

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КОЖОХІНА ОЛЕНА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 629.735.017.1:629.735.054.07(043.3)

**ІНФОРМАЦІЙНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ НАДІЙНОСТІ
ОПЕРАТОРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

Спеціальність 05.22.13 – Навігація та управління рухом

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 2015

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент

Грїбов Віктор Михайлович,
професор кафедри авіоніки навчально-наукового інституту аеронавігації, Національного авіаційного університету, м. Київ

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Аль Амморі Алї,
професор кафедри інформаційних систем і технологій, Національний транспортний університет, м. Київ

кандидат технічних наук, доцент

Алексєєв Олег Миколайович,
головний спеціаліст відділу організації повітряного руху та використання повітряного простору департаменту аеронавігації Державної авіаційної служби України, м. Київ

Захист дисертації відбудеться « 5 » листопада 2015 р. о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.03 при Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова 1.

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова 1.

Автореферат розісланий « 5 » жовтня 2015р.

Учений секретар

спеціалізованої вченої ради:

Д 26.062.03 д.т.н., с.н.с., проф.



Павлова С.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Професія оператора аеронавігаційних систем (АНС) відрізняється високою психологічно-емоційною та інтелектуальною спрямованістю і відноситься до найбільш напружених і емоційно-насичених видів професійної діяльності.

Від ефективності роботи оператора АНС і його здатності виконувати свою роботу вчасно і безпомилково залежить не тільки пропускну здатність системи управління повітряним рухом, але й безпека польотів у цілому.

Організація повітряного руху в сучасних умовах є складним завданням, пов'язаним з урахуванням людського фактору, організаційних чинників і спрямована на мінімізацію виникнення негативних процесів, таких як авіаційні події та інциденти.

Згідно зі статистикою Eurocontrol помилки операторів розподіляються в залежності від механізму їх появи наступним чином: сприйняття та пильність – 32 %, робоча пам'ять – 9 %, довготривала пам'ять – 1 %, планування та прийняття рішень – 53 %, протікання реакції – 5 %. Саме тому потрібна оптимізація роботи операторів в залежності від типу виконуваних завдань.

Аналіз особливостей роботи операторів АНС виявив ряд закономірностей їх діяльності, що дозволять розробити нову модель надійності, завдяки якій можливо не тільки підтримувати необхідний і достатній рівень надійності та ефективності оператора, але й підвищити якість його функціонування в нормальних та особливих польотних умовах (польоти над гірською місцевістю, в зоні грозової діяльності, над полярними районами Північної і Південної півкуль, пустинної і малоорієнтованої місцевостями, великими водними просторами, на малих висотах і вночі).

Кількісною оцінкою надійності роботи оператора АНС може служити ймовірнісна оцінка успішного виконання ним операції або поставленого завдання на заданому етапі функціонування системи протягом певного інтервалу часу.

На жаль, сучасні методики, що використовуються в області ергономіки, інженерної психології, авіаційної психології, авіаційної медицини та інших напрямків, пов'язаних з експлуатаційними чинниками, не дають можливості повною мірою підвищити ефективність та надійність діяльності операторів АНС.

Тому ефективність та надійність роботи оператора АНС може коливатися в значних діапазонах в нормальних й особливих умовах.

Недостатня наукова розробленість моделей надійності операторів АНС і те істотне значення, яке вони набувають для безпеки польотів в цілому, визначають актуальність теми, мету і завдання дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з науковими дослідженнями, які про-

водяться на кафедрі авіоніки Навчально-наукового інституту аеронавігації Національного авіаційного університету та спрямовуються на підтримання належного рівня надійності операторів аеронавігаційних систем. Тема роботи пов'язана з Програмою розвитку Державної системи використання повітряного простору України на 2010 – 2014 роки, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України від 13 січня 2010 р. № 44.

Мета і завдання дослідження. *Метою* дисертаційного дослідження є розробка інформаційно-функціональної моделі надійності оператора АНС з урахуванням особливостей його функціонування.

Для досягнення мети поставлено наступні *завдання*:

1. Провести аналіз існуючих методів визначення закономірностей діяльності операторів складних систем (особливо операторів АНС).

2. Розробити інформаційно-функціональну модель надійності оператора АНС.

3. Визначити основні особливості й аналітичні співвідношення інформаційної надійності оператора АНС та провести верифікацію моделі надійності оператора АНС.

4. Вдосконалити комбінований метод визначення функціональної надійності оператора АНС.

Об'єкт дослідження – процес функціонування людини-оператора при експлуатації аеронавігаційних систем в нормальних та особливих умовах.

Предмет дослідження – закономірності інформаційної, експлуатаційної, функціональної та професійної складових надійності роботи операторів аеронавігаційних систем.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач застосовувалися методи теорії дослідження операцій, теорії ефективності складних систем, теорії прийняття рішень, теорії надійності, теорії ймовірностей, теорії статистики та теорії інформації.

Наукова новизна отриманих результатів:

вперше: розроблено інформаційно-функціональну модель надійності оператора аеронавігаційної системи, яка на відміну від існуючих враховує динаміку зміни помилок оператора в залежності від його завантаження та дозволяє комплексно вирішувати задачу визначення надійності оператора в нормальних та особливих польотних умовах.

вдосконалено: комбінований метод визначення функціональної надійності оператора АНС, що дозволяє оперативно оцінювати його функціональну надійність та динаміку змін ймовірності безпомилкової роботи оператора в залежності від режимів його роботи.

набули подальшого розвитку: закономірності зниження інформаційної надійності оператора АНС при зростанні обсягу оброблюваної інформації в особливих умовах роботи.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1. Комплекс «Антипульс», що дозволяє не тільки оцінювати помилки операторів АНС, а також проводити антистресову підготовку.

2. Розроблено процедурний тренажер диспетчера пункту збору повідомлень щодо обслуговування повітряного руху.

3. Розроблено методика оцінювання надійності операторів АНС, які проходять первинну підготовку, на основі обробки інформації, отриманої за допомогою процедурного тренажера для оператора АНС, що відрізняється від існуючих тим, що виключає суб'єктивність при оцінюванні результатів.

4. За результатами досліджень розроблено рекомендації оптимізації надлишковості в роботі операторів АНС, які дозволяють підвищити ефективність функціонування оператора.

Розроблені за результатами дисертаційної роботи матеріали впроваджено в навчальний процес кафедри авіоніки Навчально-наукового інституту аеронавігації Національного авіаційного університету з дисципліни: «Надійність систем авіоніки». Використано в НДР № 93/22.01.05 від 2012р, НДР№1/22.01.05 від 2014р.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійно виконаною науковою працею. Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи, які виносяться на захист, одержані автором самостійно. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, у дисертаційній роботі використані тільки ті положення, що є результатом особистого дослідження здобувача.

