МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ
03035, м. Київ-35, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, т./ф. (044) 206-31-87,
e-mail: dei2005@ukr.net

MINISTRY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION AND NATURAL RESOURCES OF UKRAINE
STATE ECOLOGICAL ACADEMY OF POST-GRADUATE EDUCATION AND MANAGEMENT
35, MetropolitanVasilLypkivskyistr., Kyiv, 03035, Ukraine, tel./fax (044) 206-31-87,
e-mail: dei2005@ukr.net

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.062.03 при Національному авіаційному університетіМОН України
03058, м. Київ, проспект Л.Гузара, 1 .

ВІДГУК
офіційного опонента,
професора кафедри екологічної безпеки
Державної академії післядипломної освіти та управління,
Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України,
доктора технічних наук, професора *МАШКОВА Олега Альбертовича*
на дисертацію *ІВАНЕЦЬ Ользі Борисівні*
за темою: "МЕТОДОЛОГІЯ СИНТЕЗУ УПРАВЛІННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИМ СТАНОМ ПЕРСОНАЛУ З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ",
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.13.03 – Системи та процеси керування

«Те, що ми знаємо, так нікчемне в порівнянні з тим що ми не знаємо »- Пьер Симон Лаплас (1827).

Актуальність теми дисертації.

Відповідно до розпорядження 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.

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», 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 неможливо без адекватної оцінки рівня ризику пов'язаного з виконанням авіаційних робіт. Тому 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.

Практика свідчить, що у системі управління безпекою польотів суб'єкти авіаційної діяльності для відповідності прийнятному рівню ефективності забезпечення безпеки польотів ALoSP (acceptab lelevel 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.

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.

Проведений аналіз свідчить, що на даний час проблема розробки моделей та алгоритмів для здійснення процедуроцінювання, 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.

У теперішній час, як свідчить практика, авіація залишається безпечним видом транспорту, але при цьому події все ж мають місце, вісімдесят і більше відсотків яких відбуваються через людський фактор. Так, Згідно «StatisticalSummaryofCommercialJetAirplaneAccidentsWorldwideOperations 1959 – 2019» більше 50% випадків відбувається на етапах зльоту і посадки повітряного судна, а саме 12% на етапах зльоту та початкового набору висоти, та 53% – на кінцевому етапі заходження на посадку та посадку. І це з урахуванням того, що в середньому зазначені вище етапи займаюсь всього 6% від загальної тривалості польоту.

Безпека є основною пропозицією швидкого та надійного повітряного сполучення, а міжнародна співпраця урядів і галузевих груп у сфері авіаційної безпеки через ICAO допомогла зробити комерційні літаки найбезпечнішим способом подорожі. 193 країни, які співпрацюють через ICAO, 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.

Глобальний план авіаційної безпеки (GASP) представляє стратегію, яка підтримує визначення пріоритетів та постійне вдосконалення авіаційної безпеки. 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.

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.

Таким чином, безпека польотів – це головне завдання, забезпечення якого покладається на технічний персонал із підготовки повітряних суден перед вильотом, на екіпаж повітряного судна, а також на органи обслуговування повітряного руху, отже, не мала кількість часу й коштів виділяється на професійну підготовку згадуваного авіаційного персоналу.

Відповідно до державних та міжнародних стандартів і рекомендованої практики Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO), а також рекомендацій Євроконтролю (Європейська організація з безпеки аеронавігації) процес професійної підготовки персоналу обслуговування повітряного руху (ОПР) складається з: первинної підготовки, підготовки в регіональному структурному підрозділі (РСП) або службі обслуговування повітряного руху (СОПР) підприємства, безперервного навчання та підвищення кваліфікації.

У теперішній час проблема управління функціональним станом персоналу є актуальною. Це пов'язано з постійним ускладненням процесу управління літальними апаратамив тому числі і безпілотними (дистанційно пілотованими). Аналіз літератури свідчить, що при стрімкому розширенні поля діяльності літальних апаратів має місце гостра нестача кваліфікованих операторів. При

наявності високого попиту на БПЛА у світі фактично відсутня розвинена система управління функціональним станом персоналу(фахівців-операторів), як самого апарату, так і цільової апаратури.

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.

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.М. Неділько, Л.М. Нестерова, В.Ф. Нгуен, І.В. Остроумов, В.В. Павлов, С.В.Павлова, Б.Б. Поспєлов, В.Є. Саваневич, Л.В. Сібрук, В.М. Сінеглазов, О.Ю. Соколов, В.О. Тимофєєв, В.М. Тупкало, Ю.Г. Фокин, В.П. Харченко, В.І. Христич ,Т.Ф. Шмельова та ін.

Однак на сучасному етапі дані методи не є повними, універсальними, часто не цілком адекватними, тому що формалізаціє 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

ризику, пов’язаного з людським фактором. Особливого значення ця потреба набуває в галузі експлуатації авіаційних засобів, де одним із визначальних чинників єзабезпечення безпеки польотів, що залежить від функціонального стану операторів різного рівня авіаційної галузі.

У зв'язку з цим виникає необхідність розробки відповідних ефективних підходів, для формального представлення процесу рішення задачі прогнозування і запобігання несприятливих авіаційних подій з урахуванням впливу людського фактору. Обробка статистичних данні про авіаційні події неодноразово підтверджує той факт, що принаймні три з чотирьох подій є наслідком помилок, допущених зовні здоровими операторами з належною кваліфікацією.

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 прийнятного 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.

Таким чином, особливості професійної працездатності людини, меж його можливостей і поведінки в експлуатаційних умовах має основоположне значення для розуміння концепції управління безпекою польотів. При цьому 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 відповідних не ефективних дій людини, намітилася тенденція пояснювати їх лише помилкою людини. 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.

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.

Безпосередньо завдання прогнозування прийняття помилкового рішення при виникнення 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, як свідчить проведений аналіз, питання комплексного підходу до процесу прогнозування виконання несприятливих авіаційних подій з урахуванням людського фактору є недостатньо дослідженими.

Проведений аналіз свідчить, що однією з важливих задач при підготовці авіадиспетчерів є автоматизація оцінювання його операторської діяльності тому, що проблема кількісної оцінки його рівня кваліфікації пов'язана з впливом так званого «людського фактору» на безпеку польотів.

Сучасні системи обробки інформації у більшості випадків ґрунтуються на використанні аналогій функціонування біологічних механізмів і процесів, що протікають у живих організмах. До таких процесів слід віднести функціонування природної нейронної мережі, імунні процеси, генна мережа, тощо.

Особливістю таких систем є децентралізована паралельна обробка інформації, великий рівень складності, здатність навчатися, розпізнавати інформацію та формувати рішення. Створення штучних моделей сучасних біологічних систем та дослідження їхньої поведінки можливо на основі системного підходу, який передбачає комплексне використання методів молекулярної біології, математики, інформатики, законів фізики, і створює умови для розуміння, які чинники визначають характер функціонування біологічної системи з метою корегування даного процесу.

Таким чином, 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.

Проведений аналіз засвідчив, що на теперішній час не існує чіткого підходу, що дозволив би здійснити оцінювання функціонального стану оператора як

основного тригеру, 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.

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 тригеру в методології оцінювання системи управління безпекою польотів.

У теперішній час не існує методу, що дозволив би враховувати глобальні та локальні тренди, стохастичні впливи та порушення біологічної рівноваги при формування 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.

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 дозриву 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.

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

У теперішній час метод оцінювання кількості інформації про динамічні порушення функціонального стану оператора, які відрізняються можливістю визначати 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.

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

На даний час відсутня топологічна модель оцінювання функціонального стану оператора, що дозволила б проводити оцінювання за різними методами та критеріями з огляду на існуючи 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 тригеру настання негативної подій 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.

Таким чином, актуальною науково-прикладною проблемою єрозробка методології синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності, яка спрямована на зменшення ризику пов'язаного з людським факторомУсі ці напрями та чинники об'єднує загальне науково-практичне завдання, - забезпечення проактивного прогнозування ризику в системі управління безпекою польотів пов'язаного з людським фактором тауправління функціональним станом персоналу.

Тому тема дисертаційної роботи ***ІВАНЕЦЬ Ольги Борисівні***, яка присвячена рішенню цієї наукової проблеми є актуальною.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Автор добре розуміє специфіку задачі, що розглядається у дисертації та коректне формулює її постанову. Аналіз сучасного стану проблеми та задачі досліджень,аналіз існуючих підходів управління ризиками як складової методології оцінювання системи управління, визначення необхідності використання проактивного підходу для прогнозування впливу людського фактору на безпеку польотівякі виконано досить кваліфіковано, склали основу створення уніфікованої моделі часових рядів показників функціонального стану оператора (модель вимірювань) з урахуванням трендів та стохастичних впливів.

