням функції German-McClurg, що описаний в підрозділі 5.3 та додатку Е. Позиції $\{p2...p8\}$ відповідають процесу прийняття рішення на основі використання карт Хотеллінга і при виконання умови, що розраховане значення більше критичного дана позиція також маркується фішкою. Позиція $\{p12\}$ відповідає процесу розрахунку адаптаційного потенціалу за вдосконаленим методом з використанням статистики Хотеллінга, як зазначено в підрозділі 5.2. Врахування трендів та стохастичних впливів на основі розробленої уніфікованої моделі часових рядів медико-біологічних параметрів здійснюється за рахунок маркування позицій $\{p21...p23\}$. Переходи $T=\{t1, t2, \dots, t21\}$ відкриваються через відповідні маркування позицій та правилом відкриття переходів в мережі Петрі. При наявності маркувань в позиції $\{p35\}$ (після всіх етапів відпрацювання мережі Петрі, приклад наведений в Додатку Й) у кількості три та більше приймається рішення про ризик порушення функціонального стану оператора та обов'язкового сповіщення про можливий

фактор ризику.

Методологія управління функціональним станом оператора



за критерієм небезпеки відхилення (розділ 4)

p2 - p8 за статистикою Хотеллінга (розділ 3)

p9 за комерційною доречністю (розділ 1)

p16 за прогнозом штучних нейронних мереж (розділ 6)

p12 за адаптаційним потенціалом (розділ 5)

p21-p23 часові ряди для побудови моделі вимірювання з врахуванням глобальних та локальних трендів та стохастичної складової (розділ 2)

p28-p29 часові ряди для побудови карт Пуанкаре та атратора (розділ 3, п.3.4)

p24-p27 часові ряди для моделі прогнозування за функцією Geman-McClure (розділ 5, п.5.2)

Рисунок 7.14 – Топологічна модель оцінювання функціонального стану

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 7

7.1. Проведений аналіз особливостей процедури прийняття рішення, зокрема про порушення функціонального стану оператора. Проведені розрахунки невизначеності за типом А та типом В та сумарної невизначеності при оцінюванні медико-біологічних параметрів, що надало змогу отримати нерівність, що враховує невизначеність впливу факторів при оцінюванні функціонального стану та забезпечити необхідний рівень достовірності прийняття рішення про стан підсистеми організму.

7.2. 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%.

Список публікацій здобувача за матеріалами сьомого розділу

7.1. Ivanets O.B., Kosheva L.O. 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; Bulgaria. IEEE. p. 661–665, 9019500 ISBN: 978-1-7281-1813-0. IEEE Catalog Number: CFP19814-USB/ (Scopus/Web of Science).

7.2. 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.

- 7.3. Іванець О.Б., Булигіна О.В., Дворнік М.В., Оникієнко Ю.Ю. Використання мереж Петрі для топологічного моделювання. Електроніка та системи управління. 2010;1(23):129-133.
- 7.4. Іванець О.Б., Дворнік М.В., Морозова І.В. Формування бази даних для відбору операторів. Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. 2010;2(30):74-79.
- 7.5. Ivanets O., Arkhyrei M. Reducing uncertainty in health systems. Електроніка та системи управління. 2014;3(41):114-117.
- 7.6. Bezvershniuk K.O., Ivanets O.B., Melnykov O.V. The Computer Simulation Features in Modern Biotechnical Systems. Electronics and Control Systems. 2021;1,67:84-93.
- 7.7. Іванець О.Б., Букрєєва О.В, Владикіна І.А. Розроблення і впровадження бази даних для медичних закладів. Електроніка та системи управління. 2010;1(23):134-137.
- 7.8. Іванець ОБ, Архирей МВ, Дацюк ОМ. Системи візуального моніторингу в медицині. Проблеми інформатизації та управління. 2015;2(50):47-51.
- 7.9. 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.
- 7.10. Іванець ОБ, Дворнік МВ. Розроблення бази даних в середовищі MS Access. Електроніка та системи управління. 2010.2(24):123-126.
- 7.11. Іванець ОБ, Дворнік МВ. Використання мереж Петрі для задач моделювання складних систем. Вісник Інженерної академії України. 2010;2:89-92.
- 7.12. 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.

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 використанням 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 T^2 -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.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Acharya U.R., Joseph K.P., Kannathal N., Lim C.M., Suri J.S. Heart rate variability: a review. *Medical and Biological Engineering and Computing*. 2006;44(12):1031–1051. doi: 10.1007/s11517-006-0119-0.
2. Airworthiness Investigation Manual A-GA-135- 003 / AG-001. Airworthiness Investigation Manual A-GA-135- 003 / AG-001.
3. Annex 18 — The Safe Transport of Dangerous Goods by Air. 999 Robert-Bourassa Boulevard, Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7 <http://caa.gov.by/uploads/files/ICAO-Pr19-ru-izd-2-2016.pdf>
4. Annual Safety Recommendations Review2020.EASA.
5. Arcúrio Michelle Security Culture and Human Factors. Global Aviation Security Symposium (AVSEC2020). Virtual Symposium is “Improving Security Culture by Connecting the Dots”. December 18, 2020
6. Barette-Sabourin N. Developing competency-based training and performance standards for licensing flight crew members: a progress report. Presentation to TrainAir Panel Meeting, ICAO, Montréal, 2004.
7. Bommel J. H. Handbook of medical informatics. Houten: Springer-Verlag, 2002, 628 p.
8. Bezvershniuk K.O., Ivanets O.B., Melnykov O.V. The Computer Simulation Features in Modern Biotechnical Systems. *Electronics and Control Systems, Volume 1, № 67* pp.84-93, 2021 DOI: 10.18372/1990-5548.67.15617
9. Booze, C.F. Sudden inflight incapacitation in general aviation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, April 1989, Vol. 60, No 4, pp. 332-35.
10. 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.*
11. Bronzino J. D. *Medical Devices and Human Engineering Four Volume Set.* Boca Raton : CRC Press. 2014563 p.

12. 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
13. Canfield, D.V., et al., Pilot medical history and medications found in post-mortem specimens from aviation accidents. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, November 2006, Vol. 77, No. 11, pp. 1171-73.
14. Chapman, P. The consequences of in-flight incapacitation in civil aviation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, June 1984, Vol. 55, No. 6, pp. 497-500.
15. Cherevko I.S., Ivanets O.B., Melnykov O.V. Evaluation of complex objects. Proceedings of the XV International Scientific and Technical Conference "AVIA-2021". K .: NAU, 2021.
16. Commission Implementing Regulation (EU) 2016/1377. <https://www.easa.europa.eu/document-library/regulations/commission-implementing-regulation-eu-20161377>
17. De Godoy, M.F. Nonlinear analysis of heart rate variability: A comprehensive review. *J. Cardiol. Ther.* 2016, 3, 528–533.
18. Evans, A.D. Examining the professional pilot: can we do better? Presentation to UK Association of Aviation Medical Examiners, April 2007.
19. Evans, A.D. International regulation of medical standards in Ernsting's *Aviation Medicine*. D.J. Rainford and D.P. Gradwell (eds.), Hodder Arnold, London, 2006.
20. Evans, A.D., et al., Safety management as a foundation for evidence-based aeromedical standards and reporting of medical events *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, June 2009, Vol. 80, No. 6, pp. 511-15.
21. Fletcher G.F. Exercise Standards for Testing and Training. *Circulation* 2001; 104: 1694.

22. Francesco B. Linear and nonlinear heart rate variability indexes in clinical practice. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. 2012. Vol. 2012. P. 219080-219085. doi: 10.1155/2012/219080.
23. Gibbons RJ et al. ACC/AHA 2002 Guideline Update for Exercise Testing. A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association. Task Force on Practice Guidelines. 2002.
24. Global Aviation Safety Plan Highlights_en.pdf. https://www.icao.int/safety/SafetyManagement/Documents/Global%20Aviation%20Safety%20Plan%20Highlights_en.pdf
25. Goncharenko E., Goncharenko S. Improved model of flight safety system of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine *Social Development and Security*, Vol. 10, no. 5, 2020 doi: 10.33445 / sds.2020.10.5.9
26. Gottlie G. Optimal Replacement for selfrepairing Shock Models with General Failure Rate. *Journal of Applied Probability* 1984. p. 108-119.
27. Hall, John. Guyton and Hall textbook of medical physiology (12th ed.). Philadelphia, Pa.: Saunders/bich er. 2011pp. 4–9. ISBN 9781416045748.
28. Henriques T., Ribeiro M., Teixeira A., Castro L., Antunes L., Costa-Santos C. Nonlinear Methods Most Applied to Heart-Rate Time Series: A Review. *Entropy*. 2020; 22(3):309. <https://doi.org/10.3390/e22030309>
29. Hodges S.D., P.G. Moore. Data uncertainties and least squares regression. *Applied. Statistics*. 1972. № 21. P. 185-195.
30. Honcharenko Y., Martyniuk O., Radko O., Open'ko P. The method of proactive risk assessment for flight safety based on the rate of dangerous events. *Advances in Military Technology* Vol. 15, no. 2, 2020. pp. 365-377. doi: 10.3849 / aimt.01424.
31. <https://physionet.org/about/database>
32. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%96_%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97

33. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/656-2021-%D1%80#n7>
34. Ilnitsky 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). Pp:58–72.
35. ISO 7870-2:2013 Control charts - Part 2: Shewhart control charts. Switzerland, 2013. 44p.
36. ISO/IEC Guide 98-1:2009 1:2009 (JCGM/WG1/104) Uncertainty of measurement - Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement.
37. 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.
38. 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.
39. Ivanets O., Arkhyrei M. Reducing uncertainty in health systems. *Електроніка та системи управління* 2014. Вип. 3 (41) . С. 114-117.
40. Ivanets O., Burichenko M., Schapov P., Morozova I., Arkhyrei M., Kulakov P. Features of Evaluation of Risks for Complex Objects. 2023 13th International Conference on Advanced Computer Information Technologies ACIT 2023, Wrocław, Poland, Proceedings 2023, pp. 63-69, <https://doi.org/10.1109/ACIT58437.2023.10275575>. (Scopus).
41. Ivanets O., Burichenko M.. Monitoring biological indicators of homeostasis. “АВІА-2019” Тези доповіді XIV Міжнародної науково-технічної конференції м. Київ. 23-25 квітня 2019 року. Секція 24 Біотехнологія та біомедична інженерія в авіації та космонавтиці. pp. 24.5 – 24.7.
42. 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 (MMA). 2021.IEEE. doi: 10.1109 / MMA52675.2021.9610872

43. Ivanets O., Morozova I., Kulakov P., Kucheruk V., Kulakova A., Moskvichova Y.. Criterion Assessment of the Probability of Deviation of Objects from the Normal State. 2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA), 2021, pp. 1-5 DOI: 10.1109/MMA52675.2021.9610867 (Scopus).

44. 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.

45. Ivanets O.B ., Morozova I.V., Terechenko Yu.M. Approach to Assessing Quality Indicators Proceeding of CAOL*2019 International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers. Sozopol, Bulgaria. September 6 – 8, 2019. Pp.6616-670. #978-1-7281-1814-7/19/31.00 c 2019 IEEE (Scopus).

46. Ivanets O.B., Khrashchevskyi R.V., Burichenko M.Yu, Kulik M.S. Intelligence analysis of empirical data based on time series. Radio Electronics, Computer Science, Control. 2023 No (2), p.38-49. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023/> (Web of Science)

47. Ivanets, O., Morozova, I. Features of Evaluation of Complex Objects with Stochastic Parameters. 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2021 Proceedings, 2021, pp. 159–162 (Scopus).

48. Ivanets O. Peculiarities of processing information parameters of complex objects with stochastic influence. Proceedings of XIV International Conference on Modern Achievements of Science and Education, Neetania (Israel), September 26 – October 3, 2019.

49. Kerneshel V.V., Ivanets O.B., Melnykov O.V. Computer tomography images quality assessment- Electronics and Control Systems. 2020. Volume 1, № 63 pp.6-15, DOI:10.18372/1990-5548.63.14495

50. Khrashchevskyi R.V. Ivanets O.B., Nesterenko K.S., Horskyi O.M, Baybuz O.G. Model of Decision Making Using Artificial Neural Networks. Electronics and Control Systems 2021. N 4(70): 19-28 . ISSN 1990-5548 .

51. Kosheva L.O., Ivanets O.B. Approach to the evaluation of the functional state of the human body taking into account the variability of medical and biological indicators. Conference Proceedings 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers CAOL*2019 Sozopol, Bulgaria, 06-08 September 2019, pp. 666-670. ISBN: 978-1-7281-1813-0. IEEE Catalog Number: CFP19814-USB/ Scopus

52. Kuzmin V, Ivanets O, Zaliskyi M, Shcherbyna O, Holubnychyi O, Sevriukova O. Methods for Time Series Analysis Using Segmented Regression with Heteroskedasticity. In: Proceedings of Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. 7-9 October 2023; Kharkiv; 2018.

53. Kuzmin V. M., Khrashchevskyi R. V., Kulik M. S., Ivanets O.B., Zaliskyi M. Y., Petrova Y. V. Mathematical model for decision making system based on three-segmented linear regression. Radio Electronics, Computer Science, Control, 2022 № (3), p.38-49. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2022-3-4>

54. Kuzmin V.N., Bidyuk P.I. Analysis of stochastic process with jumps under conditions of heteroscedasticity. International conference on Stochastic analysis and random dynamics. Lviv, 2009, June 14 – 20, Proceedings. Pp. 136-138.

55. Kuzovik V.D., Bulygina O.V., Ivanets O.B., Gerasymova I.G., Sopivnyk R.V., Omiotek Z., Kozbakova A. Methodology for flight crew psychophysiological status forecasting. Proceedings Volume 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019; 111762E (2019) <https://doi.org/10.1117/12.2536416> (Scopus).

56. Kuzovyk V., Bulyhina O., Ivanets O., Onykienko Y., Kolesnic P., Wojcik W., Nuradilova D. Complex assessment of the flight crew's

psychophysiological state. Information technology in Medical Diagnostics II.- 2019 – p.77-85 doi.org/10.1201/9780429057618. ISBN 9780367177690

57. Kuzovyk V., Bulyhina O., Ivanets O., Onykienko Y., Kolesnic P., Wojcik W., Nuradilova D. Complex assessment of the fight crew's psychophysiological state. Information technology in Medical Diagnostics II. 2019 p.77-85. <https://doi.org/10.1201/9780429057618>. ISBN 9780367177690 (Scopus).

58. Lutskyi M.G., Khrashchevskyi R.V., Ivanets O.B., Nesterenko K.S. Information technologies for managing aviation systems. Science-Based Technologies. 2022. No.2(54). Pp.77-85.

59. Manual of Air Safety (MAS) Military Aviation Authority. [Електронний pecypc] – https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/912759/MAS_Issue_7.pdf.

60. Martyniuk O.R., Radko O.V., Goncharenko E.V. Risk assessment in the flight safety system of state aviation of Ukraine. Modern information technologies in the field of security and defense. K.: NOUOU, 2019. № 1 (34). P. 155-160. DOI: 10.33099 / 2311-7249 / 2019-34-1-155-160

61. Mitchell S.J., Evans A.D. Flight safety and medical incapacitation risk of airline pilots. Aviation, Space, and Environmental Medicine, March 2004, Vol. 75, No. 3, pp. 260-68.

62. Montgomery D. C. Introduction to Statistical Quality Control, 6th Ed. – John Wiley & Sons. 2009. 734 p.

63. Myers C.W. [et al] A model for the genesis of arterial pressure Mayer waves from heart rate and sympathetic activity. Auton Neurosci. 2001. V.91, №1-2. P.62-75.

64. Narula S.G. Predictive mean square error and stochastic regressor variables. Applied. Statistics. 1974 № 23. P. 11-16.

65. NATO STANAG 3102, Flight safety cooperation in common ground / air space. https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/STANAG-3102-2007-5475_SAIG_NATO_NATO_1786354/.

66. Nayak, S.K., Bit, A., Dey, A., Mohapatra, B., Pal, K. A review on the nonlinear dynamical system analysis of electrocardiogram signal. *J. Healthcare Eng.* 2018.
67. Ott, E. *Chaos in Dynamical Systems*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2002.
68. Patnaik P.B. The noncentral χ^2 and F-distributions and their approximations *Biometrika*. 1949. vol. 36. №2. P. 202-232.
69. Pisanelli D. M. *Ontologies in Medicine*. Amsterdam: IOS Press. 2004. 165 p.
70. Pollard J.H. *A handbook of numerical and statistical techniques*. Cambridge University Press: London New York Melbourne, 1976. 344p.
71. Regulation (EU) No 376/2014 of the European Parliament and of the Council of 3 April 2014 on the reporting, analysis and follow-up of occurrences in civil aviation, amending Regulation (EU) No 996/2010 of the European Parliament and of the Council and repealing Directive 2003/42/EC of the European Parliament and of the Council and Commission Regulations (EC) No 1321/2007 and (EC) No 1330/2007. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:32014R0376>
72. Schapov P., Ivanets O.B., Kulakov P., Kosheva L. Increasing the Reliability of Diagnosis and Control in the Uncertainty of Primary Information. *Sustainable Transport and Environmental Safety in Aviation. Sustainable Aviation*. Springer, Cham. 2023. Pp.13-36. https://doi.org/10.1007/978-3-031-34350-6_2.
73. Shmelyova T.F., Danilenko E.N., Boldysheva T.K. Expert estimation of human factor using reason model's components. *ABIA-2015: XII міжнар.наук.-техн. конф., Київ, 27-28 травня 2015 р.: тези доповідей. Т. 2. К.: Національний авіаційний університет, 2015. P. 9.48-9.52.*
74. Sikirda Yu. V. Tkachenko D.O. Importance of risk management in air traffic control *Проблеми навігації і управління рухом: Всеукр. наук.-практ. конф., Київ, 23–25 листопада 2015 р.: тези доповідей. К. Національний авіаційний університет, 2015. – С. 38.*

75. Sikirda Yu.V. Tkachenko D.O. Evaluation of the organizational factors influence on flight safety in air traffic control. ABIA-2017: XIII міжнар.наук.-техн. конф., Київ, 19–21 квітня 2017 р.: матеріали конф. К. Національний авіаційний університет, 2017. С. 11.64-11.66.

76. Solomentsev O., Zaliskyi M., Shcherbyna O., Kozhokhina O. Sequential Procedure of Changepoint Analysis during Operational Data Processing. Proceedings of 2020 IEEE Workshop on Microwave Theory and Techniques in Wireless Communications, MTTW 2020. pp. 168–171, <https://doi.org/10.1109/MTTW51045.2020.9245068>

77. Sprent P. Some hypotheses concerning two phase regression lines. Biometrics. 1961. vol. 17. P. 634-645.

78. State Aviation Service of Ukraine. Flight Safety Report for 2020 <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2021/07/Zvit-z-bezpeki-polotiv-za-2020-rik-publikatsiya.pdf>

79. Sugeno M. In Fuzzy Automata and Decis. Processes. Ed. M.M. Gupta – New York: North-Holland Publishing Co., 1977. P. 89-102.

80. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence. Dynamical Systems and Turbulence, Lecture Notes in Mathematics, 1981. vol. 898. Springer-Verlag. pp. 366–381.

81. Thayer J.F. Sternberg E. Beyond heart rate variability: vagal regulation of allostatic systems. Neuroendocrine and Immune Crosstalk. 2006. Vol. 1088, Issue 1. P.361-372. DOI:10.1196/annals.1366.014.

82. THE EUROPEAN PLAN for AVIATION SAFETY (EPAS 2020-2024) https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EPAS_2020-2024.pdf.

83. The Royal Canadian Air Force highlights historical lows of flight safety incidents during the Air Forces Flight Safety Committee (Europe) meeting, [Electronic resource] – Access mode: (2022-02-10).

84. Tkachenko D.O. Sikirda Yu.V. Influence of organizational factors on safety in air traffic control. Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху. CNS/ATM: наук.-техн.

конф., Київ, 21–23 листопада 2016 р.: тези доповідей. К. Національний авіаційний університет, 2016. С. 23.

85. Volodarsky E., Ivanets O., Kosheva, L., Features of assessing the condition of complex objects. 2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA), 2021, pp. 1-5 <https://doi.org/10.1109/MMA52675.2021.9610867> (Scopus).

86. Volodarsky E., Kosheva L., Warsza Z. Nowe statystyczne kryteria ostrożności do monitorowania jakości procesów technologicznych. *Przemysl chemiczny*. 2017. 96/2 p.336-338. doi: 0.15199/62.2017.2.21 3

87. Voss, A.; Schulz, S.; Schroeder, R.; Baumert, M.; Caminal, P. Methods derived from nonlinear dynamics for analysing heart rate variability. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A* 2008, 367, 277–296.

88. Vysotska T. E., Directions for improving the state policy of flight safety of civil aviation *Public administration: improvement and development*, no. 11 (electronic journal), 2012.

89. Xiong, W., Faes, L., Ivanov P.C. Entropy measures, entropy estimators, and their performance in quantifying complex dynamics: Effects of artifacts, nonstationarity, and long-range correlations. *Phys. Rev. E* 2017, 95, 062114.

90. Zaliskyi M., Petrova Y., Asanov M. and Bekirov E., Statistical Data Processing during Wind Generators Operation. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering and Telecommunications*, Vol. 8, No 1, 2019, pp 33–38, <https://doi.org/10.18178/ijeetc.8.1.33-38>.

91. Авдеева Є.С., Чернов В.Г., Градусов Д.А. Методика експертної оцінки ризиків при впровадженні корпоративних інформаційних систем. *Сучасні наукомісткі технології. Регіональний додаток*, 2010. № 4 (24).

92. Авіаційні правила України «Порядок сповіщення про події в галузі цивільної авіації, розгляду отриманої інформації, її аналізу та вжиття відповідних заходів». Наказ Державної авіаційної служби України № 1817 від 27.12.2019 р.

93. Аналіз стану безпеки польотів-2016. К.: Державна авіаційна служба України, 2016. 25 с.
94. Антипенко Є.Ю. Воронцова О.В. Проектно-орієнтована організаційна структура управління ланцюгами поставок як метод підвищення конкурентоспроможності підприємства. Науковий вісник Чернігівського державного інституту економіки і управління. 2013. Вип. 2 (18). С. 109–113.
95. Архирей М. В., Іванець О. Б., Дрозд А. М., Лашкул О. К.. Модель прогнозування стану серцево-судинної системи на основі інформаційних параметрів. IV Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні системи та технології в медицині» (ІСМ– 2021). ISBN 978-966-662-842-1.
96. Бабак В.П. Білецький А.Я. , Приставка О.П., Приставка П.О. Статична обробка даних: Монографія. К.: МІВВЦ, 2001. 388 с.
97. Байриев Б.С. Б.А. Лагоша Оптимизация структур управления. Монографія под ред. Б.Б. Овезова. Ашхабад.: Ілимю 1985. 192 с.
98. Бардов В. Г., Омельчук С. Т., Мережкіна Н. В. та ін. Гігієна та екологія : підручник за заг. ред. В. Г. Бардова. Вінниця: Нова Книга, 2020. 472с.
99. Бодянський Є.В., Михальов О.І., Плісс І.П. Адаптивне виявлення розладнань в об'єктах керування за допомогою штучних нейронних мереж. Дніпропетровськ: Системні технології, 2000. 140 с.
100. Буриченко М.Ю., Іванець О.Б. Шляхи зменшення невизначеності прогнозу стану організму людини при нейромережевому моделюванні. Системи обробки інформації: зб. наук. праць. Харків: Видавництво харківського університету Повітряних сил ім.І.Кожедуба. 2012. №1(99). С.86-90.
101. БуриченкоМ.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.

102. Володарський Е.Т., Кошева Л.О. Статистична обробка даних.. К.:НАУ, 2008. 308с.
103. Володарський Є.Т., Іванець О.Б., Булигіна О.В. Концепція прогнозування психофізіологічного стану льотного складу. Метрологія та прилади. 2017. №2 (50). С. 47-51.
104. Волосов В.В., Шевченко В.М. Синтез управління стабілізацією геостационарного супутника у точці стояння. Міжнародний науково-технічний журнал. Проблеми керування та інформатики, 2022, No 4. С5-17. <https://jais.net.ua/index.php/files/article/view/3/8>
105. Голубничий О., Заліський М., Щербина О., Іванець, О. Подання похибки AR моделі через функцію Джимана-МакКлур при прогнозуванні процесів у телекомунікаціях. Вісті вищих учбових закладів. Радіоелектроніка. 2023. №65(8). С:496–509. doi:10.20535/S0021347022090023 (Scopus).
106. Гончаренко Є. Культура безпеки польотів державної авіації України. Наука і оборона, 2019, № 1, с. 36-39. doi: 10.33099/2618-1614-2019-6-1-36-39.
107. Гончаренко М. С., Бойчук Ю. Д. Екологія людини. Суми : Університетська книга. 2019. 391 с.
108. Горбань О.М., Бахрушин В.Є. Основи теорії систем і системного аналізу [навч.посібник]. Запоріжжя: ГУ "ЗІДМУ", 2004. 204 с.
109. Горбійчук, М. І., Є. П. Пістун.Числові методи і моделювання на ЕОМ. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. 408 с.
110. Гребняк М. Щ., Щудро С. А. Медична екологія : навч. посібник. Дніпропетровськ : Акцент, 2016. 483 с.
111. Грибан Г. П., Опанасюк Ф. Г. Теорія адаптації і закономірності її формування у процесі фізичного виховання. Проблеми виховання і навчання: Вісник ДААУ. Т 1. 2000. С. 210 – 218.
112. Грицюк П. М., Джоші О. І., Гладка О. М. Основи теорії систем і управління : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2021. 272 с

113. Грищенко Ю.В. Методи оцінки характеристик ергатичних систем управління повітряним судном. Дисертація на здобуття ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». – Національний авіаційний університет. – Київ, 2021. - 295 с.

114. Гусін А.В. Методи розв'язання нелінійних задач оптимального керування рухом літальних апаратів на основі диференціальних перетворень - Дисертація на здобуття ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.03 «Системи та процеси керування». – Національний авіаційний університет. – Київ, 2021. 342 с.

115. Давиденко Д.М., Філіппов М.М. Метод оцінювання показників, що характеризують резервні можливості організму спортсменів, за аналізом залежності: параметри механічної роботи – зміна фізіологічного параметру. Актуальні проблеми фізичної культури і спорту. 2011. N20(1). С.20-29

116. Димань Т. М. Екологія людини. Київ : Академія, 2009. 380 с.

117. Довідник з теорії ймовірностей та математичної статистики. К.: Наукова думка, 1978. 584с.

118. ДСТУ 2481-94. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1994. 72 с.

119. ДСТУ ISO 7873:2004 Статистичний контроль. Контрольні карти для арифметичного середнього з попереджувальними межами (ISO 7873:1993, IDT). Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 14 с.

120. Евтухов П.С. Властивості алгоритму корекції систематичних похибок з використанням розрахункових поправок. Методи та прилади контролю якості. Івано-Франківськ 006. № 16. С. 93 – 94.

121. Енюков І. Вибір вирішального правила за умов кінцевої навчальної вибірки. Збірник "Статистичні проблеми управління" Вільнюс, 1976. вып. 14. – С. 127-136.

122. Еременко В.С., Буриченко М.Ю, Іванець О.Б. Метод обробки результатів вимірювань медичних показників. Наукоємні технології. 2020. № 3(47), С. 392 - 398. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.47.14937>
123. Єріна А.М. Статистичне моделювання та прогнозування: [навч. посіб]. К.: КНЕУ, 2001. 170 с.
124. Жураковський Ю.П., Полторак В.П. Теорія інформації та керування. Київ: Вища школа, 2001. 255с.
125. Заліський М.Ю. Методологія оброблення даних у системах експлуатації наземних засобів аеронавігації - Дисертація на здобуття ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». – Національний авіаційний університет. Київ, 2020. 354 с.
126. Захаров І.П., Кукуш В.Д. Теорія невизначеності в вимірюваннях. Х.: Консум, 2002. 256 с.
127. Згуровский М.З., Романенко В.Д. Системи фільтрації та управління з різномісними рухами, що розділяються. - Київ: Наук. думка, 1998. 376 с.
128. Зубенко Ю. Д., Носач А. К. Менеджмент на базі системного аналізу. Під ред. проф. А. Д. Шарапова. Донецьк-Київ, 1998.
129. 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). С. 441 –448. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.44.14320>.
130. Іванець О. Б., Мельников О.В., Архирей М.В., Якимець І. В. Модель прийняття рішень щодо функціонального стану складних об'єктів. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2020. № 2(66). С.21-28. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2020-66-2-4>.
131. Іванець О. Б., Мельников О.В., Мусієнко М. П., Кулікова А.П., Іванець Б.М. Оцінювання функціонального стану дихальної системи організму. Вісник інженерної академії України. 2019. №4 С. 127-131.
132. 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.

