

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.062.03 Національного авіаційного
університету
Катерині НЕСТЕРЕНКО
03058, м.Київ, проспект Любомира
Гузара, 1

ВІДГУК

Опонента – доктора технічних наук, професора, професора кафедри кібербезпеки, інформаційних технологій та економіки Київського університету інтелектуальної власності та права Національного університету «Одеська юридична академія» **Тупкало Віталія Миколайовича** на дисертаційну роботу **Іванець Ольги Борисівни** на тему:

«Методологія синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.03 «Системи та процеси керування»

Актуальність.

Сучасний стан розвитку авіаційної галузі потребує високих стандартів до забезпечення безпеки при наданні авіаційних послуг що, згідно Державної програми з безпеки польотів, є невід'ємною складовою національної безпеки країни. Впровадження методології оцінювання системи управління безпекою польотів потребує всебічного аналізу факторів, що впливають на систему управління безпекою польотів, людського фактору зокрема. Питання завчасного виявлення складових людського фактору як ключового триггеру авіаційних подій є актуальним питанням, згідно зазначеною методології, що потребує розробки науково-методологічних засад забезпечення проактивного підходу виявлення небезпечних факторів в системі управління безпекою польотів. Людський компонент є найбільш гнучкою і адаптованою частиною авіаційної системи, але водночас є найбільш чутливим до зовнішнього та внутрішнього впливу, що може негативно позначитися на результатах виконання їм професійних обов'язків. Тому, системний підхід до оцінювання та прогнозування стану операторів авіаційної галузі є важливим елементом в проактивному забезпеченні виявленні загроз в системі управління безпекою польотів.

На сьогодні, питання комплексного підходу при оцінюванні та прогнозуванні порушення функціонального стану оператора є недостатнім із-за відсутності відповідних науково обґрунтованих інструментів. Дисертаційна

робота Іванець О.Б., що подана до розгляду в спеціалізованій вченій раді Д 26.962.03 вирішує актуальну науково-практичну проблему щодо оцінювання та прогнозування функціонального стану оператора на основі синтезу методів і моделей для завдань методології оцінювання системи управління безпекою польотів.

Розв'язання проблеми, що полягає у потребі прогнозування виникнення небезпечної події в умовах невизначеності функціонального стану оператора та неможливістю проактивного виявлення його порушення, вимагає розробки відповідних підходів, методів та моделей для оцінювання та прогнозування такого стану.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

Дисертаційну роботу Іванець О.Б., поданої до розгляду, можна характеризувати як достатньо обґрунтовану наукову базу, що має чіткий структурований вигляд. Авторка спирається на наукові дослідження вітчизняних та закордонних вчених в авіаційній галузі, що спеціалізуються на різних складових прогнозування ризиків при наданні авіаційних послуг. Для досягнення мети в дисертаційній роботі вирішувалися взаємопов'язані задачі, що стали основою для розробки функціональної моделі оцінювання функціонального стану оператора для завдань методології оцінювання системи управління безпекою польотів: здійснення аналізу існуючих методів управління ризиками з безпеки польотів, систематизовані відомі теоретичні підходи, що покладено в основу оцінювання факторів ризику з урахуванням людського фактору; визначені та класифіковані чинники впливу на функціональний стан оператора на основі урахування мінливості результатів біомедичних вимірювань, розроблена ймовірнісна модель часових рядів медико-біологічних показників функціонального стану оператора; проведений дисперсійний аналіз адитивних та мультиплікативних складових ймовірнісної моделі, що відповідає за її глобальні та локальні зміни та визначений їх вплив на фактори ризику; виявлені впливи значень фізичних навантажень на зміну медико-біологічних параметрів за критерієм статистичної стійкості біологічної рівноваги; розроблений метод визначення індивідуальних меж норми медико-біологічних показників оператора з використанням багатопараметричних критеріїв; розроблена модель прогнозування виникнення небезпечної події різкого порушення стану серцево-

судинної системи; вдосконалений критерій оцінювання небезпеки відхилення від норми показників стану організму на основі результатів вимірювального контролю його параметрів за рахунок врахування індивідуальних меж норми; розроблена модель прогнозування динаміки медико-біологічних параметрів для завдань оцінювання функціонального стану персоналу; розробити топологічну модель оцінювання та прогнозування функціонального стану оператора для завдань проактивного виявлення джерел небезпеки, пов'язаного з людським фактором, в загальній системі управління безпекою польотів.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується доцільністю застосування математичного та статистичного аналізу, методів декомпозицій, використанням теорії графів, моделей прогнозування, методами синтезу складних динамічних систем. Достовірність наукових висновків дисертаційної роботи підтверджується коректним формулюванням завдання, збором достатньої кількості експериментальних даних, результатами моделювання та прогнозування, застосування отриманих результатів у практичній діяльності.