–У роботах [1, 14, 20] автором особисто досліджені особливості надійності оператора АНС;

–У роботах [4, 6, 13, 16, 21] автор брав участь у постановці задачі та графічному представленню отриманих результатів;

–У роботах [2, 8] автором обґрунтовано застосування дифузійної немонотонної моделі в якості моделі розподілу помилок оператора АНС;

–У робота [5] виконана автором одноосібно;

–У роботах [7, 11] запропоновано методику антистресової підготовки оператора;

–У роботах [3, 10, 12, 15, 19] автор дослідив причини зниження рівня надійності оператора АНС;

–У роботах [17, 18] автор брав участь у постановці задачі та дослідженнях ефективності роботи оператора АНС;

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати роботи доповідалися на Міжнародних та Всеукраїнській науково-технічних конференціях: Проблеми навігації та керування повітряним рухом (м. Київ, 2010 р.); Всероссийская межвузовская конференция молодых ученых (г. Санкт-Петербург, 2010 г.); Міжнародна науково-практична конференція молодих

вчених та студентів «Політ. Проблеми сучасної науки» (м. Київ, 2011 р.); Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, керування та організації повітряного руху CNS/ATM (м. Київ, 2011 р.); Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених та студентів «Політ. Проблеми сучасної науки» (м. Київ, 2012 р.); The fifth world congress «AVIATION IN THE XXI-st CENTURY» Safety in Aviation and Space Technologies (м. Київ, 2012 р.); XI міжнародна науково-технічна конференція «ABIA-2013» (м. Київ, 2013 р.); «Статистичні методи обробки сигналів і даних» (м. Київ, 2013 р.); «Проблеми навігації та управління рухом» (м. Київ, 2013 р.); «Політ. Сучасні проблеми науки: XIV МНПК молодих учених та студентів» (м. Київ, 2014 р.); Шостий Всесвітній конгрес «Авіація у XXI столітті» – «Безпека в авіації та космічні технології» (м. Київ, 2014 р.); 3rd International Conference. Methods and systems of navigation and motion control MSNMC-2014 (м. Київ, 2014 р.); Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, керування та організації повітряного руху CNS/ATM (м. Київ, 2014 р.), XII Міжнародна науково-технічна конференція «ABIA-2015» (м. Київ, 2015 р.).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 21 наукову роботу, серед яких: 7 наукових статей у фахових виданнях, що індексуються у наукометричних базах; 2 з яких видані у міжнародних виданнях: Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики; Проблемы безопасности полетов (научно-технический журнал). Издание Всероссийского института научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН)); 1 стаття, у виданні, що входить до зарубіжної наукометричної бази даних Scopus; 14 тез доповідей наукових конференцій; 1 деклараційний патент України.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг роботи становить 168 сторінок, 80 рисунків, 13 таблиць, список використаних джерел з 112 найменувань та 19 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, мета і напрямок вирішення поставленої проблеми, розкриті наукова новизна роботи і практична значимість результатів дослідження.

У першому розділі розглянуто існуючі моделі надійності, які можливо застосовувати для виявлення закономірностей діяльності операторів АНС.

Особливу увагу було приділено дослідженню моделей комунікації (Шеннон, Уівер, Осгуд, Шрамм, Данс, Берло), обробки інформації (Брондбент, Пейн, Альман, Вікерс), когнітивним (Холхаген), системним (Фокін, Маньшин) та функціональних (Бруснецов).

В результаті виявлено необхідність введення ряду визначень, що регламентують надійність та її складові відповідно до особливостей діяльності оператора АНС, або вдосконалення вже існуючих через те, що вони не розкривають в повній мірі всі особливості функціонування вищезазначених фахівців.

Було визначено критерії, яким повинна відповідати інформаційно-функціональна модель надійності (ІФМН) операторів АНС в інтервалі часу, обумовленому особливостями його функціонування: релевантність, адекватність, можливість виконання розрахунків надійності системи, універсальність і практична придатність (рис. 1).

Розрахунок надійності оператора АНС повинен враховувати той факт, що оператор має властивість відновлення, тобто при виконанні його функціональних обов'язків може виникнути помилка, після якої працездатність оператора АНС відновиться.

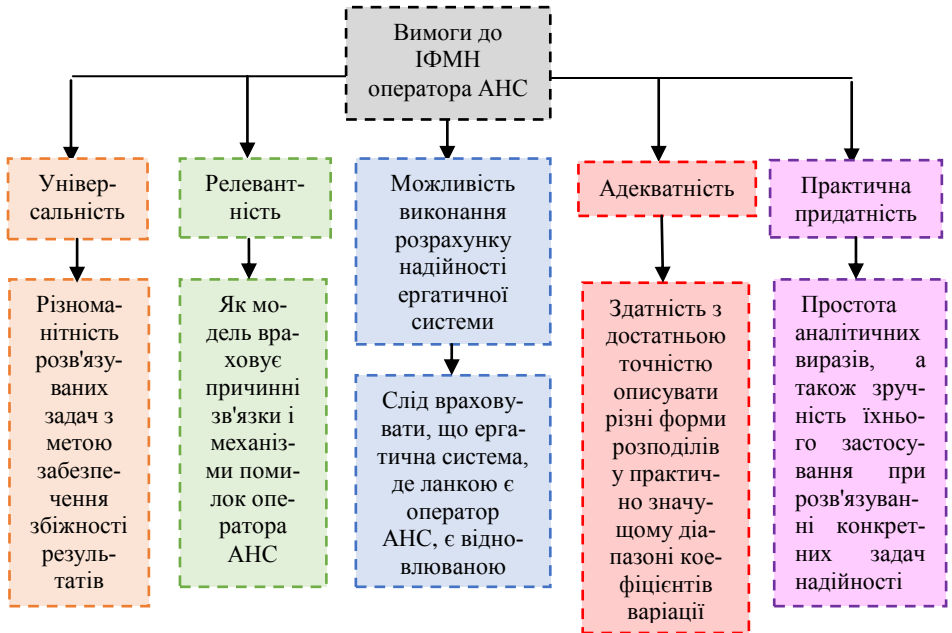


Рис. 1. Вимоги до інформаційно-функціональної моделі надійності оператора АНС

Слід зазначити, що розрахунок надійності оператора АНС з урахуванням необхідного відновлення його працездатності може бути виконаний за умови, що модель розподілу помилок має властивості згортання розподілу випадкових величин. Згортання функцій – операція в функціональному аналізі, що

показує «схожість» однієї функції з відбитою і зрушеною копією іншої.