Системний підхід до оцінювання функціонального стану оператора в роботі передбачає: синтез функціональної моделі процесу управління

біологічною системою; застосування методу визначення індивідуальних меж норм медико-біологічних показників з використанням T^2статистики Хотеллінга; розрахунок медико-біологічних показників для визначення індивідуальної межі норми; використання часових рядів для оцінювання неперервних біомедичних сигналів.

Вдосконалення методики оцінювання функціонального стану організму в роботі здійснено за наступними напрямами: формалізація критерію оцінювання стану функціонального стану організму на основі результатів вимірювального контролю його параметрів; застосування методу оцінювання небезпеки відхилення стану біологічного об'єкту від межі норми медико-біологічних показників за рахунок врахування індивідуальної межі норми.

Вдосконалення методу оцінювання адаптаційного потенціалу в роботі передбачає: аналіз факторів дестабілізації, що впливають на виконання професійних обов'язків оператора; застосування авторегресійної моделі прогнозування медико-біологічних параметрів за рахунок визначення її оптимальних коефіцієнтів при поданні похибки прогнозування в метриці на основі методу Geman-McClure.

Моделювання процедури оцінювання ризиків порушення стабільності функціонального стану з використанням емпірічного та теоретичного підходів в роботі здійснено за наступними процедурами: застосування емпірічного підходу до розрахунку впливу ризиків, застосування моделі прогнозування різкого порушення стану серцево-судинної системи оператора на основі застосування елементів штучного інтелекту (штучних нейронних мереж).

Застосування системного підходу до синтезу оптимального управління адаптаційними можливостями оператора в роботі здійснено наступним чином: проведено аналіз ймовірнісних моделей параметричних правил прийняття рішень; синтез інформаційної моделі процедури альтернативної функціональної діагностики; використання моделі визначення ризиків оцінювання; аналіз інформаційних властивостей моделі прийняття рішення щодо функціонального стану організму; підвищення достовірності прийняття рішення за рахунок врахування похибок першого та другого роду; врахування невизначеності

результатів вимірювання, обробки даних та прийняття рішення при оцінюванні функціонального стану оператора; використання топологічної моделі оцінювання функціонального стану оператора з використанням мереж Петрі.

Для вирішення поставлених у дисертаційній роботі завдань використано методи системного аналізу, методи ймовірнісно-статистичного моделювання.

Для побудови практичних реалізацій розроблених моделей, методів та алгоритмів застосовано засоби і технології сучасного прикладного програмування.

Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення в обраній сфері, які отримані з використанням апробованого математичного апаратуметодів аналізу, синтезу, проектування та моделювання систем управління технічними, технологічними, економічними, екологічними і соціальними процесами.

Розроблені автором практичні рекомендації ґрунтуються на розробленому ним науково-методичному апараті, який є достатньо чутливим для відповідних змін вихідних даних.

Відмічаю, що наукові положення та рекомендації, які сформульовані у висновках по всіх семи розділах (стор. 75-76, 104-105, 135-136, 151-152, 177-178, 214-216, 279-280) та загальних висновках (стор. 281-282) зроблено науково обґрунтовано і логічно за результатами аналізу, узагальнення відомих та отриманих результатів, теоретичних досліджень, а також застосування розроблених моделей, методів та алгоритмів для створенняметодології синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності.

Достовірність одержаних результатів.

Достовірність наукових положень, які захищаються здобувачем, висновків і рекомендацій підтверджується їх відповідністю методології дослідження поставленої проблеми; повнотою розгляду на теоретичному і експериментальному рівнях об'єкту дослідження, що охоплюють його змістовні і процесуальні характеристики; застосуванням комплексу методів, адекватних

предмету дослідження; тривалістю практичної роботи і можливістю її відтворення.

Достовірність і обґрунтованість результатів дисертації ґрунтуються на:

• використанні результатів аналізу існуючих підходів управління ризиками як складової методології оцінювання системи управління;

• коректності застосування системного підходу 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;

• узгодженістю із наявними результатами інших авторів, які надруковано у вітчизняній та зарубіжній літературі;

• даних про їх успішне практичне застосування при комп'ютерному моделюванню, та порівнянням отриманих результатів з відомими даними незалежних дослідників та результатами моделювання.

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

Наукова новизна та важливість результатів, які одержані автором в дисертації, полягають в наступному:

У результаті проведених досліджень вирішена науково-прикладнапроблема розробки теоретичних основ, інструментального базису та

технології синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності, які спрямовані на зменшення ризику пов’язаного з людським фактором управління безпекою польотів.

Метою дисертаційної роботи визначено забезпечення проактивного прогнозування ризику в системі надання авіаційних послуг, пов’язаного з людським фактором, на основі управління функціональним станом персоналу в умовах невизначеності.

Досягнення поставленої мети в роботі було вирішено наступні завдання.

1. Здійсненоаналіз 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, сформувати проблему та задачі дослідження.

2. Визначено та класифіковано чинники впливу на функціональний стан оператора на основі урахування мінливості результатів біомедичних вимірювань, розробити ймовірнісну модель результатів вимірювань.

3. Проведено дисперсійний аналіз адитивних та мультиплікативних складових ймовірнісної моделі, що відповідає за її глобальні та локальні зміни та визначити їх вплив на фактори ризику.

4. Визначено вплив різних значень фізичних навантажень на зміну медико-біологічних параметрів за критерієм статистичної стійкості біологічної рівноваги.

5. Розроблено метод визначення індивідуальних меж норми медико-біологічних показників оператора з використаннямбагатопараметричних критеріїв.

6. Розроблено модель прогнозування виникнення небезпечної події різкого порушення стану серцево-судинної системи.

7. Визначено рівень рівноваги між адаптаційним потенціалом людини-оператора та дією факторів дестабілізації.

8. Вдосконалено критерій оцінювання небезпеки відхилення від норми показників стану організму на основі результатів вимірювального контролю його параметрів за рахунок врахування індивідуальних меж норми.

9. Розроблено 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.

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

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

В роботі проведений аналіз факторного впливу на динаміку часових рядів результатів біомедичних вимірів та введена класифікація видів такого впливу (табл.2.1).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.Отримано рівняння (2.24) для оцінювання кількості інформації про динамічні порушення для порівняння статистик Фішера за інформативністю.Розроблена методика оптимізації уніфікованої ймовірнісної моделі для різних варіантів фізичних навантажень впродовж біомедичного експерименту (п.2.4.2), за критерієм статистичної стійкості діагностичних рішень, що дозволила зменшити кількість навантаження при проведенні експериментальних досліджень в 2 рази.Розроблений метод контролю стабільності біологічного функціонування в тривалих біомедичних дослідженнях (п.2.5.) з урахуванням особливостей фізичного навантаження біологічних об’єктів.Розроблений метод статистичної валідації результатів тривалого біомедичного дослідження на їхню відповідність вимогам відсутності систематичних похибок вимірювань та відсутність метрологічних порушень.

Проведений аналіз функціонування організму оператора, який надав змогу з використанням системного підходу розробити функціональну модель роботи організму з урахуванням впливу факторів дестабілізації.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.Отримав розвиток метод багато параметричного 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.На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що використання багато параметричного критерію Хотеллінга з урахуванням індивідуальних особливостей організму є більш чутливим методом ніж використання існуючого підходу з визначенням загальноприйнятих значень норми.

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

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.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%.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.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.

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 диференційних рівнянь, які визначають рівновагу між кількістю адаптаційного потенціалу організму та кількістю факторів дестабілізації, що впливають на даний організм. Визначено, що при відсутності необхідної статистики ризиків, які мали місце у даногооператора, 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. 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.

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

оцінювання медико-біологчіних параметрів, що надало змогу отримати нерівність, що враховує невизначеність впливу факторів при оцінюванніфункціонального стану та забезпечити необхідний рівень достовірності прийняття рішення про стан підсистеми організму. 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 системного підходу надають змогу зменшити ймовірність настання ризикової події за рахунок оцінювання функціонального стану на 16,3%.

Таким чином, на основі виконаних досліджень в дисертаційній роботі отримано такі нові результати.

Вперше:

– 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);

– 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, 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.

Набули 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.

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.

Аргументування та критичне оцінювання порівняно з відомими рішеннями запропонованих автором нових рішень.

Вітчизняні та закордонні вчені приділяють велику уваги проблемам впливу людського фактору на безпеку в авіації:Thackray R.I., Reason J,Marx D.A., Graeber R.C., CanfieldD.V,HollnagelE., 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-машиних 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-навігацінихкомплексов повітряних суден.