133. Іванець О.Б., Висоцька Я.С., Моїсеєнко В.С., Собова С.Ю. Оцінювання функціонального стану організму Вісник інженерної академії України, 2019. №1, С. 127-131.

134. 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.

135. 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.

136. Іванець О.Б. Особливості оцінювання функціонального стану оператора в умовах невизначеностей. Міжнародний науково-технічний журнал «Проблеми керування та інформатики». 2024. No 1. С.105-120. ISSN 2786-6491. (група А)

137. Іванець О.Б., Архирей М.В., Булигіна О.В., Кучеренко В.Л. Застосування експертних оцінок для забезпечення ефективності експлуатації біомедичної апаратури. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2015. Вип. 1 (25). С. 167-171. ISSN2219-9365

138. Іванець О.Б., Архирей М.В., Булигіна О.В., Кучеренко В.Л. Інформаційні технології та імітаційне моделювання в закладах охорони здоров'я. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2015. Вип. 1 (32). С. 4-7.

139. Іванець О.Б., Архирей М.В., Дацюк О.М. Системи візуального моніторингу в медицині. Проблеми інформатизації та управління. 2015. Вип. 2 (50). С. 47-51.

140. Іванець О.Б., Букрєєва 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.
141. Іванець О.Б., Букрєєва О.В., Владикіна І.А. Розроблення і впровадження бази даних для медичних закладів. Електроніка та системи управління. 2010. №1(23). С.134-137.
142. Іванець О.Б., Букрєєва О.В., Дворнік М.В. Побудова моделей прогнозування за допомогою штучних нейронних мереж. Електроніка та системи управління. 2011. №4(30). С.139-142
143. Іванець О.Б., Булигіна О.В., Дворнік М.В., ОникієнкоЮ.Ю. Використання мереж Петрі для топологічного моделювання Електроніка та системи управління. 2010. №1(23). С.129-133.
144. 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.
145. Іванець О.Б., Булигіна О.В., Безвершнюк К.О. Метод прогнозування розвитку захворювань. Вісник інженерної академії України. 2018. №2 С. 147-151. У
146. 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.
147. Іванець О.Б., Буриченко М.Ю., Архирей М.В., Братко В.Ю. Особливості використання методів нелінійної динаміки для обробки біомедичних даних. Наукоємні технології. 2022. N4 (56). С.317-334. ISSN 2075-078, doi.org/10.18372/2310-5461.56.17131

148. Іванець О.Б., Буриченко М.Ю., Букреєва О.В. Використання програмного пакета MATLAB для побудови штучних нейронних мереж. Електроніка та системи управління. 2011. №3(29). С.120-123
149. Іванець О.Б., Васильченко І.В. Проблеми захисту медичних інформаційних систем. «АВІА-2017» XIII Міжнародна науково-технічна конференція 19-21 квітня 2017 р. К., 2017. С. 5.9.
150. Іванець О.Б., Висоцька Я.С., Моїсеєнко В.С. Методи оцінювання гомеостазу. Вісник інженерної академії України. 2018. №4. С. 130-135.
151. 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.
152. Іванець О.Б., Гнатюк Г.В., Архирей М.В. Метод оцінювання адаптаційних можливостей антарктичних зимівників. Вісник інженерної академії України. 2018. №1. С. 135-139.
153. Іванець О.Б., Дворнік М.В. Використання мереж Петрі для задач моделювання складних систем. Вісник Інженерної академії України. 2010. №2. С.89-92.
154. 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.
155. Іванець О.Б., Дворнік М.В. Розроблення бази даних в середовищі MS Access. Електроніка та системи управління. 2010. №2(24). С.123-126.
156. Іванець О.Б., Дворнік М.В., Морозова І.В.Формування бази даних для відбору операторів. Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. К.: НАУ, 2010. №2(30). С.74-79.
157. 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.

158. 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. ISBN 978-966-641-781-0

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

160. 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 «ТД «Едельвейс і К», 2017. С. 54.

161. Іванець О.Б., Кулаков П.І., Загрійчук М.С., Дейниченко А.Г., Буриченко М.Ю. Особливості використання статистичного аналізу для обробки медичних даних. Українській метрологічний журнал №1А (2020) С. 48-49. doi.org/10.24027/2306-7039.1A.2020.193279,

162. Іванець О.Б., Мельников О.В., Архирей М.В., Якимець І. В. Підвищення достовірності оцінювання інформаційних параметрів адаптаційного потенціалу за рахунок використання карт Хоттелінга. Наукоємні технології, 2021. № 1(49), С. 71 - 76. doi: 10.18372/2310-5461.49.15292.

163. Іванець О.Б., Морозова І.В. Методичні підходи до розробки комп'ютеризованої системи прийняття рішень. Електроніка та системи управління. 2009. №3 (21). С.127-132.

164. 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.

165. Іванець О.Б., Морозова І.В. Особливості конструювання складних систем. Вісник інженерної академії України. 2018. №4. С. 126-129.

166. Іванець О.Б., Морозова І.В., Назарчук М.А., Миколушко А.М., Іваницький Є.С. Синтез інформаційної системи діагностування складних об'єктів Українській метрологічний журнал №1А (2020) С. 50-51. doi.org/10.24027/2306-7039.1A.2020.193279

167. Іванець О.Б., Морозова І.В., Нечипорук В.В. Побудова моделей прогнозування реляційних даних. Електроніка та системи управління. 2011. №3(29). С.124-127.

168. Іванець О.Б., Морозова І.В. Назарчук М.В, Миколушко А.В, Іваницький Є. Approach in the Analysis of Complex Objects. Метрология и метрологическое обеспечение: сб. докл. 29 нац. научн. симпоз. 6-10 сент. 2019 г. – Созополь (Болгария).– СОФТРЕЙД, 2019.

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

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

171. Іщейкіна Ю. О., Буря Л. В. Гігієна та екологія. Полтава : АСМІ, 2018. 305 с.

172. Калябін С.Ю, Муляров В.В. Використання кумулятивних статистик в задачах знаходження спектральних змін випадкових сигналів. Вестник НТУ «ХПИ» Х.: НТУ «ХПИ», 2005. №7. С. 68-72. (Серія «Автоматика и приборостроение»).

173. Каплан А.Я. Варіабельність ритму серця та характер зворотного зв'язку за результатом операторської діяльності у людини. Журн. вищ. нерв. діяльності. К. 1999 Т. 49, Вип. 2. С. 345-349.
174. Катренко А. В. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації : навч. посіб. Львів : Новий світ–2000, 2007. 424 с.
175. Кисіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань. Івано-Франковськ: Видавництво „Факел”, 2000. 400 с.
176. Ківеджі К.Б. Взаємозв'язок типів гемодинаміки із станом вегетативної нервової системи у здорових людей: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.13. Львів, 2006. 20 с.
177. Клейман О.С. Обробка результатів вимірювань, розподілених за законами, відмінними від нормального. Х.: ХІРЕ, 1992. 132 с.
178. Козленко М.І. Дослідження ефективності застосування різних типів сигналів в інформаційних каналах систем керування та контролю. Методи та прилади контролю якості. Івано-Франківськ, 2006. № 16. С.91-93.
179. Контроль факторов угрозы и ошибок (КУО) при управлении воздушным движением. Сіг. ІСАО 314. АН /178. Канада, Монреаль: ІСАО, 2008. 34 с.
180. Кросскультурные факторы и безопасность полетов: сб. материалов по человеческому фактору № 16 /Сіг. ІСАО 302-АН/175. – Канада, Монреаль: ІСАО, 2004. – 52 с.
181. Кулаков П.І. Методи та засоби контролю параметрів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока - Дисертація на здобуття ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.13 «Прилади і методи контролю та визначення складу речовин». – Віницький національний технічний університет. – Вінниця, 2016.-399 с.
182. Кушнірук Ю. С. Рекреація та курортологія : навч. посібник. НУВПГ, 2012. 146 с.
183. Ладанюк А.П. Основи системного аналізу. Навчальний посібник. Вінниця: Нова книга, 2004. – 176 с.

184. Ластвичско Б.Б., Ткаченко О.У.. Нарушения фазовой структуры суточных биоритмов у операторов при сменном труде. Український журнал з проблем медицини праці. 2009. Т. 3. С. 46-51.
185. Ластков Д. О., Сергета І. В., Швидкий О. В., Сергієнко А. Ю. та ін. Основи екології та профілактична медицина : підручник для мед. ВНЗ І-ІІІ р. а. Київ, 2017. 472с.
186. Лежнюк П.Д., Рубаненко О.Э., Лук'яненко Ю.В. Основи теорії планування експерименту. Вінниця: ВНТУ, 2006. 167 с.
187. Леонтьєва З. Розрахунок адаптаційного потенціалу, оцінка адаптаційних можливостей організму і рівнів здоров'я студентів львівського національного медичного університету імені данила галицького. Праці НТШ Медичні науки 2017. Т XLVII. С.64-70.
188. Луцький М.Г., Іванець О.Б., Шавшина В.О. Інформаційна система оцінювання ймовірності виникнення ризиків події під час прийняття біомедичних рішень. Наукоємні технології. №53 (1), 2022. С.79-86.
189. Макарова І.Л. Аналіз методів визначення вагомих коефіцієнтів в інтегральному показнику громадського здоров'я. Символ науки. 2015. № 7. С. 87-94.
190. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Обработка многомерных нестационарных случайных пространственно-временных рядов в задачах мониторинга. Методи та прилади контролю якості. Івано-Франківськ 2005. № 15. С.90-93.
191. Методичні рекомендації «Методологія оцінювання систем управління», затверджені наказом Державної авіаційної служби України 06 березня 2020 р. №391. 35с. <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2016/01/Methodichni-rekomendatsiyi-Metodologiya-otsinyuvannya-SU-nakaz-391.pdf>
192. Мороз О. І., Петрушка І. М., Кузь О. Н., Руда М. В. Технології адаптації до змін клімату. Львів : Львівська політехніка, 2022. 452 с.

193. Наказ Державної авіаційної служби України 06 березня 2020р. №391. URL: <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2016/01/Methodichni-rekomendatsiyi-Metodologiya-otsinyuvannya-SU-nakaz-391.pdf>
194. Ободовський Ю. В. Синтез структур управління. Науковий вісник Ужгородського національного університету 2016. Вип. 7, ч. 2 . С. 142-144.
195. Оболенський О. Ю., Королюк Ю. Г.. Синтез систем управління: теорія та методика. Економіка та держава № 8/2010. С.106-110.
196. Обследование состояния безопасности полетов при работе в нормальных условиях (NOSS) / Doc. ICAO 9910-AN 473. – 1-е изд. – Канада, Монреаль: ICAO, 2008. – 85 с.
197. Овчаренко А.И. Осина Т.Г. Методика синтеза регрессионных моделей косвенно измеряемых неэлектрических величин. Проблемы информатики и моделирования: Материалы третьей международно-технической конференции. 27-29 ноября 2003 г. Харьков, 2003. С. 18.
198. Овчаренко А.И. Шапиро М.В., Щапов П.Ф. Коррекция погрешностей по минимуму остаточной дисперсии. Український метрологічний журнал. 2002. Вип.2. С. 16-18.
199. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. К.: Вища школа, 1983. 455с.
200. Осина Т.Г. Использование параметрических дискриминантных функций в задачах измерительного контроля качества. Вестник НТУ "ХПИ". 2006. №9. С.103-107.
201. Остроумов І.В., Д.В. Чаплінський Позиціонування за інформацією системи попередження зіткнень літаків. Вісник інженерної академії України. 2014. № 1. С. 32–36.
202. Павлов А. А., Гриша С. Н., Томашевский В. Н. та ін. Основи системного аналізу та проектування АСУ. Під ред. А. А. Павлова. Київ: Вища школа, 1991. 367 с.

203. Павлов В. В., Павлова С.В. Інтеллектуальне управління складними нелінійними динамічними системами. Монографія. Київ: Наукова думка, 2015. 235 с.
204. Пелешок Т.М. Обґрунтування структури алгоритму автоматичної компенсації мультиплікативних похибок первинних вимірювальних перетворювачів. Методи та прилади контролю якості. Івано-Франківськ, 2005. № 15. С.62-64.
205. Пикялис В. Ошибки линейного классификатора с независимыми признаками при малом объеме обучающей выборки. Сборник «Статистические проблемы управления» Вильнюс, 1973. Вып. 5. – С. 69-101.
206. Пожарский С.Г. Влияние различных методик измерения на достоверность результата. Український метрологічний журнал. 2006. Вип. 2. С. 37 – 41.
207. Положення про нагляд за безпекою польотів у системі організації повітряного руху: затв. наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 31.05.2010р. № 320. К.: Міністерство транспорту та зв'язку України, 2010. 12 с.
208. Положення про систему управління безпекою польотів на авіаційному транспорті: затв. наказом Державної авіаційної служби України від 25.11.2005 р. №895. К. Державна авіаційна служба України, 2005. 20 с.
209. Раудіс Ш. Обмеженість вибірки у завданнях класифікації. Збірник «Статистичні проблеми управління». Вільнюс, 1976. Вип. 18. – С. 1-185.
210. Рибалко В.В. Розробка статистичних моделей діагностування з пакетом Mathcad. Exponenta Pro. Математика в приложеннях. - 2003. - № 2 (2). С. 72 –76.
211. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій: підруч. Київ: Вища шк., 1995. 519 с.
212. Савчук С. А. Оздоровчі заняття для корекції фізичного стану студентів: методичні рекомендації. Луцьк, 2003. С. 20 – 21.

213. Светлов С.М. Спосіб асимптотичної оцінки похибок поліноміальної апроксимації за методом найменших квадратів. Український метрологічний журнал. 1999. Вип. 3. С. 61-64.

214. Сікірда Ю.В. Ткаченко Д.О. Оцінка ступеня небезпеки організаційних факторів при управлінні повітряним рухом. Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем: V міжнар. наук.-практ. конф. Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, 2016. С. 116-117.

215. Сікірда Ю.В., Шмельова Т.Ф., Ткаченко Д.О. Оцінювання впливу організаційних факторів на безпеку польотів при управлінні повітряним рухом. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2017, № 3(52). С.39-44.

216. Сіренко Р. Р. Козакова Т. Фізичний стан як критерій якості процесу фізичного виховання студентів. Фізична культура, спорт та здоров'я нації: зб. наук. праць. Вип. 5. ДОВ ФВінниця. Вінниця, 2004. С. 140 – 144.

217. Соломенко Л. І. Екологія людини. Київ : Центр навчальної літератури, 2017. 120 с.

218. Стопакевич А.А. Сложные системы: анализ, синтез, управление. Одесса: КРЕД, 2004. 277с.

219. Таланчук М.П., Скрипник Ю.О., Дібровний В.О. Засоби вимірювання в автоматичних інформаційних та керуючих системах. К.: Райдуга, 1994. 672с.

220. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення: ДСТУ 2389-94. [Чинний від 1995-01-01]. К.: Держстандарт України 1994. - 24 с. – (Національний стандарт України).

221. Тлумачний словник української мови: Близько 7000 слів/ За ред. Д.Г. Гринчишина. 3тє вид., перероб. і доповн. К.: Освіта, 1999. 302 с.

222. Фридман А.Е. Загальний нормальний закон розподілу Український метрологічний журнал. 2005. Вип. 4. С. 5 – 10

223. Храмов А.В. Первинні вимірювальні перетворювачі: навчальний посібник. К.: Вища школа, 1998. 527 с.
224. Хращевський Р.В., Іванець О.Б. Особливості проактивного підходу в системі забезпечення безпеки польотів. Наукоємні технології. 2021. N4(52).С.364-372 ISSN 2075-078.
225. Хращевський Р.В., Іванець О.Б., Жарова О.В. Математична модель прийняття рішень на основі багато параметричного критерію. Наукоємні технології. 2021. N4(52):С.373-378 ISSN 2075-078.
226. 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
227. Цибенко В.О. Фізіологія кровообігу. К.: Фітосоціоцентр, 2002. 248 с.
228. Ціделко В.Д., Яремчук Н.А. Обробка даних і подання результату вимірювання: Монографія. К.: ІВЦ «Видавництво Політехніка,» 2002. 176 с.
229. Шендрик В.В., Ващенко С.М. Система збирання, розміщення та аналізу даних. Вісник НУ "Львівська політехніка". 2011. № 715. С. 1-11.
230. Шмельова Т.Ф. Сікірда Ю.В., Ассаул О.Ю. Вплив факторів середовища менеджменту авіапідприємства на безпеку авіаційної діяльності. Технологічний аудит та резерви виробництва. 2015. № 3(22). С. 17-24.
231. Шолохов А.В. Метод определения достоверности решения задач навигации при возможных ошибках исследование внешней корректирующей информации. Контроль. Диагностика. 2007. №4 (106). С. 59 – 70.
232. Штефан Н.В. Методи та алгоритми ефективної обробки результатів вимірювального експерименту: дис. канд. техн. наук: 05.11.15 / Наталя Володимірівна Штефан. Х., 2004. 161 с.

233. Щапов П.Ф. Качанов М.П. Информационные модели многопараметровых измерений при априорной неопределенности функции преобразования Системи обробки інформації. Х.: ХВУ., 2004. №2. С. 225-231.

234. Щапов П.Ф. Мигущенко Р. П., Кропачек О. Ю. Теоретичні та практичні засади систем контролю та діагностування складних промислових об'єктів: Монографія. Х: НТУ «ХПІ», 2015. 244с.

235. Щапов П.Ф. Оптимізація простору інформаційних параметрів на основі коваріаційних моделей дисперсійного аналізу Електротехніка і електромеханіка. 2005. №2. С. 59 – 62.

236. Щапов П.Ф. Осіна Т.Г., Муляров В.В. Застосування класифікаційних процедур дискримінантного аналізу зменшення інформаційної невизначеності багатовимірних вимірювальних сигналів. Системи обробки інформації: збірник наукових праць. Харківський університет повітряних сил, 2006. Вип. 7(56). С. 92-94.

237. Щапов П.Ф. Методи підвищення вірогідності контролю та діагностики стохастичних параметрів об'єктів різної фізичної природи. - Дисертація на здобуття ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.13 «Прилади і методи контролю та визначення складу речовин». – Національний технічний університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків, 2009-369 с.

238. Щапов П.Ф., Муляров В.В. Забезпечення максимальної достовірності параметричного контролю спектрально-нестационарних випадкових сигналів. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2005. №6. С. 41-45.

239. Щербіна О.А. Методологія побудови антенних систем радіомоніторингу з фільтрацією та придушенням завад - Дисертація на здобуття ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.13 «Радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікації». Національний авіаційний університет. Київ, 2021. - 358 с.

ДОДАТКИ

Додаток А.
Акти впровадження

Додаток Б.

Місце процесу управління функціональним станом оператора в загальній системі управління безпекою польотів

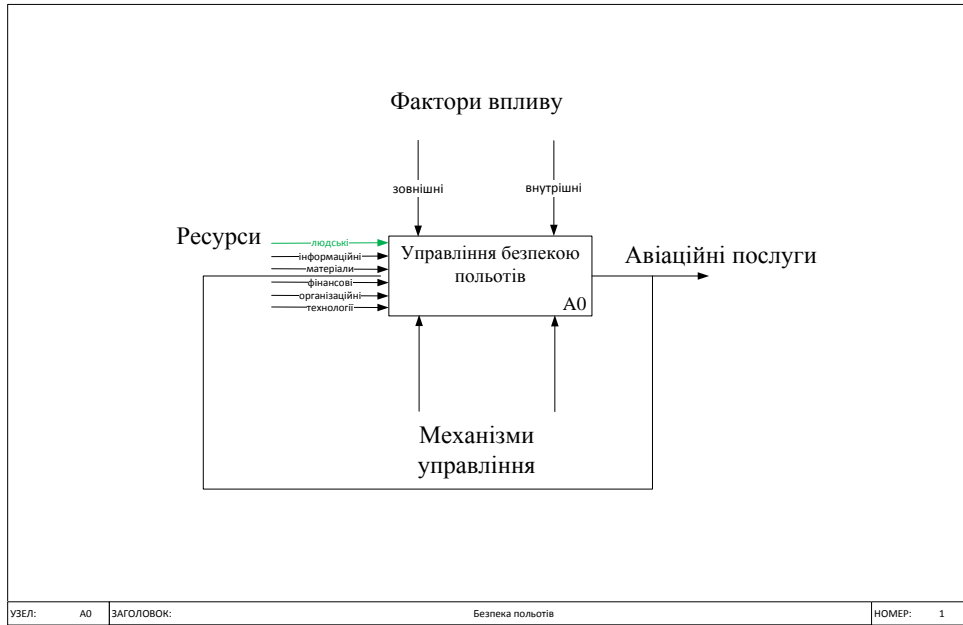


Рисунок Б1 – Батьківський рівень A0 процесу управління безпекою польотів

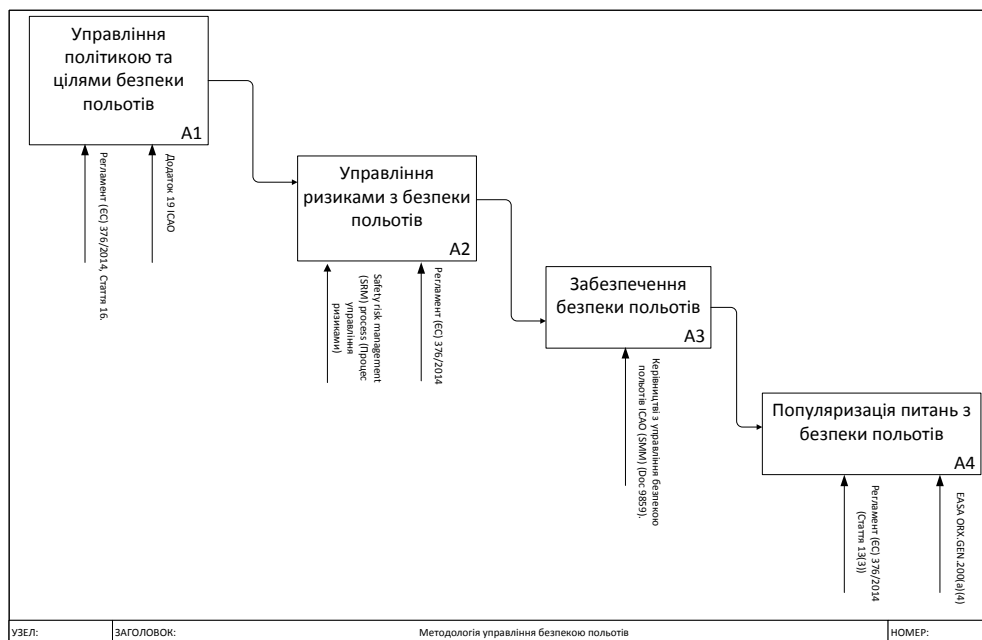


Рисунок Б2 – Декомпозиція батьківський рівень A0 на під процеси A1-A4 згідно методології оцінювання системи управління безпекою польотів

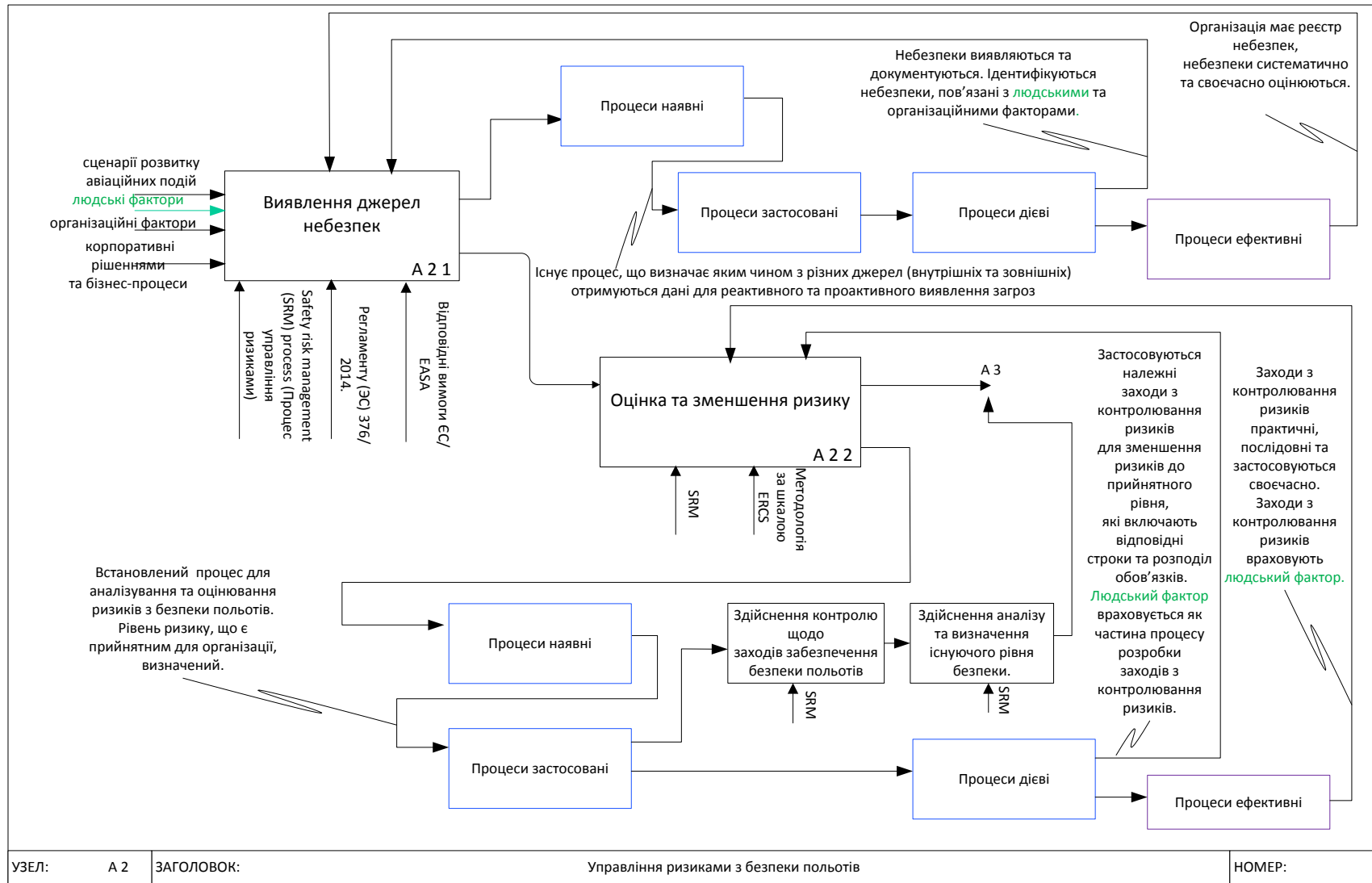


Рисунок Б3 – Декомпозиція рівень А2 згідно методології оцінювання системи управління безпекою польотів

