МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Кожохіна Олена Володимирівна

УДК 629.735.017.1:629.735.054.07(042.3)

ІНФОРМАЦІЙНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ НАДІЙНОСТІ ОПЕРАТОРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Спеціальність 05.22.13 – Навігація та управління рухом

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:
кандидат технічних наук, доцент
Грібов Віктор Михайлович,
професор кафедри авіоніки навчально- наукового інституту аеронавігації, Національного авіаційного університету, м. Київ

Київ – 2015

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 7
ВСТУП 9
РОЗДІЛ 1. ІСНУЮЧІ ПІДХОДИ ДО ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРІВ АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ 16
1.1. Особливості людського чинника в складних системах 16
1.1.1. Особливості людського чинника під час управління повітряним рухом 17
1.1.2. Аналіз сучасного технічного рівня в теорії і практиці людського чинника 18
1.1.3. Обґрунтування необхідності створення наукового підходу оцінки помилок на основі інформаційно-функціональної моделі надійності оператора 19
1.2. Обґрунтування необхідності класифікації помилок під час управління повітряним рухом 22
1.3. Аналіз існуючих моделей надійності та моделей помилок операторів системи «людина-машина» 23
1.3.1. Систематики засновані на опису завдань 30
1.3.2. Систематики та моделі систем спостереження та зв’язку 31
1.3.3. Моделі і систематики обробки інформації 33
1.3.4. Моделі і систематики обробки символьної інформації 37
1.3.5. Інші моделі та систематики 41
1.3.6. Когнітивні симуляції 42
1.3.7. Інші підходи 43
1.4. Аналіз існуючих моделей надійності та практики їх використання з урахуванням особливостей теорії помилок 44

1.4.1. Особливості надійність людини-оператора на сучасному етапі управління повітряним рухом..... 44
1.4.2. Біотехнічна система управління повітряним рухом та
її відмінність від біотехнічної системи «екіпаж-повітряне судно» 46
1.4.3. Концептуальна систематизація існуючих показників надійності людини-оператора та їх визначення..... 48
1.4.4. Порівняльний аналіз існуючих методів та моделей операторів 51
1.5. Синтез вимог до інформаційно-функціональної моделі надійності оператора АНС 55
1.6. Огляд дифузійної немонотонної моделі розподілу помилок та обґрунтування вибору моделі розподілу помилок 59
1.7. ВИСНОВКИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ 65
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ ОПЕРАТОРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ..... 67
2.1. Визначення головних вимог до інформаційно-функціональної моделі надійності оператора аеронавігаційних систем 67
2.2. Визначення основних груп помилок, що виникають під час функціонування оператора аеронавігаційних систем 70
2.3. Обґрунтування необхідності застосування елементів декомпозиції у інформаційно-функціональній моделі надійності оператора аеронавігаційних систем 73
2.3.1. Особливості функції зв'язки в структурі з послідовним з'єднанням елементів 74
2.3.2. Особливості функції зв'язку в структурі з паралельним з'єднанням елементів 75
2.4. Структурна модель надійності оператора аеронавігаційних систем та її складові 76
2.5. Складові інформаційно-функціональної моделі надійності оператора аеронавігаційних систем..... 78

2.5.1. Особливості структури інформаційної та професійної надійності оператора АНС та аналітичні залежності для відповідні ймовірності безпомилкової роботи 81
2.5.2. Особливості структури експлуатаційної надійності оператора АНС та аналітична залежність для відповідної ймовірності безпомилкової роботи 83
2.5.3. Особливості структури функціональної надійності оператора АНС та аналітична залежність для відповідної ймовірності безпомилкової роботи 85
2.5.4. Загальна аналітична залежність ІФМН оператора АНС 86
2.6. Висновки 87
РОЗДІЛ 3. ІНФОРМАЦІЙНА СКЛАДОВА НАДІЙНОСТІ ОПЕРАТОРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ 89
3.1 Особливості інформаційної складової надійності оператора АНС ... 89
3.2. Виявлення закономірностей інформаційної складової надійності оператора завдяки аналізу робочих інструкцій органів ОрПР Украероруху 89
3.3 Дослідження причин зниження інформаційної надійності оператора АНС. 95
3.3.1. Особливості явища інформаційних пасток та їх вплив на зниження рівня інформаційної надійності оператора АНС 96
3.3.2. Особливості явища інформаційного стресу та його вплив на зниження рівня інформаційної надійності оператора АНС 105
3.3.3. Особливості інформаційної завантаженості оператора АНС та його вплив на зниження рівня інформаційної надійності 109
3.4. Дослідження можливостей підвищення рівня інформаційної надійності оператора АНС за допомогою введення надлишковості 113
3.5. Дослідження ефективності введення надлишковості оператора АНС 115
3.6. Висновки 118

РОЗДІЛ 4. ОСОБЛИВОСТІ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ ОПЕРАТОРА АНС ТА ЙОГО ПРОФЕСІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ 119
4.1. Комбінований метод визначення функціональної надійності оператора АНС 119
4.2. Оцінка ролі застосування авіаційних тренажерів для визначення рівня професійної надійності оператора АНС 124
4.2.1. Обґрунтування вимог до тренажерів операторів аеронавігаційних систем 128
4.2.2. Аналіз алгоритмів роботи диспетчера пункту збору донесень щодо організації повітряного руху аеродромно-диспетчерської вишки та побудова еталонних моделей роботи. 130
4.2.3. Реалізація еталонних моделей роботи диспетчера пункту збору донесень щодо організації повітряного руху аеродромно-диспетчерської вишки в тренажері з модулем оцінювання знань 131
4.3. Порівняння тренажерів першого та другого поколінь 136
4.4. Антистресова підготовка за допомогою комплексу «Антипульт» як спосіб підвищення надійності оператора АНС 140
4.5. Комплекс «Антипульт» 140
4.6. Обробка статистики помилок оператора АНС 145
4.7..Критерій згоди гістограми і моделі щільності розподілу помилок 154
4.8. Групування операторів АНС, що проходять первинну підготовку 159
4.9. Висновки 162
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ 164
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 166
Додаток 1. Критерії виробу теоретичної моделі розподілу помилок 179
Додаток 2. Таблиця розподілу хі-квадрат Пірсона 180

Додаток 3. Алгоритм взаємодії диспетчера ARO з ОрПР та аеропортом..... 181
Додаток 4. Алгоритм «Приліт»..... 182
Додаток 5. Алгоритм «Виліт»..... 183
Додаток 6. Алгоритм «Операційні процедури»..... 184
Додаток 7. Алгоритм «Операційні процедури»..... 185
Додаток 8. Алгоритм «Операційні процедури»..... 186
Додаток 9. Алгоритм «Операційні процедури»..... 187
Додаток 10. Алгоритм «Операційні процедури»..... 188
Додаток 11. Алгоритм «Операційні процедури»..... 189
Додаток 12. Алгоритм «Операційні процедури»..... 190
Додаток 13.Розрахунок безпомилкової ймовірності збору інформації..... 191
Додаток 14. Розрахунок безпомилкової ймовірності попередньої оброки інформації та аналізу повітряної обстановки..... 192
Додаток 15. Розрахунок інформаційної безпомилковості оператора та ймовірності безпомилкового прийняття рішення..... 193
Додаток 16. Розрахунок професійної безпомилковості оператора та ймовірності безпомилкової реалізації рішення..... 194
Додаток 17. Розрахунок експлуатаційної безпомилковості оператора..... 195
Додаток 18. Розрахунок функціональної безпомилковості оператора..... 196
Додаток 19. Розрахунок повної структурної безпомилковості оператора..... 197

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕП	–	експлуатаційні параметри
ІАФ	–	інформаційно-аналітична функція
ФПР	–	функція прийняття рішення
ІП	–	інформаційна пастка
ПС	–	повітряне судно
АНС	–	аеронавігаційна система
СЛМ	–	система «людина-машина»
ІФМН	–	інформаційно-функціональна модель надійності
АЛП	–	аналіз людських помилок
ІЛЧ	–	ідентифікація людського чинника
ОЛН	–	оцінка людської надійності
ЗРП	–	зовнішні режими помилки
ДПКП	–	джерело, повідомлення, канал, приймач
КСП	–	короткострокова сенсорна пам'ять
ПФФ	–	продуктивність формування факторів
ЗПМС	–	загальна помилка-моделювання системи
МНПЗ	–	модель «навику, правила, знання»
ІАЗ	–	ієрархічний аналіз завдань
КМАПН	–	когнітивний метод аналізу помилки надійності
ПМП	–	проста модель пізнання
УЗП	–	умови загальної продуктивності
АПППЛ	–	аналіз причин потенційних помилок людини
ПАК	–	помилка аналізу комісії
СМПНС	–	система моделювання пізнання навколишнього середовища
УРЕ	–	управління ресурсами екіпажу

АЕС	–	атомна електростанція
ТП	–	типи помилок
СМН	–	структурна модель надійності
ЦПІ	–	центральний пульт інструктора
КТЛ	–	комплексний тренажер літака
КЛЕ	–	керівництво льотної експлуатації
ЗОК	–	засоби об’єктивного контролю
ОрПР	–	організація повітряного руху
ATFM	–	air traffic flight managment

ВСТУП

Актуальність досліджень. 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 пропускна здатність системи управління повітряним рухом, але й безпека польотів в цілому.

Організація повітряного руху в сучасних умовах є складним завданням, пов’язаним з урахуванням людських та 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 завдань які виконуються.

Аналіз особливостей роботи операторів АНС виявив ряд закономірностей їх діяльності, що дозволяють розробити нову модель надійності, завдяки якій можливо не лише 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, при умовах грозової діяльності, над полярними районами Північної і Південної півкуль, пустинної і малоорієнтирної 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 стимулювати ефективність та надійність діяльності операторів АНС.

Тому ефективність та надійність роботи оператора АНС можуть коливатися в значних діапазонах в нормальних й особливих ситуаціях.

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.

Тема дисертації знаходиться в межах Програми розвитку Державної системи використання повітряного простору України на 2010 – 2014 роки, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України від 13 січня 2010 р. № 44.

Робота виконана на базі кафедри авіоніки відповідно до національної програми та відповідає основним науковим напрямам розвитку науки і техніки на період до 2020 року (відповідно до Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» №2519-VI, 09.09.2010 р.). Назва пріоритетного напряму розвитку науки і техніки (згідно з Законом України від 12.10.2010 № 2519-17, постановою КМУ від 07.09.2011 № 942):

– інформаційні та комунікаційні технології.

Назва пріоритетного тематичного напряму:

- технології та засоби математичного моделювання, оптимізації та системного аналізу розв'язання надскладних завдань державного значення.

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 аеронавігаційної системи.

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 умов.

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.

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 оцінювати оперативно 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 «Антипульт», 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 методику 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, в якій отримано нове вирішення актуальної науково-практичної задачі підтримання необхідного і достатнього рівня надійності й ефективності оператора АНС та зменшення ризиків, викликаних його діяльністю за допомогою інформаційно-функціональної моделі надійності оператора АНС. 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 [74, 78] автором особисто досліджені особливості надійності оператора АНС;
- У роботах [77, 78] автор брав участь у постановці задачі та графічному представленню отриманих результатів;
- У роботах [71, 79] автором обгрунтовано застосування дифузійної немонотонної моделі в якості моделі розподілу помилок оператора АНС;
- У роботі [115] виконана автором одноосібно;
- У роботі [116] запропоновано методику антистресової підготовки оператора;
- У роботах [85, 86, 94, 97] автор дослідив причини зниження рівня надійності оператора АНС.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати роботи доповідалися на Міжнародних та Всеукраїнській науково-технічних конференціях:

– Проблеми навігації та керуванням повітряним рухом (м. Київ, 2010 р.); Всероссийская межвузовская конференция молодых ученых (м. Санкт-Перербург, 2010 р.);

– 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 «АВІА-2013» (м. Київ, 2013 р.); «Статичні 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 «АВІА-2015» (м. Київ, 2015 р.).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 21 наукову роботу, серед них: 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 й обсяг дисертації. Робота складається зі списку скорочень, введення, чотирьох розділів, висновку, списку літератури і додатків. Загальний обсяг роботи становить 168 сторінок, 80 рисунків, 13 таблиць, список використаних джерел з 112 найменувань та 19 додатків.