З відомих моделей надійності цій вимозі задовольняють: експоненціальна (EXP) і дифузійна немонотонна моделі (DN).

Порівняльний аналіз різних показників вищезазначених розподілів показав, що EXP модель є досить неточною моделлю розподілу помилок. Використовувати її для розрахунку надійності оператора АНС не доцільно. Найбільш прийнятною моделлю для розрахунку безпомилковості оператора АНС слід вважати DN модель.

Виявлено протиріччя між обмеженими можливостями існуючих фрагментарних моделей надійності операторів і необхідністю урахування можливості оперативного забезпечення оцінювання показників надійності оператора АНС, а також їх інтеграції до моделей розрахунку надійності технічних систем.

Для комплексного визначення цього питання актуальною стає задача удосконалення існуючих моделей надійності оператора та створення на їх базі аналітичної інформаційно-функціональної моделі надійності оператора АНС, яка би повною мірою задовольняла всім вимогам характеристик точності, діючим в Україні нормативним документів щодо забезпечення необхідного рівня безпеки польотів.

У другому розділі розроблено інформаційно-функціональну модель надійності оператора АНС.

Через те, що причини помилок оператора АНС мають різну природу та причини (рис. 2), а також враховуючи той факт, що ймовірність безвідмовної роботи $R(t)$ оператора АНС є високоюмовірнісною подією, у роботі введено такі поняття: функціональна, експлуатаційна, інформаційна, професійна і структурна надійності; помилка оператора АНС; інформаційна пастка; резервування інформації; інформаційно-аналітична функція оператора аеронавігаційних систем.

Інформаційна надійність оператора АНС – властивість оператора АНС оброблювати інформаційні потоки безпомилково в заданому інтервалі часу та при заданих зовнішніх умовах.

Функціональна надійність оператора АНС – властивість функціональних систем оператора АНС забезпечувати його динамічну стійкість при виконанні професійних завдань протягом певного часу і з заданим рівнем якості.

Професійна надійність оператора АНС – властивість оператора АНС безпомилково і своєчасно приймати рішення, що веде до досягнення конкретної мети в заданих умовах при взаємодії з технічними засобами й іншими фахівцями та його готовність до прийняття рішення.

Експлуатаційна надійність оператора АНС – властивість оператора АНС зберігати працездатний стан протягом заданого часу робочої зміни за впливу зовнішніх факторів та перешкод.

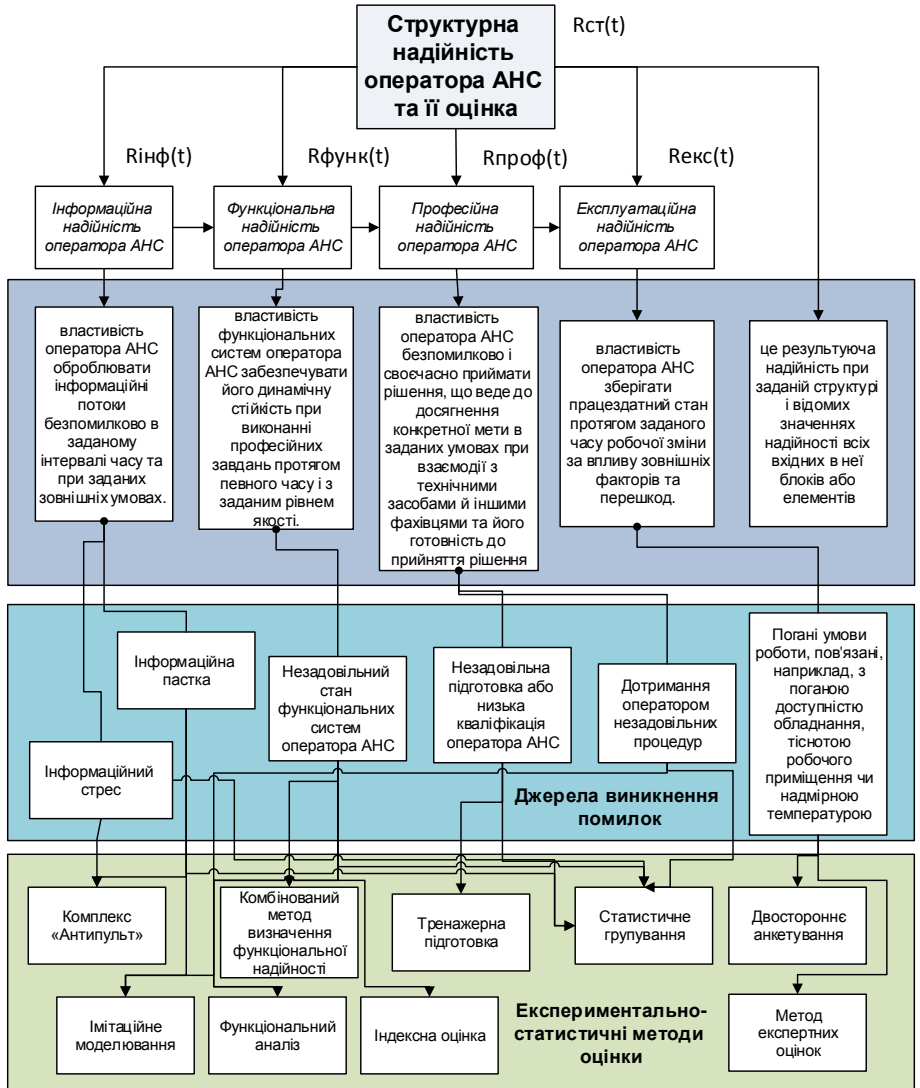


Рис. 2. Структурна схема надійності оператора АНС і причини виникнення його помилок

В дисертації запропонована структурна модель надійності оператора АНС (див. рис. 2), яка враховує особливостей певних етапів його функціонування (рис.3).