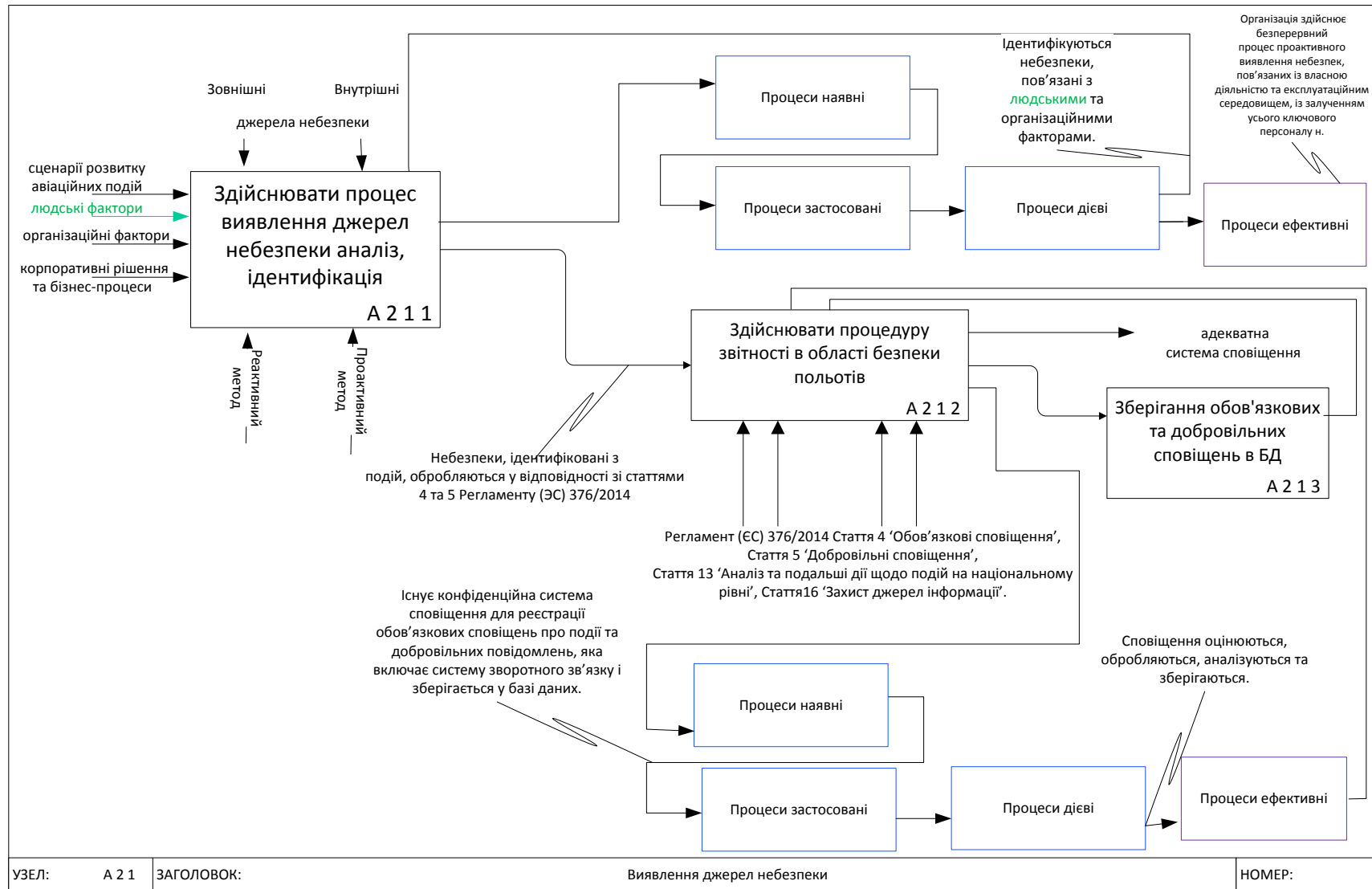
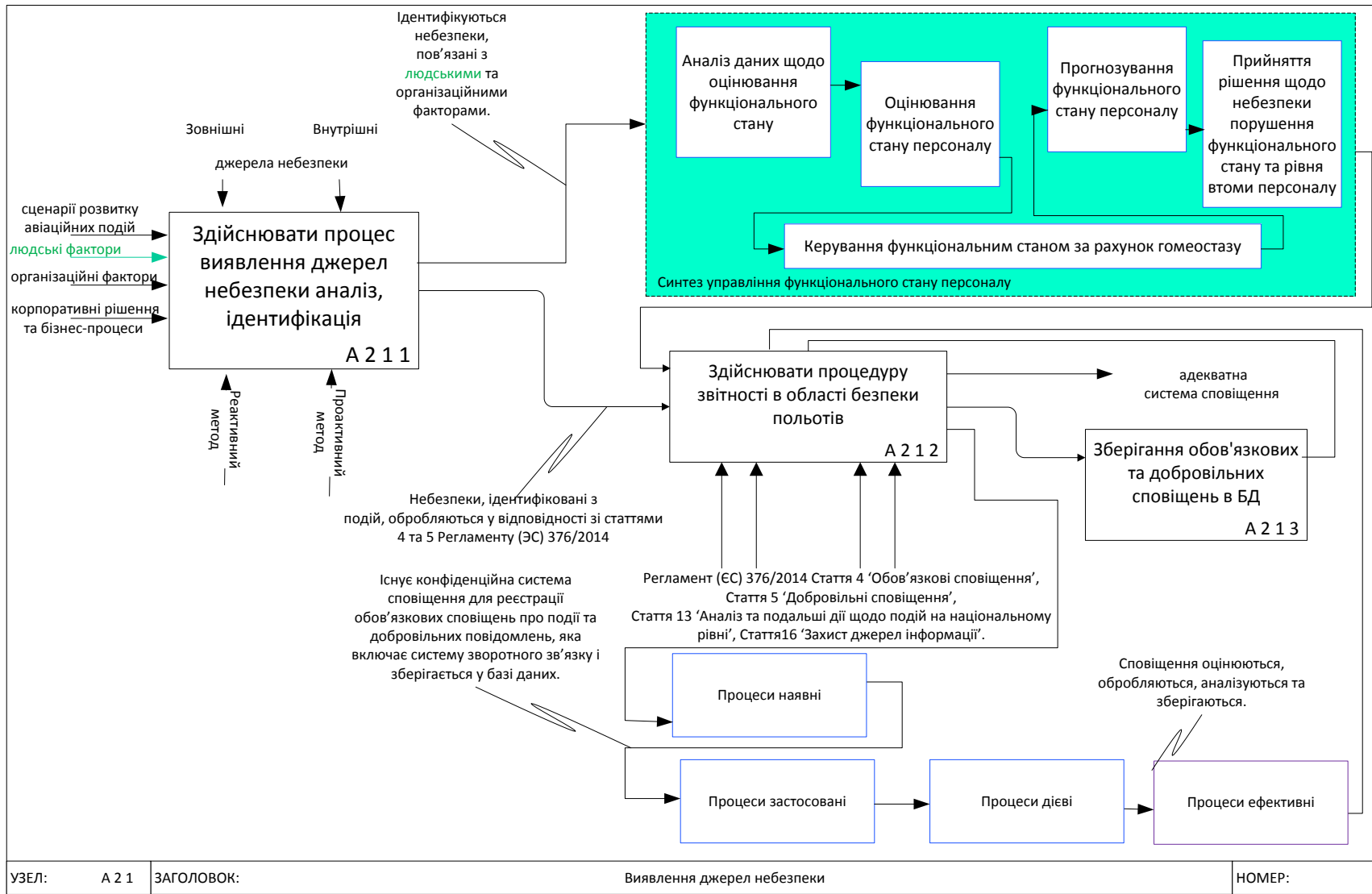


Рисунок Б4 – Декомпозиція рівня А21 на під процеси згідно методології оцінювання СУБП



Додаток В.

Особливості формування автоматизованої системи для розрахунку ймовірності виникнення ризику за рахунок людського фактору, формули розрахунки, покладені в її основу

Автоматизована система використовує використане експертне оцінювання з ранжуванням показників факторів ризику, що дозволяє впорядкувати фактори за ступенем зростання або спадання їх впливу на об'єкт дослідження. Найважливішому показнику відповідає ранг n , наступному – $(n - 1)$ тощо. Ранг, що дорівнює 1, має найменш важливий показник. Результати ранжирування n факторів m експертів можна представити у вигляді матриці:

$$\left. \begin{array}{ccc} X_{11} & \cdots & X_{n1} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ X_{1m} & \cdots & X_{nm} \end{array} \right\}$$

Для опитування експертів розроблений інтерфейс у вигляді таблиці, в яку експерти вситавають оцінки важливості показників ризику, а останній рядок рзраховує суму рангів, виставлених експертами (табл. В1).

Зведені оцінки вагових коефіцієнтів можна отримати внаслідок усереднення часткових рангів, а вагові коефіцієнти визначаються за формулою:

$$\omega_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i},$$

де R_i – сума рангів кожного фактора.

Таблиця В1 – Визначення рангів в методі ранжування

Експерти		Фактори (показники)		
		X_1	...	X_m
1		r_{11}	...	r_{1m}
...	
n		r_{n1}	...	r_{nm}
Сума рангів кожного фактора	$R_i = \sum_{i=1}^m r_{ij}$	R_1	...	R_m

Перевагою методу є обчислювальна простота, а недоліком – необхідність опитування експертів, визначення їх необхідного числа, кваліфікації тощо.

На відміну від методу ранжування, тут експерти в залежності від важливості показника виставляють бали від 0 до 10.

Методи перевірки узгодженості оцінок експертів

Для аналізу експертних оцінок здійснений розрахунок узгодженості думок експертів (конкордації) для того, щоб проведення експертних опитувань було показовим і результативним. Групова оцінка може вважатися досить надійною лише за умови високого ступеня узгодженості оцінок експертів. Тому необхідно не лише проводити оцінку ступеня узгодженості думок експертів, а й виявляти причини їхньої неоднорідності [232].

Для аналізу узгодженості оцінок експертів використовувалися методи рангової кореляції, запропоновані К. Спірменом і М. Кендаллом. Коефіцієнт рангової кореляції Кендалла має складнішу процедуру обчислення, а коефіцієнт рангової кореляції Спірмена визначається за більш простою формулою і дає більш точний результат.

Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена заснований на розгляді різниці оцінок факторів ризику. Згідно з цим коефіцієнтом оцінюється зв'язок між оцінками факторів ризику за двома експертами.

Практичний розрахунок коефіцієнта рангової кореляції Спірмена включає такі етапи:

- 1) Зіставити кожній оцінці її порядковий номер – ранг за зростанням (або спаданням).
- 2) Визначити різниці рангів кожної пари значень, що зіставляються.
- 3) Звести у квадрат кожну різницю та підсумувати отримані результати.
- 4) Обчислити коефіцієнт рангової кореляції Спірмена за такою формулою:

$$\rho = 1 - \frac{6}{L_i(L_i^2 - 1)} * \sum_{i=1}^{L_i} (l_{i1} - l_{i2})^2,$$

де:

L_i – число пар, що порівнюються, рівне кількості порівнюваних факторів ризику;

l_{i1} – ранг оцінки i -го фактора, виставлений 1-м експертом;

l_{i2} – ранг оцінки i -го фактора, виставлений 2-м експертом.

Величина ρ може набувати значень від -1 до 1 . Рівність одиниці досягається при однакових оцінках. Значення $\rho = -1$ має місце за протилежних оцінок. Що стосується найменшої залежності $\rho = 0$, тоді оцінки вважаються лінійно незалежними.

Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена доцільно застосовувати за наявності невеликої кількості спостережень та з метою оцінки узгодженості думок двох експертів.

Якщо доводиться зіставляти попарно велику кількість оцінок і експертів більше двох, то використовуються спеціальні критерії, що дозволяють оцінити узгодженість оцінок кількох експертів. Одним з таких критеріїв є коефіцієнт конкордації Кендалла.

Для розрахунку даного коефіцієнта рекомендується наступна методика:

1) Середня сума рангів: $T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$;

2) Відхилення суми рангів кожного фактора від середньої суми рангів:

$$\Delta_i = R_i - T \quad (\text{B. 1});$$

3) Загальну суму квадратів відхилень:

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 \quad (\text{B. 2});$$

4) Коефіцієнт конкордації:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)} \quad (\text{B. 3}).$$

Коефіцієнт конкордації змінюється від нуля до одиниці, тобто

$$1 \geq W \geq 0$$

Коефіцієнт конкордації дорівнює 1 , якщо оцінки експертів однакові. Коефіцієнт конкордації дорівнює 0 якщо всі оцінки різні, тобто немає збігів. Що ближче значення коефіцієнта до одиниці, то більш узгоджені думки експертів. Мінімально допустиме значення коефіцієнта конкордації становить $0,4$. При недотриманні цієї умови слід провести колективне обговорення, з'ясувати причини суттєвих розбіжностей в оцінках експертів і скоригувати ці оцінки таким чином, щоб отримати узгоджений результат.

Слід звернути увагу на відмінність значень коефіцієнта конкордації від коефіцієнта кореляції, оскільки він існує в межах від 0 до 1. Якщо думки експертів повністю протилежні, коефіцієнт конкордації дорівнює нулю, а коефіцієнт кореляції в цьому випадку дорівнює -1.

Коефіцієнт конкордації, що розраховується за формулою (В.3), має місце лише при застосуванні методу ранжування та відсутності однакових рангів, які ще називають зв'язаними. Така суворість правил роботи може ускладнити задачу експертам, адже деякі фактори на їх думку можуть мати однаковий ступінь впливу, а отже і займати однаковий ранг. У цьому випадку варто застосовувати варіацію коефіцієнта конкордації Кендалла, що враховує наявність зв'язаних рангів, і проводити додаткові розрахунки:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j}$$

Показник зв'язаних рангів:

$$T_j = \sum_{L=1}^L (t_L^3 - t_L),$$

де:

L – кількість груп зв'язаних рангів;

t_L – кількість рівних рангів в L -групі.

Після розрахунку можна перевірити статистичне значення коефіцієнта конкордації по критерію Пірсона :

$$\chi_p^2 = \frac{12S}{mn * (n + 1) - \frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^m T_i}$$

Розраховане значення χ_p^2 зіставляється з табличним значенням χ_t^2 для $(n - 1)$ ступенів свободи та довірчої ймовірності ($P=0,95$ або $P=0,99$). Якщо $\chi_p^2 > \chi_t^2$, то коефіцієнт конкордації істотний, якщо ж навпаки, то необхідно з'ясувати причини розбіжностей оцінок або збільшити кількість експертів.

Для розрахунку коефіцієнта конкордації використані формули:

1) Середня сума рангів: $T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$;

2) Відхилення суми рангів кожного фактора від середньої суми рангів:

$$\Delta_i = R_i - T ;$$

3) Загальну суму квадратів відхилень: $S = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2$;

$$4) \text{ Коефіцієнт конкордації: } W = \frac{12S}{m^2(n^3-n)}$$

Коефіцієнт конкордації змінюється від нуля до одиниці, тобто

$$0 \leq W \leq 1.$$

Якщо коефіцієнт знаходиться у межах $0.7 \leq W \leq 1$, то оцінки експертів визнаються узгодженими і можуть використовуватися у подальшому. Слід звернути увагу, що під неузгодженістю думок експертів також мається на увазі також недостатня статистична значимість коефіцієнта конкордації. Коефіцієнт конкордації є оцінкою істинного значення коефіцієнта і, отже, є випадковою величиною. Значимість оцінки коефіцієнта конкордації може бути визначено за відомими статистичними таблицями. При числі об'єктів $n > 7$ оцінка значущості коефіцієнта конкордації може бути зроблена за критерієм Пірсона χ^2 (хі-квадрат):

$$\chi_p^2 = \frac{12S}{mn * (n + 1)}$$

При цьому для визначення табличного значення використовується кількість ступенів вільності $f = n - 1 = 9$, а рівень значущості $\alpha = 0.05$.

Коефіцієнти вагомості факторів розраховуються так:

$$\omega_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

Приклад роботи програми, що здійснює розрахунок ймовірності настання ризикової події на основі вищеописаних формул:

Оцінки → Код фактора ↓	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Експерт 4	Експерт 5	Коефіцієнти вагомості	
1	4	2	4	1	4	0,05396	Оцінки виставлені некоректно! Див. інструкцію
2	2	4	2	4	1	0,04676	
3	1	1	3	2	2	0,03237	
4	3	6	1	3	3	0,05755	
5	10	9	10	8	10	0,16906	
6	9	8	9	10	9	0,16187	
7	8	7	5	9	8	0,13309	
8	5	5	8	7	5	0,10791	
9	6	3	6	6	7	0,10072	
10	7	10	10	5	6	0,13669	
	✓	✓	Оцінки виставлені некоректно! Див. інструкцію	✓	✓		Помилка!

Рисунок В1 - Робота автоматизованої системи при некоректному виставленню балів

фактор а	Розшифровка фактора	Наявність факторів ризику (Є - 1, Немає - 0)	Результат і рекомендації
1	Вікові фактори	1	Ймовірність виникнення ризику 76,3 % – висока
2	Вчинення небезпечних дій	1	
3	Недостатній досвід, підготовка та індивідуальна компетентність	1	'Для керівництва'!
4	Низький рівень культури безпеки польотів	1	
5	Ризик серцево-судинних захворювань	1	
6	Порушення функціонального стану	1	
7	Наявність втоми	1	
8	Помилки в прийнятті рішень	1	
9	Робота з несправним обладнанням	0	
10	Супутні фактори	0	

Рисунок В2 - Приклад розрахунку ймовірності настання ризикової події при наявності 8 факторів ризику.

Додаток Г.

Вхідні дані, отримані від емпіричних досліджень

Антропометричні показники

№ з/п	ПІБ	Зріст, см	Вага, кг	Жировий склад		Ps, уд за хв	АТ mm Hg	ЖСЛ, мл	t тіла, °C
				%	кг				
1	БеБ.О.	183	73	12,5	9,1	69	122/79	4300	36,7
2	БрО.	176	72	13,2	9,5	101	118/83	5800	37,2
3	БуОВ.	189	82	18,9	15,5	57	154/94	5300	37,1
4	ДаМ.	176	87,6	24,1	21,1	73	123/80	4500	36,7
5	ДзП.	170	72,8	14,9	10,8	73	114/85	4200	37,1
6	ЗаС.	186	80	13,9	11,1	48	118/69	4400	36,6
7	Луг	186	94,5	21,9	20,7	71	122/74	4400	37
8	Пров.	168	86	17,5	15,1	69	122/78	4000	36,9
9	СаЛЮ	182	98,8	29,2	29,1	61	156/89	5700	35,7
10	СтП.	173	84	25,7	21,6	79	122/90	4100	37
11	ХрВ.	164	68,4	20,1	13,9	61	138/86	3300	36,9
12	Шро	176	81,4	19,1	15,5	70	131/79	4400	37

№ з/п	ПІБ	Зріст, см	Вага, кг	Жировий склад		Ps, уд за хв	АТ mm Hg	ЖСЛ, мл	t тіла, °C
				%	кг				
1	БеБ.О.	183	71	12,7	9	61	133/84	4200	36,7
2	БрО.	176	72,2	11,7	8,4	99	116/80	5900	37,1
3	БуОВ.	189	81	15,9	12,9	66	134/87	5300	37
4	ДаМ.	176	88,4	24,3	21,5	78	118/78	4000	36,5
5	ДзП.	170	72,2	14,5	10,5	67	119/75	4300	35,9
6	ЗаС.	186	80	13,8	11	64	110/64	5000	36,5
7	Луг	186	93	22,7	21,1	73	127/67	4300	36,6
8	Пров.	168	84,8	18,6	15,8	87	118/77	3700	36,1
9	СаЛЮ	182	98	29,3	28,7	69	136/91	4000	37,1
10	СтП.	173	84	25,1	21,1	81	118/86	4200	36,2
11	ХрВ.	164	68	20	13,6	81	138/96	3200	36,9
12	Шро	176	76	16,2	12,3	67	127/74	4100	37,1

Продовження додатку Г

Клінічний аналіз крові

№з/п.	ПІБ шифр	Гемоглобін	Гематокрит	Еритроцити	Лейкоцити	Лейкоцитарна формула *					
		130 – 150 г/л.	0,40 – 0,46	4 – 5 ×10 ¹² /л	3 - 9 ×10 ⁹ /л	Б % 0,5-1	Е %2-4	Пя%2- 4	Ся%60- 63	Лф%25- 30	М%5- 8
1	БеБ.О.	150	0,46	4,92	3,6	0	2	3	63	27	5
2	БрО.	154	0,47	5,02	4,8	1	2	4	63	24	6
3	БуОВ.	148	0,45	4,81	5,6	0	3	2	62	28	5
4	ДаМ.	150	0,46	4,92	3,5	1	4	2	61	25	7
5	ДзП.	148	0,45	4,81	6	0	4	2	63	25	6
6	ЗаС.	154	0,47	5,02	4,6	1	2	2	60	30	5
7	Луг	148	0,45	4,81	5,6	0	3	2	62	28	5
8	Пров.	150	0,46	4,92	3,5	1	4	2	61	25	7
9	СаЛО	148	0,45	4,81	6	0	4	2	63	25	6
10	СтП.	154	0,47	5,02	4,6	1	2	2	60	30	5
11	ХрВ.	138	0,42	4,49	3,3	1	3	3	60	28	5
12	Шро	150	0,46	4,92	6,4	1	4	2	61	26	6

Захворюваність

<i>№ з/п.</i>	<i>Дата</i>	<i>Прізвище</i>	<i>Діагноз</i>	<i>Надана допомога</i>	<i>Час лікування</i>
1		Луг	ГРВІ , гострий кон'юктивіт,	Обільне пиття, Візін по 1крап/5р/д	3 доби
			гострий рино-фарингіт	Нокспрей інтраназально з/п	
				Чай Хелпекс антиколд з/п	
2		Бро	ГРВІ , гострий кон'юктивіт,	Обільне пиття, Візін по 1крап/5р/д	5 діб
			гострий рино-фарингіт,	Нокспрей інтраназально з/п	
			гострий ларингіт	Чай Хелпекс антиколд з/п	
				Бісептол 480 по 1 т/ 2 р/д	
3		СтП	ГРВІ , гострий кон'юктивіт,	Обільне пиття, Візін по 1крап/5р/д	2 доби
			гострий рино-фарингіт	Нокспрей інтраназально з/п	
				Чай Хелпекс антиколд з/п	
4		БеБО	ГРВІ , гострий кон'юктивіт,	Обільне пиття, Візін по 1крап/5р/д	2 доби
			гострий рино-фарингіт	Нокспрей інтраназально з/п	
				Чай Хелпекс антиколд з/п	
5		ХрВ	ГРВІ , гострий кон'юктивіт,	Обільне пиття, Візін по 1крап/5р/д	3 доби
			гострий рино-фарингіт	Нокспрей інтраназально з/п	
				Чай Хелпекс антиколд з/п	

Продовження додатку Г

Велоергометрія за березень

№ з/п	ПІБ	Стан спокою			Навантаження								
					50Вт, 3хв			100Вт, 3хв			150Вт, 3хв		
		ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
1	БеБ.О.	70	122	78	104	130	84	138	154	88	152	172	93
2	БрО.	72	126	80	110	144	91	130	160	90	160	174	92
3	БуОВ.	78	132	81	100	140	80	128	152	85	162	175	93
4	ДаМ.	71	120	80	94	131	88	130	149	92	152	176	91
5	ДзП.	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97
6	ЗаС.	69	115	75	97	136	81	128	152	82	156	162	90
7	Луг	77	134	80	102	140	92	140	156	90	158	170	92
8	Пров.	78	132	81	100	140	80	128	152	85	162	175	93
9	СаЛЮ	71	120	80	94	131	88	130	149	92	152	176	91
10	СтП.	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97
11	ХрВ.	69	115	75	97	136	81	128	152	82	156	162	90
12	Шро	77	134	80	102	140	92	140	156	90	158	170	92

Продовження додатку Г

	Велоергометричні тести											
Дам.	спокій			50			100			150		
	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	76	122	82	110	146	96	136	160	104	175	183	108
лютий	75	131	80	102	144	90	128	158	91	158	171	94
березень	71	120	80	94	131	88	130	149	92	152	176	91
липень	72	132	84	100	142	96	128	152	98	162	175	100
серпень	65	120	76	97	132	91	129	140	93	154	163	94
вересень	75	131	80	102	144	90	128	158	91	158	171	94
жовтень	75	131	80	102	144	90	128	158	91	158	171	94
листопад	72	132	84	100	142	96	128	152	98	162	175	100
грудень	75	131	80	102	144	90	128	158	91	158	171	94
Дз	спокій			50			100			150		
	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	68	120	80	102	133	92	128	148	100	175	184	110
лютий	68	119	80	97	132	82	136	151	90	156	169	90
березень	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97
липень	70	120	82	96	138	90	130	145	92	152	168	97
серпень	66	125	80	104	131	95	134	142	98	158	170	99
вересень	68	119	80	97	132	82	136	151	90	156	169	90
жовтень	68	119	80	97	132	82	136	151	90	156	169	90
листопад	70	120	82	96	138	90	130	145	92	152	168	97
грудень	68	119	80	97	132	82	136	151	90	156	169	90

Продовження додатку Г

БеБО.	покой			50			100			150		
	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	60	116	70	96	128	88	131	138	91	166	184	96
лютий	72	112	80	102	130	95	140	140	96	156	156	94
березень	70	122	78	104	130	84	138	154	88	152	172	93
липень	64	120	78	98	130	92	136	142	92	156	164	93
серпень	72	124	78	97	132	96	130	140	96	153	164	98
вересень	72	132	80	102	150	95	140	160	96	156	176	94
жовтень	72	112	80	102	130	95	140	140	96	156	156	94
листопад	64	120	78	98	130	92	136	142	92	156	164	93
грудень	72	112	80	102	130	95	140	140	96	156	156	94
Ст	покой			50			100			150		
	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	76	130	83	108	156	104	130	146	94	160	170	97
лютий	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97
березень	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97
липень	78	130	80	100	144	100	140	153	102	162	182	109
серпень	71	115	75	96	130	92	128	140	92	150	164	93
вересень	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97
жовтень	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97
листопад	71	115	75	96	130	92	128	140	92	150	164	93
грудень	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97

Продовження додатку Г

Бу	покой			50			100			150		
	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	58	136	91	108	145	100	120	160	114	181	196	112
лютий	68	142	80	100	150	90	138	162	93	160	170	92
березень	78	132	81	100	140	80	128	152	85	162	175	93
липень	68	128	80	104	140	98	130	150	100	160	174	102
серпень	80	134	82	101	140	88	130	142	94	152	163	96
вересень	68	122	80	100	140	90	138	162	93	160	170	92
жовтень	68	142	80	100	150	90	138	162	93	160	170	92
листопад	68	128	80	104	140	98	130	150	100	160	174	102
грудень	68	142	80	100	150	90	138	162	93	160	170	92
Лу	покой			50			100			150		
	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	76	125	75	100	146	98	136	164	112	180	186	117
лютий	72	126	80	110	144	91	130	160	90	160	174	92
березень	77	134	80	102	140	92	140	156	90	158	170	92
липень	72	120	80	98	130	96	128	144	94	160	162	96
серпень	69	130	81	98	140	94	126	150	96	160	180	98
вересень	72	126	80	110	144	91	130	160	90	160	174	92
жовтень	72	126	80	110	144	91	130	160	90	160	174	92
листопад	69	130	81	98	140	94	126	150	96	160	180	98
грудень	72	126	80	110	144	91	130	160	90	160	174	92

Продовження додатку Г

Суб'єктивні відчуття

<i>Дата</i>	<i>Головний біль</i>	<i>Поганий сон</i>	<i>Поганий настрій</i>	<i>Загальна слабкість</i>	<i>Поганий апетит</i>
#####	5,7,10	5	11		
#####	3,4,9			8	1
#####		5	5		
#####				4,12	
#####				5	4,5
#####	2, 4,				
#####		9,1		5	
#####		5			8
#####				3,5,7	
#####			5,12		
#####		10		5	

БеБО. - 1	ДаМ. - 4	Луг. - 7	СтП. - 10
Бро. - 2	ДзП. - 5	Пров. - 8	ХрВ. - 11
БуОВ. - 3	Зас. - 6	СаЛО. - 9	Шро - 12

Додаток Д.