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.

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.

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

Враховуючи особливості помилок оператора АНС були введені поняття: інформаційна, функціональна, професійна та експлуатаційна надійності оператора.

У третьому розділі визначено основні особливості й аналітичні співвідношення інформаційної надійності оператора АНС.

Виявлені причини зниження рівня інформаційної надійності оператора АНС та запропоновані рекомендації для запобігання цього процесу.

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.

Реалізовані 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.

У висновках формуються основні наукові результати виконаних досліджень.

РОЗДІЛ 1

ІСНУЮЧІ ПІДХОДИ ДО ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРІВ АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ

1.1. Особливості людського чинника в складних системах

Людський чинник – основний компонент анормальних подій у системі управління повітряним рухом, і в деяких оглядах робиться припущення, що вклад людської помилки складає порядком 90% чи більше [1]. Більшість галузей промисловості мають аналогічний рівень впливу людської помилки (наприклад, атомні електростанції – 70-90%).

Оператор аеронавігаційної системи (АНС) - авіаційний фахівець, що здійснює контроль та обслуговування повітряного руху або взаємодіє з аеронавігаційною системою.

Таким чином, якщо кількість таких помилок могла б бути зменшена або система допускала їх певний рівень, то рівень безпеки був би підвищений, разом з додатковими можливостями для значного підвищення якості управління повітряним рухом.

У той час коли розслідування анормальних подій в цій сфері часто приймає людські помилки в якості основних причин, дослідження факторів та працездатності людини прагне вийти за рамки цієї категорії, аналізуючи різні аспекти та ситуації, і намагається зрозуміти механізми і контекст, які призвели до помилки [1].

Має бути зрозуміло, що більшість з тих, хто втягнутий у серйозні помилки не є ані безрозсудними, ні нерозумними, хоча вони, можливо, не звертали належної уваги на наслідки своїх дій. Це також вірно і для організації, як стверджували Вагнер та Гроеневег (1987): «Анормальні події – це результат дуже складних збігів, які рідко можуть бути передбаченими тими, хто залучений у роботу. Анормальні події не відбуваються через те, що люди ризикують і про-

грають, вони виникають через те, що люди не вірять, що нещасний випадок може статися, що це взагалі можливо» [2].

Одним з очевидних наслідків процесу оцінки людського чинника в цій сфері є те, що розуміючи як і чому це сталося, можливо запобігати виникненню подібних подій. Тим більше, цей процес не пов'язаний з приписуванням провини, а, скоріше, пов'язаний з аналізом помилок і факторів, які лежать в основі помилок, і які сприятимуть нашому розумінню людської продуктивності а, отже, дадуть нам можливість відновлюватися і керувати виникненням помилок в майбутньому.

1.1.1. Особливості людського чинника під час управління повітряним рухом

Одним з можливих технічних рішень є автоматизація. Проте, як це не парадоксально, автоматизація часто може збільшувати важливість і вплив людського чинника (наприклад, Бейнбридж, 1983 [3] і Ризон, 1998[4]). Ця проблема була помічена в авіації завдяки поколінню літаків з так званою «скляною кабіною» (Вейнер, 1988 [5]). Це тому, що автоматизація тільки зміщує місцезнаходження людської помилки з оператора на розробника, обслуговуючий персонал, і на керівника, які повинні займатися проблемами автоматизації і невдач.

Крім того, в організації повітряного руху (ОрПР), повна автоматизація не передбачається як варіант, можливий через кілька десятиліть, тому що для вирішення динамічних ситуацій в ОрПР необхідні такі людські риси, як гнучкість, здатність адаптуватися, вирішувати проблеми і спроможність приймати рішення. Таким чином, автоматизація, або, скоріше, комп'ютеризована підтримка, може допомогти в управлінні повітряним рухом справлятися з людськими помилками, навіть якщо вона не зможе завадити виникненню цих помилок.

Організація повітряного руху в даний час знаходиться під контролем, незважаючи на те, що рівні трафіку збільшуються . Повітряний простір вже складний і перевантажений, і, також, існує тиск з боку авіакомпаній, які перебува-

ють під сильними конкурентними комерційними обмеженнями, необхідними для оптимізації маршрутів і координації. Ці питання призводять до складності і нестачі часу на операції ОрПР, що згодом може призвести до помилок. Також, багато систем ОрПР постійно модернізуються і розвиваються в системи «нового покоління», які включають в себе комп'ютеризовані дисплеї з новим функціоналом і комп'ютеризованими інструментами [1].

Ці основні зрушення в практиці роботи будуть впливати на продуктивність і диспетчера, і авіаційного оператора, а також на нові можливості для виникнення помилки, зокрема, в «перехідний період», протягом якого вводяться нові системи і практики. Ці покращення свідчать про те, що система ОрПР на початку тривалого періоду значних змін і еволюції, періоду, який, можливо, побачить збільшення рівня існуючих помилок і виникнення потенційно нових помилок. Це вказує на необхідність розробки підходу для кращого розуміння помилки і моніторингу тенденцій помилок.

Крім того, оскільки помилки і інциденти, пов'язані з ними відносно рідкісні, то кращий спосіб вчитися на таких помилках – збільшити розмір «бази даних» помилок та створити релевантну модель, завдяки якій їх можливо було б обробити, створивши прогнози щодо ризиків та ймовірності виникнення того чи іншого типу помилки.

1.1.2. Аналіз сучасного технічного рівня в теорії і практиці людського чинника

Враховуючи бажаність методології для аналізу людських помилок, корисно дослідити вже існуючі. На даний момент, немає готової методики аналізу людських помилок (АЛП) орієнтованої на ОрПР. Це частково пов’язано з тим, що ОрПР - організація з відносно високою надійністю – людська надійність і надійність системи є вищою, ніж у багатьох інших галузях промисловості. Через це і мало попиту на такі підходи. Це може означати, що ОрПР в методологічному плані є дещо «наївним» в цій області, в порівнянні з іншими галузями

«високого ризику» (наприклад, атомної, хімічної процесу і морських нафто-хімічної промисловості) [1]. Ці та інші галузі промисловості розробили підходи беручи за приклад великомасштабні катастрофи і аварії, такі, як ядерні аварії на Три Майл Айленд (TMI, 1979) і на Чорнобильській АЕС (1986), випуску отруйного газу в Бхопалі, вибуху космічного корабля «Challenger» (1986), і вогню на нафтовій платформі Piper Alpha (1988).

Помилка людини завжди була частиною психології, але в промислових умовах свій початок вона, як правило, бере в кінці п'ятдесятих і на початку шістдесятих років, коли були розроблені формальні методи для виявлення та класифікації людських помилок в розвитку ракетних систем разом з підходами надійності обладнання. Системи класифікації людської помилки, і навіть бази даних про помилки людини, були розроблені в шістдесятих і сімдесятих роках, хоча вони в основному застосовувались у військовій сфері та в деяких ранніх розробках атомних електростанцій [1].

1.1.3. Обґрунтування необхідності створення наукового підходу оцінки помилок на основі інформаційно-функціональної моделі надійності оператора

Дамо пояснення чому в даний час існуючі підходи не можуть бути достатніми і, отже, чому необхідний новий науковий підхід до оцінки помилок (рис. 1.1).

Найголовнішим фактором є те, що модель дозволяє краще розуміти причини і взаємозв'язки між причинами. Модель помилок забезпечує «організуючий принцип», щоб корегувати навчання для уникнення помилок. Тенденції та закономірності, як правило, мають більше сенсу, коли видні на тлі моделі, і можуть виникати більш «стратегічні» підходи до зниження помилок, швидше аніж при короткострокових ініціативах щодо скорочення помилок після кожної окремої події.

Модель також повинна мати точне визначення, так щоб практики могли узгодити спільний набір термінів і значень. Ця точність також має ту перевагу, що різні користувачі будуть схильні класифікувати ті ж самі події однаковим способом, що забезпечить послідовне і точне бачення проблем.

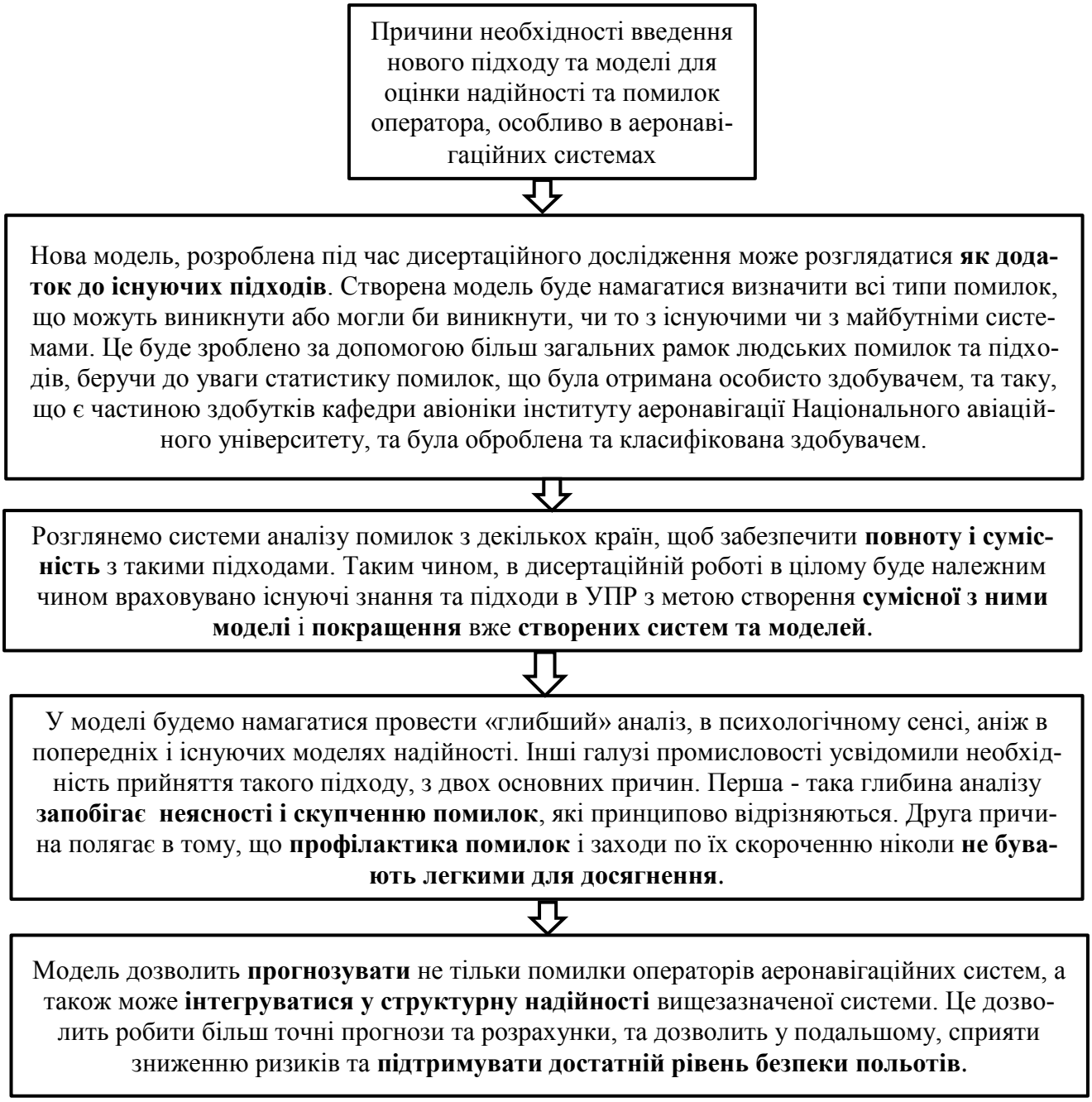


Рис. 1.1. Причини необхідності введення нового підходу та моделі для оцінки надійності та помилок оператора, особливо в аеронавігаційних системах

Основними інтегральними показниками, що характеризують результуючі і процесуальні прояви діяльності людини-оператора, є її ефективність і якість. Якщо показник ефективності трудової діяльності відображає, в основному, рівень результативних досягнень (продуктивність, швидкість і повнота досягнення і т. п.), то показник якості характеризує як кінцевий продукт праці (його споживчі або технологічні властивості), так і процес праці (досконалість способів виконання трудових функцій).