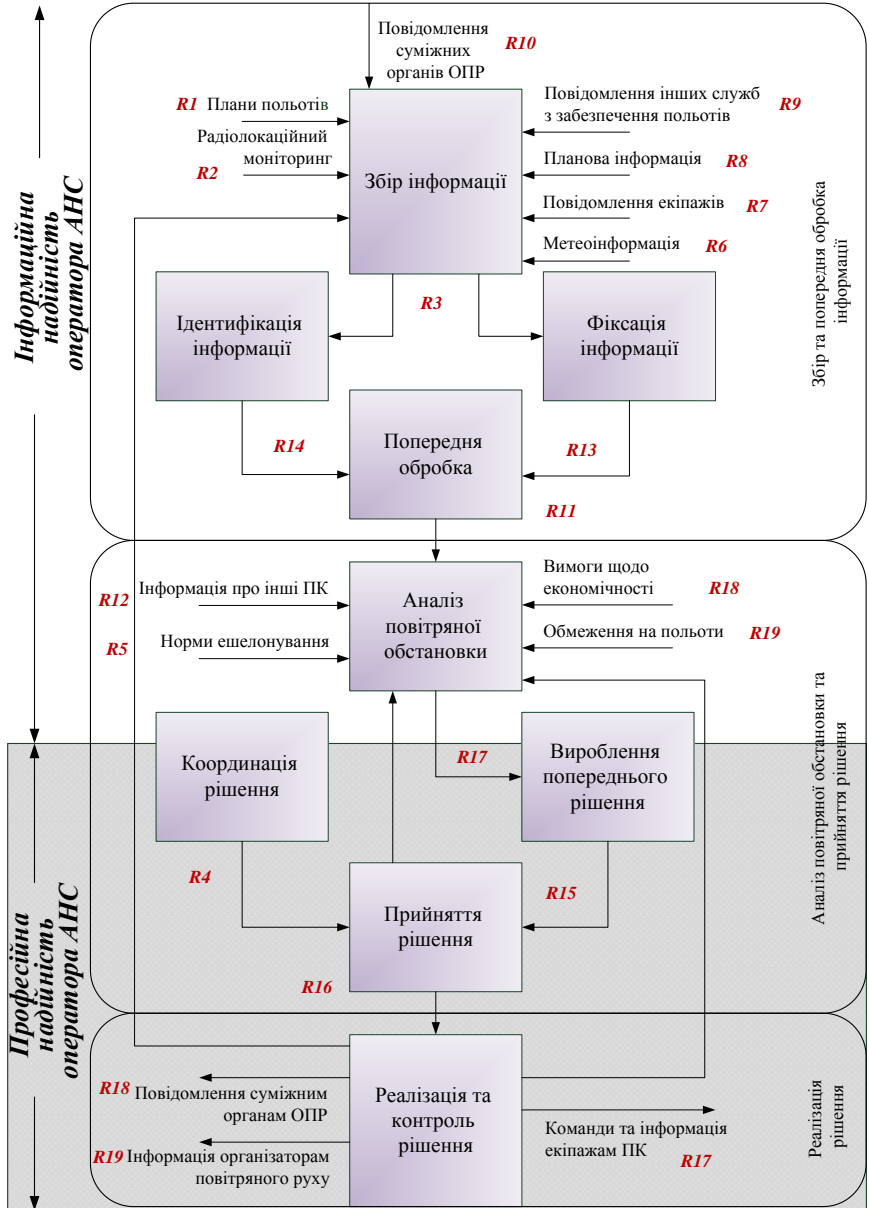


Рис. 3. Інформаційна та професійна надійність оператора АНС

Ймовірність безпомилкової роботи оператора визначаємо:

$$R(t) = \Phi\left(\frac{\alpha - t}{\beta \cdot \sqrt{\alpha \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\beta^2}\right) \cdot \Phi\left(\frac{\alpha + t}{\beta \cdot \sqrt{\alpha \cdot t}}\right),$$

де α – середній часу напрацювання оператора до першої помилки;
 β – коефіцієнт варіації напрацювання оператора до помилки;
 $\Phi(\bullet)$ – інтегральна функція Лапласа.

Використовуючи залежності для різних типів ланок структури надійності складної системи, таких як послідовне та паралельне з'єднання, отримана аналітична залежність ймовірності безпомилкової роботи оператора АНС від часу та в залежності від природи та причини його помилки

$$R_{cm}(t) = R_{инф}(t) \cdot R_{функ}(t) \cdot R_{проф}(t) \cdot R_{експ}(t), \quad (1)$$

де: $R_{инф}(t) = \left[\prod_{i=1}^b R_i(t) \cdot (1 - \prod_{i=1}^d (1 - R_i(t))) \right]$ – загальна інформаційна ймовірність безпомилкової роботи оператора; R_i – складові ймовірності інформаційної безпомилкової роботи оператора АНС;

$R_{функ}(t) = 1 - \prod_{f=1}^m (1 - R_f(t))$ – загальна функціональна ймовірність безпомилкової роботи оператора; R_f – складові ймовірності функціональної безпомилкової роботи оператора АНС;

$R_{проф}(t) = \prod_{n=1}^k R_n(t)$ – загальна професійна ймовірність безпомилкової роботи оператора; R_n – складові ймовірності професійної безпомилкової роботи оператора АНС;

$R_{експ}(t) = 1 - \prod_{e=1}^l (1 - R_e(t))$ – загальна експлуатаційна ймовірність безпомилкової роботи оператора; R_b – складові ймовірності експлуатаційної безпомилкової роботи оператора АНС.

Виходячи з вищезазначеного, отримаємо загальну залежність для інформаційно-функціональної моделі надійності оператора АНС:

$$\begin{aligned}
 R_{cm}(t) = & \left[\left[1 - \prod_{e=1}^l \left(1 - \left(\frac{\alpha_e - t}{\beta_e \cdot \sqrt{\alpha_e \cdot t}} \right) - \exp\left(\frac{2}{\beta_e^2}\right) \cdot \Phi\left(\frac{\alpha_e + t}{\beta_e \cdot \sqrt{\alpha_e \cdot t}}\right) \right) \right] \right] \times \\
 & \times \left[\left[1 - \prod_{f=1}^m \left(1 - \left(\frac{\alpha_f - t}{\beta_f \cdot \sqrt{\alpha_f \cdot t}} \right) - \exp\left(\frac{2}{\beta_f^2}\right) \cdot \Phi\left(\frac{\alpha_f + t}{\beta_f \cdot \sqrt{\alpha_f \cdot t}}\right) \right) \right] \right] \times \\
 & \times \left[\prod_{i=1}^b \left(\frac{\alpha_i - t}{\beta_i \cdot \sqrt{\alpha_i \cdot t}} \right) - \exp\left(\frac{2}{\beta_i^2}\right) \cdot \Phi\left(\frac{\alpha_i + t}{\beta_i \cdot \sqrt{\alpha_i \cdot t}}\right) \cdot \right. \\
 & \left. \times \left[1 - \prod_{i=1}^d \left(1 - \left(\frac{\alpha_i - t}{\beta_i \cdot \sqrt{\alpha_i \cdot t}} \right) - \exp\left(\frac{2}{\beta_i^2}\right) \cdot \Phi\left(\frac{\alpha_i + t}{\beta_i \cdot \sqrt{\alpha_i \cdot t}}\right) \right) \right] \right] \times \\
 & \times \left[\prod_{n=1}^k \left(\frac{\alpha_n - t}{\beta_n \cdot \sqrt{\alpha_n \cdot t}} \right) - \exp\left(\frac{2}{\beta_n^2}\right) \cdot \Phi\left(\frac{\alpha_n + t}{\beta_n \cdot \sqrt{\alpha_n \cdot t}}\right) \right].
 \end{aligned}$$

Для підвищення достовірності визначення експлуатаційної надійності в дисертації розроблено власну процедуру експертного оцінювання. Визначено вектор експлуатаційних параметрів і пропонується використовувати двосторонні анкети, на яких операторами АНС відзначені два різні рівні оцінки запропонованих вище параметрів.