Науковцями Шмельовою Т.Ф., Сікірда Ю.В., Ткаченко Д.О. здійснено 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.

Питаннями людського фактору в контексті аналізу ретроспективних медичних даних авіаційного персоналу після авіаційних інцендентів займався Canfield D.V.

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.

Питаннями міжнародного регулювання медичних стандартів для завдань авіаційної медицини на важливості оцінювання медичних показників в загальномуконтурі забезпечення безпекипольтів займається EvansA.D.

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.

Проведений аналіз засвідчив, що істотний внесок в розвиток сучасних технологій навчання авіаційних фахівців розглядали Д.М. Аксьонов, Д.Г. Бабейчук, І.С. Биковець, В.М. Гладков, В.С. Дем'янчук, А.А. Квашнін, В.А. Клименко, А.Г. Матвієнко, Е.В. Майкова, А.Н. Пестерніков, Ю.І. Сидоренко, Ю.А. Чередниченко, Р.С. Чорненький, О.В. Швець, А.І. Яковлєв.

Психологічний зміст людського фактора в авіації розглянуто в працях Г.М. Садикова.

Метод підвищення якості управління повітряними суднами операторами систем навігаційного обслуговування й управління рухом запропонувала Піліпьонок О.М.

Методи аналізу діяльності оператора автоматизованих систем керування повітряним рухом розглядали М.А. Павленко, П.Г. Бердник, І.Ю. Хромов.

Павленко М.А., Тимочко А.І., Степанов Г.С., Чернов В.Г. запропонували принципи побудови перспективних тренажерних систем підготовки операторів АСУ динамічними об'єктами.

Неділько С.М., Григорецкий В.А., Палений А.С. розробили систему критеріїв оцінки для автоматизованого аналізу дій авіадиспетчерів на тренажерах обслуговування повітряного руху.

С.В. Сирота, Т.А. Таран запропонували здійснювати навчання поняттям в інтелектуальних навчальних системах на основі формального концептуального аналізу.

Проблеми інженерної та професійної психології розглянуто в працях Стрелкова Ю.К.

Бази знань інтелектуальних систем формалізована в працях Т.А. Гаврилової, В.Ф. Хорошевського.

Питання тайм-менеджменту розглядали Г.А. Архангельський, М.А. Лукашенко, Т.В. Телегіна, С.В. Бехтерєв.

Проблеми валідації імітаційної моделі та її можливі рішення розглядав Яцків І.В.

Деталізацію технологічних операцій диспетчера аеродромної диспетчерської вишки з використанням методу хронометражу, уніфікацію технологічних операцій діяльності авіадиспетчера при розробці еталонної моделі суб'єкта навчання запропонувала Джума Л.М.

Використання еталонних моделей на даний момент, в основному, розглядається під час розробки інтелектуальних систем загального дидактичного навчання та являють собою набір референтних значень, так

званих еталонних множин використовували Добриця В.П., Локтіонова Н.Н., для визначення компетентності того, хто навчається.

В роботахСироти С.В., Тарана Т.А. еталонна модель системи будується на отриманих знаннях від експерта в процесі взаємодії з нею, тим самим формуючи й перебираючи безліч рішень.

Еталонні моделі, що формуються для автоматизованих систем навчання операторів, висвітлені в роботах Мигранової Е.А., Дозорцева В.М., Назіна В.А., Бауліної О.С., в основному являють собою набір / перелік алгоритмів дій у конкретних штатних та позаштатних ситуаціях, описаних у виробничій документації. Застосування зазначених вище підходів до вилучення знань та, як наслідок, формування еталонних моделей, є прийнятним і можливим лише для добре документованих та структурованих предметних областей.

Формування еталонної моделі з використанням метода аналізу діяльності оператора при обробці інформації про стан об'єкта управління й формування рішень в автоматизованій системі інформаційного забезпечення управління повітряним рухом передбачає проведення дослідження діяльності оператора за рахунок проведення імітаційного моделювання його діяльності. Згідно з результатами роботи, імітаційна модель дозволяє враховувати груповий характер діяльності при оцінці повітряної обстановки, властивості оператора з обробки й декодування інформації, відображати особливості його роботи з різними пристроями відображення інформації, враховувати необхідні витрати часу на виконання дій щодо перетворення інформаційної моделі в концептуальну модель. Такий підхід передбачає, що модель діяльності оператора при оцінці повітряної обстановки на робочому місці представляється графом. У графі вершини відповідають подіям, наприклад, "інформація, представлена на великому екрані, сприймається", "введення команд в електронно-обчислювальну машину здійснене", в той час як ребра відповідають ймовірності переходу від однієї події до іншої, і містять інформацію про час, що витрачається на перехід. Дана модель дозволяє здійснити імітаційне моделювання сприйняття оператором інформації, представленої на робочому місці, визначити витрати часу на виконання окремих операцій і комплекс

операцій, але при цьому встановити порядок і послідовність виконуваних дій не представляється можливим.

Однією з важливих задач при підготовці авіадиспетчерів є автоматизація оцінювання його операторської діяльності тому, що проблема кількісної оцінки його рівня кваліфікації пов'язана з впливом так званого «людського фактору» на безпеку польотів. Необхідність такої автоматизації розглядається в контексті шляхів вдосконалення методів тренування із метою підвищення гнучкості систем тренування, їхньої функціональності й реакційної здатності, запровадження тематичного оцінювання тренувального процесу, автоматизація процесу формування вправ.

На сьогоднішній день процес підготовки вправ зазвичай обмежується введенням планів польоту в тренажерну систему, елементи яких в подальшому змінюються, щоб сформувати необхідну повітряну обстановку для отримання й підтримання конкретних навичок того, хто навчається (зближення бортів, висока інтенсивність польотів у секторі та ін.) Нестача методичних розробок призводить до довгого процесу формування вправ без чіткого уявлення про цілі, навчальне наповнення й систему оцінювання.

На даний момент оцінювання залежить від окремих людей (інструкторів / експертів) і тому завжди є суб'єктивним. Засоби комп'ютерного оцінювання часто забезпечують більш стандартизоване і об'єктивне оцінювання при «діагностуванні» рівня знань або виявленні причин помилок.

Практика підтверджує, що обмеження обсягів тренувань обумовлено можливістю використанням тренажерів:

– їхньою пропускною спроможністю в тренажерних центрах;

– кількістю інструкторів і псевдо-пілотів; – часом на створення і виправлення вправ;

– труднощами у формуванні та оцінці навчального наповнення вправ.

Правильне застосування відповідно підібраних засобів допоможуть задовольнити навчальні потреби авіадиспетчерів на кожному етапі і, як наслідок, вплинути на оптимізацію обсягів тренувань. Щоб доповнити тренажерну підготовку фахівців аеродромної диспетчерської вишки в роботі

пропонується розробка та застосування інтелектуальної навчальної системи «Диспетчер Tower», яка передбачає роботу в режимах демонстрації, навчання та контролю знань. Застосування даної системи навчання розглядається як метод підвищення якості управління повітряним рухом операторами систем навігаційного обслуговування та управління рухом. Для реалізації режимів навчання і контролю знань в системі, необхідна імплементація такого компонента як еталонна модель. Еталонна модель в процесі функціонування системи тісно взаємодіє з поточною моделлю суб'єкта навчання, тим самим забезпечуючи фіксування помилок, допущених ним. На підставі помилок інтелектуальна система формує індивідуальну траєкторію підготовки суб'єкта навчання.

А. Шевчук зазначає, що інформаційні технології можуть реалізовуватися в неавтоматизованому і в автоматизованому виглядах. Основними компонентами комп’ютерних інформаційних технологій є комплекс технічних засобів, комплекс програмних засобів та організаційно-методичне забезпечення. Проте існує й інший підхід до структури автоматизованих інформаційних технологій, в якому складовими основи інформаційних технологій є: апаратне забезпечення (hardware), програмне забезпечення (software), алгоритмічне (інтелектуальне) забезпечення (brainware), мережа підтримки інформаційних технологій, інфраструктура (infrastructure) – необхідні адміністративні й організаційні структури, культурні схеми, стандарти й критерії тощо (Шевчук, А. В. (2007). Інформаційні технології в забезпеченні соціально-економічного розвитку регіону. http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/14186/1/maket.pdf.) .