Результати проведених розрахунків за емпіричним даними

	Січень	Лютий	Березень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень		
ДаМ. - 4	6	3	4	2	7	8	9	4	2	5	45
ДзП. - 5	12	3	11	4	1	5	3	2	2	4,7778	43
БеБО - 1	1	1	2	3	6	8	12	3	4	4,4444	40
СтП. - 10	2	1	2	4	4	6	8	1	3	3,4444	31
БуОВ - 3	2	1	2	4	3	6	3	1	2	2,6667	24
ЛуГ. - 7	5	0	2	1	3	8	2	1	1	2,5556	23
СаЛо - 9	2	0	2	5	1	7	2	1	3	2,5556	23
ПоВ. - 8	2	2	1	5	0	7	2	1	1	2,3333	21
БрО. - 2	1	1	1	4	2	4	3	0	3	2,1111	19
ЗаС. - 6	1	1	0	4	2	4	3	1	1	1,8889	17
ШрО. - 12	2	1	2	2	2	0	7	0	0	1,7778	16
ХрВ. - 11	2	1	1	2	3	0	5	1	0	1,6667	15
	3,166667	1,25	2,5	3,333333	2,833333	5,25	4,916667	1,333333	1,83		

Продовження додаток Д

П_індекс	Chs				Ps				Pd			
	F0	FWG	FG	FW	F0	FWG	FG	FW	F0	FWG	FG	FW
ДаМ. - 4	2934	51,783	21,476	2,608	197,868	4,254	1,527	0,357	64,222	15,168	2,127	0,954
ДзП. - 5	1792	4,91	18,221	1,142	369,008	0,067	6,782	1,215	29,239	3,607	1,089	0,267
БеБО - 1	2403	6,143	17,08	1,27	185,856	1,074	3,681	0,879	95,831	0,093	4,497	0,454
СтП. -10	610,407	1,63	5,247	0,134	50,479	0,06	0,794	0,183	74,398	9,75	3,169	1,085
БуОВ - 3	1103	5,991	7,793	1,219	103,158	2,889	1,9	0,429	37,076	22,127	1,549	1,88
ЛуГ. - 7	1384	8,843	12,597	1,138	468,927	0,291	4,78	2,046	41,784	9,682	2,876	1,809
СаЛо - 9	401,995	26,397	5,341	1,56	141,24	19,281	2,843	0,819	15,601	15,97	1,401	0,976
ПоВ. - 8	1920	18,227	16,868	1,291	481,442	5,313	9,97	1,24	34,454	17,412	1,141	1,513
БрО. - 2	330,284	4,664	4,215	0,284	784,756	0,725	6,928	2,51	80,29	1,953	4,099	1,073
ЗаС. - 6	1274	19,795	7,973	0,66	440,628	16,32	3,087	0,837	34,466	15,528	0,796	0,958
ШрО. - 12	4481	17,034	27,832	1,136	518,347	1,368	4,076	1,432	42,562	5,841	2,995	0,714
ХрВ. - 11	5359	39,131	28,746	0,769	232,068	2,284	1,376	0,87	30,046	10,45	0,923	0,545
	1,12	1,12	10,12	11,12	1,12	1,12	10,12	11,12	1,12	1,12	10,12	11,12

Продовження додатку Д

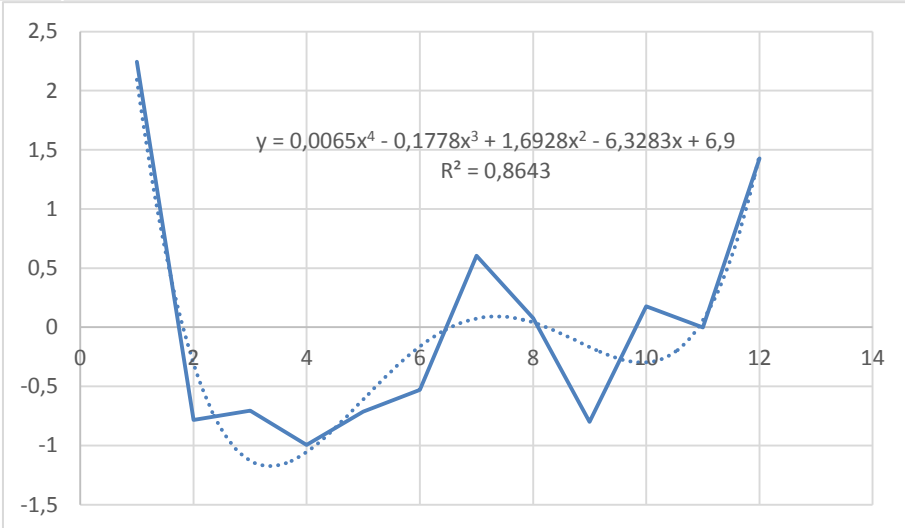
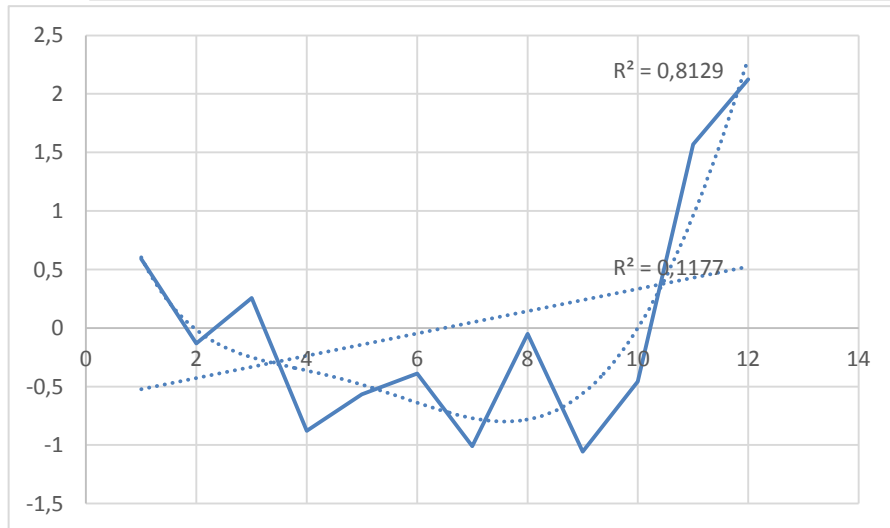
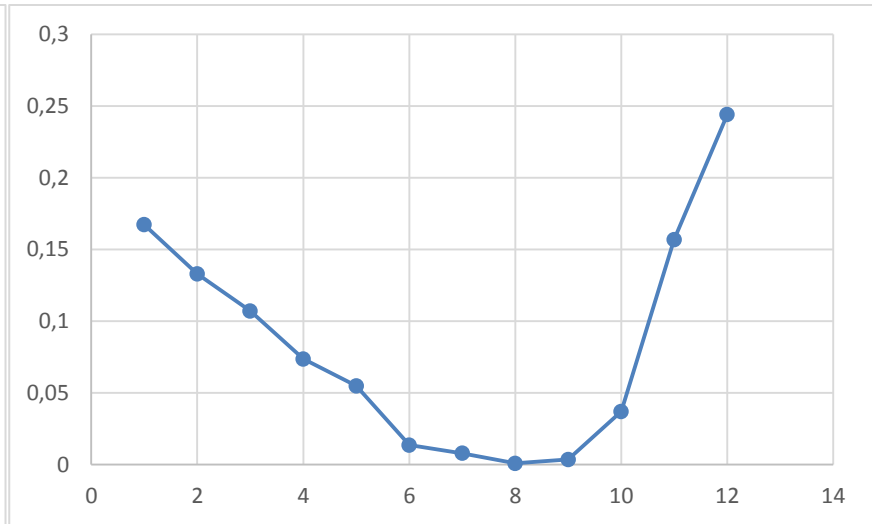
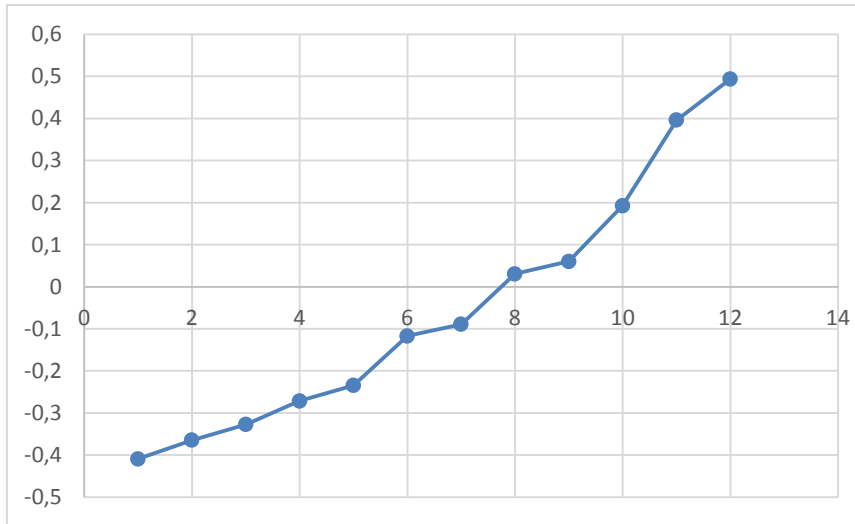
45	2934	51,783	21,476	2,608	197,868	4,254	1,527	0,357	64,222	15,168	2,127	0,954
43	1792	4,91	18,221	1,142	369,008	0,067	6,782	1,215	29,239	3,607	1,089	0,267
40	2403	6,143	17,08	1,27	185,856	1,074	3,681	0,879	95,831	0,093	4,497	0,454
31	610,407	1,63	5,247	0,134	50,479	0,06	0,794	0,183	74,398	9,75	3,169	1,085
24	1103	5,991	7,793	1,219	103,158	2,889	1,9	0,429	37,076	22,127	1,549	1,88
23	1384	8,843	12,597	1,138	468,927	0,291	4,78	2,046	41,784	9,682	2,876	1,809
23	401,995	26,397	5,341	1,56	141,24	19,281	2,843	0,819	15,601	15,97	1,401	0,976
21	1920	18,227	16,868	1,291	481,442	5,313	9,97	1,24	34,454	17,412	1,141	1,513
19	330,284	4,664	4,215	0,284	784,756	0,725	6,928	2,51	80,29	1,953	4,099	1,073
17	1274	19,795	7,973	0,66	440,628	16,32	3,087	0,837	34,466	15,528	0,796	0,958
16	4481	17,034	27,832	1,136	518,347	1,368	4,076	1,432	42,562	5,841	2,995	0,714
15	5359	39,131	28,746	0,769	232,068	2,284	1,376	0,87	30,046	10,45	0,923	0,545
середнє	1999,391	17,04567	14,20991	1,085545	331,1481	4,493833	4,167636	0,8875	49,59227	10,63175	2,221833	1,019
СКВ	1581,321	15,48438	9,024281	0,666385	215,5973	6,461745	2,789484	0,534294	25,21368	6,819472	1,276712	0,507127

Продовження додатку Д

Центр. И нормир. Знач.

	0,59103074	2,243379	0,805171	2,284648	-0,61819	-0,03712	-0,94664	-0,9929	0,58023	0,665191	-0,07428	-0,12817
	-0,13115013	-0,78374	0,444478	0,084718	0,175605	-0,68508	0,937221	0,612959	-0,80723	-1,0301	-0,88731	-1,48286
	0,255235605	-0,70411	0,318041	0,276799	-0,67391	-0,52924	-0,17445	-0,01591	1,833874	-1,54539	1,782052	-1,11412
	-0,87836893	-0,99556	-0,9932	-1,42792	-1,30182	-0,68617	-1,20941	-1,31856	0,98382	-0,1293	0,74188	0,130145
	-0,56686171	-0,71392	-0,71107	0,200267	-1,05748	-0,24836	-0,81292	-0,85814	-0,49641	1,685651	-0,527	1,6978
	-0,38916221	-0,52974	-0,17873	0,078715	0,639057	-0,65042	0,219526	2,168283	-0,30968	-0,13927	0,512384	1,557796
	-1,01016504	0,60392	-0,98278	0,711983	-0,88085	2,288417	-0,47487	-0,12821	-1,34813	0,782795	-0,64293	-0,08479
	-0,05020517	0,076292	0,294549	0,308312	0,697105	0,126772	2,080085	0,659749	-0,6004	0,994249	-0,84658	0,974115
	-1,05551383	-0,79962	-1,10756	-1,20283	2,103959	-0,58325	0,989561	3,036719	1,217503	-1,27264	1,470313	0,106482
	-0,45872429	0,177555	-0,69113	-0,63859	0,507798	1,830182	-0,3874	-0,09452	-0,59992	0,717981	-1,1168	-0,12029
	1,569326545	-0,00075	1,509493	0,075714	0,868281	-0,48374	-0,03285	1,019102	-0,27883	-0,70251	0,605592	-0,60143
	2,124558425	1,426297	1,610776	-0,47502	-0,45956	-0,34199	-1,00077	-0,03275	-0,77522	-0,02665	-1,01733	-0,93468
корел	-0,11674661	0,030553	0,060153	0,493924	-0,40893	-0,27134	-0,089	-0,3646	0,396022	-0,23433	0,192585	-0,32734

Продовження додатку Д



Продовження додатку Д

Самопочуття										
	Січень	Лютий	Березень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	за 9 місяців
ДаМ. - 4	6	3	4	2	7	8	9	4	2	45
ДзП. - 5	12	3	11	4	1	5	3	2	2	43
БеБО - 1	1	1	2	3	6	8	12	3	4	40
СтП. - 10	2	1	2	4	4	6	8	1	3	31
БуОВ - 3	2	1	2	4	3	6	3	1	2	24
ЛуГ. - 7	5	0	2	1	3	8	2	1	1	23
СаЛо - 9	2	0	2	5	1	7	2	1	3	23
ПоВ. - 8	2	2	1	5	0	7	2	1	1	21
БрО. - 2	1	1	1	4	2	4	3	0	3	19
ЗаС. - 6	1	1	0	4	2	4	3	1	1	17
ЩрО. - 12	2	1	2	2	2	0	7	0	0	16
ХрВ. - 11	2	1	1	2	3	0	5	1	0	15

Продовження додатку Д

Дам

	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	76	122	82	110	146	96	136	160	104	175	183	108
лютий	75	131	80	102	144	90	128	158	91	158	171	94
березень	71	120	80	94	131	88	130	149	92	152	176	91
липень	72	132	84	100	142	96	128	152	98	162	175	100
серпень	65	120	76	97	132	91	129	140	93	154	163	94
вересень	75	131	80	102	144	90	128	158	91	158	171	94
жовтень	75	131	80	102	144	90	128	158	91	158	171	94
листопад	72	132	84	100	142	96	128	152	98	162	175	100
грудень	75	131	80	102	144	90	128	158	91	158	171	94

Дзп

	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	68	120	80	102	133	92	128	148	100	175	184	110
лютий	68	119	80	97	132	82	136	151	90	156	169	90
березень	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97
липень	70	120	82	96	138	90	130	145	92	152	168	97
серпень	66	125	80	104	131	95	134	142	98	158	170	99
вересень	68	119	80	97	132	82	136	151	90	156	169	90
жовтень	68	119	80	97	132	82	136	151	90	156	169	90
листопад	70	120	82	96	138	90	130	145	92	152	168	97
грудень	68	119	80	97	132	82	136	151	90	156	169	90

БеБо

	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	60	116	70	96	128	88	131	138	91	166	184	96
лютий	72	112	80	102	130	95	140	140	96	156	156	94
березень	70	122	78	104	130	84	138	154	88	152	172	93
липень	64	120	78	98	130	92	136	142	92	156	164	93
серпень	72	124	78	97	132	96	130	140	96	153	164	98
вересень	72	132	80	102	150	95	140	160	96	156	176	94
жовтень	72	112	80	102	130	95	140	140	96	156	156	94
листопад	64	120	78	98	130	92	136	142	92	156	164	93
грудень	72	112	80	102	130	95	140	140	96	156	156	94

СТП

	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	76	130	83	108	156	104	130	146	94	160	170	97
лютий	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97
березень	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97
липень	78	130	80	100	144	100	140	153	102	162	182	109
серпень	71	115	75	96	130	92	128	140	92	150	164	93
вересень	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97
жовтень	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97
листопад	71	115	75	96	130	92	128	140	92	150	164	93
грудень	80	136	80	105	148	88	142	168	95	162	180	97

Продовження додатку Д

БуОВ

	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	58	136	91	108	145	100	120	160	114	181	196	112
лютий	68	142	80	100	150	90	138	162	93	160	170	92
березень	78	132	81	100	140	80	128	152	85	162	175	93
липень	68	128	80	104	140	98	130	150	100	160	174	102
серпень	80	134	82	101	140	88	130	142	94	152	163	96
вересень	68	122	80	100	140	90	138	162	93	160	170	92
жовтень	68	142	80	100	150	90	138	162	93	160	170	92
листопад	68	128	80	104	140	98	130	150	100	160	174	102
грудень	68	142	80	100	150	90	138	162	93	160	170	92

Луг

	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	76	125	75	100	146	98	136	164	112	180	186	117
лютий	72	126	80	110	144	91	130	160	90	160	174	92
березень	77	134	80	102	140	92	140	156	90	158	170	92
липень	72	120	80	98	130	96	128	144	94	160	162	96
серпень	69	130	81	98	140	94	126	150	96	160	180	98
вересень	72	126	80	110	144	91	130	160	90	160	174	92
жовтень	72	126	80	110	144	91	130	160	90	160	174	92
листопад	69	130	81	98	140	94	126	150	96	160	180	98
грудень	72	126	80	110	144	91	130	160	90	160	174	92

СаЛО

	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	80	142	95	116	152	104	167	181	120	204	202	109
лютий	71	120	80	94	131	88	130	149	92	152	176	91
березень	71	120	80	94	131	88	130	149	92	152	176	91
липень	80	140	85	96	150	100	146	160	105	168	180	120
серпень	79	138	82	104	145	105	138	152	100	162	188	103
вересень	71	120	80	94	131	88	130	149	92	152	176	91
жовтень	71	120	80	94	131	88	130	149	92	152	176	91
листопад	79	138	82	104	145	105	138	152	100	162	188	103
грудень	71	120	80	94	131	88	130	149	92	152	176	91

Пров

	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст	ЧСС	АТ сист	АТ діаст
січень	72	126	84	99	148	98	142	163	106	179	189	104
лютий	78	132	81	100	140	80	128	152	85	162	175	93
березень	78	132	81	100	140	80	128	152	85	162	175	93
липень	76	130	80	99	140	98	128	144	96	158	170	98
серпень	70	125	80	99	140	90	132	142	93	156	174	96
вересень	78	132	81	100	140	80	128	152	85	162	175	93
жовтень	78	132	81	100	140	80	128	152	85	162	175	93
листопад	70	125	80	99	140	90	132	142	93	156	174	96
грудень	78	132	81	100	140	80	128	152	85	162	175	93

Додаток Е.

Авторегресійна модель прогнозування медико-біологічних показників з використанням метрики German-McCluri

ORIGIN :- 1

Вхідні данні для побудови авто регресійної моделі:

Самочувство												
	Січень	Лютий	березень	Листопад	Грудень	за 9 місяців						
Дам - 4	6	3	4	2	7	8	9	4	2	45		
Дат - 5	12	3	11	4	1	5	3	2	2	43		
БєО - 1	5	1	2	3	6	8	12	3	4	40		
СнП - 10	2	1	2	4	4	6	8	1	3	31		
БуОВ - 3	2	1	2	4	3	6	3	1	2	24		
ЛуГ - 7	5	0	2	1	3	8	2	1	1	23		
СаПо - 9	2	0	2	5	1	7	2	1	3	23		
ПєВ - 8	2	2	1	5	0	7	2	1	1	21		
БрО - 2	3	1	1	4	2	4	3	0	3	19		
ЗаС - 6	3	1	0	4	2	4	3	1	1	17		
ШрО - 12	2	1	2	2	2	0	7	0	0	16		
ХрВ - 11	2	1	1	2	3	0	5	1	0	15		
Велосипедні тести												
Да	погода			50			100			150		
	ЧСС	АТ сист	АТ сист	ЧСС	АТ сист	АТ сист	ЧСС	АТ сист	АТ сист	ЧСС	АТ сист	АТ сист
січень	76	122	82	110	146	96	136	160	104	175	181	108
лютий	75	131	80	102	144	90	128	158	91	158	171	94
березень	71	120	80	94	131	88	130	149	92	152	176	91
липень	72	132	84	100	142	96	128	152	98	162	175	100
серпень	65	120	76	97	132	91	129	140	93	154	163	94
вересень	75	133	80	102	144	90	128	158	91	158	171	94
жовтень	75	131	80	102	144	90	128	158	91	158	171	94
листопад	72	132	84	100	142	96	128	152	98	162	175	100
грудень	75	131	80	102	144	90	128	158	91	158	171	94

$$Y := (122 \ 131 \ 120 \ 132 \ 120 \ 131 \ 131 \ 132 \ 131)^T$$

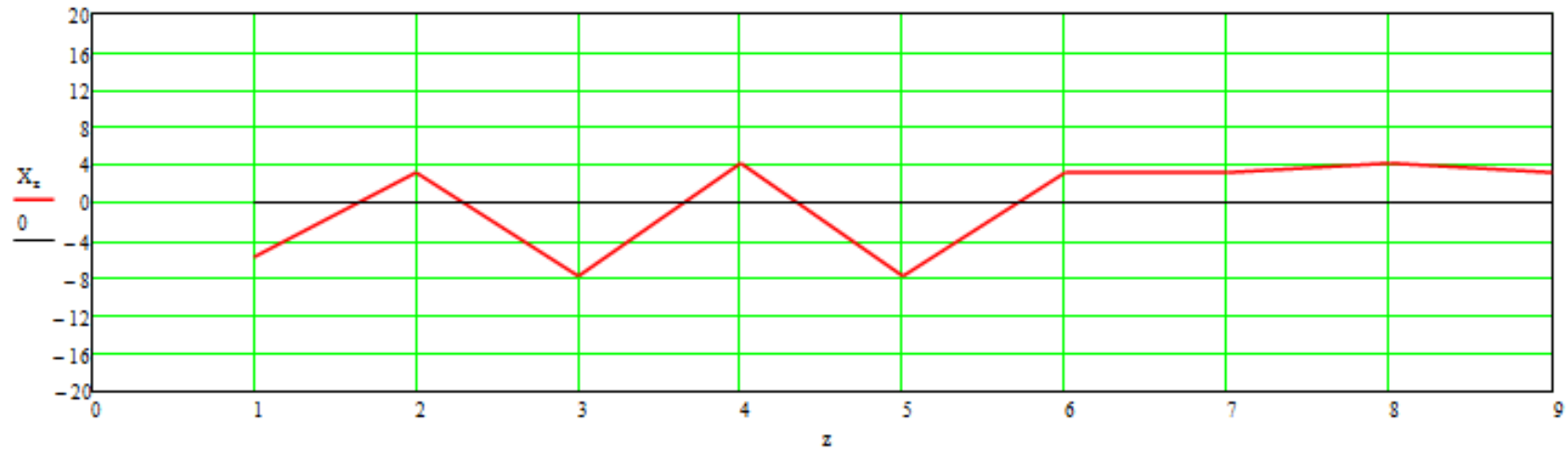
$$N := \text{rows}(Y) = 9$$

$$z := 1..N$$

Моделювання викидів в вхідних даних (без викидів):

$$Y_2 := Y_2$$

$$Y^T = (122 \ 131 \ 120 \ 132 \ 120 \ 131 \ 131 \ 132 \ 131)$$

$$X := Y - \text{mean}(Y)$$


$$\min(X) = -7.778$$

$$\max(X) = 4.222$$

$$\text{mean}(X) = 6.316 \times 10^{-15}$$

$$\text{stdev}(X)^2 = 25.728$$

$$\underline{6} := 1..N - 1$$

$$R_{\underline{6}} := \frac{\sum_{n=\underline{6}+1}^N [(X_n - \text{mean}(X))(X_{n-\underline{6}} - \text{mean}(X))]}{N \cdot \text{stdev}(X)^2}$$

$$R = \begin{pmatrix} -0.418 \\ 0.568 \\ -0.36 \\ 0.099 \\ -0.119 \\ -0.13 \\ -0.061 \\ -0.08 \end{pmatrix}$$

$$p := 6$$

$$k := 1..p$$

$$m := 1..p$$

$$b_{k,m} := \begin{cases} \frac{\sum_{n=1}^N [(X_n - \text{mean}(X))(X_n - \text{mean}(X))]}{N \cdot \text{stdev}(X)^2} & \text{if } k = m \\ R_{|k-m|} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_k := R_k$$

$$b = \begin{pmatrix} 1 & -0.418 & 0.568 & -0.36 & 0.099 & -0.119 \\ -0.418 & 1 & -0.418 & 0.568 & -0.36 & 0.099 \\ 0.568 & -0.418 & 1 & -0.418 & 0.568 & -0.36 \\ -0.36 & 0.568 & -0.418 & 1 & -0.418 & 0.568 \\ 0.099 & -0.36 & 0.568 & -0.418 & 1 & -0.418 \\ -0.119 & 0.099 & -0.36 & 0.568 & -0.418 & 1 \end{pmatrix}$$

$$d = \begin{pmatrix} -0.418 \\ 0.568 \\ -0.36 \\ 0.099 \\ -0.119 \\ -0.13 \end{pmatrix}$$

$$\tilde{Y}_2 := b^{-1} \cdot d$$

$$\tilde{\eta} = \begin{pmatrix} -0.176 \\ 0.641 \\ -0.201 \\ -0.348 \\ 0.074 \\ -0.058 \end{pmatrix}$$

$$t := (p + 1) \dots N$$

$$X2 := \sum_{i=1}^p (\tilde{\eta}_i \cdot X_{t-i})$$

$$\min(X) = -7.778$$

$$\min(X2) = -3.118$$

$$\max(X) = 4.222$$

$$\max(X2) = 4.147$$

$$\text{mean}(X) = 6.316 \times 10^{-15}$$

$$\text{mean}(X2) = 0.206$$

$$\text{stdev}(X)^2 = 25.728$$

$$\text{stdev}(X2)^2 = 3.024$$

$$g2_t := X_t - X2_t$$

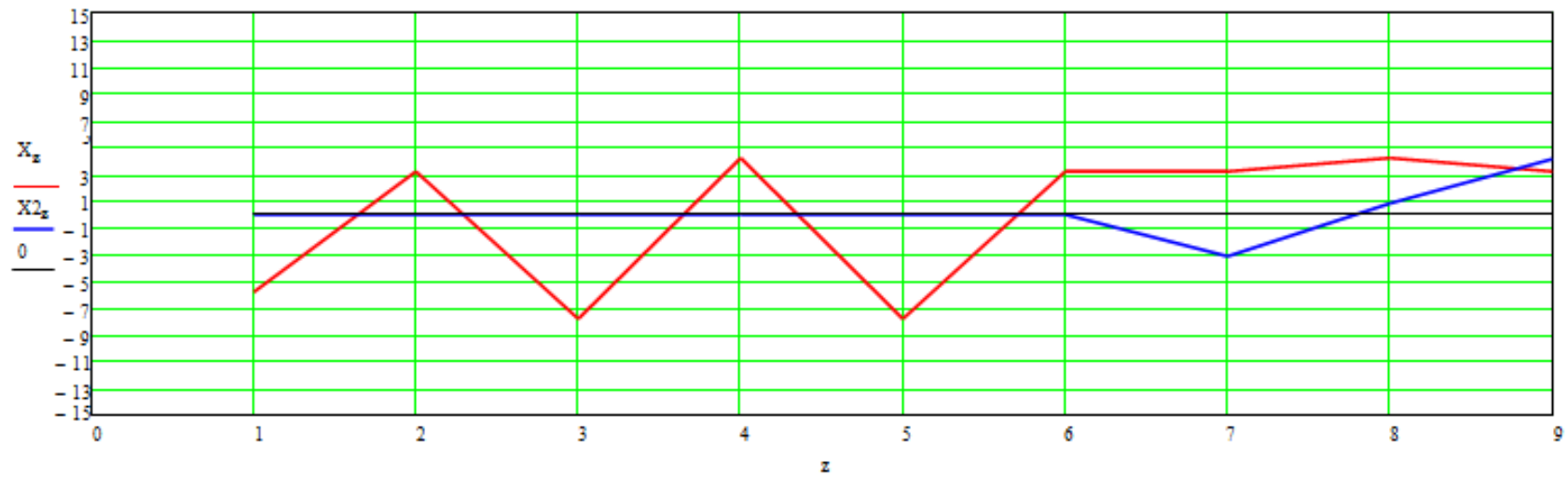
$$\min(g2) = -0.925$$

$$\max(g2) = 6.34$$

$$\text{mean}(g2) = 0.979$$

$$\text{stdev}(g2)^2 = 4.883$$

$$\frac{\text{stdev}(g2)^2}{\text{stdev}(X)^2} = 0.19$$



Geman-McClure

$$p = 6$$

$$\hat{y}_w := 50$$

$$\Delta := 10^{-9}$$

RESULTS :-

```

ITERATION ← 0
Σ ← ∞
ŷest ← ŷ2
while Σ > Δ
  for t ∈ (p + 1) .. N
    Xest,t ← ∑i=1p (ŷest,t-i · Xt-i)
  for k ∈ 1 .. p
    fest,k ← ∑t=p+1N  $\frac{X_{t-k} \cdot (X_t - X_{est,t})}{[s^2 + (X_t - X_{est,t})^2]}$ 
    for m ∈ 1 .. p
      Fest,k,m ← ∑t=p+1N  $\frac{X_{t-k} \cdot X_{t-m} \cdot [3 \cdot (X_t - X_{est,t})^2 - s^2]}{[s^2 + (X_t - X_{est,t})^2]^3}$ 
    ŷest ← ŷest - Fest-1 · fest
  ITERATION ← ITERATION + 1
  Σ ← ∑k=1p (fest,k)2
B ← stack(ŷest, ITERATION, Σ)