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

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

- уперше 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);

- уперше 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;

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

- уперше розроблена топологічна модель оцінювання функціонального стану оператора, з використанням мереж Петрі, що поєднує в собі обґрунтовані в дисертаційній роботі методи, моделі та критерії в єдину систему оцінювання, що є важливим елементом методології синтезу управління функціональним станом персоналу, для завдань методології оцінювання системи управління безпекою польотів, а також інструментом для формування обов'язкових та добровільних сповіщень, пов'язаних зі станом або рівнем втоми персоналу;

- удосконалено метод розрахунку адаптаційного потенціалу (адаптаційних резервів) оператора, який на відміну від існуючих здійснює перевірку гіпотези про стабільність функціонального стану оператора з використанням карт Хотеллінга;

- отримав подальшого розвитку метод оцінювання небезпеки відхилення стану біологічного об'єкту від межі норми медико-біологічних показників за рахунок врахування індивідуальної межі норми та їх поділу на рівні інформативної значимості, що дозволить починати перевірку стану оператора з показників з найвищим ступенем ознаки та авторегресійна модель прогнозування медико-біологічних параметрів за рахунок визначення її оптимальних коефіцієнтів при поданні похибки прогнозування в метриці на основі методу Geman-McClure.

Повнота викладення основних положень дисертації в опублікованих працях. За результатами дослідження опубліковано: 28 фахових статей у виданнях затверджених МОН України; у розділах двох колективних монографіях виданих закордоном (одна з них з індексацією в Scopus); 9 наукових публікацій у закордонних виданнях які проіндексованих у базах даних

Web of Science Core Collection та/або Scopus (одна з них у виданні з квантилем $Q3$, що дорівнює 2 публікаціям), 1 стаття у науковому фаховому виданні України групи А; 30 публікації в інших виданнях, матеріалах і тезах доповідей на конференціях, у тому числі за кордоном.

Практичне значення результатів дослідження полягає в наступному.

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

Розроблений метод оптимізації запропонованої уніфікованої моделі для різних варіантів фізичних навантажень дозволяє значно зменшити кількість необхідної інформації та відповідно кількість проведених експериментальних досліджень для прийняття рішення щодо оцінювання функціонального стану оператора впроваджена в Інституті фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України для створення експертних систем,;

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

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

Розроблена топологічна модель оцінювання функціонального стану оператора дозволяє виявити та оцінити ризик порушення функціонального стану персоналу та може бути використана для своєчасно формування

обов'язкового та/або добровільного сповіщення про рівень втоми оператора в рамках методології управління ризиками в авіації.

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

Отримані результати дисертаційної роботи надають можливість: вдосконалити процес визначення джерел небезпеки на основі проактивного підходу та оцінювання функціонального стану оператора в якості тригера в процесі оцінювання ризиків; отримати первинну інформація про кількісні зміни ефектів неоднорідностей та порушень біологічної (динамічної) рівноваги при проведенні діагностичних процедур біологічних об'єктів з урахуванням стохастичних впливів; виявити вплив трендів та стохастичних процесів при вимірюванні та обробки результатів діагностичних процедур біологічних об'єктів; встановити верифікацію мінливості функціонування біологічного об'єкту для дослідження інформаційних властивостей елементів ймовірнісної моделі динаміки результатів вимірювань; провести оптимізацію уніфікованої моделі за критерієм статистичної стійкості для визначення чутливості до порушень динаміки біологічної рівноваги та визначити оптимальні умови тривалих біомедичних дослідженнях з урахуванням особливостей фізичного навантаження біологічних об'єктів для оцінювання стабільності (рівноваги) біологічного функціонування; оцінити стабільність функціонального стану оператора на основі багатопараметричних критеріїв з урахуванням персоналізованого підходу а визначити на його основі індивідуальні межі норми; провести оцінку небезпеки відхилення від норми показників стану організму на основі результатів вимірювального контролю його параметрів; провести оцінку ризиків на основі емпіричного та теоретичного підходу з використанням штучних нейронних мереж; отримати інформаційну модель