Питання створення та застосування біоінформаційних баз даних розглянуто в працях С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, Т.А. Хоменко. М.О. Булаєвська (С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, Т.А. Хоменко. Основи біоінформатики [Електронний ресурс]: підручник для студентів напряму підготовки 6.051401 «Промислова біотехнологія» факультету біотехнології і біотехніки; НТУУ «КПІ». - Електронні текстові дані (1 файл: 2,72 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2010 https://ela.kpi.ua/handle/123456789/774 ; С.В.Горобець,

О.Ю. Горобець, М.О. Булаєвська. Біоінформатичні бази даних [Електронний ресурс], КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2020. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/36457) .

Приставка О.П., Байбуз О.Г. розробили концепції, методи та моделі обробки статистичних даних, що базуються на сучасній методології обробки інформації, побудові автоматизованих систем та програмних технологій оперативного аналізу та відповідають сучасному світовому рівню в галузі обробки інформації. В їх працях запропоновано методологію побудови локальних геоінформаційних систем, основою якої є комплексне застосування методів статистичного аналізу, теорії марківських процесів, методів прогнозування, класифікації, кластерного та регресійного аналізу, сплайн-перетворень, нечіткої логіки. Створено програмний комплекс аналізу даних екологічного моніторингу та оцінки забруднення локальних територій техногенно-навантажених регіонів; інтелектуальну систему аналізу, що дозволяє автоматизовано проводити обробку гідрохімічних спостережень водних об’єктів у районах з підвищеним техногенним навантаженням, районування, виявлення основних тенденцій формування хімічного складу та комплексну водно-екологічну оцінку поверхневих вод. Розроблено статистично-ймовірнісну модель оцінки стану над динамічного процесу, заснована на відтвореній щільності розподілу розладнань часового ряду та обчислювальні схему розрахунку функцій ризику, засновані на байесівській оцінці параметру функції умовного розподілу. Розроблена інформаційна технологія аналізу часових рядів екологічного моніторингу, призначена для надання користувачу інформації щодо значень функцій ризику розладнання нестаціонарного процесу з множинними розладнаннями.

Проведений аналіз свідчить, що сучасні системи обробки інформації у більшості випадків ґрунтуються на використанні аналогій функціонування біологічних механізмів і процесів, що протікають у живих організмах. До таких процесів відносяться функціонування природної нейронної мережі, імунні процеси, генна мережа, тощо. Особливістю таких систем є децентралізована паралельна обробка інформації, великий рівень складності, здатність навчатися,

розпізнавати інформацію та формувати рішення. Створення штучних моделей сучасних біологічних систем та дослідження їхньої поведінки здійснюється на основі системного підходу, який передбачає комплексне використання методів молекулярної біології, математики, інформатики, законів фізики, і створює умови для розуміння, які чинники визначають характер функціонування біологічної системи з метою корегування даного процесу.

Реконструкція та моделювання генної регуляторної мережі формує основу для дослідження та аналізу характеру взаємодій генів і впливів цих взаємодій на функціональні можливості біологічного організму. Визначення структури та характеру функціонування мережі пов'язано з великими експериментальними та теоретичними проблемами. Параметри моделей, зазвичай, не є очевидними, оскільки входи та виходи елементів молекулярних систем однозначно визначити неможливо. Крім того, принципи, що лежать в основі міжмолекулярних взаємодій є дуже складними або невідомими.

Серед закордонних учених, які зробили значний внесок у становлення й розвиток методологічних і теоретичних засад реконструкції генної регуляторної мережі слід назвати: Ф. Крік [F. Crick], Е. Давідсон [E. Davidson], Х. Кітано [H. Kitano], С. Линг [S. Liang], Т. Чен [T. Chen], Г. Чурч [G. Church], Х. Де Лонг [H. DeJong], Т. Счлит [T. Schlitt], М. Бансал [M. Bansal], Ф. Еммерт-Стрейб [F. Emmert-Streib], М. Счена [M. Schena], М. Счермер [M. Schermer] та інші.

У галузі передобробки профілів експресій генів слід назвати: Д. Ворлей [J. Worley], Б. Понтез [B. Pontes], С. Сонесон [C. Soneson], Т. Басарский [T. Basarsky], П. Балди [P. Baldi], Б. Болстад [B. Bolstad], Р. Иризарри [R. Irizarry], З. Чен [Z. Chen] та інші.

В Україні у розвиток теоретичних і прикладних аспектів системноаналітичних досліджень і інформаційних технологій для обробки складних даних зробили десятки видатних дослідників, серед яких варто назвати таких учених, як: В.М. Глушков, О.Г. Івахненко, П.І. Бідюк, Є.В. Бодянський, В.С. Степашко, Ю.П. Кондратенко, О.І. Міхальов, С.Г. Антощук,

В.Н. Крилов, О.В. Тимченко, В.І. Литвиненко, О.І. Корнелюк, М.Ю. Оболенська та інші.

В працях Говорущенко Т. О. розглянуто теоретичні та прикладні засади інформаційної технології оцінювання достатності інформації щодо якості у специфікаціях вимог до програмного забезпечення.

Бабічев С. А. запропонував теоретичні та практичні засади інформаційної технології обробки профілів експресій генів для реконструкції генних мереж.

В працях Жарікової М. В. запропоновано методологічні основи геоінформаційної технології підтримки прийняття рішень в природно-техногенних системах за умов руйнівних процесів.

Лисенко С.М. розробив методологічні основи та інформаційну технологію забезпечення резильєнтності комп'ютерних систем в умовах кіберзагроз.

В працях Гордєєва О.О. запропоновано методологічні основи та інформаційну технологію профілє-орієнтованого оцінювання якості програмного забезпечення людино-комп'ютерних систем.

В працях Комар М.П. розроблено методологічні основи інформаційної технології інтелектуального аналізу та обробки великих даних

Досин Д.Г. запропонував методологічні засади розроблення інтелектуальних інформаційно-пошукових систем на основі визначення корисності знань.

В працях Поліщук В.В. розроблено методологічні основи інформаційної технології оцінювання рівня керованості процесами складних систем.

В роботі [Almugren N., Alshamlan H. A surveyonhybridfeatureselectionmethodsinmicroarraygeneexpressiondataforcancerclassification.IEEE Access.2019. Vol. 7, art. no. 8736725, Pp. 78533−78548.] проведено порівняльний аналіз сучасних гібридних моделей вибору інформативних профілів експресії генів для вирішення проблеми подальшої класифікації об'єктів, що досліджено на різні типи раку. Виконано аналіз ефективності різних моделей редукції генів від фільтрації шляхом оцінки рівня інформативності відповідного гена на основі статистичного аналізу до

комплексного застосування кластерного аналізу та методів класифікації даних. Основним критерієм в усіх випадках було застосовано критерії оцінки якості класифікатора. При цьому було проаналізовано різні комбінації методів інтелектуального аналізу даних та машинного навчання.

Гібридні методи вибору інформативних генів на основі генетичного алгоритму розглядали Dashtban M., Balafar M. [Dashtban M., Balafar M. Gene selection for microarray cancer classification using a new evolutionary method employs in gartificial intelligence concepts. Genomics. 2017. Vol. 109 (2). Pp. 91−107.].

Так, у роботі Lu H., Chen J., Yan K. [Lu H., Chen J., Yan K. etal. A hybrid feature selection algorithm for gene expression data classification. Neurocomputing. 2017. Vol. 256. Pp. 56−62.] представлено результати досліджень з розробки гібридного алгоритму вибору ознак на основі комплексного застосування методу максимізації взаємної інформації (Mutual Information Maximization (MIM)) та адаптивного генетичного алгоритму (AGA). Запропонований гібридний метод був названий MIMAGA-Selection. На першому етапі обиралися профілі експресії генів з високим значенням взаємної кореляції шляхом застосування MIM методу. Максимальна кількість генів при цьому була 300. На другому етапі до обраних генів застосовувався адаптивний генетичний алгоритм AGA. Для тестування запропонованого алгоритму було використано шість наборів даних про експресію мульти- та бінарних генів раку. Класифікація даних виконувалася нейронною мережею прямого поширення (МЕН – машина екстремального навчання). У процесі моделювання було проведено 30 повторень процесу класифікації. Для порівняння точності алгоритму MIMAGA-Selection автори застосували три наявні алгоритми, а саме: послідовний прямий відбір (SFS), ReliefF та MIM з класифікатором ElM на одному наборі даних з однаковим номером цільового гена. Результати моделювання показали більш високу 86 ефективність запропонованого MIMAGA методу, порівняно з іншими методами, що використовувалися. Окрім того, автори провели класифікацію генів у рамках MIMAGA-Selection методу із застосуванням чотирьох різних класифікаторів; нейронну мережу зворотного

поширення (BP), машину опорних векторів (SVM), ELM та регуляризовану машину екстремального навчання (RELM). Всі чотири класифікатори досягали точності вище ніж 80 %.