Поняття «надійність» виникло як одна з основних характеристик технічних засобів діяльності. Об'єктивними причинами постановки проблеми надійності постало безперервне зростання складності технічних засобів, підвищення відповідальності функцій, які вони або їх окремі елементи виконують, розширення діапазону і одночасне ускладнення умов їх експлуатації.

У найбільш загальному вигляді надійність зазвичай визначають як ймовірність успішного виконання завданні [6].

У техніці під надійністю розуміють властивості об'єкта зберігати в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах.

Б.Ф. Ломовим поняття надійність розглядалося з якісної і кількісної сторони. «Як якісна характеристика надійність є здатність системи (або її ланки, деталі) виконувати необхідні функції в заданий інтервал часу. Надійність є ймовірність того, що система або її елемент будуть виконувати необхідні функції задовільно протягом заданого часу і в заданих умовах» [7].

Оскільки основною умовою надійної роботи є підтримка заданого рівня безпомилковості діяльності оператора АНС протягом певного відрізку часу, то надійність роботи людини-оператора, може бути визначена як здатність до збереження необхідних робочих якостей в умовах можливого ускладнення обстановки.

В даний час не викликає сумніву необхідність використання при визначенні надійності діяльності людини-оператора не тільки результуючих параметрів

його роботи, але також показників психологічних і фізіологічних характеристик суб'єкта діяльності [78].

Очевидно, що знання функціональних особливостей трудових процесів, закономірностей прояву людини-оператора, механізмів регуляції її поведінки і стану в особливих умовах дозволить не лише оцінити рівень надійності діяльності, але й обґрунтувати рекомендації щодо підтримання її на необхідному рівні.

Також слід брати до уваги збільшення інтенсивності повітряного руху, введення нових систем та підходів, що значною мірою можуть сприяти зростанню обсягу інформації з якою потрібно працювати оператору АНС. Саме тому вкрай важливо детально досліджувати інформаційну складову надійності оператора.

Таким чином, підхід орієнтований на інформаційно-функціональну модель надійності (ІФМН) оператора АНС має певні переваги і з точки зору розуміння помилок можливості вчитися на них, і з точки зору підвищення ефективності аналізу помилок.

1.2. Обґрунтування необхідності класифікації помилок під час управління повітряним рухом

Існують чотири основні причини для класифікації помилок (рис. 1.2) спричинених людським фактором в ОрПР в контексті інцидентів, які сталися під час виконання оператором його обов’язків.

Кількість людських помилок може, і часто відіграє життєво важливу роль в аналізі нещасних випадків в ОрПР. По-перше, це дозволяє контролювати виникнення помилок протягом довгого часу, щоб виявляти тенденції до серйозних помилок. Системи обліку інцидентів дозволяють особам, що проводять розслідування і аналітику інциденту організовувати, структурувати і знаходити інформацію про помилки. По-друге, класифікація помилок допомагає генерувати дослідження помилок, їх причини та прояви. По-третє, і найголовніше, класи-

фікація людських помилок допомагає розвитку стратегії, щоб усунути або зменшити кількість помилок, або зменшити їх небажані ефекти в системах. Незважаючи на це, класифікація помилок була недостатньо розвиненою частиною процесу розслідування інцидентів та авіаційних пригод [1].

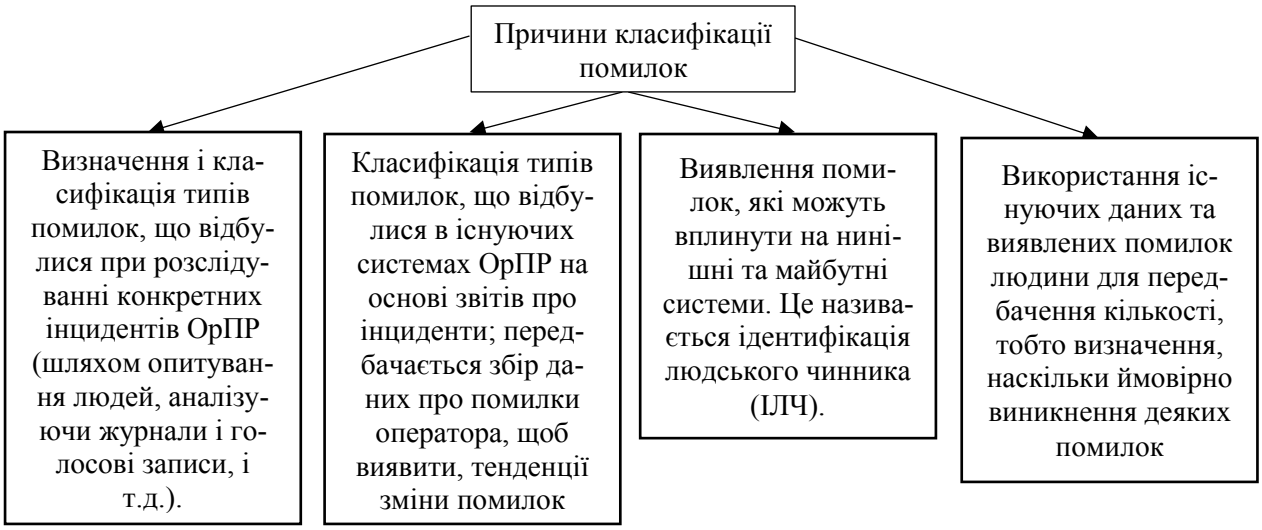


Рис. 1.2. Причини класифікації помилок людини-оператора під час управління повітряним рухом

1.3. Аналіз існуючих моделей надійності та моделей помилок операторів системи «людина-машина»

Незважаючи на панування людської помилки в інцидентах ОрПР, існує лише кілька систем класифікації спеціалізованої людської помилки для аналізу і класифікації помилок ОрПР. Вже існують багато систем класифікації помилок, але більшість з них має або загальний характер, або були розроблені для ядерної та переробної промисловості. Ці системи варіюються від простих списків типів помилок до класифікації систем, заснованих на моделі роботи оператора. На жаль, багато з існуючих систем не адекватно визначають помилки, які можуть виникнути в ОрПР, наприклад, помилки судження, помилки відповідей, помилки слухових і візуальних дешифровок.

Стагер та Хамлок (1990) стверджували, що застосування моделі людської помилки забезпечить переваги у вирішенні питання класифікації помилок в ОрПР [8]. Крім того, Рус (1983) заявили, що «внутрішня узгодженість схеми класифікації, ймовірно, буде підвищена, якщо схема заснована на моделі про-

цесу, протягом якого виникають помилки» [9]. Така модель, на їхню думку, може допомогти як для виявлення категорій в рамках схеми класифікації так і проілюструвати відносини між категоріями.

Відсутність корисної систематики людських помилок також створює труднощі у вивченні інцидентів. «З урахуванням» системи класифікації, ОрПР матиме практичне значення в отриманні більш глибокого розуміння причин інцидентів, а також при пропонуванні заходів щодо запобігання помилок, захисту та пом'якшення їх наслідків. В даний час немає широко поширених моделей діяльності людини і людських помилок в ОрПР з наступних причин:

• ОрПР пов'язано з кількома «таємними» когнітивними навичками або заходами, такими як розпізнавання образів, оцінки ситуації та усвідомлення, рішення, проекції і перспективної пам'яті. Це може бути важко представити в моделі ОрПР.

• ОрПР вирізняється з поміж різних функціональних областей і в різних країнах, так конкретні моделі ОрПР можуть мати низьку придатність в інших функціональних областях чи інших країнах.

ОрПР змінюється з часом, з новими технологіями і новими способами роботи. Таким чином, моделі ОрПР можуть застарівати. На щастя, кілька узагальнених моделей і теорій людської діяльності і помилок існують, і були широко прийняті. Вони забезпечують загальну основу для класифікації та розуміння специфічних помилок на основі таких людських характеристик, як поведінка, психологічні процеси та характеристики завдання.

Більшість моделей діяльності людини базується на основі моделі людської продуктивності, використовуваної для фізичного компонента [10]. Розроблена Расмуссеном модель (1981) наведена на рис.1.3.

Расмуссен наголошує, що немає ніякого однозначного зв'язку між зовнішнім виконанням завдань, внутрішніми людськими функціями – намірами, очікуваннями, цілями та цінностями направляючої дії і пошуком інформації. Ме-

ханізми помилок і відмов залежать від психічних функцій і знань, які активуються зовнішніми подіями і суб'єктивними факторами [11].

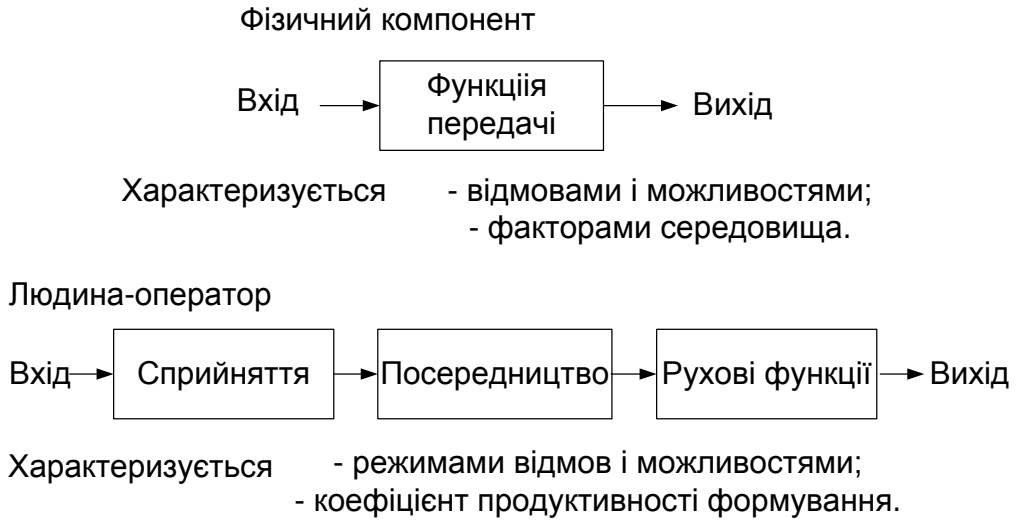


Рис. 1.3. Схематична діаграма Расмусенна для аналізу відмов фізичного компоненту і людини-оператора

Психічні функції і суб'єктивні чинники не можна спостерігати, але вони повинні бути виведені з характеристик завдання і ситуації і мають працювати разом з зовнішніми проявами помилки. Расмуссен стверджує, що для того, щоб зробити це можливим, модель обробки інформації людиною повинна бути доступна. Ця модель повинна ставити елементи прийняття рішень і дій людини внутрішні процеси, для яких загальні психологічні механізми та обмеження можуть бути визначені [12].