системи прийняття рішення щодо функціонального стану оператора шляхом урахування невизначеності вимірювань параметрів систем організму

Оцінка змісту дисертації, її завершеності і відповідності встановленим вимогам. Дисертаційне дослідження автора є індивідуальним, оригінальним та вичерпним науковим дослідженням в межах якого успішно розв'язана актуальна наукова проблема.

Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, семи розділів, висновків по роботі, додатків та списку використаних джерел. Матеріали роботи викладені на 381 сторінці, містять 55 рисунків та 22 таблиці, 9 додатків на 99 сторінках. Перелік використаних джерел становить 241 найменування.

У **вступі** чітко обґрунтована актуальність і своєчасність проведеного дослідження, сформульовано мету, об'єкт, предмет та наукову проблему дослідження, освітлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Важливість і практична цінність дослідження підкреслена зв'язком роботи з науковими програмами, підтверджено достовірність отриманих результатів та особистий авторський внесок. Також подана інформація про публікації автора по темі дослідження, показана загальна структура роботи.

В **першому розділі** проаналізований сучасний стан розвитку методології оцінювання системи управління безпекою польотів, її складових та проаналізовані фактори, що впливають на авіаційну безпеку та визначено місце людського фактору в загальній методології оцінювання. На основі проведення декомпозицій рівнів ієрархії зазначеної методології було визначено, що функціональний стан оператора є ключовою складовою при оцінювання людського фактору та були окреслені напрямки дисертаційного дослідження в цьому напрямку.

В **другому розділі** проведений аналіз особливостей оцінювання функціонального стану оператора та визначені факторні впливи на динаміку часових рядів результатів біомедичних вимірів та введена класифікація видів такого впливу. Розроблена модель часових рядів (результатів вимірювань), що доповнена ймовірнісними збуреннями, визначені інформативні параметри у формі F -статистик Фішера, що несуть первинну інформацію про порушення біологічного функціонування. Отримано рівняння для оцінювання кількості

інформації про динамічні порушення для порівняння статистик Фішера за інформативністю. Розроблена методика оптимізації уніфікованої ймовірнісної моделі для різних варіантів фізичних навантажень впродовж біомедичного експерименту за критерієм статистичної стійкості діагностичних рішень, що дозволила зменшити кількість навантаження при проведенні експериментальних досліджень в 2 рази.

В **третьому розділі** 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 підходу дозволяє вчасно встановлювати факт наявності порушення стабільності функціонування організму, що може призвести до помилкових дій оператора. Здійснений розвиток методу багато параметричного критерію Хотеллінга з урахуванням індивідуальних особливостей організму, що є більш чутливим методом ніж використання існуючого підходу з визначенням загальноприйнятих значень норми.

В **четвертому розділі** здійснений аналіз критерію кількісного оцінювання функціонального стану оператора, що дозволяє, використовуючи метод оцінювання небезпеки вчасно встановлювати факт наявності високої імовірності відхилень функціонального стану оператора від значень індивідуальної норми та приймати відповідні заходи для їх нормалізації.

Проведений розвиток методу оцінювання небезпеки відхилення стану біологічного об'єкту від індивідуальної межі норми функціонального стану організму, впровадження якого дозволяє встановлювати факт виникнення відхилень функціонального стану від індивідуальної межі норми, приймати відповідні міри для попередження відхилень.

В **п'ятому розділі** на основі проведеного аналізу факторів дестабілізації, що впливають на операторів авіаційної галузі при виконанні професійних обов'язків 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%.

Запропонована модифікація AR(p) моделі прогнозування динаміки медико-біологічних параметрів з визначенням його оптимальних коефіцієнтів при поданні похибки прогнозування, яка з використанням модифікованого рівняння Yule-Walker в метриці Geman-McClure, дозволяє підвищити точність прогнозування на основі емпіричних та змодельованих даних.