У роботі Lee C.P., Leu Y [Lee C.P., Leu Y. A novel hybrid feature selection method for microarray data analysis. Appl. Soft Comput. 2011. Vol. 11 (1). Pp. 208−213.] запропоновано гібридну модель вибору профілів експресії генів на основі комплексного застосування генетичного алгоритму із встановленням динамічних параметрів (GADP) та статистичного X2-тесту на однорідність. Запропонований підхід дозволяє автоматизувати вибір кількості профілів експресії генів без втручання людини. Оцінка ефективності моделі виконувалася шляхом застосування класифікатора SVM. Для вимірювання ефективності запропонованого методу, порівняно з наявними методами, було використано шість наборів даних про рак. Результати показали високу точність запропонованої моделі. Для деяких даних точність сягала 100 % при меншій кількості генів, що застосовувалися в процесі класифікації об’єктів.

У роботі Chuang L.-Y., Yang C.-H., Wu K.-C., Yang C.-H. [Chuang L.-Y., Yang C.-H., Wu K.-C., Yang C.-H. A hybrid feature selection method for DNA microarray data. Computers in Biology and Medicine. 2011. Vol. 41 (4). Pp. 228−237] запропоновано гібридну модель відбору генів, що заснована на комплексному використанні кореляційного аналізу (Correlation-based FeatureSelection (CFS)) та генетичного алгоритму (Taguchi-Genetic Algorithm (TGA)). Реалізація процесу відбору генів передбачала два етапи. На першому етапі видалялися профілі експресії генів з малим значенням взаємної кореляції, порівняно з іншими генами із застосуванням CFS методу. На наступному кроці до генів, що залишилися, застосовувався алгоритм TGA з відповідними функціями, які були сформовані на етапі фільтрації. Класифікатор K-найближчого сусіда (KNN) використовувався для оцінки ефективності запропонованого методу з точки зору точності класифікації. Було оцінено одинадцять наборів даних експресії генів, що досліджувалися на рак. Результати моделювання показали високу ефективність запропонованого

підходу, оскільки висока точність 87 класифікації була досягнута у 10 наборах даних з 11, при цьому для шістьох наборів даних точність досягла 100 %.

У роботі Dashtban M., Balafar M [Dashtban M., Balafar M. Geneselection for microarray can cer classification using a new evolutionary method employ in gartificial intelligence concepts. Genomics. 2017. Vol. 109 (2). Pp. 91−107.] представлено результати досліджень з розробки гібридної моделі відбору генів з даних, що отримані шляхом ДНК-мікрочіпового експерименту, на основі комплексного застосування генетичного алгоритму GA та методу інтелектуального динамічного генетичного алгоритму (Intelligent Dynamic Genetic Algorithm (IDGA)). Реалізація моделі передбачала два етапи. На першому етапі для відбору 500 найкращих генів незалежно один від другого застосовувалися методи фільтрації Лапласіана та Фішера. На другому етапі було застосовано метод IDGA. Для оцінки ефективності запропонованої моделі було використано п'ять наборів даних пацієнтів, що досліджувалися на рак. Як класифікатори використовували машину опорних векторів (SVM), наївний байєсівський класифікатор (NBY) та метод k-найближчих сусідів сусід (KNN). IDGA алгоритм було застосовано сім разів. На основі аналіз результатів моделювання запропонований метод дозволив отримати точність 100 % на чотирьох наборах даних. До того ж застосування IDGA з методом фільтрації Фішера дозволив отримати кращі результати, порівняно з методом фільтрації Лапласіана, на чотирьох наборах даних.

Гібридний метод вибору профілів експресії генів на основі комплексного застосування інформаційний приріст (InformationGain (IG)) та стандартного генетичного алгоритму (SGA), запропоновано Salem H., Attiya G., El-Fishawy N. [Salem H., Attiya G., El-Fishawy N. Classification of human can cerdiseases by ge neex pression profiles. Appl. Soft Comput. 2017. Vol. 50. Pp. 124−134.]. Цей метод отримав назву IG/SGA. На першому кроці для зменшення об’єктів застосовувався IG метод приросту інформації. На другому етапі до отриманих даних застосовувався генетичний алгоритм. Класифікацію проводили за допомогою методу генетичного програмування GP. Було використано сім наборів даних мікрочіпів пацієнтів, що досліджувалися на рак. Результати

показали, що використання запропонованого методу дозволило досягнути 100 % точності класифікації для двох наборів даних.

Гібридні моделі на основі застосування алгоритму оптимізації мурашиної колонії (Ant Colony Optimization (ACO)) представлені у працях Vijay S.A.A., Kumar P.G. [Vijay S.A.A., Kumar P.G. Fuzzy expert system based on a novel hybrid stem cell (HSC) algorithm for classification of microarray data. J. Med. Syst. 2018. Vol. 42, art.no. 61.]. Метод, розроблений Sharbaf F.V., Mosafer S., Moattar M.H. [Sharbaf F.V., Mosafer S., Moattar M.H. A hybridgeneselectionapproachformicroarraydataclassificationusingcellularlearningautomataandantcolonyoptimization. Genomics, 2016. Vol. 107 (6). Pp. 231−238.], поєднує в собі автомати клітинного навчання та оптимізацію колонії мурашок (CLA-ACO). Практична реалізація моделі передбачає три етапи. На першому кроці дані фільтруються за методом Фішера. На другому етапі формувалася підмножина профілів експресії генів з оптимальним набором функцій комплексним застосуванням автоматів клітинного навчання та мурашкового алгоритму. Третій етап полягав у остаточному формуванні підмножини профілів експресії генів на основі розрахунку та аналізу похибок першого та другого роду із застосуванням ROC аналізу. Оцінка ефективності запропонованої моделі проводилася двома етапами. На першому етапі проводився статистичний аналіз профілів експресії генів із застосуванням різних методів з подальшим ранжуванням даних та відбору найбільш інформативних. На другому етапі до даних застосовувалися метод CLA-ACO з подальшим розрахунком кількісних критеріїв якості відповідної моделі. Подальше тестування показало високу ефективність запропонованої моделі для класифікації об’єктів, що досліджувалися.

У роботі Vijay S.A.A., Kumar P.G. [Vijay S.A.A., Kumar P.G. Fuzzy expert system based on a novel hybrid stem cell (HSC) algorithm for classification of microarray data. J. Med. Syst. 2018. Vol. 42, art.no. 61.] запропоновано гібридну модель відбору профілів експресії генів на основі комплексного застосування мурашкових алгоритмів та адаптивної моделі оптимізації стовбурових клітин (Adaptive Stem Cell Optimization (ASCO)). Застосування цієї моделі передбачало

фільтрацію профілів експресії генів на основі рівня їх взаємної кореляції. Оцінка ефективності моделі проводилася шляхом застосування різних класифікаторів. Для тестування були обрані дані експресії генів, що отримані шляхом проведення ДНК-мікрочіпових експериментів. Результати тестування також показали високу ефективність запропонованої гібридної моделі.

Сьогодні ми є свідками активного розвитку технологій інтелектуального аналізу даних (DataMining), поява яких пов'язана, в першу чергу, з необхідністю аналітичної обробки великих об'ємів інформації, що нагромаджуються в сучасних базах даних. Більшість компаній накопичують під час своєї діяльності величезні об'єми даних, але головне, що вони хочуть від них отримати - це корисну інформацію. Як можна дізнатися з даних про те, що є вигіднішим для клієнтів компанії, як розмістити ресурси ефективним чином або як мінімізувати втрати? Для вирішення цих проблем і призначені новітні технології інтелектуального аналізу, які використовуються для знаходження моделей і відносин, прихованих в середовищі даних, - моделей, які не можуть бути знайдені звичайними методами.

Суть і мету технологій DataMining можна охарактеризувати так: це технології, які призначені для пошуку у великих об'ємах даних неочевидних, об'єктивних і корисних на практиці закономірностей. Сфера застосування DataMining нічим не обмежена - вона скрізь, де є які-небудь дані. Але в першу чергу методи DataMining сьогодні заінтригували компанії, що розгортають проекти на основі сучасних інформаційних технологій. Досвід багатьох таких компаній показує, що віддача від використання DataMining може досягати 1000%.

Технології інтелектуального аналізу даних потрібні в першу чергу спеціалістам, що ухвалюють важливі рішення, - керівникам, аналітикам, експертам, консультантам. Дохід компанії більшою мірою визначається якістю цих рішень - точністю прогнозів, оптимальністю вибраних стратегій. І від якості цих рішень залежить розвиток компанії. Слід також зазначити, що для реальних задач бізнесу і виробництва не існує чітких алгоритмів рішення. Тому керівники і експерти вирішують такі задачі тільки на основі особистого досвіду.