Перший рівень – це реальний рівень параметра, другий – необхідна якість параметра. Якщо реальний рівень певного параметра виявляється вище необхідного рівня, це свідчить про те, що даний параметр буде впливати на безпилькову роботу оператора АНС, знижуючи його експлуатаційну надійність.

Особливості інформаційної надійності розглянуті у третьому розділі. Професійної та функціональної в четвертому розділі.

У третьому розділі визначено основні особливості й аналітичні співвідношення інформаційної надійності оператора АНС та проведено верифікацію моделі його надійності.

Запропонована ІФМН оператора АНС дозволяє використовувати метод статистичного групування, за результатами аналізу робочих інструкцій органів організації повітряного руху Украероруху виявлені такі закономірності:

1. Функції, що виконує оператор АНС, можна розділити на три групи: прийняття рішення (ФПР), інформаційно-аналітична (ІАФ) та група експлуатаційних параметрів (ЕП).

2. Виходячи з проведених досліджень (рис. 4) в нормальних та особливих умовах функціонування і вивчення закономірностей інформаційно-аналітичної функцій, вона була визначена як провідна функція оператора АНС, що спричиняє найбільший вплив на його надійність

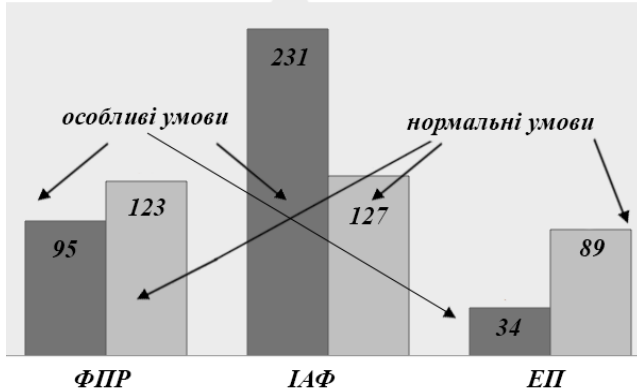


Рис. 4. Порівняння кількості операцій, які виконує оператор в нормальних та особливих умовах функціонування

3. Кількість інформації і виконуваних оператором операцій, пов'язаних з інформаційно-аналітичною функцією в особливих умовах обслуговування повітряного руху, збільшується практично в два рази так само як і ймовірність помилки $Q(t)$ (рис. 5).

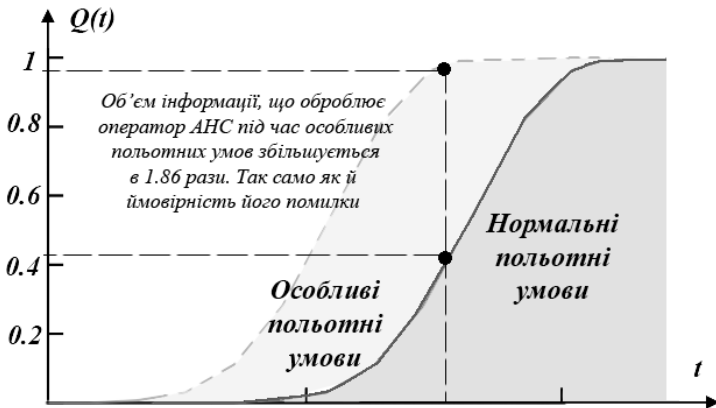


Рис. 5. Збільшення обсягу інформації в особливих режимах роботи оператора АНС

Виходячи з вищезазначеного, до ІФМН був введений ϕ – коефіцієнт складності ситуації з метою підвищення точності оцінювання надійності оператора АНС при роботі у режимах різного ступеня складності, підвищення ймовірності виникнення помилки $Q(t)$ під час аварійних або особливих умов роботи оператора АНС.

В результаті дослідження з урахуванням практики експлуатації повітряних суден та управління АНС, оператором були виявлені випадки появи інформаційної пастки (табл. 1). Це явище знижує інформаційну ймовірність безпомилкової роботи оператора АНС майже до нуля та призводить до загального зниження рівня надійності оператора АНС.

Виходячи з цього, до ІФМН був введений коефіцієнт δ - ймовірність виникнення інформаційної пастки [3]. Який визначається в межах від 10^{-3} до 10^{-9} .

Таблиця 1

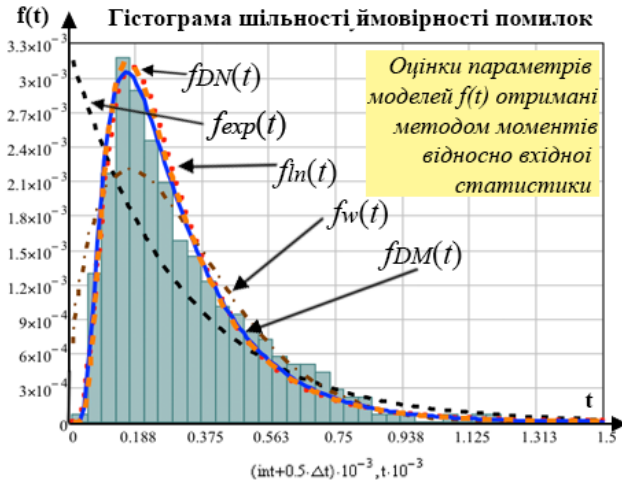
Інформаційна пастка та авіаційні пригоди

Назва інформаційної пастки	Авіаційна пригода
Посадка повітряного судна в тумані	Літак Ан-24 в Донецьку, Україна, 13 лютого 2013 р.
Складний рельєф місцевості	Літак SSSJ-100 в Індонезії, 9 травня 2012 р.
Політ вночі	Літак Ту-134А під Петрозаводськом, РФ, 20 червня 2011 р.
Політ над океаном	Літак Airbus A330 вилетів з Ріо-де-Жанейро, впав в Атлантичному океані, 1 червня 2009 р.
Сигналізація про відмову кількох систем на повітряному судні (ПС)	Літак Boeing 737 Сулавесі, Індонезія, 1 січня 2007 р.
Неузгодженість в роботі екіпажу ПС	Літак Як-42Д під Ярославлем, РФ, 7 вересня 2011 р.
Паніка і хаотичні дії у екіпажу ПС	Літак Bombardier Dash 8, Баффало, штат Нью-Йорк, США, 12 лютого 2009 р.