Вудс та Рот в 1986 році зазначили, що різні традиції моделювання людської ефективності пов'язані з певними аспектами «інформації», і тим, як людина набуває і використовує цю інформацію, щоб проводити спостереження і діяти. Питання, яке варіюється залежно від моделі, це як збирається певна інформація і як вона представлена всередині [13].

У таблиці 1.1 зосереджені усі основні підходи та моделі пов’язані з помилками людини оператора, які використовуються або можуть бути використані під час ОрПР.

Таблиця 1.1

Основні підходи та моделі пов’язані з помилками людини-оператора

Підходи пов’язані з помилками людини-оператора	Автори моделей та таксономії
1. **Задачно-орієнтована таксономія** - класифікують стан системи під час пропускання помилки або не розпізнанні конфліктуючих літаків. Такі класифікації можуть бути загальними чи контекстними. Вони являють собою корисні підказки для аналітики інциденту.	Error Modes (Swain, 1982; Swain & Guttman, 1983)
2. **Системно-орієнтована таксономія** – також визначають що й як пішло не так, але є більш системно орієнтованими, ніж чисто людські підходи (пункт 1). Помилкою вважається те, що може вплинути на стан системи під час технічного обслуговування, до події, після якої ситуація погіршиться та буде необхідне відновлення	Spurgin et al (1987)
3. **Моделі систем зв'язку** – існує цілий ряд моделей і систематик що мають справу з такими аспектами як повідомлення, середовище та очікування відправника і одержувача. Слід зазначити, що моделі зв'язку та теорії не завжди легко порівнюється з іншими великими структурами, такими як обробка інформації	Lasswell Formula (Lasswell, 1948; Braddock,1958) Linear Model (Shannon & Weaver,1949) Grayson & Billings (1981) Cushing (1994/5) Helmreich & Merritt (1998) Westrum (1995)
4. **Моделі обробки інформації** – моделі обробки інформації традиційно були домінуючими серед моделей, що застосовувалися у психології та при вивчені людського фактору деякий період часу, і, можливо були найбільш пристосованими моделями для промислового використання. Як видно з пункту 2, де представлені автори та роки публікації їх надбань, підхід розвивалася протягом трива-	Fitts (1954) Miller (1956) Broadbent (1958) Welford (1960) Payne & Altman (1962) Berliner et al (1964) Martiniuk (1976)

лого періоду часу. Центральне місце в моделі є введена людині інформація, сприйняття, фільтрація і обробка якої (наприклад, пам'ять, судження і прийняття рішень) відбувається всередині людини через пам'ять та інші когнітивні функцій, а потім здійснюється зовнішній вплив (наприклад, фізичні дії та комунікації) який є результатом.	Wickens (1984,1992) McCoy & Funk (1991)
5. **Моделі символьної обробки інформації** – подібні моделі є суперником традиційних моделей обробки інформації, і розглядають людей в якості оператора символів. Цей підхід є більш «когнітивним» у своїй орієнтації, і розглядає людину враховуючи відомі «ментальні моделі» а також, як оператор працює, і, отже, як він виконує операції. Цей підхід має деякий інтуїтивно зрозумілий заклик що полягає в тому, що багато операторів АНС дійсно говорять про наявність «уявної картини». Символьна теорія обробки також підкріплює пізнавальні особливості імітаційних моделе, які описані нижче.	Newell & Simon (1972) Schmidt (1975) SRK Model (Rasmussen, 1981) Murphy Diagrams (Pew et al, 1982) SHERPA (Embrey, 1986) Slips, Lapses, Mistakes and Violations (Reason, 1990) GEMS (Reason, 1990) Action Slips (Norman, 1981) Seven-stage Model (Norman, 1986) CREAM (Hollnagel, 1993) SMoC (Hollnagel, 1993) COCOM (Hollnagel, 1993)
6. **Підхід контролю ситуації** (ПКС) - Це досить впливовий підхід в авіаційних системах, зокрема, у військовій авіації. Підхід стверджує, що оператор АНС повинен контролювати ситуацію для того, що ефективно виконувати свої завдання. ПКС включає в себе три рівні: усвідомлення ключових елементів в ситуації; розуміння та інтеграція цих елементів, щоб сформувати послідовне розуміння, що відбувається, і екстраполяцію цього розуміння в майбутньому, щоб планування стратегічне / тактичне прийняття рішень і дії. Цей підхід має очевидні звязки з керуванням	Jones & Endsley (1996)

повітряного руху і таким поняттям, як «картина» авіадиспетчера.	
7. **Моделі системи управління** - це набір моделей, що використовує поняття теорії управління, щоб описати функціонування оператора АНС. Цей набір моделей є найбільш корисним для визначення замкнутої безперервної роботи.	OCM (Baron & Levinson, 1980) PROCRU (Baron, 1984)
8. **Сенсорно-зосереджені моделі** - це спеціальний варіант розглянутих вище моделей, він є гібридом між теорією управління і теорію символьної обробки.	Human Control Behaviour (McRuer et al, 1980)
9. **Теорія виявлення сигналів** - Цей підхід в значній мірі виріс з області спостереження та пильності. Це добре перевірені моделі в вищезазначених областях, що зосереджують увагу на операторі в якості детектора сигналу на тлі «шуму». Оператори також можуть бути предметом помилкової тривоги, і відмови від реальних сигналів, тому що вони вважають, що мають справу з помилковою тривогою.	Bisseret (1981)
10. **Моделі неправильних дій в результаті порушення інструкцій** - Ці підходи намагаються вирішити зростаючу проблему незвичайних і (звичайно) ненавмисним дій, які стали причиною низки інцидентів в інших галузях промисловості. Вони також відносяться до складних і непередбачених взаємодій в дуже складних і добре захищених технологічних систем.	PHECA (Whalley, 1988) PREDICT (Williams & Munley, 1992) EOCA (Kirwan et al, 1994, 1996) ATHEANA (Cooper et al, 1996)
11. **Таксономії порушень** – Порушення, як дія під час якої оператор свідомо порушує правила, або тому, що так може бути необхідно або невідкладно зробити, або з інших причин. Порушення викликали рядом інцидентів в інших галузях промисловості.	Mason (1997)

12. **Когнітивні моделювання** - це комп'ютеризовані системи, як правило, засновані на знакових моделях теорії обробки інформації	CES (Woods et al, 1990) COSIMO (Cacciabue et al 1992) CREWSIM (Dang et al, 1993) CAMEO-TAT (Fujita et al, 1994) SYBORG (Sasou et al, 1996) MOFL (Neissen et al 1997; Neissen & Eyferth, 1999) MIDAS (Corker & Smith, 1993; Pisanich et al, 1997)
13. **Сучасна теорія катастроф** - Останні дослідження в авіаційній та інших галузях були зосереджені на природі катастроф, і зокрема їх мульти-причинності. Головний висновок полягає у тому, що немає єдиного рішення «чарівної кулі» для більшості анормальних подій, а передумови повномасштабних анормальних подій найчастіше глибоко вкорінені в організаційній структурі, системах безпеки та культурі безпеки. Такі системи, як TRIPOD і BASIS, що спрямовані на отримання інформацію з конкретних інцидентів і визначення глибоких організаційних проблем.	Reason (1998) Maurino et al (1995) TRIPOD (Wagenaar et al, 1994) BASIS (O'Leary & Chappell, 1996)
14. **Інші галузеві підходи** - Ряд розроблених спеціалізованих таксономії, які мають аналогічні або принаймні близькі до HERA (що застосовуються в наш час Євроконтролем) функції. HPES і NUCLARR обидві пов'язані з атомною енергетикою і COREDATA може застосовуватися у будь-якому типі промисловості.	HPES: Paradies & Busch (1988); Kim (1997) NUCLARR (Gertman et al, 1988) CORE-DATA (TaylorAdams & Kirwan, 1995)
15. **Інші транспортні підходи: моделі льотного екіпажу та морські** - Хоча більшість практичних ідеї про помилки і результуючі методи операторів були отримані з таких	Drager, (1981) Analysis of Shipping Collisions and Groundings ARTFUL

галузей промисловості, як атомна енергетика, хімічна та нафтохімічна промисловості, робота також велася і в інших областях транспорту, таких як морський, космічний, і авіаційний. Європейське космічне агентство розробило первісний підхід до людської помилки, що було значним аналізом нещасних випадків з повітряними суднами протягом багатьох років.	Decision-maker (O'Hare, 1992) Closed Ring Model (Pariès & de Courville, 1994) Error in Incident Sequence (Ramsey, 1985) Wiegmann & Shappell (1997)
16. **Моделі управління повітряним рухом** - були виявлені тільки дві моделі, які були спеціально орієнтовані стосовно людської помилки в галузі управління повітряним рухом. Перша модель виявлення причин інциденту, випливає з робот Різона (1998). Ця модель являє собою корисну основу для розгляду того, які трапляються інциденти і враховує взаємозв'язок між різними рівнями причин. Інша модель являє собою специфічний таксономічний набір призначений для аналізу внеску помилку інцидентів пов'язаних з ОрПР що відбувалися у Великобританії. Ця техніка є послідовником таких систем як CORE-DATA і SHERPA, і базується навколо обробки інформації. Вони вже застосовується для аналізу інцидентів в ОрПР	Triptych Pyramid Model (Isaac,1995; Isaac & Ruitenberg, 1999) TRACEr (Shorrock, 1997; Shorrock & Kirwan, 1998)

1.3.1. Систематики засновані на опису завдань

Ранні систематики людської помилки були розроблені в шістдесятих для використання в оцінці людської надійності (ОЛН). Більшість з цих систематик - прості списки «Зовнішні Режими помилки» (ЗРП), які відносяться до структури та елементів зовнішнього завдання людини і класифікують явні характеристики похибки. Відома систематика була запропонована Свейн (1982) [14] та Свейн з Гутманном (1983) [15], які розрізняли три основні категорії помилок (рис. 1.4).

Ця термінологія широко використовується сьогодні, і в загальному порядку, охоплює майже всі можливі види помилок. Тим не менше, ці класифікації

досить неспецифічні і дають мало або взагалі не дають розуміння причин помилок і пов'язаних з ними психічних обмежень. Тому цей аналітичний підхід базується на моделі задачі, а не на моделі людини, що виконує задачу.

Рис. 1.4. Категорії помилок за Свейном

Расмуссен (1987) стверджує, що такі прості систематики є недостатніми і що людські помилки повинні бути класифіковані з точки зору людських якостей [12]. Крім того, Расмуссен стверджує, що систематики повинні охоплювати аналіз не тільки ручних елементів завдання, а й внутрішніх когнітивних компонентів завдань і психологічних механізмів, пов'язаних з ними. Тим не менш, ЗРП пропонує корисний спосіб класифікації помилок в ширших рамках класифікації.

1.3.2. Систематики та моделі систем спостереження та зв’язку

Лінійна модель комунікації (Shannon & Weaver, 1949). Традиції моделювання системи зв'язку значною мірою походить від теорії комунікації Шеннона і Уівера (1949). Ця модель підкреслює роль невизначеності в людській продуктивності: поведінка - це функція не тільки того, що сталося, але також того, що могло б статися. Ця модель була побудована як частина теорії інфор-

мації, які можуть бути застосовані до широкого кола ситуацій передачі інформації з залученням людей, машин та інших систем [18]. Основна лінійна графічна модель показана на рис. 1.5.

Шеннон і Уівер визначили наступні три рівні проблеми в аналізі зв'язку:

• Рівень А - технічний;

• Рівень В – семантичний (змістовий);

• Рівень С – ефективність сприйняття чи розуміння з боку приймача.