Часто класичні методики виявляються малоефективними для багатьох практичних завдань, оскільки неможливо точно описати реальність за допомогою невеликого числа параметрів моделі, або розрахунок моделі займає дуже багато часу і обчислювальних ресурсів. Аналітичні технології дозволяють створювати моделі, що істотним чином підвищують ефективність рішень.

Еволюційна теорія довела свою ефективність як при вирішенні складно формалізуємих задач кластеризації, асоціативного пошуку, так і при вирішенні трудомістких задач оптимізації, апроксимації, інтелектуальної обробки даних. Концепції еволюційних обчислень включає генетичні алгоритми, генетичне програмування, еволюційні стратегії і еволюційне програмування. Еволюційні технології інтелектуального аналізу сьогодні успішно застосовуються для вирішення ряду великих і економічно значущих задач в бізнесі та інших важливих проектах. В п’ятому розділі подані матеріали про концептуальні засади еволюційної теорії, основні положення теорії генетичних алгоритмів та їх моделі, а також інформація про програмне забезпечення та сфері застосування генетичних алгоритмів. Мурашині алгоритми та генетичне програмування є самими сучасними напрямками еволюційної технології і майже не розглядалися раніше в підручниках по технологіям інтелектуального аналізу даних.

Важливим напрямком розвитку інтелектуального аналізу даних є широке застосування теорії нечітких обчислень, яка в сучасному світі розглядається як консорціум обчислювальних методологій, що колективно забезпечують основи для розуміння, конструювання і розвитку інтелектуальних систем, зокрема, систем інтелектуального аналізу даних.

Аналіз літератури показав, що на сьогоднішній день напрацьовано різні методи, механізми, принципи і методики, інформаційні технології обробки даних складної природи в задачах діагностики складних об’єктів на основі даних експресії генів, методи й алгоритми їх виконання.

Це підтверджується проведеними дослідженнями та працями в галузі передобробки даних експресії генів, формування диференційно експресованих

та взаємно корельованих профілів експресії генів, кластеризації, класифікації, ранньої діагностики складних об’єктів на основі даних експресів генів.

Проведений аналіз свідчить, що сучасні штучні системи обробки інформації, що використовуються у різноманітних галузях інтелектуального аналізу даних та машинного навчання, створюються по аналогії функціонування відповідних процесів у біологічних організмах. У якості таких процесів розглядаються наступні: функціонування генної мережі, імунні процеси, функціонування нейронних мереж. Особливостями такого підходу є здатність навчатися, розпаралелювання процесу обробки інформації, високий рівень захисту, здатність розпізнавати та приймати адекватні рішення. При цьому розробка сучасних штучних моделей обробки великих даних можлива із застосуванням системного підходу, який передбачає комплексне застосування знань та методів з різних практичних галузей, а саме: молекулярна біологія, математика, інформатика, фізика, хімія. Таким чином створюються умови для підвищення об’єктивності обробки великих даних у реальному часі за рахунок застосування ансамблів методів, гібридних моделей та ефективної обробки інформації.

Відсутність аналогічних рішень у нашій країні та за кордоном робить результати досліджень пріоритетними.

Усі вище визначені чинники визначають аргументування та критичне оцінювання запропонованих автором нових рішень порівняно з відомими рішеннями.

В дисертаційній роботі розроблено теоретичні та практичні засади забезпечення проактивного прогнозування ризику в системі надання авіаційних послуг, пов’язаного з людським фактором, на основі управління функціональним станом персоналу в умовах невизначеності.

Порівняльний аналіз з відомими рішеннями запропонованих автором нових рішень дозволяє визначити нові підходи до створення та застосування методології синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності .

Усі вище зазначені чинники визначають аргументування та критичне оцінювання запропонованих автором нових рішень порівняно з відомими рішеннями.

Практична значимістьта важливість для галузі полягає в тому, що результати дисертаційного дослідження становлять наукову основу для розробки й удосконалення інформаційно-алгоритмічного забезпечення систем управління в умовах невизначеності та неповноти апріорної інформації. забезпечення проактивного прогнозування ризику в системі надання авіаційних послуг, пов'язаного з людським фактором, на основі управління функціональним станом персоналу в умовах невизначеності.

Тематика розглянутих у роботі завдань лежить у площині загальнодержавних науково-технічних програм, що сформульовані в Законах України «Про наукову і науково-технічну діяльність», «Про національну програму інформатизації», а також відповідають планам найважливіших науково-технічних програм Міністерства освіти та науки України (зокрема: 6 – інформатика, автоматизація та приладобудування; 6.2.1 – інтелектуалізація процесів прийняття рішень; 6.2.2 – перспективні інформаційні технології і системи).

Дисертаційну роботу виконано в Національному авіаційному університеті, Міністерства освіти і науки України за Державною програмою авіаційної безпеки цивільної авіації відповідно до таких науково-дослідних робіт: «Методологія дослідження фізіологічного стану гомеостазу людини»: етапи з 1 по 4 (державний номер ДР № 0119U103544); «Розробка методів оцінки психофізіологічного стану фахівців» (№ 14.01.03-29); «Методологічні основи оцінки точності результатів випробувань обладнання» (№ 33.01.03-29); «Методи підвищення ефективності процесу експлуатації обладнання» та на сьогодні є відповідальним виконавцем етапу «Використання багатопараметричних критеріїв для оцінювання систем в умовах невизначеності» науково-дослідної роботи № 52-202/22.01.03 «Перспективні системи та технології електроніки, радіомоніторингу та інтернету речей».

Отримані результати дисертаційної роботи надають можливість:

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

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

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

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

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

Розроблена методологія синтезу управління функціональним станом оператора теоретично 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 (НАУ), Авіаційний медичний центр НАУ, Національний авіаційний університет (кафедра електроніки, робототехніки,

технологій моніторингу та інтернету речей), про що свідчать акти впровадження, наведені у Додатку до дисертаційної роботи.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації вимогам, затвердженим МОН України.

У ***вступі*** обґрунтовано актуальність теми, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, визначено мету і завдання дослідження, розглянуто об'єкт і предмет дослідження, наведено перелік методів дослідження, які були використані для досягнення поставленої мети. Сформульовано наукову новизну отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача в їх досягнення. Висвітлено питання апробації та публікації результатів дисертації

У ***першому розділі*** «Стан проблеми та задачі досліджень» здійснено аналіз існуючих підходів управління ризиками як складової методології оцінювання системи управління, розглянуто системний підхід до управління безпекою польотів та місце людського фактору в системі забезпечення безпеки польотів. Запропоновано проактивний підхід концепції управління безпекою польотів та формалізована проблема необхідності використання проактивного підходу для прогнозування впливу людського фактору на безпеку польотів.

У ***другому розділі***«Розробка уніфікованої моделі часових рядів показників функціонального стану оператора (модель вимірювань) з урахуванням трендів та стохастичних впливів» запропонована ймовірнісна модель динаміки мінливості результатів біомедичних вимірювань розподілених за часом. На основі дисперсійного аналізу ймовірнісної моделі здійснено вибір інформативних параметрів для тестування на неоднорідність та динамічну нестабільність, а також провести дослідження інформаційних властивостей елементів ймовірнісної моделі динаміки результатів вимірювань. Запропонований метод оптимізації моделі за критерієм статистичної стійкості передбачає унифікацію простору вимірюваних значень, а також корекцію результатів дисперсійного аналізу ймовірнісної моделі. Автором здійснено розробку методу контролю стабільності процесів біологічного функціонування.

Розглянути питання валідації методу контролю біологічної стабільності, здійснено підтвердження метрологічних вимог на відсутність систематичних похибок.

У ***третьому розділі*** «Системний підхід до оцінювання функціонального стану оператора» розроблено функціональну модель процесу управління біологічною системою. Розроблено метод визначення індивідуальних меж норм медико-біологічних показників з використанням T^2статистики Хотеллінга. Здійснено розрахунок медико-біологічних показників для визначення індивідуальної межі норми. Розглянуто використання часових рядів для оцінювання неперервних біомедичних сигналів.

У четвертому розділі «Вдосконалення методики оцінювання функціонального стану організму»присвячено вирішенню задачі розглянуто питання формалізації критерію оцінювання стану функціонального стану організму на основі результатів вимірювального контролю його параметрів та запропоновано метод оцінювання небезпеки відхилення стану біологічного об'єкту від межі норми медико-біологічних показників за рахунок врахування індивідуальної межі норми.