```

$$\text{RESULTS} = \begin{pmatrix} 0.887 \\ -0.095 \\ -0.201 \\ -0.239 \\ -0.176 \\ -0.058 \\ 1 \\ (8.762 \times 10^{-11}) \end{pmatrix}$$

$$\text{ITERATIONS} := \text{RESULTS}_{\text{rows}(\text{RESULTS})-1}$$

$$\text{ITERATIONS} = 1$$

$$\tilde{\text{I}}_{20} := \text{submatrix}(\text{RESULTS}, 1, p, 1, 1)$$

$$\tilde{\text{I}}_{20} = \begin{pmatrix} 0.887 \\ -0.095 \\ -0.201 \\ -0.239 \\ -0.176 \\ -0.058 \end{pmatrix}$$

$$X_{20} := \sum_{i=1}^p \left(\tilde{\text{I}}_{20} \cdot X_{i \text{ t-i}} \right)$$

$$\min(X) = -7.778$$

$$\min(X2) = -3.118$$

$$\min(X20) = 0$$

$$\max(X) = 4.222$$

$$\max(X2) = 4.147$$

$$\max(X20) = 4.377$$

$$\text{mean}(X) = 6.316 \times 10^{-15}$$

$$\text{mean}(X2) = 0.206$$

$$\text{mean}(X20) = 1.446$$

$$\text{stdev}(X)^2 = 25.728$$

$$\text{stdev}(X2)^2 = 3.024$$

$$\text{stdev}(X20)^2 = 4.184$$

$$g20_t := X_t - X20_t$$

$$\min(g20) = -1.154$$

$$\max(g20) = 0$$

$$\text{mean}(g20) = -0.261$$

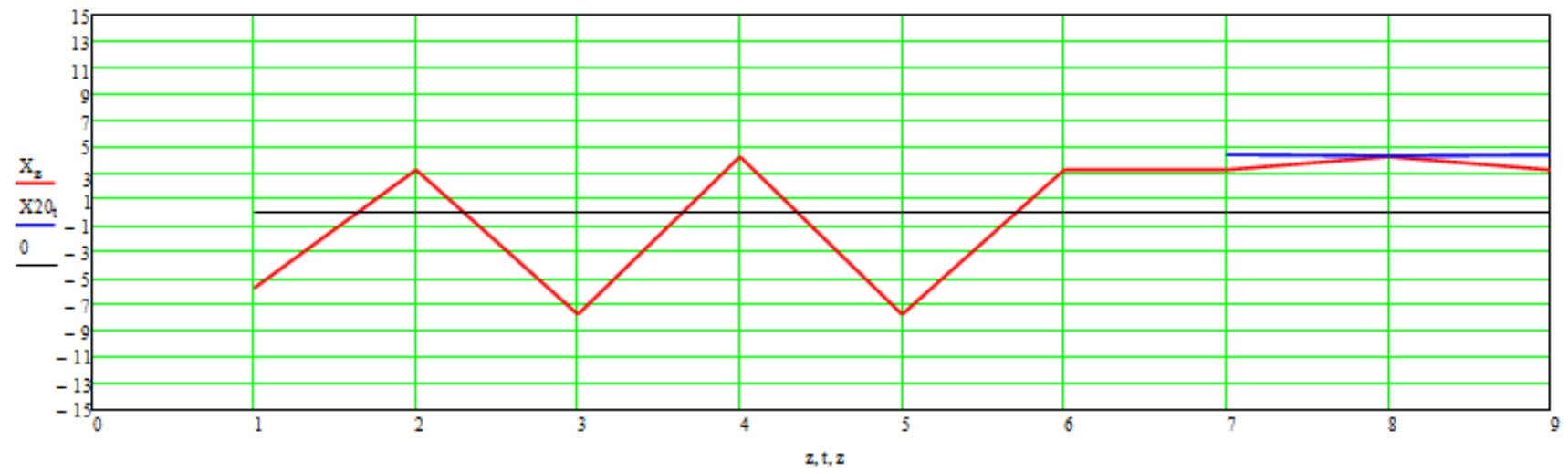
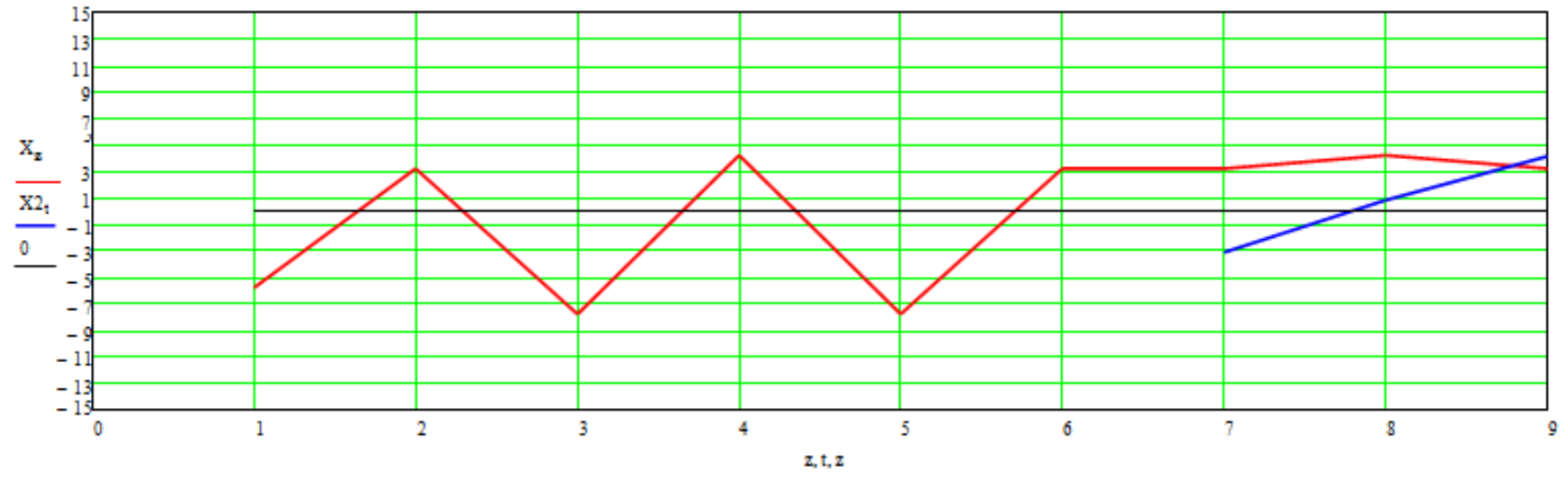
$$\text{stdev}(g20)^2 = 0.223$$

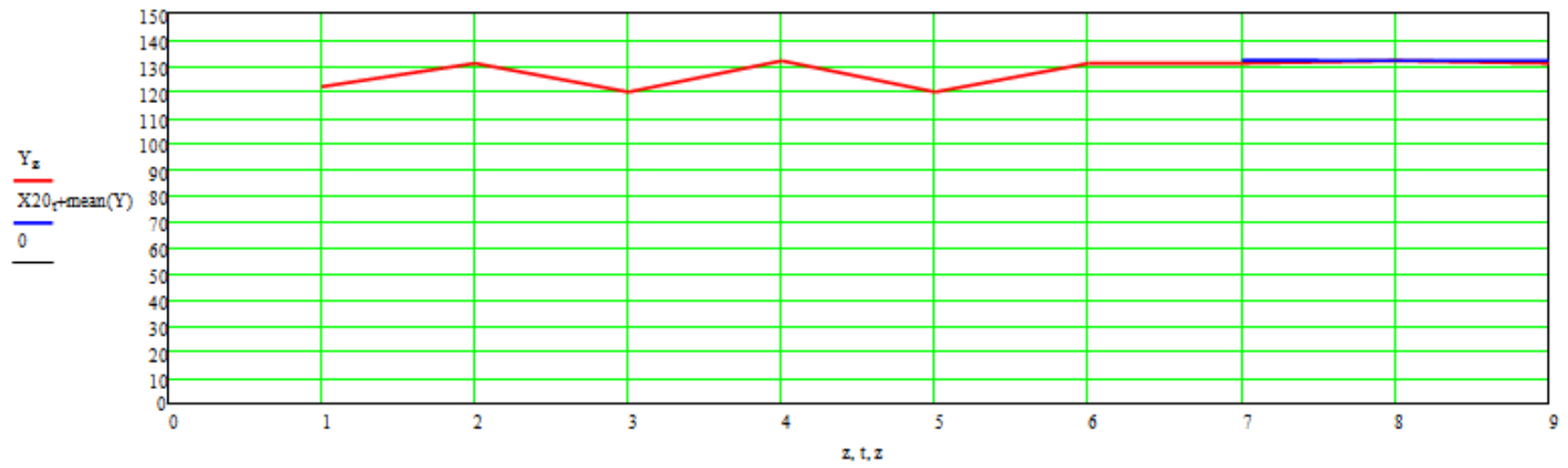
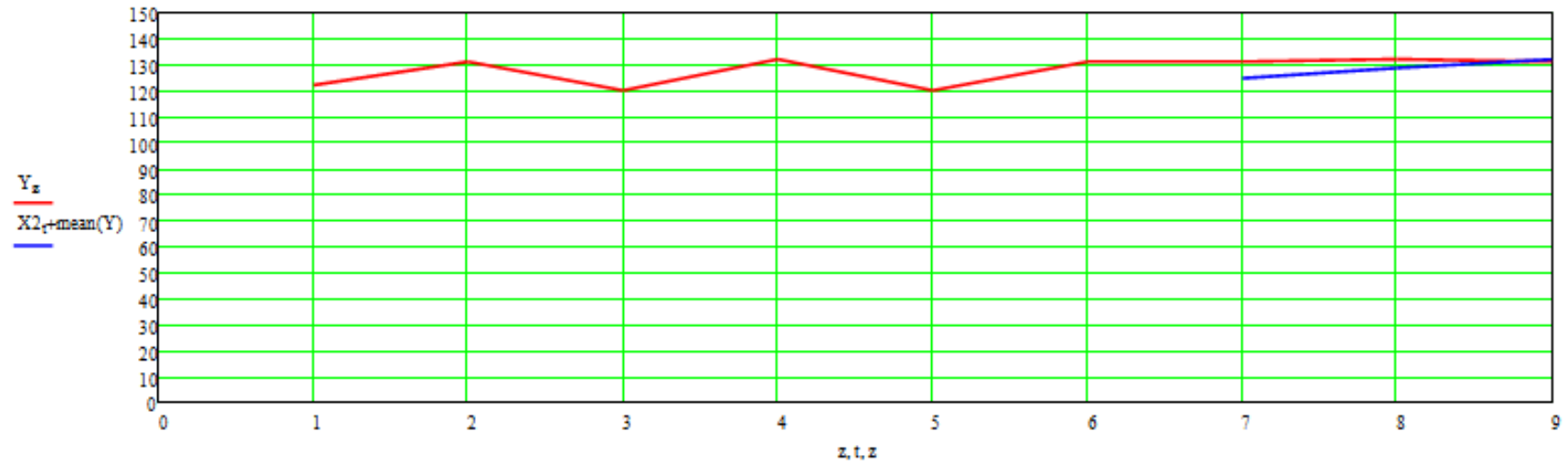
$$g2^T = (0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 6.340 \ 3.394 \ -0.925)$$

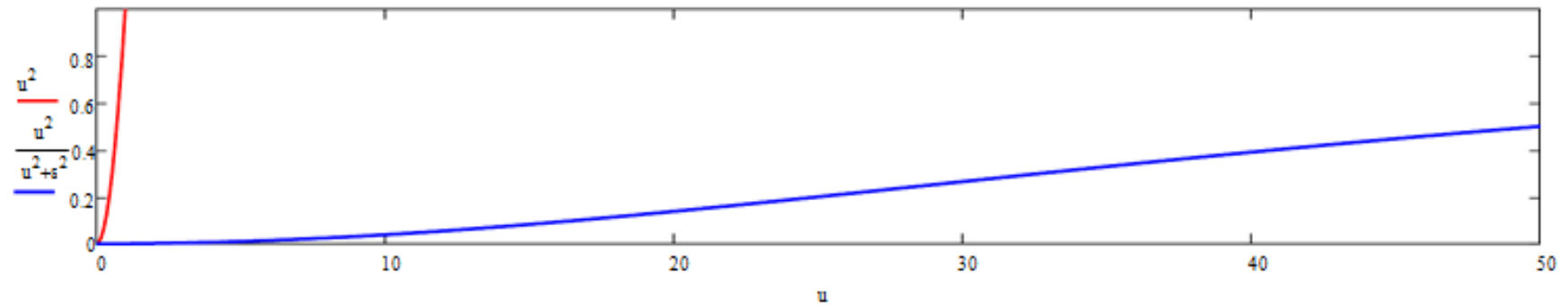
$$g20^T = (0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ -1.154 \ -0.063 \ -1.132)$$

$$\frac{\text{stdev}(g2)^2}{\text{stdev}(X)^2} = 0.189790$$

$$\frac{\text{stdev}(g20)^2}{\text{stdev}(X)^2} = 8.655331 \times 10^{-3}$$







$$N = 9 \quad \Delta = 1 \times 10^{-9}$$

$$\frac{1}{(N-p)} \sum_{t=p+1}^N (g^1_t) = 17.523144124$$

$$\frac{1}{(N-p)} \sum_{t=p+1}^N (g^{20}_t) = 0.872531323$$

ITERATIONS = 1

Підвищення точності прогнозування з використанням модифікації авто регресійної AR(p) моделі в метриці L20:

$$K = \frac{\sum_{t=p+1}^N (g^1_t)^2}{\sum_{t=p+1}^N (g^{20}_t)^2} = 20.1$$

ORIGIN := 1
 ~~~~~

Вхідні дані для побудови AP моделі з викидами:

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

| Самочувство |        |       |          |          |         |              |    |   |   |    |
|-------------|--------|-------|----------|----------|---------|--------------|----|---|---|----|
|             | Січень | Лютий | Березень | Листопад | Грудень | за 9 місяців |    |   |   |    |
| ДМ - 4      | 6      | 3     | 4        | 2        | 7       | 8            | 9  | 4 | 2 | 45 |
| ДП - 5      | 12     | 3     | 11       | 4        | 1       | 5            | 3  | 2 | 2 | 43 |
| БЕО - 1     | 1      | 1     | 2        | 3        | 6       | 8            | 12 | 3 | 4 | 40 |
| СГП - 10    | 2      | 1     | 2        | 4        | 4       | 6            | 8  | 3 | 3 | 31 |
| БУОВ - 3    | 2      | 1     | 2        | 4        | 3       | 6            | 3  | 3 | 2 | 24 |
| ЛУГ - 7     | 5      | 0     | 2        | 1        | 3       | 8            | 2  | 1 | 1 | 23 |
| СаПо - 9    | 2      | 0     | 2        | 5        | 1       | 7            | 2  | 1 | 1 | 23 |
| ПоВ - 8     | 2      | 2     | 1        | 5        | 0       | 7            | 2  | 1 | 1 | 21 |
| БрО - 2     | 1      | 1     | 1        | 4        | 2       | 4            | 3  | 0 | 3 | 19 |
| ЗаС - 6     | 1      | 1     | 0        | 4        | 2       | 4            | 3  | 1 | 1 | 17 |
| ШрО - 12    | 2      | 1     | 2        | 2        | 2       | 0            | 7  | 0 | 0 | 16 |
| ХрВ - 11    | 2      | 1     | 1        | 2        | 3       | 0            | 5  | 1 | 0 | 15 |

| Велоспрометричний тест |       |         |          |     |         |          |     |         |          |     |         |          |
|------------------------|-------|---------|----------|-----|---------|----------|-----|---------|----------|-----|---------|----------|
| Дя                     | покой |         |          | 50  |         |          | 100 |         |          | 150 |         |          |
|                        | ЧСС   | AT сист | AT діагн | ЧСС | AT сист | AT діагн | ЧСС | AT сист | AT діагн | ЧСС | AT сист | AT діагн |
| січень                 | 76    | 122     | 82       | 110 | 146     | 96       | 136 | 160     | 104      | 175 | 183     | 108      |
| лютий                  | 75    | 131     | 80       | 102 | 144     | 90       | 128 | 158     | 91       | 158 | 171     | 94       |
| березень               | 71    | 120     | 80       | 94  | 131     | 88       | 130 | 149     | 92       | 152 | 176     | 91       |
| липень                 | 72    | 132     | 84       | 100 | 142     | 96       | 128 | 152     | 98       | 162 | 175     | 100      |
| серпень                | 65    | 120     | 76       | 97  | 132     | 91       | 129 | 140     | 93       | 154 | 163     | 94       |
| вересень               | 75    | 131     | 80       | 102 | 144     | 90       | 128 | 158     | 91       | 158 | 171     | 94       |
| жовтень                | 75    | 131     | 80       | 102 | 144     | 90       | 128 | 158     | 91       | 158 | 171     | 94       |
| листопад               | 72    | 132     | 84       | 100 | 142     | 96       | 128 | 152     | 98       | 162 | 175     | 100      |
| грудень                | 75    | 131     | 80       | 102 | 144     | 90       | 128 | 158     | 91       | 158 | 171     | 94       |

$$Y := (122 \ 131 \ 120 \ 132 \ 120 \ 131 \ 131 \ 132 \ 131)^T$$

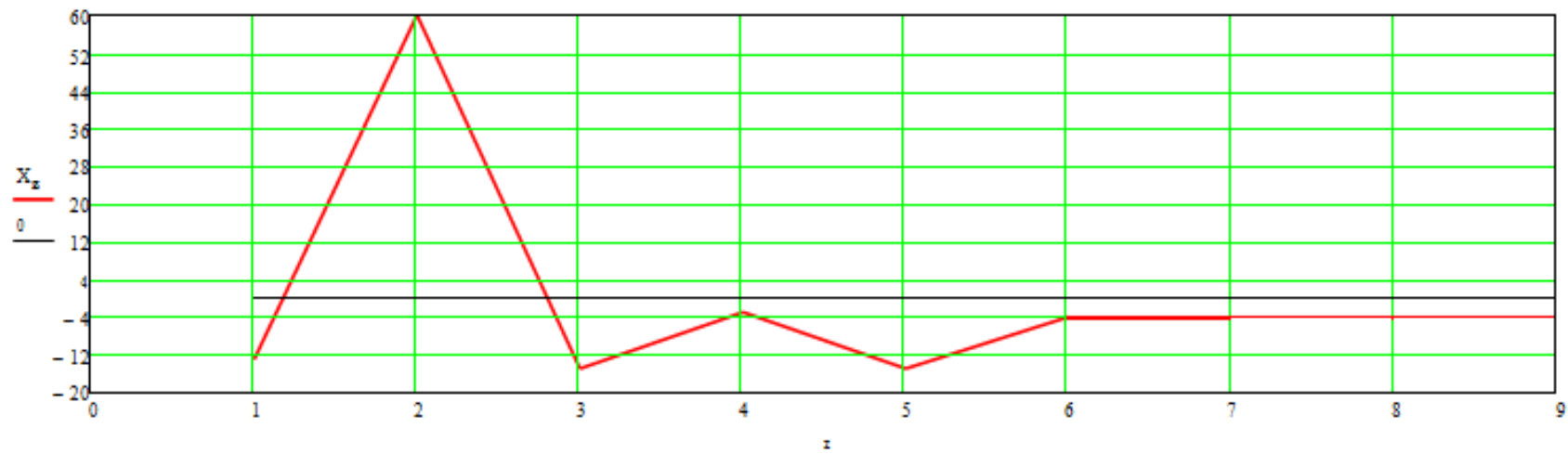
$$N := \text{rows}(Y) - 9$$

$$z := 1..N$$

Модельовання викидів у вхідних даних (з викидами):

$$Y_2 := 195$$

$$Y^T := (122 \ 195 \ 120 \ 132 \ 120 \ 131 \ 131 \ 132 \ 131)$$

$$X := Y - \text{mean}(Y)$$


`min(X) = -14.889`

`max(X) = 60.111`

`mean(X) = 3.158 × 10-15`

`stdev(X)2 = 476.099`

`6 := 1..N - 1`

$$R_6 := \frac{\sum_{n=6+1}^N [(X_n - \text{mean}(X)) \cdot (X_{n-6} - \text{mean}(X))]}{N \cdot \text{stdev}(X)^2}$$

`(-0.347)`  
`0.078`  
`(-0.17)`  
`0.019`  
`(-0.03)`  
`(-0.015)`  
`(-0.046)`  
`(0.012)`

$$g^2_t := X_t - X^2_t$$

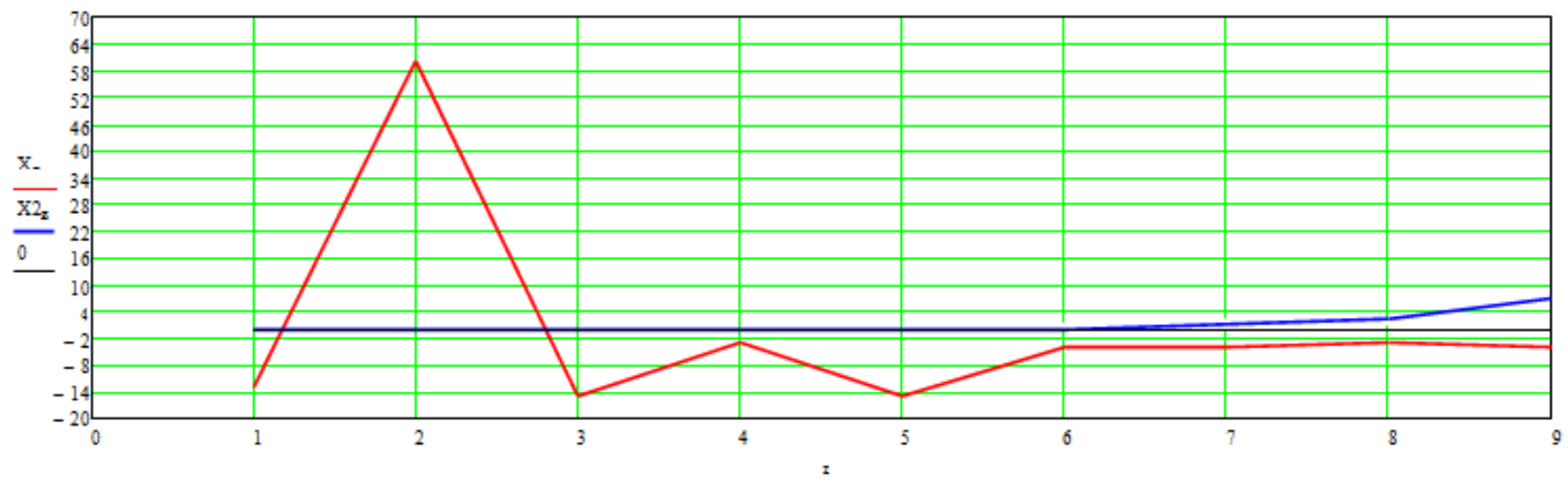
$$\min(g^2) = -10.89$$

$$\max(g^2) = 0$$

$$\text{mean}(g^2) = -2.368$$

$$\text{stdev}(g^2)^2 = 13.608$$

$$\frac{\text{stdev}(g^2)^2}{\text{stdev}(X)^2} = 0.029$$



Geman-McClure

$$p = 6$$

$$\lambda_r := 10^6$$

$$\Delta := 10^{-9}$$

RESULTS :-

ITERATION  $\leftarrow$  0

$$\Sigma \leftarrow \check{Y}_{est}$$

$$\leftarrow \check{Y}$$

while  $\Sigma > \Delta$ for  $t \in (p+1) \dots N$ 

$$\lambda_{est,t} \leftarrow \sum_{i=1}^p \left( \check{Y}_{est,i} \cdot X_{t,i} \right)$$

for  $k \in 1 \dots p$ 

$$f_{est,k} \leftarrow \sum_{t=p+1}^N \frac{X_{t,k} \cdot (X_{t,k} - X_{est,t,k})}{\left[ s^2 + (X_{t,k} - X_{est,t,k})^2 \right]}$$

for  $m \in 1 \dots p$ 

$$F_{est,k,m} \leftarrow \sum_{t=p+1}^N \frac{X_{t,k} \cdot X_{t,m} \cdot \left[ 3 \cdot (X_{t,k} - X_{est,t,k})^2 - s^2 \right]}{\left[ s^2 + (X_{t,k} - X_{est,t,k})^2 \right]^2}$$

$$\check{Y}_{est} \leftarrow \check{Y}_{est} - F_{est}^{-1} \cdot f_{est}$$

ITERATION  $\leftarrow$  ITERATION + 1

$$\Sigma \leftarrow \sum_{k=1}^p \left( \frac{f_{est,k}}{k} \right)^2$$

B  $\leftarrow$  stack( $\check{Y}_{est}$ , ITERATION,  $\Sigma$ )

$$\text{RESULTS} = \begin{pmatrix} 3.339 \\ -0.081 \\ 0.399 \\ -0.568 \\ 0.195 \\ 0.356 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

ITERATIONS := RESULTS  
 $\text{rows}(\text{RESULTS})-1$

ITERATIONS = 1

$\checkmark_{20} := \text{submatrix}(\text{RESULTS}, 1, p, 1, 1)$

$$\checkmark_{20} = \begin{pmatrix} 3.339 \\ -0.081 \\ 0.399 \\ -0.568 \\ 0.195 \\ 0.356 \end{pmatrix}$$

$$\Delta_{20} = \sum_{i=1}^p (\checkmark_{20} \cdot X_i) \quad i = t-i$$

|                                          |                             |                               |
|------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| $\min(X) = -14.889$                      | $\min(X2) = 0$              | $\min(X20) = -8.294$          |
| $\max(X) = 60.111$                       | $\max(X2) = 7.002$          | $\max(X20) = 2.673$           |
| $\text{mean}(X) = 3.158 \times 10^{-15}$ | $\text{mean}(X2) = 1.183$   | $\text{mean}(X20) = -0.457$   |
| $\text{stdev}(X)^2 = 476.099$            | $\text{stdev}(X2)^2 = 4.87$ | $\text{stdev}(X20)^2 = 8.483$ |

$$g20_t := X_t - X20_t$$

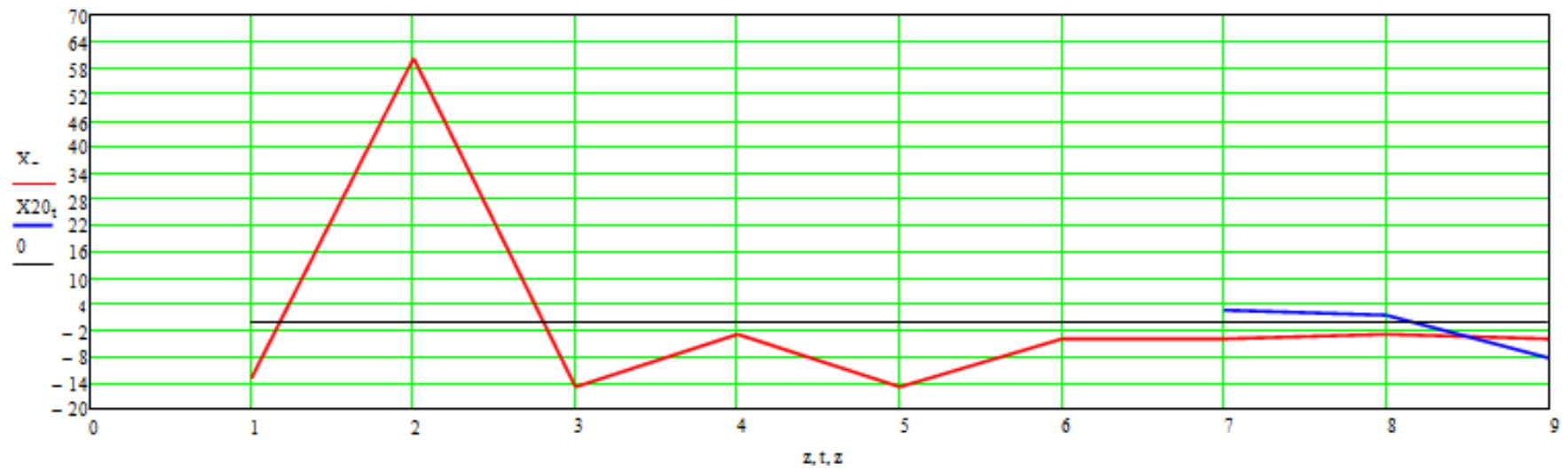
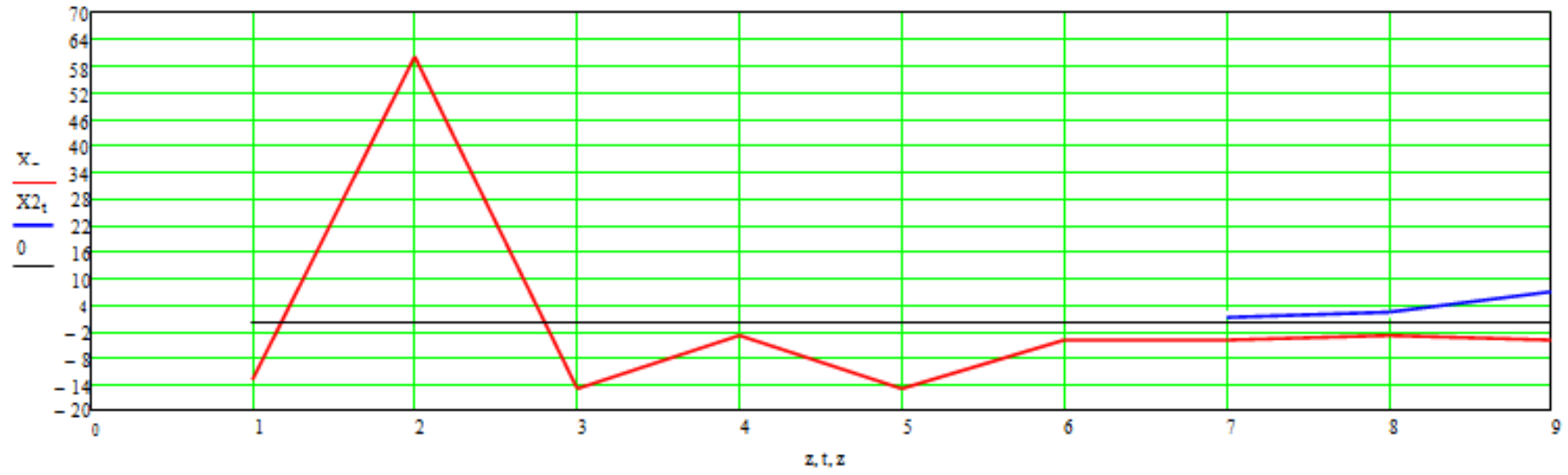
$\min(g20) = -6.562$   
 $\max(g20) = 4.405$   
 $\text{mean}(g20) = -0.729$   
 $\text{stdev}(g20)^2 = 8.561$

$$g2^T = (0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ -5.094 \ -5.329 \ -10.890),$$

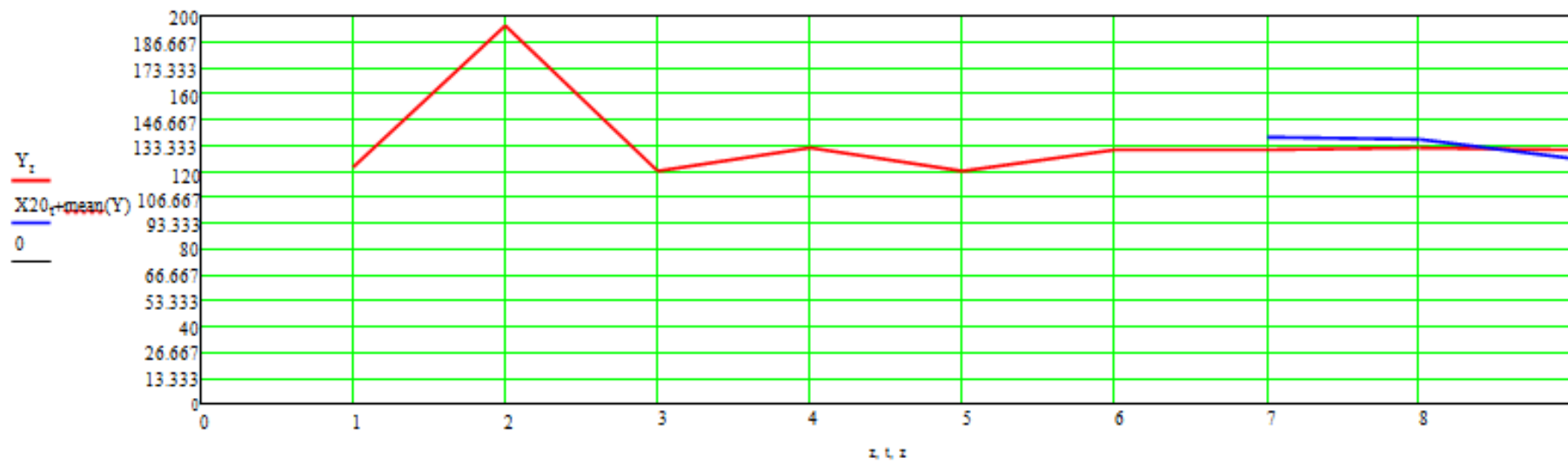
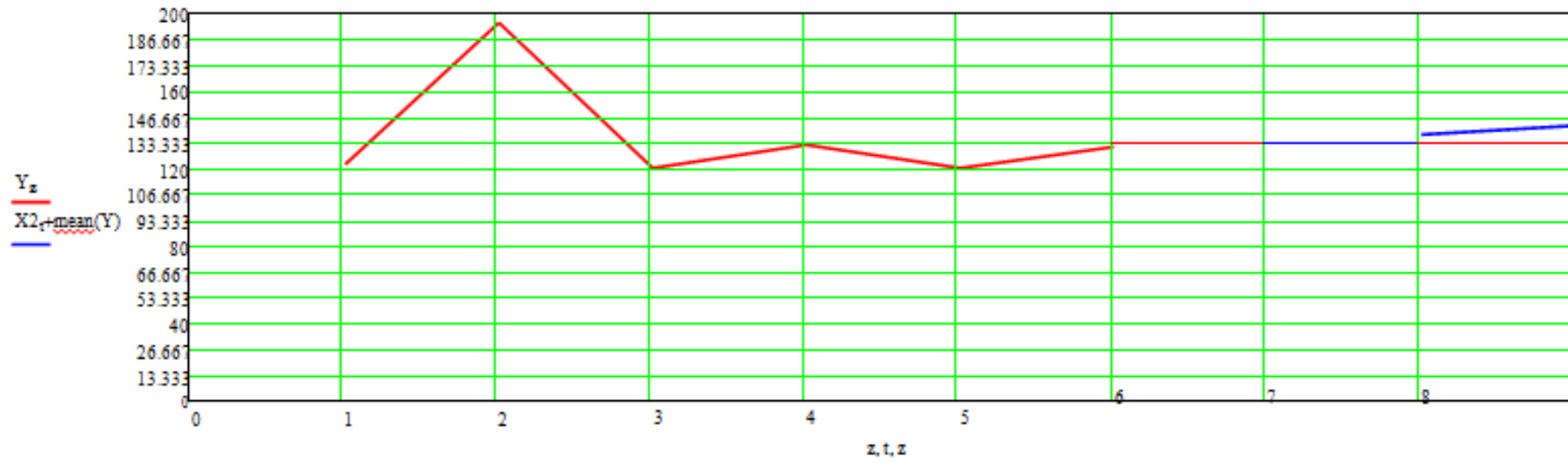
$$g20^T = (0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ 0.000 \ -6.562 \ -4.400 \ 4.405),$$

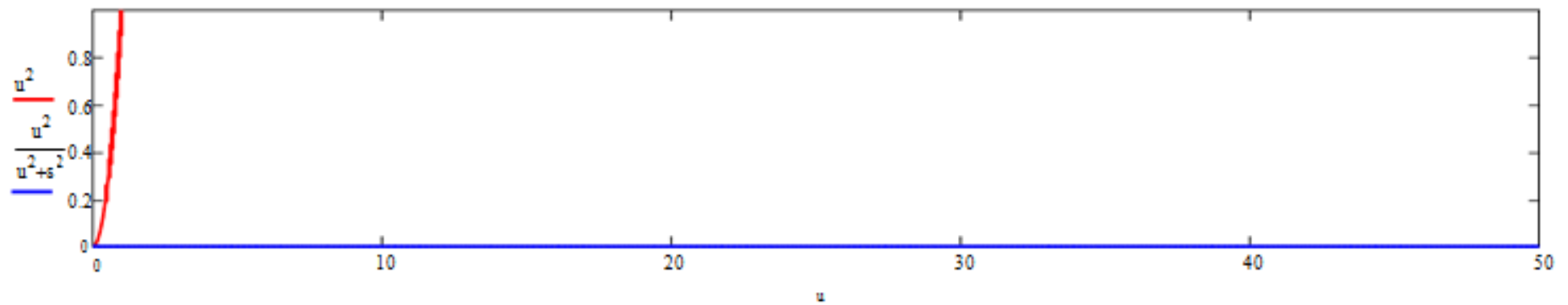
$$\frac{\text{stdev}(g2)^2}{\text{stdev}(X)^2} = 0.028582$$

$$\frac{\text{stdev}(g20)^2}{\text{stdev}(X)^2} = 0.017982$$









$$N = 9 \quad \Delta = 1 \times 10^{-9}$$

$$\frac{1}{(N-p)} \sum_{t=p+1}^N (g_{2,t}) = 57.647890853$$

$$\frac{1}{(N-p)} \sum_{t=p+1}^N (g_{20,t}) = 27.275531539$$

ITERATIONS = 1

Підвищення точності прогнозування при використанні модифікації AR(p) моделі в метриці L20 при наявності викидів:

$$K_{\%} = \frac{\sum_{t=p+1}^N (g_{2,t})^2}{\sum_{t=p+1}^N (g_{20,t})^2} = 2.1$$

## Додаток Ж.

## Дані для навчання нейронної мережі

| №  | АЧТВ | ПІ   | ТВ   | МНО  | РФМК | АТ-3 | ФІБР | Д-Дим | ХОЛ | ТГ  | ЛПВП | ОНП  | НП   | С-РБ | Трив.МА | ЛП   | ФВ | Час до мі.м. | к |
|----|------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|-----|------|------|------|------|---------|------|----|--------------|---|
| 1  | 33,4 | 0,99 | 15   | 1    | 7,5  | 0,95 | 3550 | 0,58  | 4,9 | 2   | 1,3  | 0,9  | 2,7  | 5,78 | 24      | 4,62 | 65 | 12           | 0 |
| 2  | 31,3 | 0,99 | 14,1 | 1    | 5,5  | 1,02 | 3784 | 0,48  | 4,5 | 0,9 | 0,9  | 0,4  | 3,2  | 6,2  | 84      | 5,51 | 48 | 12           | 0 |
| 3  | 32,9 | 1,06 | 17,2 | 1,04 | 6    | 0,98 | 3442 | 0,56  | 5,1 | 1,7 | 1,3  | 0,77 | 3,03 | 6,7  | 2,5     | 4,41 | 47 | 12           | 0 |
| 4  | 30   | 1    | 15,4 | 1    | 7,5  | 1,07 | 3648 | 0,61  | 4,5 | 0,9 | 1    | 0,4  | 3,1  | 6    | 72      | 6,29 | 51 | 12           | 0 |
| 5  | 33,3 | 1,11 | 16,4 | 0,9  | 8    | 0,96 | 3330 | 0,49  | 5   | 1,5 | 1,1  | 0,68 | 3,22 | 5,95 | 24      | 4,41 | 57 | 12           | 0 |
| 6  | 29,9 | 0,96 | 15,8 | 1,33 | 6    | 1,03 | 3296 | 0,58  | 5,1 | 1,6 | 1,1  | 0,72 | 3,28 | 7,1  | 36      | 4,9  | 60 | 12           | 0 |
| 7  | 31   | 0,97 | 14,8 | 1,33 | 6,5  | 1,04 | 3282 | 0,5   | 5,3 | 1,9 | 1    | 0,86 | 3,44 | 6,82 | 24      | 5,52 | 26 | 12           | 0 |
| 8  | 30,2 | 0,94 | 15,3 | 1    | 7    | 1,02 | 3662 | 0,44  | 5,3 | 2   | 1,2  | 0,9  | 3,2  | 6,63 | 84      | 5,6  | 76 | 12           | 0 |
| 9  | 29,7 | 1    | 16,1 | 1,12 | 8,5  | 0,96 | 3488 | 0,56  | 4,5 | 0,9 | 1    | 0,4  | 3,1  | 6,3  | 24      | 4,57 | 66 | 12           | 0 |
| 10 | 31,4 | 0,94 | 16,9 | 1,06 | 6    | 0,98 | 3664 | 0,58  | 4,5 | 0,9 | 0,9  | 0,4  | 2,2  | 6,1  | 48      | 5,4  | 78 | 12           | 0 |
| 11 | 29,7 | 1,05 | 17,3 | 0,9  | 8    | 1,03 | 3382 | 0,46  | 5,1 | 1,2 | 1    | 0,54 | 3,6  | 6,85 | 24      | 6,2  | 55 | 12           | 0 |
| 12 | 30,5 | 1    | 16,1 | 1,1  | 5,5  | 1    | 3708 | 0,6   | 4,4 | 1,8 | 1,1  | 0,81 | 2,49 | 5,8  | 18      | 5,4  | 60 | 12           | 0 |
| 13 | 31,5 | 0,93 | 16,9 | 1    | 5,5  | 0,95 | 3308 | 0,51  | 5,2 | 1,3 | 1,2  | 0,59 | 3,41 | 7    | 2       | 5,36 | 56 | 12           | 0 |
| 14 | 32,3 | 0,98 | 17,4 | 1    | 6    | 1,1  | 3662 | 0,57  | 4,8 | 1,3 | 1    | 0,59 | 3,21 | 6,2  | 10      | 5,74 | 46 | 12           | 0 |
| 15 | 30,3 | 0,92 | 16,3 | 1,12 | 6,5  | 1    | 3662 | 0,59  | 4,9 | 1,9 | 1,2  | 0,86 | 2,84 | 6,45 | 2       | 5,2  | 70 | 12           | 0 |
| 16 | 29,8 | 1    | 15,2 | 1    | 7    | 0,98 | 3298 | 0,58  | 4,8 | 1,7 | 1,1  | 0,77 | 2,93 | 6,3  | 3       | 4,41 | 73 | 12           | 0 |
| 17 | 32,7 | 0,96 | 16,8 | 1    | 6    | 0,97 | 3440 | 0,5   | 4,6 | 1,5 | 1,2  | 0,68 | 2,72 | 6,8  | 7       | 5,54 | 68 | 12           | 0 |
| 18 | 31,2 | 1    | 15,3 | 1    | 7,5  | 1,01 | 3684 | 0,6   | 4,9 | 1,4 | 1    | 0,63 | 3,27 | 5,9  | 5       | 5,29 | 53 | 12           | 0 |

|    |      |      |      |      |     |      |      |      |     |     |      |      |      |      |    |      |    |    |   |
|----|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|----|------|----|----|---|
| 19 | 29,7 | 0,91 | 17,6 | 1,11 | 6   | 1,04 | 3402 | 0,53 | 4,8 | 1,1 | 1,2  | 0,5  | 3,1  | 6,1  | 62 | 5,1  | 45 | 12 | 0 |
| 20 | 32,8 | 1    | 15,9 | 1    | 5,5 | 0,97 | 3624 | 0,58 | 5,5 | 1,4 | 1,3  | 0,63 | 3,57 | 6,4  | 18 | 4,51 | 65 | 12 | 0 |
| 21 | 32,1 | 0,98 | 14,8 | 1,12 | 6   | 0,98 | 3662 | 0,51 | 5,4 | 1,5 | 1    | 0,68 | 3,72 | 6,37 | 1  | 5,04 | 51 | 12 | 0 |
| 22 | 29,7 | 1    | 15,7 | 1    | 5,5 | 0,97 | 3588 | 0,52 | 4,6 | 1,2 | 1    | 0,54 | 3,06 | 5,95 | 12 | 4,99 | 67 | 12 | 0 |
| 23 | 29,6 | 1    | 16,2 | 1    | 7   | 1    | 3692 | 0,48 | 5,4 | 1,9 | 1,3  | 0,86 | 3,24 | 6,28 | 3  | 4,51 | 68 | 12 | 0 |
| 24 | 29,8 | 0,95 | 17   | 1,03 | 5,5 | 1,02 | 3318 | 0,55 | 5   | 1,2 | 1,2  | 0,54 | 3,3  | 6    | 36 | 4,98 | 60 | 12 | 0 |
| 25 | 30,6 | 1    | 16,5 | 1    | 5,5 | 1,02 | 3462 | 0,47 | 5,4 | 1,3 | 1,2  | 0,59 | 3,61 | 7,05 | 34 | 5,1  | 48 | 12 | 0 |
| 26 | 29,5 | 1,01 | 15,6 | 0,9  | 6   | 0,96 | 3676 | 0,56 | 4,9 | 1,2 | 1    | 0,54 | 3,26 | 6,27 | 36 | 5,5  | 38 | 12 | 0 |
| 27 | 33,7 | 0,91 | 16,6 | 1,1  | 6,5 | 1,06 | 3442 | 0,93 | 4,5 | 1,2 | 1    | 0,54 | 2,9  | 6,7  | 62 | 4,8  | 35 | 5  | 1 |
| 28 | 33,4 | 0,98 | 16,3 | 1    | 5   | 1,1  | 3446 | 0,45 | 4,3 | 1,3 | 0,9  | 0,59 | 2,8  | 6,52 | 6  | 5,58 | 67 | 12 | 0 |
| 29 | 28,8 | 0,77 | 16,7 | 1,34 | 8   | 1,05 | 3612 | 0,68 | 4,7 | 1,4 | 1    | 0,63 | 3,07 | 6,79 | 4  | 6,5  | 66 | 8  | 1 |
| 30 | 30,1 | 1    | 17,4 | 1    | 9,5 | 0,98 | 3890 | 0,82 | 4   | 0,9 | 0,9  | 0,4  | 2,7  | 6,72 | 1  | 6,7  | 50 | 6  | 1 |
| 31 | 27,4 | 0,83 | 15,8 | 1,22 | 4,5 | 0,94 | 3108 | 0,4  | 4,9 | 1,4 | 1,4  | 0,63 | 2,8  | 5,8  | 84 | 4,99 | 51 | 12 | 0 |
| 32 | 32,5 | 0,91 | 16,6 | 1,11 | 6,5 | 0,97 | 3654 | 0,53 | 4,5 | 1,2 | 1,2  | 0,54 | 2,6  | 6,5  | 36 | 5,2  | 53 | 12 | 0 |
| 33 | 36,4 | 0,63 | 17,3 | 1,68 | 7   | 0,95 | 3244 | 0,42 | 4,4 | 1,3 | 1,1  | 0,59 | 2,7  | 5,7  | 48 | 4,04 | 66 | 12 | 0 |
| 34 | 33,2 | 0,91 | 16,3 | 1,11 | 6   | 1    | 3400 | 0,45 | 4,7 | 1,1 | 1,1  | 0,5  | 3,1  | 6    | 2  | 5,89 | 64 | 12 | 0 |
| 35 | 30,8 | 1    | 17   | 1,1  | 4,5 | 1,02 | 3864 | 0,45 | 5   | 1,6 | 1,2  | 0,72 | 3,1  | 6,1  | 12 | 4,46 | 75 | 12 | 0 |
| 36 | 34,6 | 0,71 | 16,2 | 1,45 | 6   | 1,05 | 3424 | 0,5  | 4,3 | 1,1 | 1    | 0,5  | 2,7  | 5,8  | 7  | 6,3  | 66 | 12 | 0 |
| 37 | 30   | 0,83 | 16,5 | 1,22 | 6   | 1,02 | 3180 | 0,47 | 4,7 | 1   | 1,1  | 0,45 | 3,15 | 5,7  | 36 | 5    | 50 | 12 | 0 |
| 38 | 36,3 | 0,67 | 17,1 | 1,56 | 5,5 | 1,01 | 2868 | 0,41 | 4,2 | 1,1 | 1    | 0,5  | 2,7  | 6,3  | 84 | 4,95 | 35 | 12 | 0 |
| 39 | 32,8 | 1    | 16,5 | 1    | 7,5 | 0,92 | 3946 | 0,83 | 4,7 | 1,2 | 1    | 0,54 | 3,16 | 7,3  | 48 | 6,39 | 55 | 6  | 1 |
| 40 | 34,9 | 0,91 | 16,9 | 1,11 | 5,5 | 0,98 | 3598 | 0,52 | 4,5 | 1,3 | 1,05 | 0,59 | 2,9  | 5,3  | 2  | 6,2  | 44 | 12 | 0 |
| 41 | 35,2 | 0,59 | 17,8 | 1,79 | 5   | 1,03 | 3522 | 0,56 | 4,8 | 1,3 | 1,2  | 0,59 | 3    | 6,2  | 12 | 5,9  | 67 | 12 | 0 |

|    |      |      |       |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |    |    |   |
|----|------|------|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|----|----|---|
| 42 | 32   | 0,71 | 16,6  | 1,45 | 5,5 | 0,95 | 3284 | 0,43 | 4,6  | 1,2  | 1,2  | 0,54 | 2,8  | 6,1  | 24  | 6,26 | 64 | 12 | 0 |
| 43 | 30,7 | 0,83 | 16,9  | 1,22 | 7   | 1,02 | 3462 | 0,49 | 4,2  | 1    | 1    | 0,45 | 2,7  | 5,8  | 62  | 4,4  | 55 | 12 | 0 |
| 44 | 29,5 | 0,91 | 15,6  | 1,11 | 7   | 1,03 | 3682 | 0,57 | 4,1  | 1,1  | 1    | 0,5  | 2,6  | 6,12 | 24  | 4,9  | 50 | 12 | 0 |
| 45 | 30,8 | 0,91 | 15,4  | 1,12 | 6,5 | 1    | 3462 | 0,43 | 4,3  | 1,3  | 1,1  | 0,59 | 2,6  | 6,3  | 30  | 5,1  | 45 | 12 | 0 |
| 46 | 32,4 | 0,77 | 17,2  | 1,37 | 6,5 | 0,98 | 3428 | 0,55 | 4,4  | 1,3  | 1,1  | 0,59 | 2,7  | 5,84 | 36  | 5,2  | 51 | 12 | 0 |
| 47 | 31,1 | 0,71 | 16,8  | 1,5  | 5   | 1,04 | 3442 | 0,47 | 4    | 1,2  | 0,9  | 0,54 | 2,56 | 5,79 | 7   | 5,22 | 43 | 12 | 0 |
| 48 | 31,2 | 0,67 | 18    | 1,63 | 5,5 | 0,96 | 3996 | 0,42 | 4,3  | 1,3  | 0,9  | 0,59 | 2,81 | 5,9  | 78  | 5,3  | 64 | 12 | 0 |
| 49 | 34,8 | 0,83 | 17,6  | 1,22 | 5   | 1,12 | 3248 | 0,4  | 4,3  | 1,1  | 1    | 0,5  | 2,7  | 6    | 120 | 4,9  | 50 | 12 | 0 |
| 50 | 35,5 | 0,63 | 17,2  | 1,68 | 5   | 0,97 | 3442 | 0,44 | 4,6  | 1,5  | 1    | 0,68 | 2,82 | 6,2  | 3   | 4,62 | 50 | 12 | 0 |
| 51 | 35,1 | 100% | 15,9  | 1    | 5,5 | 109% | 3714 | 0,48 | 5,2  | 1,2  | 1,3  | 0,54 | 3,35 | 5,4  | 48  | 4,2  | 66 | 12 | 0 |
| 52 | 34,9 | 0,94 | 16,4  | 1    | 6   | 1,08 | 3244 | 0,5  | 5,25 | 1,3  | 1,28 | 0,59 | 3,37 | 6    | 84  | 4,5  | 60 | 12 | 0 |
| 53 | 35,1 | 1    | 17    | 1    | 7   | 1,01 | 3686 | 0,52 | 5,2  | 1,28 | 1,22 | 0,58 | 3,39 | 6,3  | 48  | 4,77 | 64 | 12 | 0 |
| 54 | 29,9 | 0,96 | 16,5  | 1,09 | 6,5 | 1,02 | 3346 | 0,6  | 4,8  | 1,2  | 1,3  | 0,54 | 2,95 | 5,41 | 96  | 6    | 69 | 12 | 0 |
| 55 | 33,8 | 0,98 | 17    | 1    | 6   | 1,01 | 3286 | 0,5  | 4,85 | 1,28 | 1,18 | 0,58 | 3,08 | 6,68 | 48  | 8    | 62 | 11 | 1 |
| 56 | 30,1 | 0,92 | 16,1  | 1,12 | 6,5 | 1,07 | 3684 | 0,52 | 4,9  | 1,2  | 1,1  | 0,54 | 3,25 | 5,9  | 48  | 5,67 | 56 | 12 | 0 |
| 57 | 34,4 | 1    | 16,24 | 1    | 6   | 1,05 | 3256 | 0,48 | 5,35 | 1,3  | 1,3  | 0,59 | 3,45 | 6,4  | 120 | 4,6  | 61 | 12 | 0 |
| 58 | 30,2 | 0,94 | 15,9  | 1,1  | 7   | 1,04 | 3244 | 0,53 | 5,25 | 1,3  | 1,3  | 0,59 | 3,35 | 5,88 | 48  | 4,57 | 60 | 12 | 0 |