Ця модель розглядає роль шуму в сигналі. Наприклад, шум у кімнаті управління може бути почутий авіаційним оператором і, отже, може впливати на передачу оператора. Помилки можуть також виникати, коли комунікатори не розуміють, що відправлені та отримані повідомлення не були ідентичні. Концепція шуму в моделі Шеннона і Уівера відноситься до «фізичного» шуму, але шум може також бути «психологічним», наприклад, неясним зв'язком.

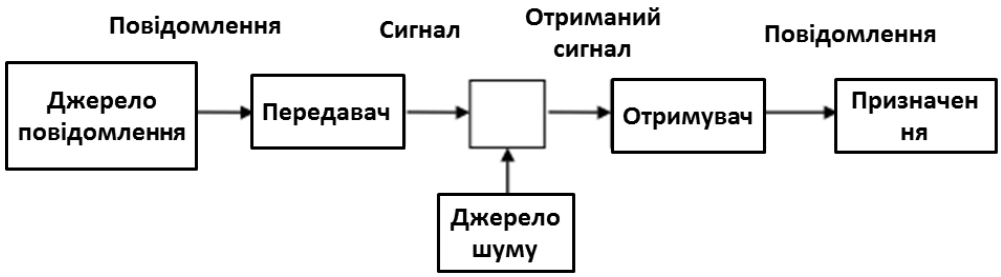


Рис. 1.5. Модель комунікації Шенона і Уівера (1949)

Спіральні моделі комунікації (Dance, 1967). Спіральна модель Данса (1967) - це насправді метафора, яка поєднує в собі аспекти початку лінійних моделей комунікації і пізніших кругових моделей зв'язку з утворенням спіралі [20]. Лінійні моделі упускають роль зворотного зв'язку у зв'язку, а недоліки кругових моделей в тому, що вони пропонують в зв'язку проходити повне коло до тієї точки, з якої він почав. Спіраль означає, що в той час як зв'язок рухається вперед, він також повертається в початкову точку для оцінки його впливу на поведінку в минулому.

Комунікаційний контур «авіаційний оператор – ОрПР». Культурні, мовні та технічні фактори. Існує кілька моделей або систематик на основі аналізу процесу комунікації, які можуть бути безпосередньо застосовані в ІФМН. Тим не менш, цей дослід припускає, що там присутні змінні, які можуть бути використані для створення спеціалізованої моделі зв'язку. Така модель повинна містити такі елементи:

1. Зображення відношення повідомлення-засіб-приймач (схоже модель комунікації на Шеннона і Уівера);

2. Звіт про роль зворотного зв'язку, тобто Кругова модель (аналогічно до моделі комунікації Осгуда та Шрамма);

3. Рахунок відомих лінгвістичних факторів, що сприяли інцидентам і нещасним випадкам

4. Контекст комунікації повинен бути розглянутим, в тому числі соціальні і культурні аспекти (за аналогією до Модель комунікації ДПКП) [21].

1.3.3. Моделі і систематики обробки інформації

Традиція обробки інформації розглядає людську роботу, намагаючись простежити потік інформації через кілька стадій обробки інформації від входу запиту до виходу відповіді.

Цей підхід значною мірою ґрунтується на роботі Бродбента (1958) [23]. Ранні моделі обробки інформації стверджують, що смгнал обробляється спочатку основними перцептивними процесами з подальшими процесами уваги, які переносять деякі продукти початкового сприйняття переробки в короткострокову пам'ять.

Ранні моделі підкреслють необхідність розмежування між обробками «зверху-вниз» і «знизу-вгору». Обробка знизу-вгору відноситься до безпосередньо обробки, що залежить від вхідного стимулу, а обробка зверху-вниз відноситься до обробки, що залежить від аспектів контексту і минулого досвіду індивіда. Більшість пізнавальної діяльності включає в себе обидва типи обробки.

Пізніше теорії стверджували, що пізнавальна діяльність складається з інтерактивних знизу - вгору і зверху-вниз процесів, що відбуваються одночасно. Наприклад, сприйняття залежить від очікувань людиною подразників (стимулів).

Недавні рамки обробки інформації розділяють ряд основних характеристик. Наприклад, люди розглядаються, як автономні, навмисні істоти, які взаємодіють із зовнішнім світом. [23].

Ранні систематики обробки інформації. Пейн і Альтман (1962) підготували ранні систематики обробки інформації (рис. 1.6), які класифікували помилки на трьох основних рівнях в рамках системи обробки інформації [24].

Берлінер та Анжело (1964) запропонував класифікацію (рис. 1.7), засновану на характеристиках обробки інформації, і виділяв такі процеси і види діяльності [25].

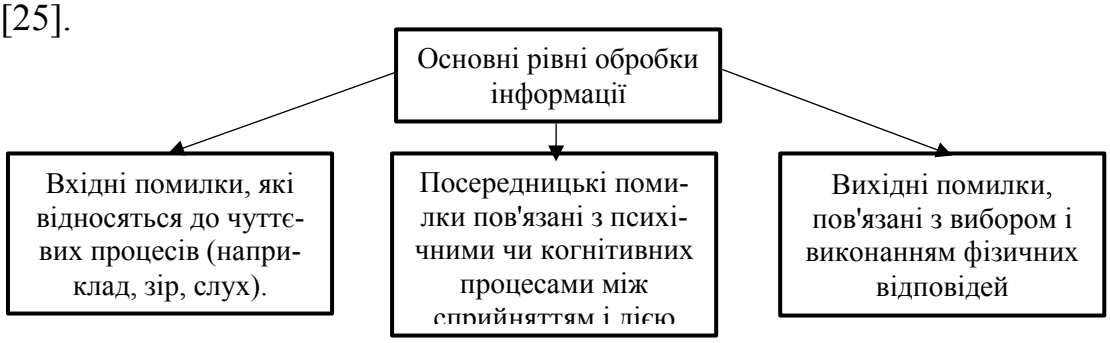


Рис. 1.6. Помилки в рамках системи обробки інформації

Незважаючи на те, ця класифікація не є систематикою помилок, вона вірно класифікує конкретні поведінки, пов'язані з діяльністю з обробки інформації. З деякими змінами, ця систематика може бути адаптована для класифікації помилок на різних рівнях, таких як:

• «сприйняття невдачі» (брутто рівень);

• «пошук відмову» (середній рівень);

• «недостатність виявлення» (рівень деталізації).

Такі класифікації обробки інформації намагаються знайти помилки людини в частині системи обробки інформації. Хоча вона залучає більше припу-

щень, ніж визначених поверхневих категорій, вона, ймовірно, буде використовуватись для зменшення помилок.

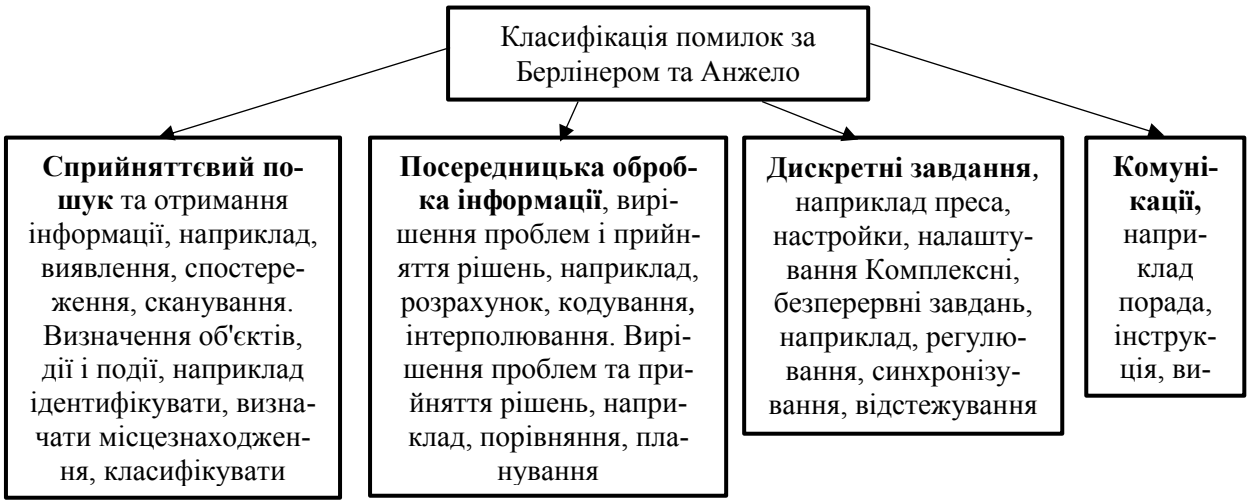


Рис. 1.7. Класифікація помилок за Берлінером та Анжело

Модель обробки інформації Вікенса (Вікенса, 1992). Найбільш широко відома модель обробки інформації, можливо, запропонував Вікенс (1992). Вона грунтується на попередніх моделях, з метою забезпечити якісну модель обробки інформації людиною. Ця модель докладно працює з частинами основного моделя стимул-організм-відповідь (СОВ) або з посередницькими аспектами попередніх моделей обробки інформації, щоб описати критичні етапи обробки інформації (рис. 1.8).

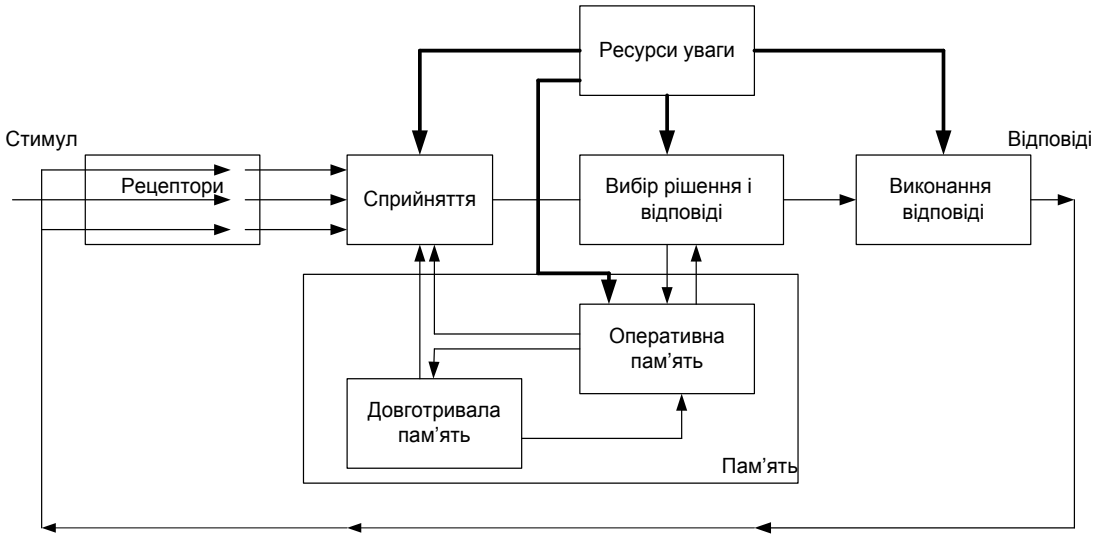


Рис. 1.8. Модель обробки інформації людиною Вікерса

Ця модель передбачає, що кожен етап обробки виконує деякі перетворення даних і вимагає деякого часу для його роботи. Сенсорна обробка стосується в першу чергу обробки характеристик зорової, слухової і кінестетичних відчуттів. Сенсорні обмеження можуть вплинути на якість і кількість інформації. Крім того, стимул може бути поганої якості [26].

Стимул швидше обробляється і сприймається або розрізнюється, і виноситься рішення щодо сприйняття категорії подразника. Процес сприйняття – відображення «багато-до-одного», тому що багато різних фізичних стимулів можуть бути призначені на одну категорію сприйняття (наприклад, різні літаки можуть бути віднесені до категорії «реактивних літаків»), хоча людина здатна розрізняти різні подразники. Завдання вимагають різних рівнів обробки сприйняття, від «виявлення», через «ідентифікації», до «визнання» [27].