У п'ятому розділі «Вдосконалення методу оцінювання адаптаційного потенціалу» проведено аналіз факторів дестабілізації, що впливають на виконання професійних обов'язків оператора. Розглянуто вдосконалений метод оцінювання адаптаційного потенціалу. Запропоновано авторегресійну модель прогнозування медико-біологічних параметрів за рахунок визначення її оптимальних коефіцієнтів при поданні похибки прогнозування в метриці на основі методу Geman-McClure.

У шостому розділі «Моделювання процедури оцінювання ризиків порушення стабільності функціонального стану з використанням емпірічного та теоретичного підходів» розглянуто емпіричний підхід до розрахунку впливу ризиків. Здійснено розробку моделі прогнозування різкого порушення стану серцево-судинної системи оператора на основі застосування елементів штучного інтелекту (штучних нейронних мереж)

У сьомому розділі «Синтез оптимального управління адаптаційними можливостями оператора» на основі аналізу ймовірнісних моделей параметричних правил прийняття рішень здійснено синтез інформаційної моделі процедури альтернативної функціональної діагностики. Запропоновано модель визначення ризиків оцінювання та проведено аналіз інформаційних властивостей моделі прийняття рішення щодо функціонального стану організму. Розглянуто питання підвищення достовірності прийняття рішення за рахунок визначення похибок першого та другого роду, врахування невизначеності результатів вимірювання, обробки даних та прийняття рішення при оцінюванні функціонального стану оператора. Запропонована топологічна модель оцінювання функціонального стану оператора з використанням мереж Петрі.

У ***додатках*** наведеноАкти впровадження;Місце процесу управління функціональним станом оператору в загальній системі управління безпекою польотів;Особливості формування автоматизованої системи для розрахунку ймовірності виникнення ризику за рахунок людського фактору, формули розрахунки, покладені в її основу;Вхідні дані, отримані від емпіричних досліджень; Результати проведених розрахунків за емпірічними даними; Авторегресійна модель прогнозування медико-біологічних показників з використанням метрики German-McCluri; Дані для навчання нейронної мережі;Проміжні розрахунку для критерію небезпеки відхилення; Комерційна складова безпеки польотів; Етапи відпрацювання топологічної моделі.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, семі розділів, висновків, списку використаних джерел із 241найменувань та 9 додатків. Загальний обсяг роботи становить 381 сторінку, з яких 55 рисунків за текстом; 25 таблиць за текстом; додатки на 99 сторінках.

Оцінка мови та стилювикладення дисертації і автореферату. Мова та стиль дисертації та автореферату свідчать про вміння автора аргументовано викладати свої думки та,у цілому, відповідають вимогам МОН України. Сформульовані у дисертаційній роботі основні положення, висновки та

рекомендації викладені у логічній послідовності та доказовій формі, що значно сприяє усвідомленню думок автора. Всі розділи дисертації мають внутрішню єдність і завершеність. Змістовне наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів.

Отримані підсумкові результати дисертації співпадають із загальною метою і конкретними науковими завданнями, сформульованими у вступі. В цілому, дисертаційна робота сприймається як кваліфікаційна закінчена наукова праця, що містить нові наукові результати.

Підтвердження повноти викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях. Наукова новизна безсумнівна та достатня для докторської дисертації. Основні наукові і практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження, опубліковано з необхідною повнотою після захисту кандидатської дисертації в 40 наукових працях, з яких 28статей у наукових періодичних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, 5 статей у періодичних виданнях групи А та у періодичних виданнях, що включені до науково-метричної бази Scopusta\абоWebofScience (одна з них з квантилемQ3), 5 публікацій, що індексуються науково-метричною базою Scopusta\абоWebofScience, 2 розділи колективної монографії, виданої за кордоном, одна з яких з індексацією в Scopus.

Основні положення дисертації послужили предметом наукових обговорень та отримали позитивну оцінку на 42 міжнародних та всеукраїнських конференціях, симпозіумах та семінарах і опубліковані у матеріалах і тезах цих конференцій (2008-2023рр.).

Інформація про отримані результати у кандидатській дисертації здобувача не використовувалась при підготовці докторської дисертації.

Відповідність змісту рефератуосновним положенням дисертації.Зміст реферату відповідає основним положенням дисертації і дає повне уявлення про отримані результати дослідження та їх наукову новизну та практичну значимість.

Відмічаю в цілому науково-коректний стиль викладення матеріалів дисертації. Назва роботи відповідає суті роботи, яка відповідає паспорту спеціальності 05.13.03 – Системи та процеси керування.

Недоліки

У якості недоліків у роботі потрібно відмітити наступні.

1. Метою роботи визначено «забезпечення проактивного прогнозування ризику в системі надання авіаційних послуг, пов’язаного з людським фактором, на основі управління функціональним станом персоналу в умовах невизначеності». На мій погляд, незважаючи на те що робота цілком відповідає назві, бажано було при цьому визначити запланований результат, на досягнення якого спрямоване дослідження, -на скільки можливо підвищити ефективність прогнозування функціонального стану оператора як складової людського фактору в системі управління безпекою польотів в умовах невизначеності з використанням штучних нейронних мережта скоротити кількість авіаційних пригод з вини людини, пов'язаної з авіацією.Це пов'язано з тим, що мета будь-якої наукової роботи, отже, і дисертації, полягає у виявленні нових фактів, висновків, рекомендацій, закономірностей або в уточненні відомих раніше, але недостатньо досліджених.

2. В розділу 1 «Стан проблеми та задачі досліджень» здійснено постановку мети та завдань дослідження підрозділі 1.5 «Проблема необхідності використання проактивного підходу для прогнозування впливу людського фактору на безпеку польотів». Однак математичної формалізації задачі дослідження в роботі не наведено. Вважаю було доцільне при вирішенні системного завдання, яке має різні методичні підходи, надати математичну постановку про-активного підходу при управлінні безпекою на рівні кортежей, множин, фазового простоту, критеріїв прийняття рішень в системі управління функціональним станом персоналу (синтез процесів оцінювання та прогнозування функціонального стану оператора). Це дозволить в наведеної(в Додатку Б) функціональної моделі, що надає змогу визначити місце методології синтезу оцінювання функціонального стану оператора в загальній методології

оцінювання системи управління безпекою польотів, врахувати як специфіку самих літальних апаратів (наприклад, пасажирські, транспортні, військові, дистанційно пілотовані тощо), так й інтенсивність повітряного руху.

3. В розділі1 (стор 65) стверджується, що «Проведені дослідження дають змогу визначити порушення функціонального стану оператора в якості тригеру, що запускає складний механізм підвищення ймовірності ризику при наданні авіаційних послуг» та наведені відповідні ймовірності ризику. При цьому 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. Нажаль при цьому не деталізовані як умови проведення експертного оцінювання так й врахування специфіки людського фактору, -екіпажі, диспетчера, технічний персонал, гендерні та вікові особливості тощо. У зв'язку з тим, що в роботі організм оператора розглядається, як складна самокерована система гомеостазу зі складними біологічними зворотними зв'язками система управління функціональним станом оператора, бажано було сформулювати вимого до інформаційних потоків в системі керування (оцінювання поточного стану системи та прогнозування виникнення небезпечної події на основі математичних моделей (розділ 3-5) та штучних нейронних мереж (розділ6), зокрема).

4. В розділу 2 «Розробка уніфікованої моделі часових рядів показників функціонального стану оператора (модель вимірювань) з урахуванням трендів та стохастичних впливів» при розробці та дослідженню саме параметричної моделі динаміки результатів вимірювань та її використання для односторонньої класифікації локальних та глобальних порушень у функціональних моделях динамічної рівноваги біологічного стану бажано було надати переваги

запропонованого підходу в порівнянні з іншими підходами та працями фахівців в галузі біоінформатики (біомедичного вимірювального експерименту).

5. В підрозділу 2.4.2. (стор.97)«Метод оптимізації уніфікованої моделі за критерієм статистичної стійкості» бажано було формалізувати (обґрунтувати) сам критерієм статистичної стійкості. При цьому вираз (2.30) визначає «кількісно стійкість критерію». В класичній теорії керування оптимізація передбачає знаходження відповідних екстремумів (максимум або мінімум залежності від завдання). В роботі це питання надано як наведені у таблиці 2.9 результати обрахунків функції статистичної стійкості δ (вираз (2.30)) в залежності від складності уніфікації моделі (2.29), що визначається числом L, об'єднаних величин $\{X_e\}_1^L$. Тому бажано надати обґрунтування такого підходу.