В шостому розділі розроблена штучна нейронна мережа, 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.

Сьомий розділ присвячений аналізу особливостей процедури прийняття рішення, зокрема про порушення функціонального стану оператора. Проведені розрахунки невизначеності за типом А та типом В та сумарної невизначеності при оцінюванні медико-біологічних параметрів, що надало змогу отримати нерівність, що враховує невизначеність впливу факторів при оцінюванні функціонального стану. Розроблено топологічну модель оцінювання функціонального стану оператора, з використанням мереж Петрі, що поєднує в собі обґрунтовані в дисертаційній роботі методи, моделі та критерії в єдину систему оцінювання для завдань методології оцінювання системи управління безпекою польотів, а також є інструментом для формування обов'язкових та добровільних сповіщень, пов'язаних зі станом або рівнем втоми персоналу; в свою чергу розроблені методи, моделі та критерії у сукупності з використанням голістичного підходу надають змогу зменшити ймовірність настання ризикової події за рахунок оцінювання функціонального стану на 16,3%.

Висновки відображають стан і рівень виконання поставлених завдань, об'єктивно відображають новизну і практичну цінність отриманих результатів, є логічно зв'язаними та обґрунтованими.

Зміст автореферату є ідентичним до змісту дисертації та достатньою мірою висвітлює основні наукові та практичні положення дисертаційної роботи.

Дисертація є завершеною науковою працею.

Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

1. У ході теоретичних досліджень (підрозділи 1.1.-1.3) увага приділена аналізу людського фактору та його вплив на систему управління безпекою польотів. Доцільно було б провести порівняльну характеристику організаційних та людських факторів впливу та дослідити їх взаємний вплив.

2. В дисертаційній роботі (підрозділ 3.4) проведений аналіз часових рядів медико-біологічних сигналів з використанням методів нелінійної динаміки та побудовані карти Пуанкаре та дивні аттрактори з розрахунком відповідних ентропій. Було б доречно провести аналіз часових рядів медико-біологічних параметрів з використанням технології Fuzzy Logic та порівняти отримані результати для одних і тих самих сигналів. Також, було б корисним побудувати рекурентні діаграми даних сигналів та порівняти отримані візуальні та кількісні значення результатів.

3. Отримана модель прогнозування різкого порушення функціонального стану на основі штучних нейронних мереж (підрозділ 6.2) була побудована в різних програмних продуктах для найбільш вживаних типів мереж, але доречно було б використати штучні рекурентні нейронні мережі (RNN) з глибоким навчанням, що останнім часом активно використовуються для навчання та класифікації часових рядів в біомедицині.

4. В дисертаційній роботі проведене прогнозування динаміки зміни медико-біологічного параметру з використанням модифікованого рівняння Yule-Walker в матриці Geman-McClure (підрозділ 5.3). В якості медико-біологічного параметру обрана частота серцевих скорочень, доречно було б провести прогнозування ще одного параметру та провести порівняльний аналіз отриманих результатів.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Іванець Ольги Борисівни на тему «Методологія синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.03 «Системи та процеси керування» включає самостійні авторські висновки і результати, які мають наукове підґрунтя і були успішно інтегровані для практичного використання в системі управління безпекою польотів.

Отримані результати дослідження, представлені автором вирішують актуальну науково-практичну проблему розвитку науково-методологічного апарату управління функціональним станом персоналу з метою мінімізації ризику, пов'язаного з людським фактором.

Дисертаційне дослідження є закінченою науковою роботою на актуальну тему, що містить нові науково підтвержені теоретичні та практичні висновки, що відзначаються особистим внеском автора в галузь науки.

Дисертаційна робота Іванець Ольги Борисівни на тему «Методологія синтезу управління функціональним станом персоналу з елементами штучного інтелекту в умовах невизначеності», за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною, змістом та оформленням відповідає паспорту спеціальності 05.13.03 «Системи та процеси керування», вимогам пункту 7,8,9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021р. № 1197, а її автор Іванець Ольга Борисівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.03 «Системи та процеси керування».

Опонент:

Професор кафедри кібербезпеки,
інформаційних технологій та економіки
Київського університету інтелектуальної
власності та права Національного університету
«Одеська юридична академія»
доктор технічних наук, професор



Віталій ТУПКАЛО