Крім того, завдання може вимагати щоб особа зробила одне «абсолютне судження», про розмірність одного стимулу (наприклад, швидкості), або воно може вимагати «розпізнавання» комбінації принаймні в двох вимірах. Крім того, може знадобитися «відносне судження», щодо відносних відмінностей між двома або більше подразниками (наприклад, підйом продуктивності). Нарешті, сприйняття може вимагати «аналогове судження» відмінностей за безперервною шкалою.

Оператор потім вирішує, що робити з інформацією (стимул стає інформацією, коли є визначеним його сенс, але ці терміни використовуються як синоніми). Рішення може бути швидким або продуманим, і людина може вибрати відповідь. Крім того, інформація може зберігатися в пам'яті протягом короткого періоду (секунди - хвилини) в робочій пам'яті за репетиції [28].

Інформація може бути передана протягом більш тривалого періоду (години - років) в довгостроковій пам'яті з допомогою навчання.

Важливою частиною моделі є обмежений резерв ресурсу уваги [26]. Уікенз виділяє чотири типи уваги (рис. 1.9).

З переходом від пасивного прийому до активного збору, увага стає більш зосередженою. Обмежений резерв уваги розділений між сприйняттям, робочою пам'яттю, рішенням і вибором відповіді, і виконання відгуку. Отже, якщо одна функція вимагає великого запасу уваги, то виконання інших функцій погіршується.

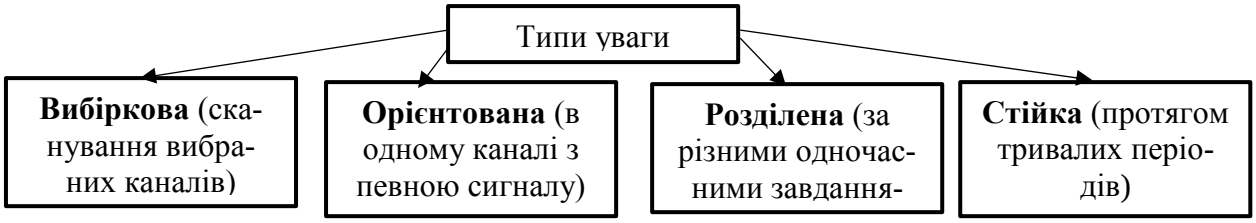


Рис. 1.9. Чотири типи уваги за Уікензом

1.3.4. Моделі і систематики обробки символьної інформації

Традиція символьної обробки стосується людей і комп'ютерів в якості маніпулювання символьних систем загального призначення, і, отже, тісно пов'язана з традицією обробки інформації. Цей підхід лежить в основі роботи в галузі штучного інтелекту і когнітивної науки [29]. Символічні моделі обробки розглядають структури знань і «ментальні моделі», як найважливіші фактори людської продуктивності, в тому числі як форми або подання знань і змісту інформації. Ці моделі намагаються сформулювати форму і зміст уявлень внутрішніх знань, заснованих на аналізі вимог завдання і на аналізі деталей працездатності людини в цих завданнях.

Багато з моделей, які були розроблені з цієї позиції походять з традиції когнітивної науки.

Теоретична робота про джерела помилок, такі як [30, 31] де Норман та Різон помилки моделі при виконанні, з точки зору активізації невідповідних структур знань або «схем», і пов'язані з пізнавальною роботою про людської помилки [32, 7] також пов'язана з цією традицією.

Символьна обробка стала домінуючою теоретичною позицією в когнітивній психології, а також стала популярною в моделюванні поведінки в складних динамічних середовищах, таких як АЕС [33].

Робота в рамках цієї традиції вийшла з когнітивної психології та когнітивної науки, яка розвинулась з теорій, що пояснюють поведінку розумної людини та інформатики, що намагається розробити машини, які відображають інтелектуальну поведінку (наприклад, експертні системи), з невеликим урахуванням основних внутрішніх процесів людини.

Діаграми Мерфі (1982). Це схематичні представлення режимів помилок і ілюстрації основних причин, пов'язаних з когнітивними завданнями прийняття рішень. Приклад діаграми Мерфі показаний в таблиці 1.2. Кожна «діяльність» у процесі прийняття рішень показана окремою схемою.

Таблиця 1.2.

Приклад діаграми Мерфі

<table>
<tr><th>Дальність</th><th>Результат</th><th>Проксимальний</th><th>Дистальний</th></tr>
<tr><td rowspan="8">Активація визначення</td><td rowspan="3">Визначили сигнал</td><td rowspan="2">Сигнал переривчастий чи неспецифічний</td><td>Дефіцит відображення</td></tr>
<tr><td>Несправність обладнання</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Сигнал частково чи повністю досліджений</td><td>Дефіцит зв’язку з пунктом управління</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Не змогли визначити сигнал</td><td>Дефіцит розробки приборної дошки</td></tr>
<tr><td>Дефіцит відображення дисплею</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Процедура моніторингу не виконана</td><td>Недосвідчений оператор</td></tr>
<tr><td>Нестача тренувань</td></tr>
</table>

Кожен вид діяльності, пов'язаний з двома «результати»: правильної або неправильної роботи.

Негативні результати пов'язані з «найближчими джерелами», які є причинами помилок на високому рівні. Нарешті, проксимальні джерела пов'язані з «периферичними (дистальними) джерелами», які, як правило прирівнюються до продуктивності формування факторів (ПФФ).

Систематичний підхід до зниження і передбачення кількості помилок людини (Embrey, 1986). Ембрей у 1986 році розробив систематичний підхід до зниження і передбачення кількості помилок людини (SHERPA) [35], на основі як моделі «навику, правила, знання» (МНПЗ) [11] так і загальної помилки-моделювання системи (ЗПМС) [36]. Ця техніка включає в себе список сімнадцяти НПЗ зовнішніх режимів помилки (ЗРП) (помилки упущення, комісії і лишніх дій) і дванадцять психологічних механізмів помилки (рис. 1.10).

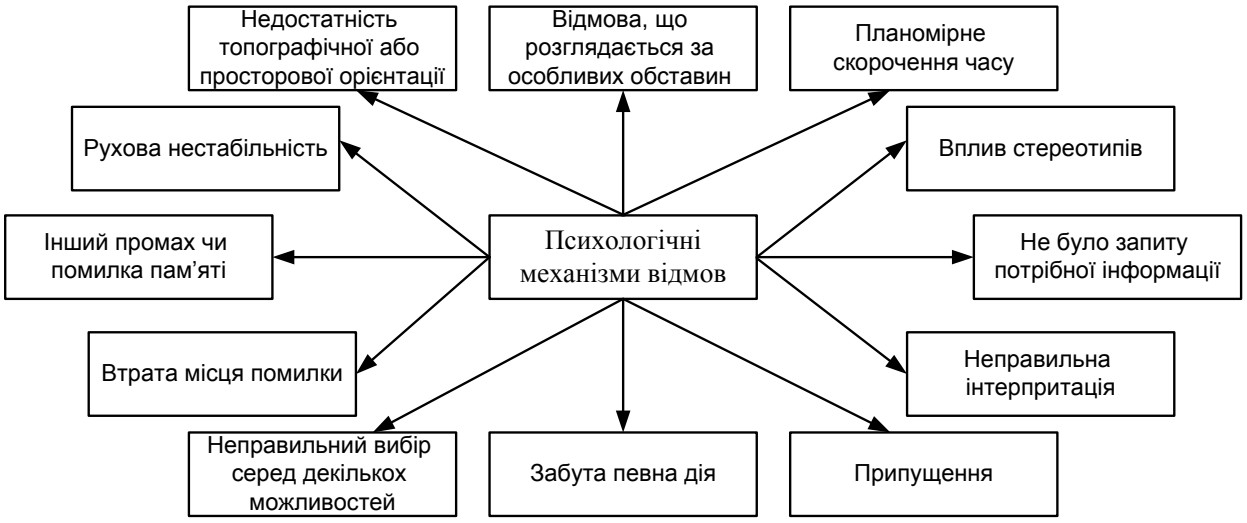


Рис.1.10. Психологічні механізми помилки людини

Систематичний підхід зниження помилки і прогнозування SHERPA людини був розроблений в якості інтелектуальної техніки ІЛП, а не методики аналізу інциденту, а, як правило, використовується з ієрархічному аналізі завдань (ІАЗ) [35].

Когнітивний метод аналізу помилки надійності (Hollnagel, 1993). Когнітивний метод аналізу помилки надійності (КМАПН) [37] був розроблений недавно і як засіб ретроспективного аналізу аварій та інцидентів і, як прогностичної методики аналізу помилок людини. Цей підхід покликаний скоротити

розрив між практичними методами аналізу помилок людини, які мають мало від теорії (тобто вони по суті побудовані не на основі моделі), і підходами, які еволюціонували від когнітивної психології.

Модель в КМАПН - це спрощена версія роботи, яка нагадує роботи Расмуссена та інші драбинні моделі. Це спрощення можливо уникає деяких труднощів, з якими оригінальна драбинна модель зіткнулася і під КМАПН моделлю, називається простою моделлю пізнання (ПМП) [37] (рис. 1.11).

Філософія КМАПН це по суті та, що допускає багато причин, і згідно висновків інших людей після двох десятиліть аналізу інцидентів, що зазвичай не існує єдиної причини, і, отже, немає одного засобу, щоб уникнути помилки в майбутньому. КМАПН йде далі і намагається дослідити взаємодію і можливі зв'язки між різними рівнями ПФФ, названих умовами загальної продуктивності (УЗП).

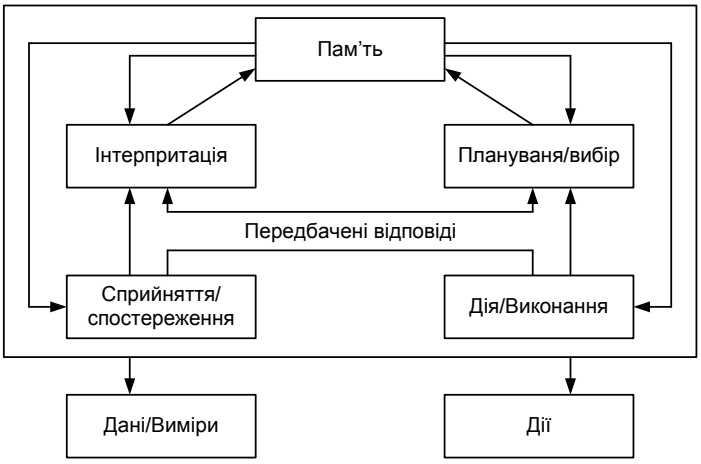


Рис. 1.11. Проста система пізнання когнітивного метода аналізу помилки надійності (адаптована Холнагелом 1993)

Основні УЗП у КМАПН це:

• доступність процедур,

• якість координації екіпажу,

• адекватність організації,

• кількість цілей,

• час дня,

• адекватність HMI,

• доступний час,

• умови праці,

• адекватність навчання.

УЗП являють собою розумний набір ПФФ. Філософія і принцип цього методу полягає в тому, що посилання, незважаючи на те чи є вони вірними чи ні повинні бути розглянутими [38, 39].

1.3.5. Інші моделі та систематики

Аналіз Причин Потенційних помилок людини (Whalley, 1988). Аналіз причин потенційних помилок людини (АППЛ) (рис. 1.12) був розроблений Воллеем о 1988 [40] для предикативної ІЛП (рис. 1.13).