| 59 | 34,1 | 0,94 | 16,9  | 1,22 | 6,5 | 1,08 | 3288 | 0,6  | 4,85 | 1,4  | 1,1  | 0,63 | 3,11 | 6,5  | 6   | 4,08 | 44 | 12 | 0 |
| 60 | 35   | 1    | 16,7  | 1    | 6   | 1,09 | 3310 | 0,58 | 5,15 | 1,4  | 1,3  | 0,63 | 3,21 | 5,9  | 62  | 5,2  | 60 | 12 | 0 |
| 61 | 29,1 | 0,99 | 17,2  | 1,1  | 7   | 1,02 | 3624 | 0,5  | 4,75 | 1,3  | 1,15 | 0,59 | 3    | 5,9  | 72  | 8,4  | 48 | 11 | 1 |
| 62 | 35,2 | 0,98 | 16,8  | 1    | 7   | 1,03 | 3528 | 0,6  | 5,1  | 1,2  | 1,3  | 0,54 | 3,25 | 5,41 | 48  | 5,6  | 50 | 12 | 0 |
| 63 | 29,8 | 0,94 | 16,4  | 1    | 6   | 1,01 | 3108 | 0,58 | 4,9  | 1,2  | 1,3  | 0,54 | 3,05 | 5,57 | 12  | 6,88 | 29 | 11 | 1 |
| 64 | 35,3 | 1,01 | 17,2  | 1    | 5,5 | 1,04 | 3266 | 0,53 | 4,86 | 1,4  | 1,16 | 0,63 | 3,06 | 5,9  | 24  | 4,85 | 66 | 12 | 0 |

|    |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |    |    |   |
|----|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|----|----|---|
| 65 | 34,2 | 0,94 | 16,6 | 1    | 7,5 | 1,01 | 3680 | 0,6  | 4,9  | 1,2  | 1,1  | 0,24 | 3,25 | 6,4  | 62  | 5    | 48 | 12 | 0 |
| 66 | 35,3 | 0,98 | 16,1 | 1,11 | 5   | 1,09 | 3248 | 0,51 | 4,9  | 1,2  | 1    | 0,54 | 3,35 | 6,2  | 48  | 4,5  | 45 | 12 | 0 |
| 67 | 35,1 | 0,96 | 17   | 1    | 6   | 1,08 | 3318 | 0,6  | 5,2  | 1,2  | 1,3  | 0,54 | 3,35 | 5,4  | 84  | 4,32 | 60 | 12 | 0 |
| 68 | 29,5 | 1    | 16,5 | 1    | 7,5 | 1,02 | 3766 | 0,56 | 4,9  | 1,24 | 1,1  | 0,56 | 3,23 | 5,7  | 12  | 5,63 | 35 | 12 | 0 |
| 69 | 32,6 | 0,98 | 16,8 | 1    | 5   | 1,09 | 3686 | 0,49 | 5,2  | 1,24 | 1,1  | 0,56 | 3,53 | 5,5  | 9   | 4,57 | 62 | 12 | 0 |
| 70 | 33,2 | 0,98 | 16,5 | 1,12 | 6   | 1,08 | 3682 | 0,56 | 4,8  | 1,3  | 1,1  | 0,59 | 3,1  | 6,3  | 24  | 5,04 | 32 | 12 | 0 |
| 71 | 31,7 | 0,98 | 17   | 1    | 7,5 | 1,03 | 3774 | 0,5  | 4,9  | 1,2  | 1,3  | 0,54 | 3,05 | 6,28 | 24  | 4,24 | 74 | 12 | 0 |
| 72 | 29,6 | 1    | 16,1 | 1    | 7,5 | 1,02 | 3648 | 0,61 | 4,9  | 1,2  | 1,29 | 0,55 | 3,06 | 6    | 1   | 4,6  | 66 | 12 | 0 |
| 73 | 29,8 | 0,99 | 16,3 | 1    | 6   | 1,09 | 3552 | 0,6  | 5,1  | 1,2  | 1,3  | 0,5  | 3,25 | 5,9  | 6   | 5    | 57 | 12 | 0 |
| 74 | 34,6 | 1,03 | 16,7 | 1    | 5,5 | 1,03 | 3330 | 0,6  | 5,2  | 1,4  | 1,4  | 0,63 | 3,16 | 6,1  | 10  | 5,1  | 50 | 12 | 0 |
| 75 | 32,4 | 0,99 | 16,8 | 1    | 7,5 | 1,04 | 3780 | 0,5  | 5    | 1,2  | 1,4  | 0,2  | 3,05 | 6,5  | 60  | 6,3  | 58 | 12 | 0 |
| 76 | 34,7 | 1,01 | 16,4 | 1    | 7,5 | 1,01 | 3720 | 0,52 | 5,15 | 1,3  | 1,4  | 0,59 | 3,15 | 6,1  | 48  | 5,5  | 46 | 12 | 0 |
| 77 | 31,1 | 1    | 16,2 | 1    | 7,5 | 1,05 | 3680 | 0,54 | 5,25 | 1,4  | 1,4  | 0,63 | 3,21 | 5,9  | 60  | 4,41 | 66 | 12 | 0 |
| 78 | 33,1 | 0,98 | 16,7 | 1,12 | 5,5 | 1,09 | 3316 | 0,58 | 5    | 1,4  | 1,37 | 0,63 | 3    | 5,8  | 10  | 5,57 | 30 | 12 | 0 |
| 79 | 29,8 | 0,95 | 16,2 | 1,1  | 6,5 | 1,08 | 3260 | 0,54 | 4,9  | 1,3  | 1,4  | 0,59 | 2,9  | 6    | 36  | 5    | 70 | 12 | 0 |
| 80 | 32,2 | 1    | 16,4 | 1,1  | 6   | 1,04 | 3320 | 0,59 | 4,9  | 1,2  | 1,3  | 0,59 | 3,05 | 5,5  | 24  | 5,3  | 52 | 12 | 0 |
| 81 | 31,9 | 1    | 16,1 | 1    | 8   | 1,03 | 4108 | 0,7  | 4,6  | 1,4  | 1,1  | 0,63 | 2,87 | 7    | 36  | 7,7  | 62 | 10 | 1 |
| 82 | 33,2 | 0,91 | 16,4 | 1,22 | 6   | 1    | 4022 | 0,52 | 4,6  | 1,5  | 0,9  | 0,68 | 3,02 | 5,57 | 48  | 5,4  | 52 | 12 | 0 |
| 83 | 29,4 | 0,95 | 17,5 | 1,22 | 6,5 | 1,02 | 3968 | 0,66 | 4,5  | 1,5  | 1,2  | 0,68 | 2,55 | 6,92 | 62  | 6,6  | 58 | 12 | 0 |
| 84 | 33,1 | 0,94 | 16,6 | 1,22 | 7,5 | 0,91 | 3886 | 0,6  | 5    | 1,6  | 1,15 | 0,72 | 3,13 | 5,8  | 12  | 4,71 | 48 | 12 | 0 |
| 85 | 29,8 | 0,96 | 16,1 | 1    | 7   | 0,97 | 3996 | 0,74 | 4,8  | 1,35 | 1    | 0,61 | 3,19 | 6,9  | 62  | 5,9  | 56 | 10 | 1 |
| 86 | 29,7 | 0,95 | 17,2 | 1,1  | 7,5 | 1    | 3630 | 0,43 | 4,7  | 1,4  | 0,9  | 0,63 | 3,17 | 6,2  | 48  | 6,4  | 45 | 12 | 0 |
| 87 | 31,6 | 1    | 17,2 | 1    | 7,5 | 0,93 | 3708 | 0,6  | 4,8  | 1,6  | 1,2  | 0,72 | 2,88 | 6,4  | 108 | 5,36 | 46 | 12 | 0 |

|     |      |      |      |      |     |      |      |      |      |     |      |      |      |      |    |      |    |    |   |
|-----|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|----|------|----|----|---|
| 88  | 32,5 | 0,92 | 16,4 | 1    | 8   | 0,95 | 3918 | 0,57 | 4,9  | 1,3 | 1    | 0,59 | 3,31 | 6,15 | 12 | 5,39 | 65 | 12 | 0 |
| 89  | 30,5 | 0,95 | 17,3 | 1,22 | 6,5 | 0,98 | 3708 | 0,64 | 4,6  | 1,3 | 1,2  | 0,59 | 2,81 | 6,7  | 36 | 8,12 | 63 | 10 | 1 |
| 90  | 32,6 | 0,97 | 17   | 1,1  | 6,5 | 1,02 | 3886 | 0,57 | 5    | 1,6 | 1,15 | 0,72 | 3,13 | 5,8  | 1  | 5,14 | 57 | 12 | 0 |
| 91  | 29,4 | 0,98 | 17,2 | 1,1  | 6,5 | 1,02 | 3698 | 0,57 | 4,9  | 1,3 | 0,9  | 0,59 | 3,41 | 6    | 96 | 6,5  | 44 | 11 | 1 |
| 92  | 31,8 | 1,02 | 17,1 | 1,33 | 7   | 0,98 | 3974 | 0,55 | 5    | 1,4 | 1,2  | 0,63 | 3,17 | 6,3  | 48 | 6,1  | 60 | 12 | 0 |
| 93  | 31,1 | 0,99 | 17,5 | 1,11 | 8   | 0,92 | 3996 | 0,66 | 4,7  | 1,2 | 1    | 0,54 | 3,16 | 5,9  | 12 | 6,42 | 69 | 12 | 0 |
| 94  | 33,5 | 0,96 | 17,3 | 1,33 | 7,5 | 1,01 | 4100 | 0,55 | 4,65 | 1,3 | 1    | 0,59 | 3,06 | 7    | 48 | 4,2  | 56 | 12 | 0 |
| 95  | 31,1 | 1,02 | 17   | 0,9  | 6   | 1    | 3952 | 0,61 | 5    | 1,5 | 1,1  | 0,68 | 3,22 | 6,8  | 24 | 6,6  | 75 | 11 | 1 |
| 96  | 29,7 | 0,99 | 16,9 | 1,1  | 7   | 1,02 | 4044 | 0,8  | 4,65 | 1,5 | 1    | 0,68 | 2,97 | 6,2  | 96 | 5,97 | 49 | 12 | 0 |
| 97  | 32,2 | 1,03 | 16,4 | 1    | 6,5 | 0,96 | 3930 | 0,68 | 5    | 1,4 | 1,2  | 0,63 | 3,17 | 6,4  | 6  | 4,89 | 71 | 12 | 0 |
| 98  | 30,4 | 0,9  | 17   | 1,12 | 6,5 | 0,99 | 3852 | 0,56 | 4,9  | 1,6 | 1,15 | 0,72 | 3,03 | 5,6  | 6  | 6,8  | 70 | 12 | 0 |
| 99  | 30,2 | 1    | 17,3 | 1    | 7   | 1    | 4062 | 0,64 | 4,6  | 1,3 | 1    | 0,59 | 3,01 | 6,3  | 36 | 7    | 70 | 11 | 1 |
| 100 | 30,1 | 0,93 | 17,4 | 1,37 | 7,5 | 1,02 | 3842 | 0,5  | 4,8  | 1,4 | 1,1  | 0,63 | 3,07 | 6,9  | 86 | 4,5  | 47 | 12 | 0 |
| 101 | 29,4 | 0,96 | 17,4 | 1,24 | 6,5 | 0,94 | 4010 | 0,72 | 4,8  | 1,3 | 1,2  | 0,59 | 3,01 | 6,82 | 4  | 7    | 47 | 10 | 1 |
| 102 | 30   | 0,99 | 16,8 | 1,37 | 8   | 0,96 | 3996 | 0,59 | 4,8  | 1,5 | 0,9  | 0,68 | 3,22 | 6,6  | 6  | 4,5  | 60 | 12 | 0 |
| 103 | 31   | 0,95 | 16,9 | 1,37 | 6,5 | 0,94 | 3664 | 0,6  | 4,7  | 1,3 | 0,9  | 0,59 | 3,21 | 6,4  | 48 | 5,8  | 33 | 12 | 0 |
| 104 | 29,9 | 0,98 | 16,5 | 1,5  | 7   | 0,96 | 3916 | 0,74 | 5    | 1,4 | 1,25 | 0,63 | 3,12 | 5,7  | 36 | 7,1  | 69 | 12 | 1 |
| 105 | 31,4 | 0,99 | 17,4 | 1    | 8   | 1,02 | 3774 | 0,8  | 4,9  | 1,6 | 1,3  | 0,72 | 2,88 | 5,5  | 8  | 5,16 | 33 | 12 | 0 |
| 106 | 31,2 | 0,92 | 16,8 | 1,02 | 7,5 | 1    | 3664 | 0,75 | 4,6  | 1,3 | 1,1  | 0,59 | 2,91 | 5,6  | 72 | 6,7  | 63 | 7  | 1 |
| 107 | 33,2 | 1    | 16,8 | 1    | 6,5 | 0,95 | 4068 | 0,69 | 5    | 1,4 | 1,3  | 0,63 | 3,07 | 6,2  | 36 | 6,61 | 48 | 8  | 1 |
| 108 | 30,1 | 0,97 | 16,7 | 1    | 6,5 | 0,98 | 3830 | 0,7  | 5    | 1,6 | 1,3  | 0,72 | 2,98 | 6,6  | 36 | 4,9  | 55 | 7  | 1 |
| 109 | 30,3 | 1    | 16,3 | 1    | 6   | 0,92 | 3048 | 0,62 | 4,8  | 1,3 | 0,9  | 0,59 | 3,31 | 6,5  | 72 | 5,16 | 45 | 12 | 0 |
| 110 | 30,5 | 0,98 | 17,2 | 1    | 6,5 | 1,02 | 3680 | 0,68 | 4,6  | 1,4 | 0,9  | 0,63 | 3,07 | 6,3  | 36 | 7,2  | 32 | 9  | 1 |

## Продовження додатку Ж

## Дані для тестування нейронної мережі

| №  | АЧТВ | ПІ   | ТВ    | МНО  | РФМК | АТ-3 | ФІБР | Д-<br>Дим | ХОЛ | ТГ  | ЛПВП | ОНП  | НП   | С-РБ | Трив.<br>МА | ЛП   | ФВ | Час<br>до<br>мі.мі | к |
|----|------|------|-------|------|------|------|------|-----------|-----|-----|------|------|------|------|-------------|------|----|--------------------|---|
| 1  | 30,1 | 0,94 | 16,2  | 1,03 | 6,5  | 0,95 | 3596 | 0,6       | 4,7 | 1   | 1,1  | 0,45 | 3,15 | 6,6  | 7           | 4,59 | 62 | 12                 | 0 |
| 2  | 34,1 | 0,71 | 17,2  | 1,5  | 5,5  | 1,02 | 4884 | 0,38      | 4,9 | 1,2 | 1,2  | 0,54 | 3,16 | 5,92 | 6           | 4,75 | 52 | 12                 | 0 |
| 3  | 33,1 | 0,83 | 16,6  | 1,22 | 6,5  | 1,03 | 3264 | 0,43      | 5,2 | 1,3 | 1,2  | 0,59 | 3,41 | 6,5  | 48          | 4,5  | 55 | 12                 | 0 |
| 4  | 28,1 | 1    | 15,8  | 1    | 6,5  | 1,08 | 3886 | 0,46      | 4,5 | 1,1 | 1,1  | 0,5  | 2,9  | 5,82 | 30          | 5,1  | 48 | 12                 | 0 |
| 5  | 36,2 | 0,67 | 18,3  | 1,56 | 6,5  | 0,9  | 3224 | 0,39      | 4,9 | 1,8 | 1,1  | 0,81 | 3    | 5,4  | 36          | 5,2  | 56 | 12                 | 0 |
| 6  | 30,2 | 1,02 | 14    | 1    | 9    | 0,8  | 4884 | 1,2       | 4,6 | 1,3 | 1,1  | 0,59 | 2,9  | 7,3  | 12          | 6,9  | 40 | 3                  | 1 |
| 7  | 28,7 | 1    | 14,14 | 1    | 8    | 1,08 | 4884 | 0,78      | 4,7 | 1,6 | 1,2  | 0,72 | 2,78 | 6,9  | 36          | 7,1  | 50 | 6                  | 1 |
| 8  | 24,9 | 1,07 | 14,1  | 0,9  | 6    | 1,01 | 3908 | 0,6       | 4,7 | 1,5 | 1    | 0,68 | 3    | 6,9  | 10          | 6,4  | 45 | 8                  | 1 |
| 9  | 34,3 | 0,76 | 18,2  | 1,37 | 5,5  | 1,06 | 3264 | 0,52      | 4,5 | 0,8 | 1    | 0,36 | 3,14 | 5,7  | 84          | 5,68 | 60 | 12                 | 0 |
| 10 | 30,8 | 0,83 | 15    | 1,24 | 7    | 1,02 | 3710 | 0,47      | 4,8 | 1   | 1,1  | 0,45 | 3,25 | 5,4  | 120         | 5,2  | 81 | 12                 | 0 |



## Додаток 3.

## Проміжні розрахунки для критерію небезпеки відхилення

| P <sub>1.1</sub> | n1    | n2    | n3    | n4    | n5    | n6    | n7    | n8    | Сумма | Ср.ар.  | Dx1     | Dx2     | Dx3     | Dx4     | Dx5        | Dx6     | Dx7     | Dx8     | Сумма D <sub>i</sub> | Сумма D <sub>x/n</sub> | Коваріація | Кореляція |           |             |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|----------------------|------------------------|------------|-----------|-----------|-------------|
| Оператор 1       | 68    | 70    | 56    | 78    | 70    | 56    | 67    | 60    | 525   | 65,625  | 5,64063 | 19,1406 | 92,6406 | 153,141 | 19,140625  | 92,6406 | 1,89063 | 31,6406 | 415,875              | 51,984375              | -11,875    | -3,125    | -1,5625   | -0,13157895 |
| Оператор 2       | 70    | 67    | 56    | 68    | 85    | 79    | 80    | 67    | 572   | 71,5    | 2,25    | 20,25   | 240,25  | 12,25   | 182,25     | 56,25   | 72,25   | 20,25   | 606                  | 75,75                  | -1,875     | -4,5313   | -2,265625 | -0,23569    |
| Оператор 3       | 69    | 66    | 70    | 68    | 72    | 75    | 73    | 70    | 563   | 70,375  | 1,89063 | 19,1406 | 0,14063 | 5,64063 | 2,640625   | 21,3906 | 6,89063 | 0,14063 | 57,875               | 7,234375               | 9,45313    | -16,328   | -2,041016 | -0,21590909 |
| Оператор 4       | 68    | 63    | 65    | 70    | 72    | 74    | 70    | 66    | 548   | 68,5    | 0,25    | 30,25   | 12,25   | 2,25    | 12,25      | 30,25   | 2,25    | 96      | 12                   | -3,4375                | -15,469    | -1,933594 | -0,5625   |             |
| Оператор 5       | 67    | 65    | 68    | 71    | 72    | 70    | 71    | 70    | 554   | 69,25   | 5,0625  | 18,0625 | 1,5625  | 3,0625  | 7,5625     | 0,5625  | 3,0625  | 0,5625  | 39,5                 | 4,9375                 | 5,625      | 11,875    | 1,484375  | 0,26388889  |
| P <sub>1.2</sub> | n1    | n2    | n3    | n4    | n5    | n6    | n7    | n8    | Сумма | Ср.ар.  | Dx1     | Dx2     | Dx3     | Dx4     | Dx5        | Dx6     | Dx7     | Dx8     | Сумма D <sub>i</sub> | Сумма D <sub>x/n</sub> | Коваріація | Кореляція |           |             |
| Оператор 1       | 120   | 130   | 125   | 125   | 130   | 120   | 120   | 130   | 1000  | 125     | 25      | 25      | 0       | 0       | 25         | 25      | 25      | 25      | 150                  | 18,75                  | 8,75       | 8,3125    | 4,15625   | 0,475       |
| Оператор 2       | 130   | 135   | 120   | 125   | 130   | 125   | 135   | 130   | 1030  | 128,75  | 1,5625  | 39,0625 | 76,5625 | 14,0625 | 1,5625     | 14,0625 | 39,0625 | 1,5625  | 187,5                | 23,4375                | -2,6563    | -1,8594   | -0,929688 | -0,35       |
| Оператор 3       | 115   | 125   | 120   | 125   | 130   | 115   | 125   | 120   | 975   | 121,875 | 47,2656 | 9,76563 | 3,51563 | 9,76563 | 66,015625  | 47,2656 | 9,76563 | 3,51563 | 196,875              | 24,609375              | -25,781    | -25,313   | -12,65625 | -0,49090909 |
| Оператор 4       | 130   | 130   | 120   | 125   | 120   | 120   | 120   | 120   | 985   | 123,125 | 47,2656 | 47,2656 | 9,76563 | 3,51563 | 9,765625   | 9,76563 | 9,76563 | 9,76563 | 146,875              | 18,359375              | -12,031    | -12,688   | -6,34375  | -0,52727273 |
| Оператор 5       | 120   | 120   | 120   | 125   | 130   | 120   | 120   | 125   | 980   | 122,5   | 6,25    | 6,25    | 6,25    | 6,25    | 56,25      | 6,25    | 6,25    | 6,25    | 100                  | 12,5                   | 6,25       | 6,5625    | 3,28125   | 0,525       |
| P <sub>1.3</sub> | n1    | n2    | n3    | n4    | n5    | n6    | n7    | n8    | Сумма | Ср.ар.  | Dx1     | Dx2     | Dx3     | Dx4     | Dx5        | Dx6     | Dx7     | Dx8     | Сумма D <sub>i</sub> | Сумма D <sub>x/n</sub> | Коваріація | Кореляція |           |             |
| Оператор 1       | 80    | 85    | 79    | 80    | 79    | 82    | 84    | 85    | 654   | 81,75   | 3,0625  | 10,5625 | 7,5625  | 3,0625  | 7,5625     | 0,0625  | 5,0625  | 10,5625 | 47,5                 | 5,9375                 | -0,4375    | -0,4388   | -0,219375 | -0,50142857 |
| Оператор 2       | 80    | 80    | 85    | 80    | 80    | 80    | 85    | 87    | 657   | 82,125  | 4,51563 | 4,51563 | 8,26563 | 4,51563 | 4,515625   | 4,51563 | 8,26563 | 23,7656 | 62,875               | 7,859375               | 0,79688    | 0,79805   | 0,3990234 | 0,50073529  |
| Оператор 3       | 85    | 80    | 85    | 80    | 80    | 80    | 80    | 80    | 650   | 81,25   | 14,0625 | 1,5625  | 14,0625 | 1,5625  | 1,5625     | 1,5625  | 1,5625  | 1,5625  | 37,5                 | 4,6875                 | 0,46875    | 0,46867   | 0,2343359 | 0,49991667  |
| Оператор 4       | 80    | 80    | 80    | 82    | 85    | 80    | 85    | 82    | 654   | 81,75   | 3,0625  | 3,0625  | 3,0625  | 0,0625  | 10,5625    | 3,0625  | 10,5625 | 0,0625  | 33,5                 | 4,1875                 | -0,6563    | -0,6557   | -0,327867 | -0,49960714 |
| Оператор 5       | 80    | 80    | 85    | 90    | 85    | 80    | 80    | 80    | 660   | 82,5    | 6,25    | 6,25    | 6,25    | 56,25   | 6,25       | 6,25    | 6,25    | 100     | 12,5                 | 0,3125                 | 0,31098    | 0,1554922 | 0,497575  |             |
| P <sub>2.1</sub> | n1    | n2    | n3    | n4    | n5    | n6    | n7    | n8    | Сумма | Ср.ар.  | Dx1     | Dx2     | Dx3     | Dx4     | Dx5        | Dx6     | Dx7     | Dx8     | Сумма D <sub>i</sub> | Сумма D <sub>x/n</sub> | Коваріація | Кореляція |           |             |
| Оператор 1       | 61    | 62    | 60    | 61    | 60    | 60    | 62    | 60    | 486   | 60,75   | 0,0625  | 1,5625  | 0,5625  | 0,0625  | 0,5625     | 0,5625  | 1,5625  | 0,5625  | 5,5                  | 0,6875                 | -0,0013    | -0,0011   | -0,000563 | -0,45       |
| Оператор 2       | 59    | 60    | 58    | 60    | 61    | 58    | 59    | 60    | 475   | 59,375  | 0,14063 | 0,39063 | 1,89063 | 0,39063 | 2,640625   | 1,89063 | 0,14063 | 0,39063 | 7,875                | 0,984375               | 0,00117    | 0,00125   | 0,000625  | 0,53333333  |
| Оператор 3       | 60    | 62    | 59    | 60    | 59    | 60    | 59    | 60    | 479   | 59,875  | 0,01563 | 4,51563 | 0,76563 | 0,01563 | 0,765625   | 0,01563 | 0,76563 | 0,01563 | 6,875                | 0,859375               | -8E-05     | -5E-05    | -2,34E-05 | -0,3        |
| Оператор 4       | 57    | 56    | 57    | 57    | 57    | 56    | 57    | 56    | 453   | 56,625  | 0,14063 | 0,39063 | 0,14063 | 0,14063 | 0,140625   | 0,39063 | 0,14063 | 0,39063 | 1,875                | 0,234375               | 0,00052    | 0,00038   | 0,0001891 | 0,36666667  |