6. У розділу 3 «Системний підхід до оцінювання функціонального стану оператора»в якості методу реалізації системного підходу запропоновано використання методології IDEF0 (IntegratedDEFinition), що дозволяє представити організм людини у вигляді системи з трансформацією складного перетворення вхідних, дестабілізуючих та регулюючих чинників з урахуванням біологічного зворотного зв'язку. 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.Головним завданням процесу оцінювання функціонального стану в роботі 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. Тому бажано було конкретно сформулювати входи і виходи підсистем організму та їх взаємодію, конкретизувати 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.

7. Зроблений висновок (стор. 127), що « З огляду на нелінійність такої динамічної системи використання методів нелінійної динаміки дозволяє дослідити хаотичністьпроцесів в організмі, що представлені в просторі станів, якісно описати багато важливих особливостей організму як динамічної системи» не зовсім коректне з погляду теорії систем та процесів керування: це не дослідження «хаотичних процесів», а аналізу варіабельності серцевого ритму на основі методу нелінійної динаміки для отримання інформації про фізіологічну варіабельність процесів в організмі в цілому.

8. В розділу 4 «Вдосконалення методики оцінювання функціонального стану організму» зроблений висновок (стор.143), 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» потребує обґрунтування вимог, обмежень, припущень щодо елементів в ергатичній системі управління безпекою повітряного руху літальних апаратів.

9. У розділу 5 «Вдосконалення методуоцінювання адаптаційного потенціалу» визначається (стор.176), що точність прогнозування на основі емпіричних даних склала була збільшена в 20 разів, 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. Вважаю було доцільним при цьому надати пояснення як аналітично визначалося *підвищення точності* в рази.

10. У розділу 6. «Моделювання процедури оцінювання ризиків порушення стабільності функціонального стану з використанням емпіричного

та теоретичного підходів»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. Відомо, що 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. В даній роботі в якості прикладу вирішена задача прогнозування, що є однією з основних для штучних нейронних мереж.Автор розгядає відповідні програмами для створення нейромереж: NeuroXLPackage; NeuroSolutions; STATISTICA NeuralNetworks; MATLAB NeuralNetworkToolbox. Слід визначити, що при проектуванні нейронної мережі необхідно в першу чергу вирішити питання про кількість шарів і кількості елементів (нейронів) у кожному шарі з урахуванням властивостей вхідних і вихідних даних. Це впливає на визначення розміру прихованого шару. При цьому бажано формалізувати компроміс між точністю і узагальнюючою спроможністю мережі. Бажано також визначити особливості навчання нейронної мережі при управлінні авіаційною безпекою, а також коректності, адекватності та достовірності моделі нейронної мережі.

11. У розділу 7. «Синтез оптимального управління адаптаційними можливостями оператора»(стор.220) стверджується, що у зв’язку з тим що метою використання функціональних резервів організму оператора авіаційної діяльності є максимально ефективний розподіл цих резервів за всіма виробничими процесами, необхідно їх обирати таким чином, щоб ефективністьрозподілу функціональних резервів за всіма процесами було максимальним. Ця багатокритеріальна задача в роботі зведена до однокритеріальної з ваговими коефіцієнтами. Існують й інші варіанти, наприклад, Парето-оптимальні рішення, що в даному випадку може дати ефективні управлінські рішення.

12. Викликає сумнів ствердження автора (стор. 260 підрозділ 7.5) , що можливо підвищення достовірності прийняття рішення за рахунок *визначення*

похибок першого та другого роду. Вважаю, що в даному випадку мова йде про саме *врахування* цих похибок. При цьому 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.

13. В роботі мають місце окремі стилістичні похибки, наприклад:

…*серйозного збою* у забезпеченні безпеки (стор 32);;

…*моделювання* передавальної функції (стор.40);

Перший *батьківській рівень методології* оцінювання системи управління безпекою польотів (стор. 47);

Частинний синтез параметрів (стор.140);

провівши *нескладні перетворення* (стор.145);

політика управління ризиками безпеки польотів (стор.249);

якісна модель процесу (стор.251);

14. В роботі здійснено посилання на недосить сучасні наукові джерела:

9. Booze, C.F. Sudden inflight incapacitation in general aviation. Aviation, Space, and Environmental Medicine, April 1989, Vol. 60, No 4, pp. 332-35.

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.

26. Gottlie G. Optimal Replacement for selfrepairing Shock Model swith General Failure Rate. Journal of Applied Probability 1984. p. 108-119.

29. Hodges S.D., P.G. Moore. Data uncertainties and least squares regression. Applied. Statistics. 1972. № 21. P. 185-195.

64. Narula S.G. Predictive mean square error and stochastic regressor variables. Applied. Statistics. 1974 № 23. P. 11-16.

70.Pollard J.H. A handbook of numerical and statistical techniques. Cambridge University Press: London New York Melbourne, 1976. 344p.

77. Sprent P. Some hypotheses concerting two phase regression lines. Biometrics. 1961. vol. 17. P. 634-645

79. Sugeno M. In Fuzzy Automata and Decis. Processes.Ed. M.M. Gupta – NewYork: North-Holland PublishingCo., 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.

97. Байриев Б.С. Б.А. Лагоша. Оптимизация структур управления. Монографія под ред. Б.Б. Овезова. Ашхабад.: Ілимю 1985. 192 с.

121. Енюков І. Вибір вирішального правила за умов кінцевої навчальної вибірки. Збірник "Статистичні проблеми управління" Вільнюс, 1976. вып. 14. – С. 127-136.

128. Зубенко Ю.Д., Носач А.К. Менеджмент на базі системного аналізу. Під ред. проф. А.Д. Шарапова. Донецк-Киев, 1998.

177.Клейман О.С. Обробка результатів вимірювань, розподілених за законами, відмінними від нормального. Х.: ХІРЕ, 1992. 132 с.

199. Орнатский П.П. Теоретическиеосновыинформационно-измерительнойтехники. К.: Вища школа, 1983. 455с.

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.

209.Раудіс Ш. Обмеженість вибірки у завданнях класифікації. Збірник «Статистичні проблеми управління». Вільнюс, 1976. Вип. 18. – С. 1-185.

211. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій: підруч. Київ: Вища шк., 1995. 519 с.

213. Светлов С.М. Спосіб асимптотичної оцінки похибок поліноміальної апроксимації за методом найменших квадратів. Український метрологічний журнал. 1999. Вип. 3. С. 61-64.

219. Таланчук М.П., Скрипник Ю.О., Дібровний В.О. Засоби вимірювання в автоматичних інформаційних та керуючих системах. К.: Райдуга, 1994. 672с.

223.Храмов А.В. Первинні вимірювальні перетворювачі: навчальний посібник. К.: Вища школа, 1998. 527 с.

Вказані недоліки, вважаю, не знижують науковий рівень дисертації «***Методологія синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності***» та не впливають на позитивне враження від дисертації, як кваліфікаційної роботи, в цілому, завершеність якої не викликає сумніву. Робота містить висунуті автором науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, наукові положення, особистий внесок здобувача в науку.

Висновок.

Дисертаційна робота **Іванець Ольги Борисівні** на тему «***Методологія синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності***» є науковою працею, в якій одержані нові науково обґрунтовані результати в галузі технологій розробки систем тапроцесів керування, що в сукупності вирішують актуальну науково-прикладну проблему розробки теоретичних основ, інструментального базису та технології синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності, які спрямовані на зменшення ризику пов’язаного з людським фактором управління безпекою польотів .

Сформульована в дисертації мета досліджень досягнута. Дисертація виконана на високому науковому рівні, а результати досліджень є значним внеском в подальший розвиток теорії і практики розробки інформаційно-алгоритмічного забезпечення систем управління в умовах невизначеності та неповноти апріорної інформації, а також програмно-технічних засобів для проектування, створення та впровадження систем управління, моделюючих комплексів і пакетів прикладних програм, що застосовуються при розробленні систем управління.

Дисертаційна робота має зазначену наукову новизну та практичну значимість, є власним науковим дослідженням, яке за структурою, обсягом і характером викладення матеріалу відповідає «Вимогам до оформлення

дисертації» Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 року №40 (зі змінами і доповненнями) та п.п. 7 і 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 року №1197 (зі змінами і доповненнями) щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор **Іванець Ольга Борисівна** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.03 –Системи тапроцеси керування.

Офіційний опонент -
професор кафедри екологічної безпеки
Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління
доктор технічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України,
Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки

О.Машков **О.А. Машков**

01 липня 2024р.
Підпис Машкова О.А. засвідчую
Нач. від. кадр. забезп. Аксьонова О.Н.