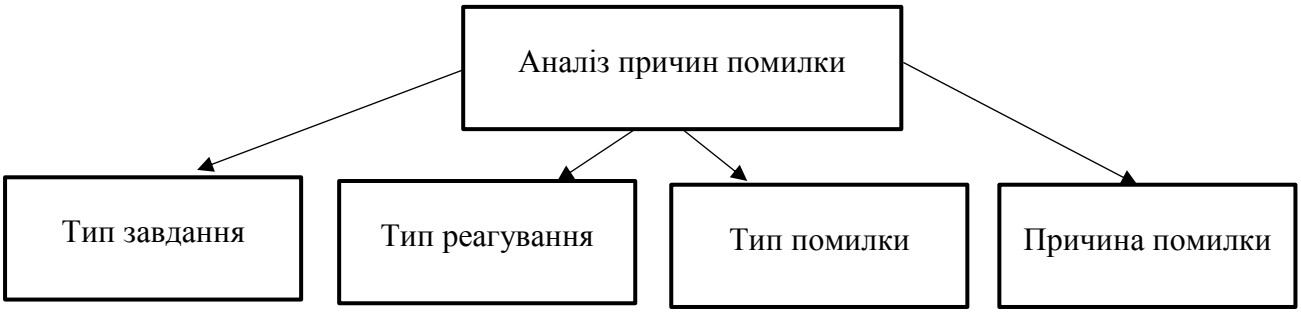


Рис. 1.12 Етапи аналізу помилок оператора за Волеем

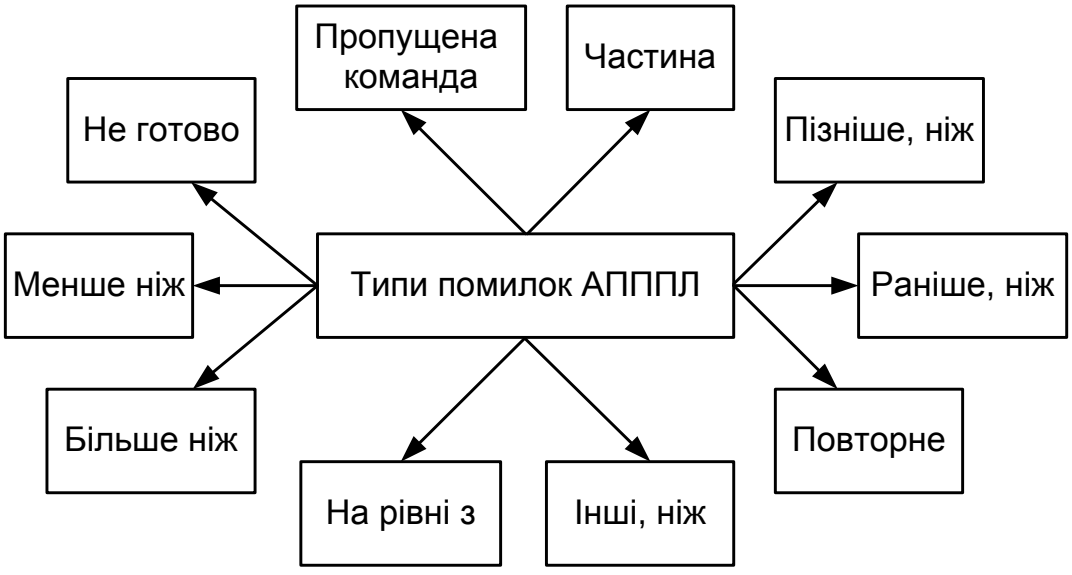


Рис. 1.13. Типи помилок аналізу причин потенційних помилок людини

Помилка аналізу комісії (Kirwan, 1994). Помилка аналізу комісії (ПАК) також використовує досвідчених операторів і набір ключових слів, щоб розглянути в деталях процедури, і які події можуть статися, крім тих, що бажані [41, 42, 43]. Конкретні формати завдання, ключові слова режим помилки і ІЗМ використовуються для структурування процесу оцінки авіаційних подій. Виявлені суттєві помилки потім використовується при оцінці ризику. Цей підхід використовувався тільки один раз, хоча успішно, в реальній і масштабній оцінці ризику.

1.3.6. Когнітивні симуляції

Моделювання пізнання навколишнього середовища (Woods 1990). Система моделювання пізнання навколишнього середовища (СМПНС) - архітектурна дошка в середовищі атомного живлення, моделювання єдиного оператора, і у випробуваннях моделювання було встановлено, що для того, щоб бути в змозі перевершити реальну ядерну енергетику оператор повинен знаходитись в діапазоні сценаріїв.

Когнітивна імітаційна модель (Cacciabue та ін., 1992). Когнітивна Імітаційна модель (COSIMO) моделювала вплив стресу на причини помилки, такі як різке погіршення поля зору, а також використовує механізми помилках розуму від «подоби відповідності», обидва з яких мають відношення до помилок КПР [44].

Моделювання екіпажу (Dang та ін., 1993). Моделювання екіпажу цікаве тим, що воно моделює взаємодії між людьми, тобто імітує взаємодіючу команду, намагаючись вирішити сценарій аварії на атомній електростанції. Крім того, вищезазначене моделювання може використовуватися при визначенні управління ресурсами екіпажу (УРЕ) - типу помилки, такою як відсутність впевненості в результаті під час збою команди, щоб вирішити проблему [45].

Система поведінки операторської групи. Система поведінки операційної групи (SYBORG) - сучасний когнітивний підхід моделювання, спрямований на спроби впоратися з емоційними аспектами їх роботи, запропонована Хошигавою та Йошимурою о 1996 році. Спрямована на передбачення емоції співробітників, їх відчуття, під час роботи над важкими подіями на АЕС. Система поведінки операційної групи прагне визначити, як ці емоції будуть впливати на увагу, мислення, дію і комунікацію. Основні емоції, що розглядаються включають страх, тривогу, напругу, здивування і т. д. Основний вектор роботи спрямовано на визначення того, як емоції взаємодіють між собою і з формами помилок, і деякі з цих взаємодій досить складні, наприклад, їх дослідження показують, що «нерішучість» пов'язана з зневірою, неприязню і роздратуванням, але не у випадку, коли напруга і задоволення активуються [46].

Ці складні взаємодії і взаємозв'язки засновані на емпіричних спостереженнях реальних суб'єктів, що здійснюють в тренажерних експериментів. SYBORG можливо перший підхід у своєму роді, що намагається боротися з соціальними аспектами робочої ситуації.

1.3.7. Інші підходи

Найбільш значуща сфера для розвитку систематики і методів людської помилки стала атомна енергетика. Ще до аварії на АЭС Три-Майл-Айленд та Чорнобилі, відбувався значний розвиток вивчення людського фактору та причинності помилок операторів АЕС, що тривав з початку шістдесятих років, і більшу частину роботи узагальнену в попередніх розділах було розроблено для АЕС, або застосовано в цій сфері.

Сучасна теорія нещасних випадків (Reason, 1998). Мультипричинність означає, що малоймовірно, що єдине рішення до задачі про помилку призводить до аварії. Різон зокрема, використовував «безпеко-зберігаючу» аналогію, щоб сприяти кращому розумінню наслідків мультипричинності. Ця аналогія полягає в тому, що, коли людина стає нездоровою чи нездужає, може виникну-

ти ряд симптомів. Якщо такі симптоми лікуються самостійно, людині не буде краще, хоча симптоми можуть тимчасово слабшати, інші, ймовірно, з'являться, і справді може погіршитися здоров'я, так як хвороба не лікується, а «видаляються» симптоми [4].

Це аналогічно до будь-якої системи, включаючи системи ОрПР, в яких спільні проблеми, що виникають, які проявляються в симптомах (наприклад, повітря не потрапляє). Якщо ці симптоми орієнтовані індивідуально, слідчі можуть не побачити широку картину, поки не відбудеться більша аварія.

1.4. Аналіз існуючих моделей надійності та практики їх використання з урахуванням особливостей теорії помилок

1.4.1. Особливості надійність людини-оператора на сучасному етапі управління повітряним рухом

Загальновизнано, що безпека функціонування складних технічних систем, до яких відноситься і авіаційний транспорт, є однією з найбільш актуальних проблем і безпосередньо залежить від так званого людського фактору, тобто від можливості прийняття оператором аеронавігаційної системи помилкових або нелогічних рішень в конкретних ситуаціях [47].

Основні психологічні особливості операторської діяльності були предметом всебічного вивчення протягом останніх декількох десятиліть. У більшості цих робіт проблема надійності оператора ОрПР в прямій постановці спеціально не вивчалася, хоча ряд розглянутих в них питань мали зв'язок з показниками надійності людини-оператора і систем управління в цілому [48-52].

У найбільш загальному вигляді надійність зазвичай визначають як ймовірність успішного виконання завданні [49].

У техніці під надійністю розуміють властивості об'єкта зберігати в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах [53].

Поняття надійності технічних засобів входить складовою частиною в категорію «якість», так само як визначення надійності людини-оператора в поняття «сукупна професійна якість».

Надійність, якість, сукупна професійну якість є властивостями системи (або її складових частин), які визначаються через категорію станів, а стан оцінюється по тому, наскільки в даний момент часу людина-оператор або система управління задовольняють вимоги, які до них предявляються. Вимоги можуть бути постійними або змінюються в часі залежно від деяких визначальних умов.

Оскільки основною умовою надійної роботи є підтримка заданого рівня діяльності протягом певного відрізку часу, надійність роботи людини-оператора, може бути визначена як здатність до збереження необхідних робочих якостей в умовах можливого ускладнення обстановки, або, коротше, як «збереженість» , стійкість оптимальних робочих параметрів індивіда.

Вивчення та оцінка надійності діяльності людини в системах контролю та управління повітряним рухом, вимагає такого визначення даного поняття, яке розкривало б його зміст, визначало напрямки і методи дослідження та аналізу.

В даний час не викликає сумніву необхідність використання при визначенні надійності діяльності людини-оператора не тільки результуючих параметри його роботи, але також показників психологічних і фізіологічних характеристик суб'єкта діяльності [51].

При аналізі надійності ергатичних систем ряд авторів рекомендує оцінювати такі властивості системи: безвідмовність технічних засобів, відновлюваність їх працездатності, безпомилковість управління, готовність оператора до виконання робіт, біологічну надійність оператора і деякі інші [54, 47]. Для характеристики надійності людини-оператора рекомендується використовувати показники її безвідмовності, непомильності, своєчасності, готовності, відновлюваності [56].

Показник безвідмовності визначає властивість оператора зберігати заданий рівень працездатності протягом деякого часу до настання стійкого його відмови

в продовженні діяльності. Безпомилковість характеризується мірою стійкої працездатності протягом заданого робочого циклу і виражається ймовірністю безпомилкової роботи, яка обчислюється на рівні як окремої операції, так і алгоритму в цілому.

Показниками безпомилковості є ймовірність безпомилкової роботи та ймовірність безпомилкового виконання операцій оператором ОрПР. Для типових, часто повторюваних операцій як показник безпомилковості може використовується інтенсивність помилок.

Надійність оператора АНС не можна охарактеризувати на основі тільки кількісних показників, які використовуються для оцінки технічних систем. Тільки після якісного аналізу трудового процесу, виявлення його найбільш складних і «ранимих» етапів, вивчення структури діяльності і окремих дій представляється можливим зробити кількісну оцінку надійності.

Надійність діяльності оператора АНС характеризується не тільки системою різних її показників (безпека, безпомилковість, своєчасність, відновлюваність і т. д.), але також різними її видами, які визначаються провідними цілями і критеріями оцінки. Різними авторами виділяється конструктивна, технологічна і експлуатаційна надійність [49, 58], гігієнічна та антропологічна [59], психологічна, фізіологічна та демографічна [60], інформаційна, операційна та біологічна надійність [55, 56, 57].

1.4.2. Біотехнічна система управління повітряним рухом та її відмінність від біотехнічної системи «екіпаж-повітряне судно»

Вищезазначена система представлена авіаційним диспетчером та технічними засобами ОрПР (рис. 1.14).