У роботі були досліджені робочі місця операторів АНС 1-го (центральний пульт інструктора) та 2-го (сучасні робочі місця з застосуванням комп'ютера) поколінь. На основі цього була отримана статистика помилок оператора, яка була оброблена методом вирівнювання статистичних рядів (рис.6). В результаті проведена верифікація ІФМН, враховуючи підбір моделі розподілу помилок. Було отримано довірчу ймовірність $p=92.1$ згідно з критерієм Пірсона χ^2 .

Для компенсації чинників, що знижують надійність оператора АНС, доцільно використовувати надлишковість оператора АНС (рис.7).

Метою введення надлишковості буде забезпечення нормального функціонування оператора АНС після виникнення в його функціонуванні помилок.



Тривалість напрацювання оператора АНС, с
Рис. 6. Верифікація ІФМН оператора АНС

Незважаючи на незаперечну користь від введення надлишковості оператора АНС, слід зазначити, що зі збільшенням кратності резерву (надлишковості) її ефективність різко падає.

Ймовірності безпомилкової роботи оператора АНС із застосуванням дифузійного немонотонного закону розподілу випадкових величин, з підвищенням рівня надлишковості, ефективність її введення різко падає (див. рис. 7, табл. 2.).

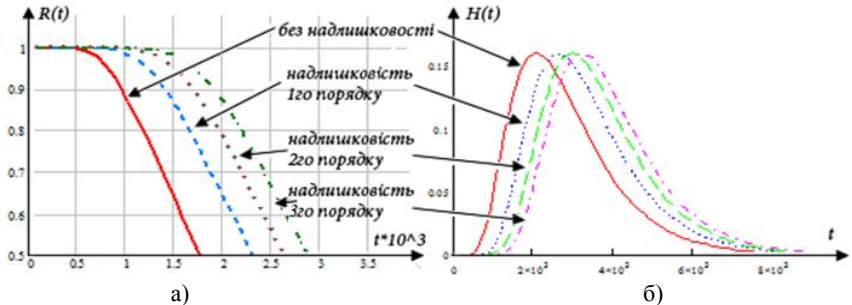


Рис. 7. а) Порівняння ймовірностей безпомилкової роботи оператора АНС для рівня безпомилковості, рівного 0,5 для різних ступенів надлишковості; б) порівняння кількості інформації, що опрацьовує оператор АНС для різних ступенів надлишковості, де $H(t)$ – обсяг інформації для оператора АНС без урахування надлишковості

Крім того, через введення надлишковості оператор АНС може опинитися в ситуації, коли йому доведеться працювати з зайвою інформацією, яка знижує його працездатність (див табл. 2).

Для визначення міри надлишковості було використано інформаційну ентропію Шеннона за умови, що під ймовірністю певної події вважаємо ймовірність відсутності помилки, що розподіляється за дифузійним монотонним розподілом.

В результаті проведених експериментів було встановлено, що зі збільшенням ступеня збитковості також збільшується кількість інформації, яку потрібно обробляти оператору АНС.

Таблиця 2

Збільшення обсягів інформації та зниження приросту ймовірності безпомилкової роботи оператора АНС

Кратність надлишковості	Досягнення $R(t) = 0,5$ в годинах	Кількість інформації в бітах
Без надлишковості	1750	431
Надлишковість 1-го порядку	2350	443
Надлишковість 2-го порядку	2590	450
Надлишковість 3-го порядку	2830	458

З вищезазначеного випливає, що інформаційна складова надійності є найбільш слабкою ланкою для оператора АНС. Вона зменшується в особливих умовах роботи та при виникненні інформаційних пасток. Для її збільшення рекомендовано використовувати введення надлишковості, але не більше, ніж двократно через малу ефективність і збільшення обсягів інформації, з якими працює оператор АНС.

У розділі чотири вдосконалено комбінований метод визначення функціональної надійності оператора АНС, що дозволяє підвищити достовірність визначення функціональної надійності оператора, а також оцінювати динаміку змін інтенсивності помилок оператора в залежності від режимів роботи.

Поставлене завдання вирішується за рахунок проходження тестування у вигляді виконання оператором АНС комплексу психофізіологічних особистісних тестів з подальшим порівнянням отриманих результатів з допустимими значеннями, отриманими по групі випробовуваних з високою професійною успішністю. Одночасно з проведенням тестування для виявлення закономірності взаємозв'язку значень виміряних психофізіологічних параметрів з результатами тестів з обраним критерієм, після чого вибирають групу психофізіологічних параметрів, за значеннями яких можна оцінювати функціональну придатність та надійність оператора при виконанні поставлених завдань в заданих умовах (рис. 8), а безпосередньо перед допуском оператора до виконання завдань, контролюють поточні значення даних параметрів за допомо-

гою методів неруйнівного контролю.

Результати тестування і вимірювань піддають статистичній обробці з метою виявлення кореляційного взаємозв'язку між значенням критерію ефективності і значеннями виміряних психофізіологічних діагностичних параметрів.

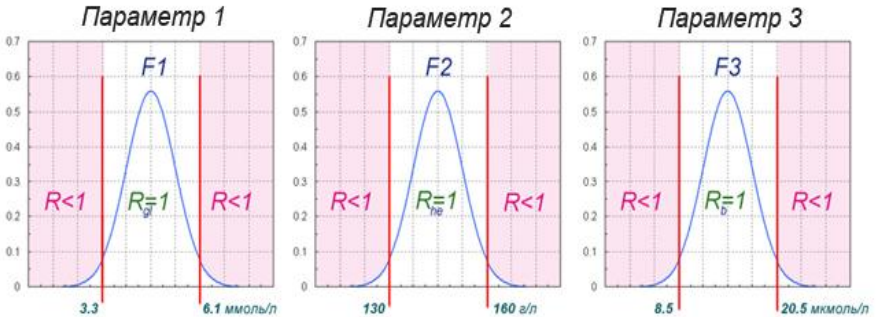


Рис. 8. Кореляція параметрів стану оператора АНС з імовірністю функціональної безпомилкової роботи з використанням нормального закону розподілу

Вищезазначений метод включає до себе метод статистичних індексів. Суть методу полягає в тому, що створюється матриця функціональних параметрів оператора, де кожному параметру призначається певний індекс. В результаті досліджень визначаються ті, які будуть найбільшою мірою відображати зміни стану оператора і в подальшому саме вони використовуються для отримання опорної оцінки його функціональної надійності.

Оцінювання професійної надійності оператора АНС можливе при підтвердженні його рівня освітньо-кваліфікаційної підготовки. Найбільш якісно це можна зробити під час тренажерної підготовки.