| Оператор 5       | 48    | 48    | 49    | 48    | 48    | 48    | 48    | 48    | 385   | 48,125  | 0,01563 | 0,01563 | 0,76563 | 0,01563 | 0,015625   | 0,01563 | 0,01563 | 0,01563 | 0,875                | 0,109375               | -0,0015    | -0,0032   | -0,001591 | -1,05       |
| P <sub>2.2</sub> | n1    | n2    | n3    | n4    | n5    | n6    | n7    | n8    | Сумма | Ср.ар.  | Dx1     | Dx2     | Dx3     | Dx4     | Dx5        | Dx6     | Dx7     | Dx8     | Сумма D <sub>i</sub> | Сумма D <sub>x/n</sub> | Коваріація | Кореляція |           |             |
| Оператор 1       | 0,411 | 0,415 | 0,412 | 0,415 | 0,423 | 0,425 | 0,415 | 0,412 | 3,328 | 0,416   | 2,5E-05 | 1E-06   | 1,6E-05 | 1E-06   | 4,9E-05    | 8,1E-05 | 1E-06   | 1,6E-05 | 0,00019              | 0,00002375             | 0,00013    | 0,00263   | 0,0013125 | 10,5        |
| Оператор 2       | 0,525 | 0,531 | 0,535 | 0,525 | 0,527 | 0,525 | 0,526 | 0,531 | 4,225 | 0,52813 | 9,8E-06 | 8,3E-06 | 4,7E-05 | 9,8E-06 | 1,2656E-06 | 9,8E-06 | 4,5E-06 | 8,3E-06 | 9,9E-05              | 1,23594E-05            | 7,8E-05    | -0,0005   | -0,000273 | -3,5        |
| Оператор 3       | 0,581 | 0,579 | 0,58  | 0,581 | 0,582 | 0,583 | 0,584 | 0,583 | 4,653 | 0,58163 | 3,9E-07 | 6,9E-06 | 2,6E-06 | 3,9E-07 | 1,4063E-07 | 1,9E-06 | 5,6E-06 | 1,9E-06 | 2E-05                | 2,48438E-06            | 3,1E-05    | -0,0012   | -0,000609 | -19,5       |
| Оператор 4       | 0,479 | 0,475 | 0,473 | 0,481 | 0,483 | 0,479 | 0,475 | 0,476 | 3,821 | 0,47763 | 1,9E-06 | 6,9E-06 | 2,1E-05 | 1,1E-05 | 2,8891E-05 | 1,9E-06 | 6,9E-06 | 2,6E-06 | 8,2E-05              | 1,02344E-05            | -0,0001    | 0,00236   | 0,0011813 | 8,59090909  |
| Оператор 5       | 0,605 | 0,607 | 0,606 | 0,604 | 0,603 | 0,601 | 0,559 | 0,558 | 4,743 | 0,59288 | 0,00015 | 0,0002  | 0,00017 | 0,00012 | 0,00010252 | 6,6E-05 | 0,00115 | 0,00122 | 0,00317              | 0,000396859            | -0,0017    | 0,00177   | 0,0008852 | 0,53092784  |
| P <sub>2.3</sub> | n1    | n2    | n3    | n4    | n5    | n6    | n7    | n8    | Сумма | Ср.ар.  | Dx1     | Dx2     | Dx3     | Dx4     | Dx5        | Dx6     | Dx7     | Dx8     | Сумма D <sub>i</sub> | Сумма D <sub>x/n</sub> | Коваріація | Кореляція |           |             |
| Оператор 1       | 1,2   | 1,3   | 1,2   | 1,2   | 1,2   | 1,2   | 1,2   | 1,3   | 9,8   | 1,225   | 0,00062 | 0,00563 | 0,00062 | 0,00062 | 0,000625   | 0,00062 | 0,00062 | 0,00563 | 0,015                | 0,001875               | 0,0025     | 0,04      | 0,02      | 8           |
| Оператор 2       | 1,4   | 1,5   | 1,4   | 1,4   | 1,4   | 1,4   | 1,5   | 1,4   | 11,4  | 1,425   | 0,00063 | 0,00562 | 0,00063 | 0,00063 | 0,000625   | 0,00063 | 0,00562 | 0,00063 | 0,015                | 0,001875               | -0,0006    | -0,0256   | -0,012813 | -20,5       |
| Оператор 3       | 2,2   | 2,3   | 2,2   | 2,2   | 2,3   | 2,2   | 2,3   | 2,3   | 18    | 2,25    | 0,0025  | 0,0025  | 0,0025  | 0,0025  | 0,0025     | 0,0025  | 0,0025  | 0,0025  | 0,02                 | 0,0025                 | -0,0012    | -0,0075   | -0,00375  | -3          |
| Оператор 4       | 2,4   | 2,5   | 2,6   | 2,5   | 2,5   | 2,5   | 2,6   | 2,4   | 20    | 2,5     | 0,01    | 0       | 0,01    | 0       | 0          | 0       | 0,01    | 0,01    | 0,04                 | 0,005                  | 0,0025     | 0,0025    | 0,00125   | 0,5         |
| Оператор 5       | 1,7   | 1,7   | 1,8   | 1,9   | 1,9   | 2     | 1,8   | 1,9   | 14,7  | 1,8375  | 0,01891 | 0,01891 | 0,00141 | 0,00391 | 0,00390625 | 0,02641 | 0,00141 | 0,00391 | 0,07875              | 0,00984375             | 0,00344    | 0,00656   | 0,0032812 | 0,95454545  |



## Додаток І.

## Комерційна складова безпеки польотів

Безпека та прибуток не є взаємовиключними поняттями. Насправді організації, підтримують високий рівень якості, усвідомлюють, що усунення небезпечних умов є капіталовкладеннями у довгострокову рентабельність. Втрати коштують дорого. Як показано на рис. К1 у міру збільшення витрат на заходи щодо зменшення ризику дорогі втрати знижуються. Однак при витрачанні все більших коштів на зменшення ризику вигоди від зниження збитків можуть бути не пропорційними відповідним витратам. Компанії повинні збалансувати величину збитків та витрати на заходи щодо зменшення ризику. Іншими словами, суто з погляду доходів та збитків певний рівень збитків може бути прийнятним. Проте небагато організацій здатні пережити економічні наслідки великої авіаційної події. Тому існують серйозні економічні аргументи на користь створення ефективної системи управління безпекою польотів контролю чинників ризику.

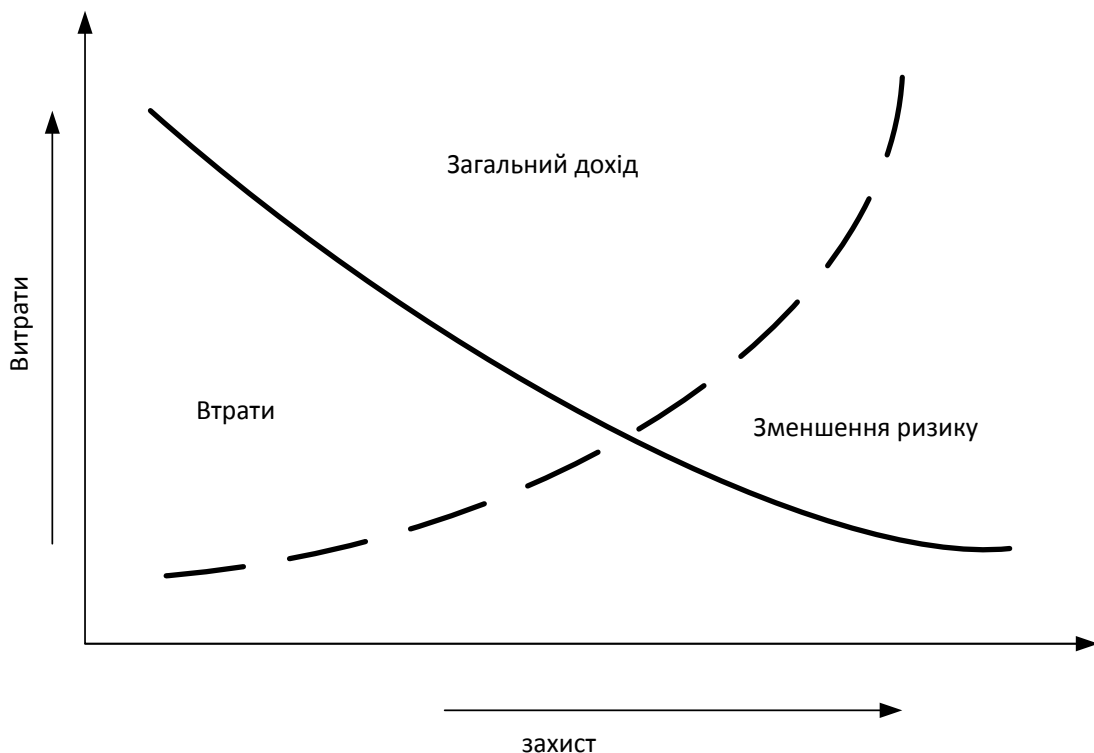


Рисунок І1 – Залежність функції витрати від функції щодо заходів безпеки

Для підвищення рівня безпеки в умовах сучасних викликів необхідний системний і комплексний підхід до управління ризиками для безпеки польотів. Системне управління безпекою польотів базується на ризику та передбачуваності, що поєднує елементи управління якістю та управління ризиками в інтегровану систему, і допомагає авіаційним операторам: визначати загрози та пов'язані з ними ризики, які впливають на всю організацію; контролювати, контролювати, звітувати та переглядати такі ризики; забезпечувати якість продукції та послуг, дотримуючись стандартів; постійно вдосконалювати продукти та послуги.

Встановлення причин авіаційних подій допомагає зрозуміти механізм взаємодії організаційно-управлінських (тобто системних) факторів, що призводять до події. В авіаційній системі на всіх рівнях цієї системи (тобто на робочих місцях безпосередніх виконавців і лише на рівні адміністраторів) закладені різні засоби захисту від некоректних дій або помилкових рішень. Ця модель показує, що хоча організаційні фактори, включаючи управлінські рішення, можуть створювати приховані умови, здатні призвести до події, вони одночасно зміцнюють захист системи [57].

Навіть у найбільш ефективно керованих організаціях більшість прихованих небезпечних умов створюються особами, які приймають рішення. Суб'єктивність і обмеження характерні для цих людей, і на них також впливають дуже реальні обмеження, накладені часом, бюджетом, політикою тощо. Оскільки деякій кількості таких небезпечних рішень неможливо запобігти, необхідно вжити заходів для виявлення та пом'якшення їх несприятливі наслідки [57].

Безпека польоту - це стан, при якому ризик заподіяння шкоди чи пошкодження знижений до прийняттого рівня. Джерела загроз, що становлять ризик, стають очевидними після випадків явного збою в забезпеченні безпеки.

Аналіз процесу управління ризиком безпеки польотів складається з наступних етапів:

1. Ідентифікація джерел небезпеки.

Постачальник послуг повинен розробити та запровадити процес визначення джерел небезпеки, пов'язаної з його авіаційними продуктами чи послугами. Ідентифікація джерел небезпеки повинна базуватися на поєднанні реактивних і проактивних методів.

## 2. Оцінка та зменшення ризиків

Постачальник послуг повинен розробити та підтримувати процес для забезпечення аналізу, оцінки [та контролю] ризиків для безпеки польотів, пов'язаних із ідентифікованими небезпеками. Для забезпечення цієї процедури даний етап, у свою чергу, поділяється на такі складові: процес ідентифікації джерел небезпеки, їх аналізу та ідентифікації (позначений А 2 1 1 на рис. 1.8); процес звітності у сфері безпеки польотів (А 2 1 2) та зберігання обов'язкових і добровільних повідомлень у базі даних (А 2 1 3) [57].

Ефективність перерахованих етапів полягає в ідентифікації небезпек, пов'язаних з людським та організаційним факторами (рис.1.8 розділу 1). Оскільки вони входять до загального списку небезпек, які необхідно враховувати, а саме:

- можливі сценарії розвитку авіаційних подій,
- людські та організаційні фактори,
- корпоративні рішення та бізнес-процеси,
- сторонніми організаціями.

Як зазначено в розділі 1 (рис. 1.8) декомпозиція процесу оцінки та зменшення ризику в методології оцінювання системи управління безпекою польотів надає змогу визначити, що хоча організаційні фактори, включаючи управлінські рішення, можуть створити приховані умови, які можуть призвести до аварії причому функціональний стан особи, що приймає рішення може бути вирішальним. Управління прибутковою і в той же час безпечною авіакомпанією або організацією обслуговування вимагає постійного балансу між необхідністю досягнення виробничих цілей (таких як своєчасні вильоти) і одночасним вирішенням питань безпеки польотів. Виробниче середовище в

авіації насичене потенційно небезпечними умовами, які неможливо повністю усунути; однак польоти мають тривати.

Деякі організації ставлять собі за мету досягти нульового рівня інцидентів і заявляють, що безпека є їхнім головним пріоритетом. Реальність така, що операторам (та іншим організаціям комерційної авіації) потрібно отримувати прибуток, щоб вижити. Прямими показниками успішності підприємства в досягненні виробничих цілей є прибуток або збиток. Проте будь-яка компанія згодом усвідомлює, що безпека є необхідною умовою сталого функціонування авіакомпанії. Компанії можуть усвідомити, що у них є проблеми з безпекою після великої авіаційної аварії або великої втрати, частково тому, що це впливає на їхній баланс прибутків і збитків. Сучасний підхід доводить, що безпека і прибуток не є взаємовиключними поняттями. На практиці організації, які підтримують високий рівень якості, розуміють, що витрати на усунення небезпечних умов є капітальними вкладеннями в довгострокову прибутковість. Витрати на забезпечення безпеки польотів важко підрахувати. Однак ряд операторів намагалися виміряти витрати та переваги впровадження системи управління безпекою польотів. Дійшли висновку, що економія є значною. Аналіз витрат і вигод є складним завданням, але його слід виконувати, оскільки вище керівництво не бажає витратити гроші, якщо немає вимірної вигоди. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є відокремлення витрат на СУБ від витрат, пов'язаних з усуненням недоліків у забезпеченні безпеки польотів, шляхом покладання витрат на управління безпекою на відділ безпеки польотів, а також витрат на усунення недоліків. до лінійного керівництва, найбільшою мірою відповідального за цей сектор. Такий підхід передбачає залучення вищого керівництва до розгляду витрат і вигод, пов'язаних із системою управління безпекою (СУБП).

Втрати дорого коштують. Як показано на рис. 2, у міру зростання витрат на заходи зі зниження ризику зменшуються дорогі втрати. Однак, витрачаючи все більше і більше грошей на зниження ризику, вигоди від зменшення витрат можуть бути непропорційними до відповідних витрат.

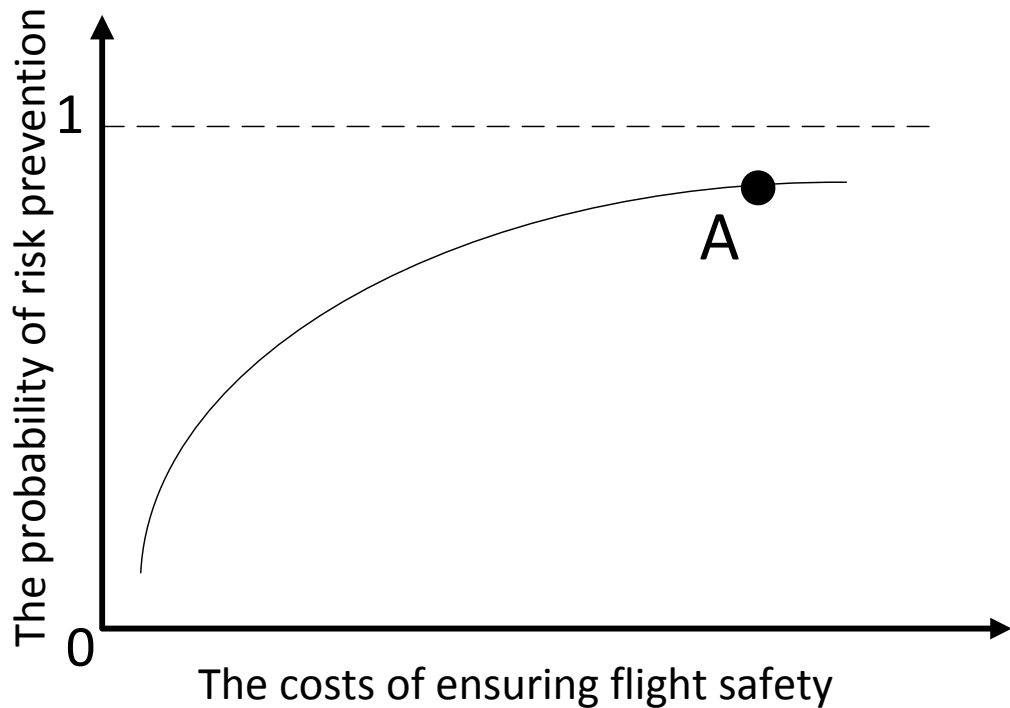


Рисунок І2 – Залежність функції ймовірності настання ризикової події від витрат на забезпечення заходів безпеки

Компанії повинні збалансувати суму збитків і витрати на заходи зі зниження ризиків. Іншими словами, суто з точки зору доходів і збитків точка А є оптимальною, і певний рівень збитків може бути прийнятним. Однак небагато організацій здатні пережити економічні наслідки великої авіаційної катастрофи. Тому для створення ефективної СУБП контролю факторів ризику необхідні серйозні економічні причини. Для прогнозування рівня доходу підприємства для можливості вибору стратегій СУБП необхідно провести ретроспективний аналіз даних і побудувати адекватну математичну модель для можливості планування, розрахованого на створення ефективної СУБ. У роботі проаналізовано дохід і прибуток однієї з українських компаній, що надає послуги з авіаперевезень. Подібні дані можна знайти за посиланням [57].

Розглянемо приклад часового ряду щодо залежності прибутку авіакомпанії від отриманої виручки з урахуванням витрат на авіаційну безпеку. Відповідні дані наведено в табл. К1.

Таблиця ІІ – Вхідні данні для розробки моделі прогнозування прибутків авіакомпанії для планування відстою витрат на авіаційну безпеку

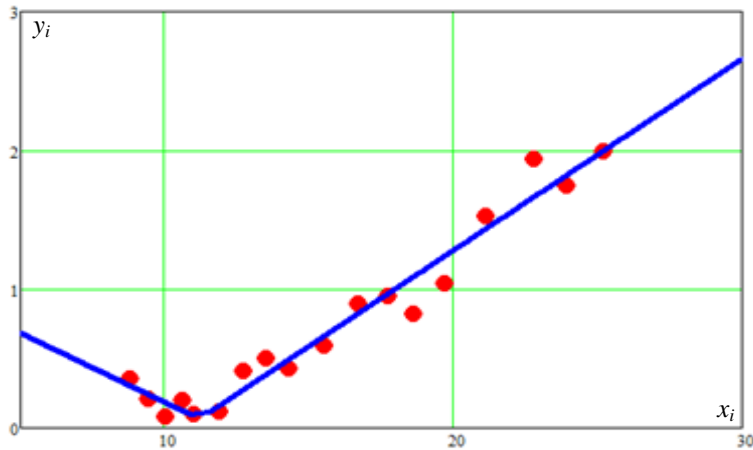
| Дохід, x | Прибуток, y |
|----------|-------------|
| 9.4      | 0.21        |
| 10       | 0.08        |
| 10.6     | 0.2         |
| 11       | 0.1         |
| 11.9     | 0.12        |
| 12.7     | 0.41        |
| 13.5     | 0.5         |
| 14.3     | 0.43        |
| 15.5     | 0.59        |
| 16.7     | 0.9         |
| 17.7     | 0.95        |
| 18.6     | 0.82        |
| 19.7     | 1.04        |
| 21.1     | 1.53        |
| 22.8     | 1.94        |
| 23.9     | 1.75        |
| 25.2     | 1.99        |

Авторами [57] на основі трисегментної регресії була побудована модель (рівняння) (ІІ) на основі якої можна здійснити прогнозування прибутків авіакомпанії для визначення відсотку, який можливо витратити на впровадження заходів безпеки для зниження ймовірності виникнення небезпечної події за фактором ризику порушення функціонального стану персоналу, зокрема. Модель була розроблена за даними таблиці ІІ.

$$y(x) = 1.137 - 0.095x + 0.134(x - 10.901)_+ + 0.098(x - 11.543)_+ \quad (I.1)$$



Ця модель в [57] є математичною моделю з урахуванням гетероскедастичності. Результат апроксимації наведено на рис. ІЗ.

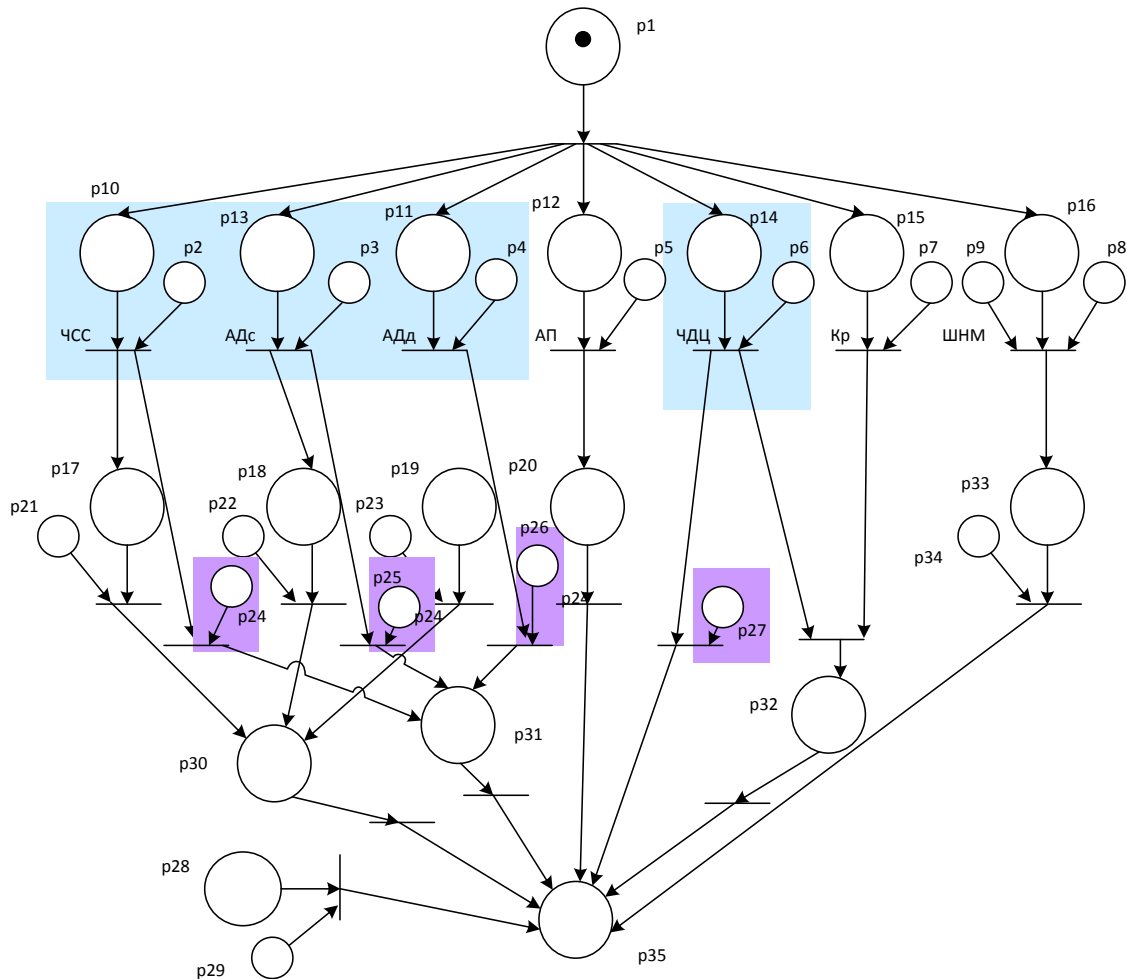


Рисунко 33 – Залежність часового ряду доходів та можливих прибутків

Запропонований інтелектуальний аналіз ретроспективних даних дав змогу визначити адекватну математичну модель прогнозування рівня прибутку від доходів авіакомпанії для можливості вибору оптимальної стратегії системи управління безпекою польотів. Для цього розглядається проблема побудови та вибору найкращої математичної моделі для опису статистичної залежності прибутку авіакомпанії від отриманої виручки з урахуванням витрат на забезпечення авіаційної безпеки. Отримано аналітичні вирази для математичних моделей для різних апроксимуючих функцій без урахування та з урахуванням параметра гетероскедастичності.

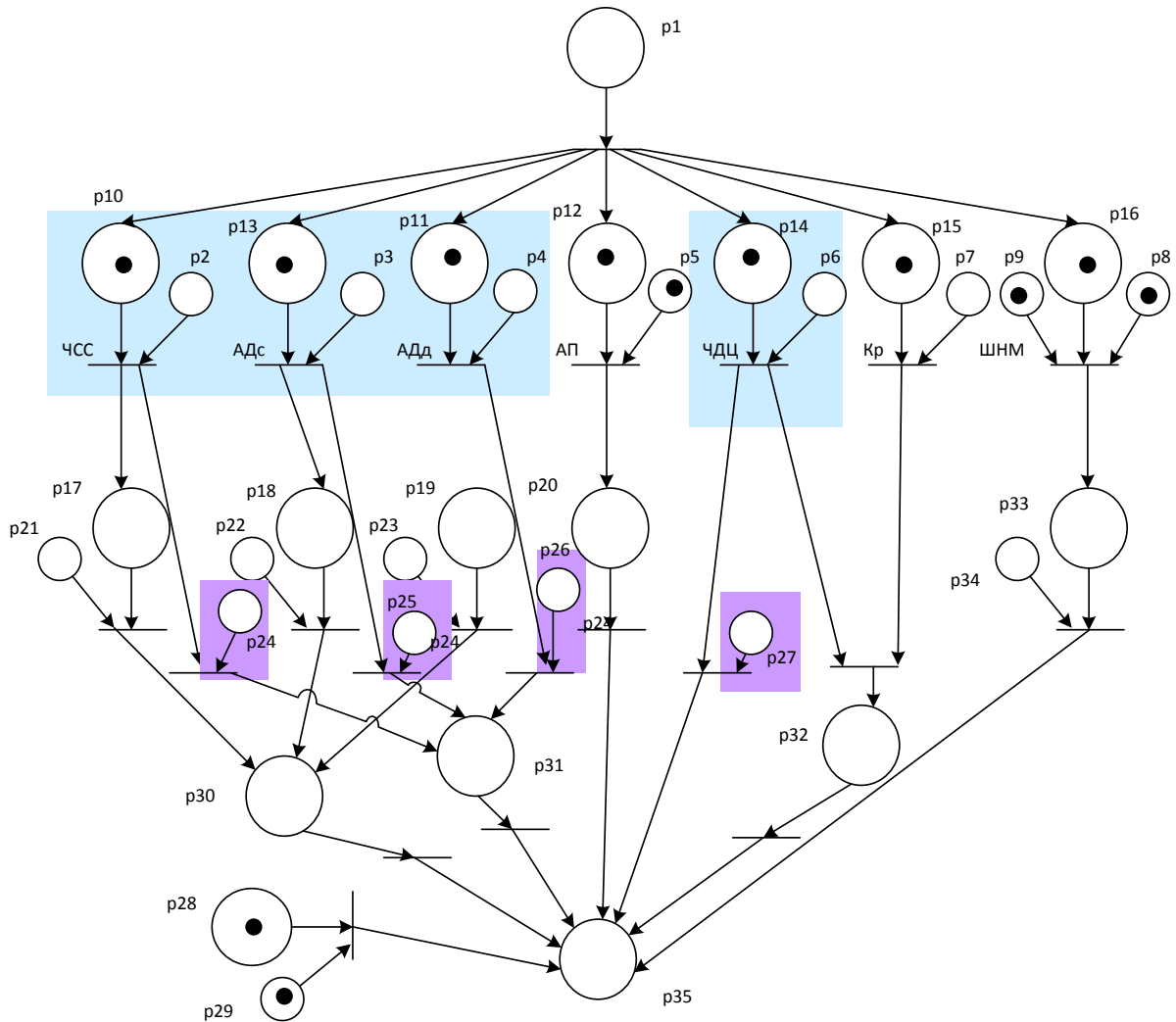
## Додаток Й. Етапи відпрацювання топологічної моделі

### Методологія управління функціональним станом оператора



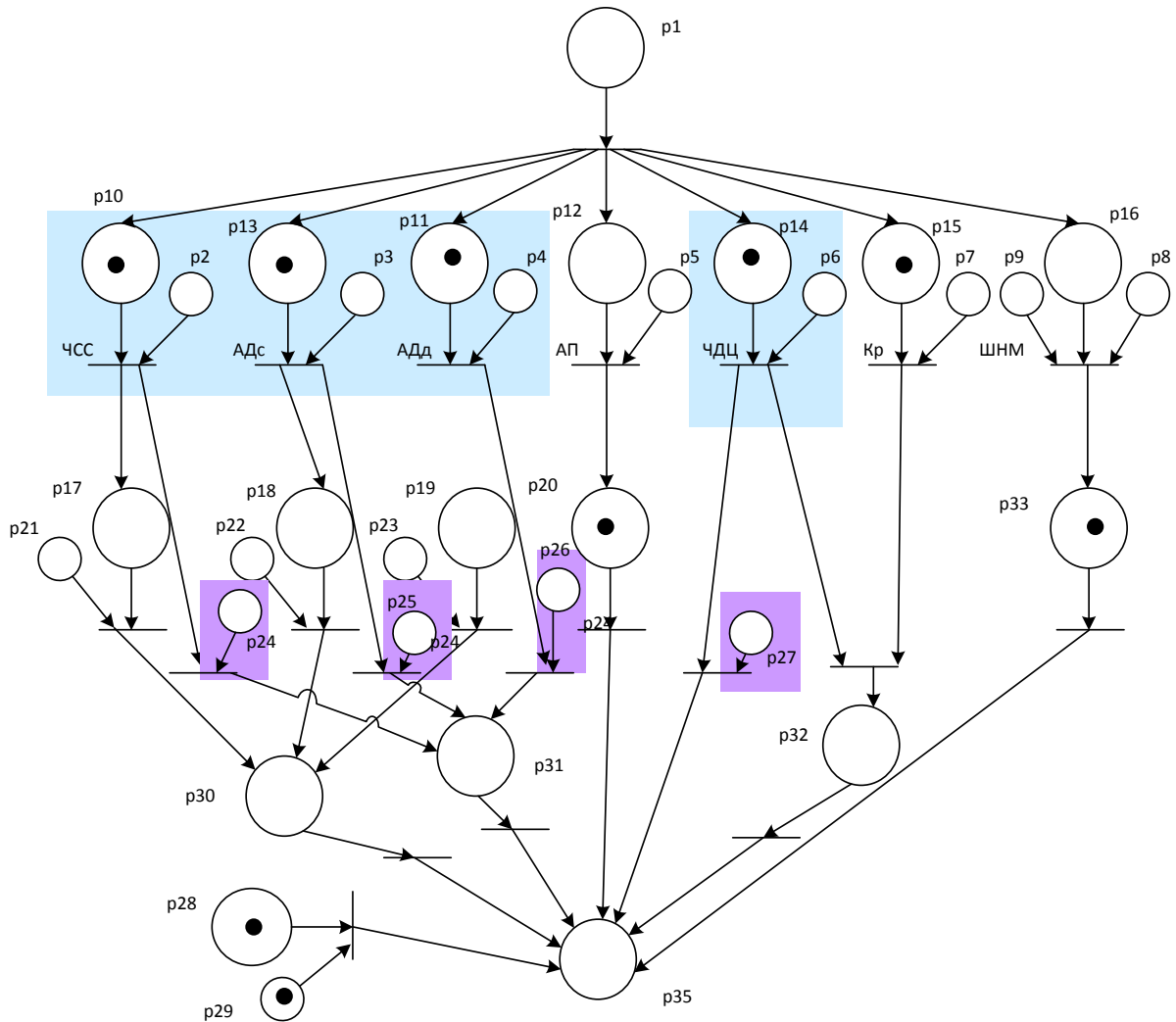
- за критерієм безпеки відхилення (розділ 4)
- p2 - p8 за статистику Хотеллінга (розділ 3)
- p9 за комерційною доречністю (розділ 1)
- p16 за прогнозом штучних нейронних мереж (розділ 6)
- p12 за адаптаційним потенціалом (розділ 5)
- p21-p23 часові ряди для побудови моделі вимірювання з врахуванням глобальних та локальних трендів та стохастичної складової (розділ 2)
- p28-p29 часові ряди для побудови карт Пуанкаре та атрактора (розділ 3, п.3.4)
- p24-p27 часові ряди для моделі прогнозування за функцією Geman-McClure (розділ 5, п.5.2)

Відпрацювання мереж Петрі  
Етап 1



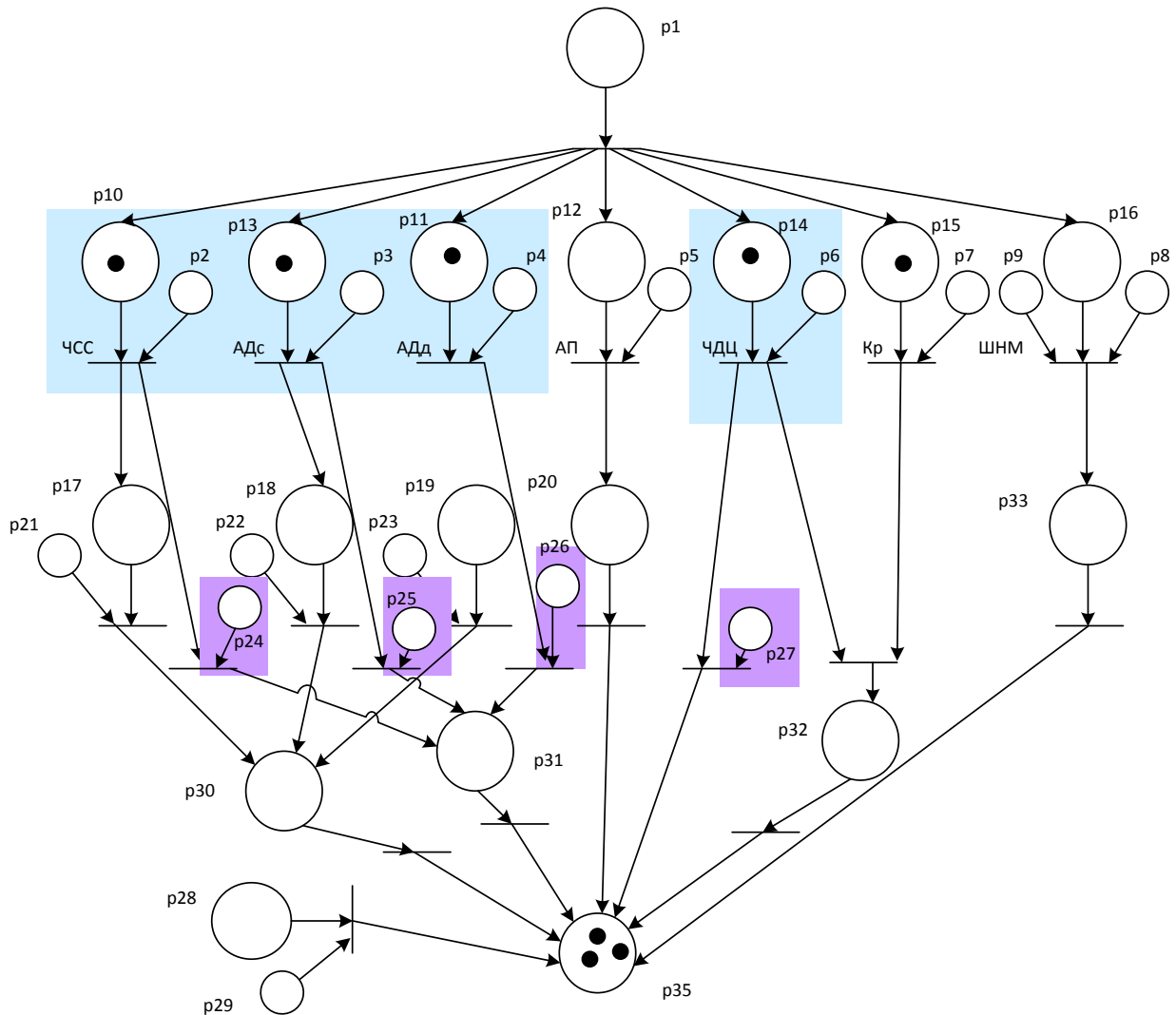
- за критерієм небезпеки відхилення (розділ 4)
- p2 - p8 за статистикою Хотеллінга (розділ 3)
- p9 за комерційною доречністю (розділ 1)
- p16 за прогнозом штучних нейронних мереж (розділ 6)
- p12 за адаптаційним потенціалом (розділ 5)
- p21-p23 часові ряди для побудови моделі вимірювання з врахуванням глобальних та локальних трендів та стохастичної складової (розділ 2)
- p28-p29 часові ряди для побудови карт Пуанкаре та атрактора (розділ 3, п.3.4)
- p24-p27 часові ряди для моделі прогнозування за функцією Geman-McClure (розділ 5, п.5.2)

Відпрацювання мереж Петрі  
Етап 2



- за критерієм небезпеки відхилення (розділ 4)
- p2 – за статистикою Хотеллінга (розділ 3)
- p7 за комерційною доречністю (розділ 1)
- p9 за прогнозом штучних нейронних мереж (розділ 6)
- p12 за адаптаційним потенціалом (розділ 5)
- p21-p23 часові ряди для побудови моделі вимірювання з врахуванням глобальних та локальних трендів та стохастичної складової (розділ 2)
- p28-p29 часові ряди для побудови карт Пуанкаре та атрактора (розділ 3, п.3.4)
- p24-p27 часові ряди для моделі прогнозування за функцією Geman-McClure (розділ 5, п.5.2)

Відпрацювання мереж Петрі  
Етап 3



p35

наявність 3 та більше фішок в p35 – є обов'язковим сповіщенням про порушення функціонального стану оператора