З метою наповнення ІФМН розроблено процедурний тренажер диспетчерів пункту збору повідомлень щодо обслуговування повітряного руху та комплекс «Антипульт», що є інструментами формалізації коефіцієнтів надійності розробленої моделі, а також слугують у якості елементів антистресової підготовки операторів АНС.

Використовуючи попередні результати вищезазначених тестів, статистику помилок, отриману завдяки процедурному тренажеру диспетчерів пункту збору повідомлень щодо обслуговування повітряного руху та комплексу «Антипульт», а також імітаційне моделювання в середовищі Mathcad, було не тільки розраховано функціональну надійність оператора АНС, а й досліджено її зміну залежно від динаміки та складності виконуваних оператором завдань.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі отримано нове вирішення актуальної науково-практичної задачі підтримання рівня надійності оператора АНС на достат-

ньому рівні за рахунок створення інформаційно-функціональної моделі надійності оператора, з врахування такої складової надійності, як відновлення після помилки.

1. Проведений аналіз існуючих моделей надійності операторів показав, що вони є фрагментарними і не враховують можливості оперативного забезпечення оцінювання показників надійності оператора АНС, їх інтеграції до моделей розрахунку надійності технічних систем, використовують застарілі моделі розподілу помилок, які не враховують таку складову надійності, як відновлення оператора після помилки.

2. Розроблено інформаційно-функціональну модель надійності оператора аеронавігаційної системи, яка на відміну від існуючих враховує динаміку зміни помилок в залежності від завантаження оператора та дозволяє комплексно вирішувати задачу визначення надійності оператора в нормальних та особливих польотних умовах. ІФМН є релевантною моделлю та враховує таку складову надійності, як відновлення оператора після помилки, а також той факт, що помилки оператора АНС не можуть бути розподілені рівномірно.

3. Вдосконалено комбінований метод визначення функціональної надійності оператора АНС. На відміну від існуючих методів він дозволяє враховувати динаміку зміни помилок у процесі функціонування оператора залежно від ступеня складності задачі, навантаження та режимів роботи, що дозволяє підвищити достовірність оцінки його функціональної надійності, використовуючи вектор маркерів функціонального стану оператора. Для збільшення обсягу вибірки помилок оператора використано метод імітаційного моделювання, який дозволяє імітувати будь-яку кількість випробувань з різними параметрами точності, норм допусків тощо.

4. Набули подальшого розвитку основні особливості та аналітичні співвідношення інформаційної надійності оператора АНС та проведено верифікацію розробленої інформаційно-функціональної моделі надійності оператора АНС, в результаті отримані результати прогнозування помилок оператора, що мають довірчу ймовірність $\rho = 92.1$ згідно з критерієм Пірсона χ^2 відповідно до прогнозованих, що довело релевантність обраної моделі розподілу помилок.

5. Визначено, що під час особливих режимів роботи оператора АНС відбувається збільшення обсягів оброблюваної оператором інформації в 1,86 раз та відповідно зростає інформаційна ймовірність помилки. Під час виникнення інформаційної пастки ймовірність безпомилкової роботи оператора АНС прямує до 0. Для компенсації вищезазначених негативних явищ рекомендовано використовувати введення надлишковості. Але не більше, ніж двократною через малу ефективність (кожен наступний рівень вона зменшується в ≈ 2 рази) і збільшення обсягів інформації (в $\approx 1,03$ рази), з якими працює оператор АНС.

6. Розроблено процедурний тренажер диспетчера пункту збору повідомлень щодо обслуговування повітряного руху та комплекс «Антипульт», що є інструментами формалізації коефіцієнтів надійності розробленої моделі, а також слугують у якості елементів антистресової підготовки операторів АНС.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Kozhokhina O. Structural reliability of air traffic controllers/ Proceedings of the National Aviation University. №4(61) / Kozhokhina O., Gribov V., Rudas S. – K.: 2014. – P. 50-56.

2. Kozhokhina O. V. Reliability model of air navigation system operator / O. V. Kozhokhina, V. M. Gribov, S. I. Rudas // Електроніка та системи управління. – 2014. – № 4(42). – С. 128-134.

3. Кожохина Е.В. Научно-практическое обоснование летного опыта борьбы с явлением информационных ловушек /Е. В. Кожохина, А.Ю. Власова, А.С. Ковальова, Т.М. Тимошенко // Проблемы безопасности полетов (научно-технический журнал). Издание Всероссийского института научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН). – М.: 2013. – № 10. – С. 10-20.

4. Kozhokhina O. To the question of dependability calculation failures based on the exponential model of distribution of failures. Electronics and control system, № 1 (43)/ Gribov V., Gryshenko Yu., Kozhokhina O.– K.: 2015. – С. 59-65.

5. Кожохина Е.В. Неинвазивные методы измерения билирубина, гемоглобина и глюкозы. Прибор гемобилиглюкометр //Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики /Е.В. Кожохина. – Санкт-Петербург: 2011, № 2 (72). – С. 157-162.

6. Kozhokhina O. V. Application of reference models to determine the professional reliability of air traffic controllers and creating a simulator / O. V. Kozhokhina, S. I. Rudas, O. S. Bondarev // Електроніка та системи управління. – 2015. – № 2. – С. 107-113.

7. Кожохина Е.В. Прибор моделирования ошибок операторов на основе антипульт клавиатуры компьютера / Ю. В. Грищенко, А. П. Слободян, Е. В. Кожохина // Електроніка та системи упр. – 2007. – № 1. – С. 189-193.

8. Kozhokhina O. Analytical model of air navigation system operator reliability//IEEE 3rd International Conference on Methods and System of Navigation and Motion Control (MSNMC).Proceedings/ O.Kozhokhina, V.Gribov, S. Rudas, – K.: 2014. –р. 170-174.

9. Спосіб визначення функціональної придатності оператора. 100975. Україна, О.В. Кожохіна – u201505333. Заявлено 02.06.2015. Опубл. 10.08.2015. Бюл №15/2015.

10. Kozhokhina O. Information stress factors and diagnosis technics for air

traffic controllers// The fifth world congress «Aviation in the XXI-st century»/ O.V. Kozhokhina, O.P. Klymenko, S.I. Rudas – K.: 2012. – P. 3.3.17.

11. Kozhokhina O. Methods of air traffic controllers anti-stress training// The fifth world congress «Aviation in the XXI-st century»/ O.V. Kozhokhina, Y.V. Hryshchenko. – K.: 2012. – P. 3.3.20.

12. Кожохіна О.В. Інформаційний стрес як фактор, що додатково впливає на складність прийняття рішення оператором УПР/ О. В. Кожохіна, А. С. Ковальова, К.В. Чугай // Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM – 2012: тези доп. наук.-техн. конф. – К.: 2012. – С. 107.

13. Кожохіна О.В. Проблеми експлуатації авіоніки в умовах невизначеностей висновків комісій з розслідування гранично складних авіаційних пригод повітряних суден нового покоління/О.В. Кожохіна [і др.]// Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM – 2012: тези доп. наук.-техн. конф. – К.: 2012. – С. 109.

14. Кожохіна О.В. Оцінка надійності роботи операторів УПР /О.В. Кожохіна, С.В. Ходзицька, І.С. Порхун//Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM – 2012: тези доп. наук.-техн. конф. – К.: 2012. – С. 108.

15. Кожохина Е. В. Обработка рабочих инструкций органов ОВД Укр-авиаруха с целью повышения надежности операторов аэронавигационных систем// Статистичні методи обробки сигналів і даних: Матеріали МНК, 16-17 жовтня 2013 р./ Е. В. Кожохина, Л.В., Благая, А.Ю. Власова. – К.: 2013. – С. 175-179.

16. Кожохіна Е. В. Оценка надежности воздушного судна с учетом информационных факторов и контуров обратной связи//Статистичні методи обробки сигналів і даних: Матеріали МНК, 16-17 жовтня 2013 р., / А.В. Скрипец, В.Д. Тронько, Ю.В. Грищенко, Е. В. Кожохина. – К.: 2013. – С. 158-162.

17. Кожохина Е. В. Оценка показателей эффективности работы аэронавигационной эргатической системы// Проблеми навігації і управління рухом: Всеукраїнська науково-практична конференції молодих учених і студентів/ Е. В. Кожохина, А.М. Бодачевская, В.Н. Лужбин. – К.: 2013. – С.124.

18. Кожохіна О. В. Основні обмеження ергатичної аеронавігаційної системи, що впливають на її ефективність: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів «Проблеми навігації і управління рухом», 18-20 листопада 2013 р.: тези доп/ О. В. Кожохіна, М.С. Бідний, Ю.М. Теребус. – К.: 2013. – С.143.

19. Kozhokhina O. Estimation of information reliability of airborne facilities designed for detecting dangerous zones during flight// Політ. Сучасні проблеми науки: XIV МНПК молодих учених та студентів, 2-3 квітня 2014 р.: тези доп/ Kozhokhina O., F.Yanovski, A. Kovalova. – K.: 2014. – P.18.

20. Kozhokhina O. Professional reliability of operator of air navigation system// The sixth world congress «Aviation in the XXI-st century»/ O. Kozhokhina, V. Gribov, S. Rudas. – K.: 2014. – P. 3.1.26.

21. Kozhokhina O. Reliability assessment of aircraft with regard of information factors and feedback loops// The sixth world congress «Aviation in the XXI-st century»/ O. Kozhokhina, A. Skrypets, V. Tronko, Y. Hryshchenko. – K.: 2014. – P. 3.4.4.

АННОТАЦИЯ

Кожохина Е. В. Информационно-функциональная модель надежности оператора аэронавигационных систем. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.13 – Навигация и управление движением. Национальный авиационный университет, Киев, 2015.

В диссертационной работе получено новое решение актуальной научно-практической задачи поддержания уровня надежности оператора АНС на достаточном уровне за счет создания информационно-функциональной модели надежности оператора, с учетом такой составляющей надежности, как восстановление после ошибки.

Исследованы особенности и типология ошибок, совершаемых оператором АНС, в результате предложено, используя методы структурной декомпозиции, разделять надежность оператора АНС на четыре группы: информационную, профессиональную, функциональную и эксплуатационную.

В результате исследований в качестве опорной модели для обработки статистики ошибок оператора АНС была выбрана диффузионная немонотонная модель распределения ошибок, позволяющая учитывать восстанавливаемость оператора после ошибки.

Верификация модели проведена путем анализа рабочих мест оператора АНС представляющих из себя компьютеризированные терминалы. В результате исследований получена статистика ошибок оператора АНС, построены гистограммы плотности распределения его ошибок. Для определения параметров распределения модели использован метод моментов.

Определено, что во время особых режимов работы объем информации обрабатываемый оператором АНС увеличивается в 1.86 раз по сравнению с нормальными, так же, как и вероятность его ошибки.

В соответствии с ИФМН оператора АНС разработаны процедурный тренажер диспетчера пункта сбора сообщений по обслуживанию воздушного движения, а также комплекс «Антипульт», позволяющие не только оценивать ошибки операторов АНС, но и проводить антистрессовую подготовку.

Ключевые слова: модель ошибок, модель надежности, оператор АНС, информационная ловушка, безопасность полетов

ABSTRACT

Kozhohina O.V. Information-functional model of air navigation systems operator reliability. - Manuscript.

Thesis for the scientific degree of a candidate of technical sciences, specialty 05.22.13 – Navigation and traffic control. National aviation university, Kiev, 2015.

The thesis represents an investigation that has resulted in a new solution of the actual applied research task involving control of the level of ANS operator reliability at a sufficient level by means of development of the information-functional model of reliability of the operator, taking into account error recovery.

The special aspects and typology of errors performed by the ANS operator are researched. Consequently, it is proposed to employ a method of structural decomposition divide the ANS operator reliability into four groups: information, professional, functional and operational.

According to the information-functional model of the air navigation systems, operator reliability was developed: procedure trainer of ARO ATC and complex “Anti console”. They permit estimate operators error and antistress education.

Keyword: error model, reliability model, ANS operator, informational trap, flight safety

АНОТАЦІЯ

Кожохіна О.В. Інформаційно-функціональна модель надійності оператора аеронавігаційних систем. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – Навігація та управління рухом. Національний авіаційний університет, Київ, 2015.

В дисертаційній роботі отримано нове вирішення актуальної науково-практичної задачі підтримання рівня надійності оператора АНС на достатньому рівні за рахунок створення інформаційно-функціональної моделі надійності оператора, з врахування такої складової надійності, як відновлення після помилки.

Досліджено особливості та типологію помилок оператора АНС, в результаті запропоновано, використовуючи методи структурної декомпозиції, розділяти надійність оператора АНС на чотири групи: інформаційну, професійну, функціональну та експлуатаційну.

Відповідно до ІФМН оператора АНС розроблені: процедурний тренажер диспетчера пункту збору повідомлень щодо обслуговування повітряного руху, комплекс «Антипульт», які дозволяють не тільки оцінювати помилки операторів АНС, а й проводити антистресову підготовку.

Ключові слова: модель помилок, модель надійності, оператор АНС, інформаційна пастка, безпеку польотів