В біотехнічний системі роль і місце технічних засобів (автоматичних пристроїв) значним чином відрізняється від системи «екіпаж-повітряне судно» (Е-ПС). Це пов’язано з різницею в умовах функціонування систем. Оператор ОрПР в процесі своєї діяльності піддається меншій кількості екстремальних

умов, на відміну від екіпажу під час польоту. Але у той самий час він протидіє більший кількості проблемних ситуацій. Це й є головною різницею між ними [61].

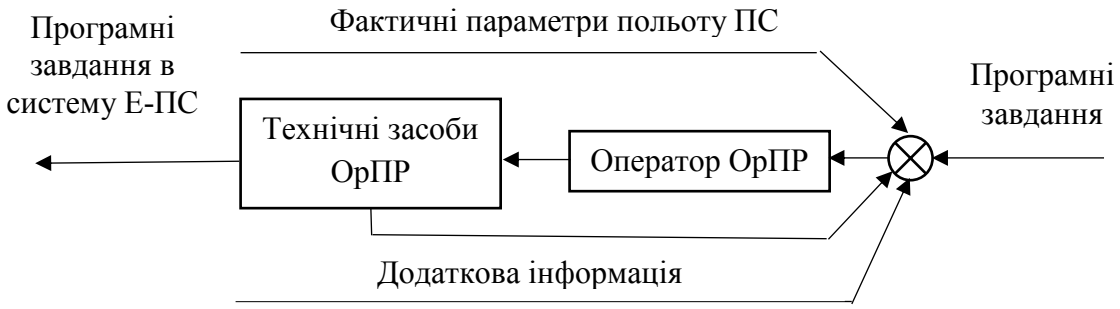


Рис. 1.14. Біотехнічна система ОрПР

Якщо в системі Е-ПС автоматичні пристрої частково дублюються, або доповняють безпосередньо діяльність авіаційного оператора як оператора щодо керування ПС (автопілот, автоматичні системи виконання посадки тощо), то в системі ОрПР технічнім засобам відводять роль елементів контроля та стеження за параметрами польоту та передачі інформації від наземних засобів контролю на борт ПС.

Системи ОрПР та Е-ПС тісно пов’язані, це дозволяє в більш загальних випадках об’єднувати їх в одну складну біотехнічну систему Е-ПС-ОрПР. Функціональні зв’язки в такій системі діють лише в момент безпосереднього виконання польоту [61].

Саме тому у подібних загальних випадках можливо об’єднувати екіпаж повітряного судна, операторів ОрПР, а також усіх операторів суміжних служб, що забезпечують безпеку польотів одним терміном – оператор аеронавігаційної системи. Розділяючи їх для вирішення конкретної задачі чи проблеми.

1.4.3. Концептуальна систематизація існуючих показників надійності людини-оператора та їх визначення

Надійність оператора може бути визначена як кількісними так и якісними параметрами. До кількісних параметрів оператора, так і надійності техніки, відносяться: ймовірність безпомилкової роботи, частота помилок, інтенсивність по-

милок, тощо. Вплив психологічних факторів на надійність роботи оператора визначають наступні показники: безвідмовність, своєчасність, відновлюваність, готовність, психофізіологічна напруженість [61]. Всі вищезазначені показники, їх визначення та складові приведені у таблицях 1.3 та 1.4.

Таблиця 1.3.

Показники надійності людини-оператора

Показники надійності	Визначення для показників надійності
Імовірність правильного рішення операторської задачі $P_{пр}$	Характеризує безпомилковість вирішення поставлених перед оператором завдань
Точність роботи оператора γ	Ступінь відхилення деякого параметра, що вимірюється, встановлюваного або регульованого оператором, від свого справжнього, заданого, або номінального значення.
Своєчасність вирішення задачі оператором $P_{св}$	Оцінюється ймовірністю того, що стоїть перед оператором завдання буде вирішено за час, який не перевищує допустимий
Загальний показник надійності $P_{счм}$	Добуток ймовірності правильного і своєчасного вирішення оператора
Безпека праці людини $P_{бт}$	Імовірність того, що в результаті не правильних дій оператора може виникнути небезпечна ситуація
Інтенсивність помилок оператора λ_j	Умовна щільність ймовірності виникнення відмови об'єкта, обумовлена за умови, відносно моменту часу, що розглядається відмова не виникла
Показник безпомилковості P_j	Імовірність безпомилкового виконання операцій *j*-го типу
Імовірність безпомилкового виконання операцій $P_{ОП}$	Імовірність того, що за заданий проміжок часу помилка при виконанні оператором операцій не виникла
Коефіцієнт готовно-	Являє собою ймовірність включення оператора в роботу в

сті оператора $K_{ОП}$	будь-який момент часу
Показник відновлюваності $P_{исп}$	Можливість самоконтролю оператором своїх дію-вий і виправлення допущених помилок, тобто представляє ймовірність виправлення оператором допущеної помилки
Показник своєчасності $P_{св}$	Є ймовірність виконання завдання протягом часу $\tau<t_{л}$
Середнє значення ймовірності безпомилкової роботи оператора $P_{ОП}$	Усереднена ймовірність того, що за заданий проміжок часу помилка при виконанні оператором операцій не виникла

Таблиця 1.4

Аналітичні залежності для показників надійності людини-оператора

Показники надійності	Формули для розрахунків показників надійності	Складові формул
Імовірність правильного рішення операторської задачі $P_{пр}$	$P_{пр} = 1 - \frac{m_{OT}}{N}$	$m_{от}$ та N – відповідно число помилкових рішень і загальне число розв'язуваних завдань
Точність роботи оператора γ	$\gamma = I_{н} - I_{оп}$	$I_{н}$ – істинне або номінальне значення параметра; *Ion* - фактично вимірюване або регульоване оператором значення цього параметра.
Своєчасність вирішення задачі оператором $P_{св}$	$P_{св} = P\{T_{ц} \le T_{доп}\} = \int_{0}^{T_{доп}} \phi(T) \cdot dT$	φ (*T*) – функція щільності часу рішення задачі ергатичною системою.
Загальний показник	$P_{счм} = P_{пр} \cdot P_{св}$	ймовірність правильного ($P_{пр}$) і своєчас-

надійності $P_{счм}$		ного ($P_{св}$) рішення
Безпека праці людини $P_{бт}$	$P_{бт} = 1 - \sum_{i-1}^{n} P_{воз.i} \cdot P_{от.i}$	$P_{воз.i}$ - імовірність виникнення небезпечної або шкідливої для людини виробничої ситуації *і-го* типу; *Рот.і* - ймовірність неправильних дій оператора в *і-й* ситуації; *n* - число можливих травмонебезпечних ситуацій.
Інтенсивність помилок оператора λ_j	$\lambda_j = \frac{n_j}{N_j \cdot T_j}$	N_j, n_j- загальне число виконаних операцій *j*-го виду і допущене при цьому число помилок; T_j - середній час виконання операцій *j*-го виду.
Показник безпомилковості P_j	$P_j = \frac{N_j - n_j}{N_j};$	P_j – ймовірність безпомилкового виконання операцій j-го типу; N_j, n_j- загальне число виконаних операцій *j*-го виду і допущене при цьому число помилок; *Tj* - середній час виконання операцій *j*-го виду.
Імовірність безпомилкового виконання операцій $P_{ОП}$	$P_{ОП} = \prod_{j=1}^{r} P_j^{kj} = e^{-\sum_{j-1}^{r}\left(1-P_j\right)\cdot k_j} = e^{-\sum_{j=1}^{r}\lambda_j \cdot T_j \cdot k_j}$	k_j – число виконаних операцій *j*-го виду; *r* - число різних типів операцій (j = 1, 2, ... r)
Коефіцієнт готовності оператора $K_{ОП}$	$K_{ОП} = 1 - \frac{T_0}{T}$	T_0 – час, протягом якого оператор по тим чи іншим причинам не знаходиться на робочому місці; *T* - загальний час роботи оператора.
Показник віднов-	$P_{исп} = P_к \cdot P_{об} \cdot P_и$	$P_к$ – ймовірність видачі сигналу системою

лованості $P_{исп}$		контролю; $P_{об}$ - ймовірність виявлення оператором сигналу контролю; P_i - ймовірність виправлення помилкових дій при повторному виконанні операцій
Середнє значення ймовірності безпомилкової роботи оператора $P_{ОП}$	$P_{ОП} = \sum_{i=1}^{m} P_i \cdot P_{ОП}/i$	*Pi* - ймовірність настання *і-го* стану оператора; $P_{оп} / i$ - умовна імовірність безпомилкової роботи операторав *і-му* стані; *m* - число розглянутих станів

1.4.4. Порівняльний аналіз існуючих методів та моделей операторів

Крім існуючих моделей помилок, що зазначені вище, також існує ряд моделей завдяки яким можливо описати людину-оператора. Слід особливу увагу приділити моделям надійності. На відміну від моделей помилок вони розглядають ймовірність того, що помилка не виникне.

В таблиці 1.5 приведені вітчизняні моделі надійності людини-оператора.

Таблиця 1.5.

Вітчизняні моделі надійності людини-оператора

Метод	Автор	Особливості
Оперативна надійність оператора [52]	В.Д. Небиліцин	Надійність базується на основних властивостях нервової системи і виражається у здатності індивіда до стійкого збереженню ідеальних робочих параметрів протягом заданих проміжків часу
Прагматична надійність оператора [62]	А.И. Губинський	Надійність розглядається як здатність досягати поставленої мети
Структурний метод оцінки надійності [63]	В.Б. Палюх	Діяльність людини послідовно представляється що складається з операційних, функціональних і програмних одиниць. Нижчий рівень розгляду діяльності людини-оператора - рівень операційних одиниць

Системний підхід [64]	В.А. Пономаренко Н.Д. Завалова	Ефективність і надійність системи людина-машина залежать не тільки від ступеня досконалості технічного обладнання і від особливостей психічних і фізичних властивостей людини, а від сукупного якості взаємодії людини з керованої ним машиною. Представляють помилкову дію як сукупну системну якість, що відбиває особливості взаємодії ряду компонентів системи «людина-машина»
Узагальнений структурний метод [65]	А.И. Губинський, В.Г. Ефграфов	Діяльність оператора розкладається на ієрархічний ряд рівнів, кожен з яких представляється у вигляді певної структури. Вищим є оперативний рівень, який відображає структуру взаємодії вирішуваних завдань. Обчислення надійності проводиться послідовно, починаючи з того нижнього рівня, для якого відомі довідкові дані по надійності діяльності людини.
Системний метод [66]	Ю.Г. Фокин	Заснований на використанні восьми напрямків аналізу та оцінки надійності СЛМ: апаратурною безвідмовностю застосовуваних засобів, повної апаратної безвідмовності, відновлюючого оператора, обслуговуючого оператора, підготовлюючого оператора, керуючого оператора, чергового оператора, біологічно надійного оператора.

Операційно-психофізіологічний метод [67]	Г.М. Зараковский	Розчленування діяльності оператора на окремі дії, для яких відомі вихідні значення часу і точності їх виконання, а також значення психофізіологічної напруженості. На підставі цього здійснюється синтез структури діяльності та отримання інтегральних характеристик надійності СЛМ.
Системотехнічний метод [68]	Г.Г. Маньшин	Для кожного типу систем «людина-машина» визначені умови, що призводять до відмови системи.
Модель кількісного визначення «ціни» діяльності [69]	В.Ю. Шебланов, А.Ф. Бобров	Функціонування систем організму в процесі діяльності підпорядковане основній меті - досягненню максимальної продуктивності діяльності, що в тій чи іншій мірі проявляється в зміні як показників результативності діяльності, так і забезпечують дану діяльність систем організму. Під «ціною» діяльності автори розуміють ступінь зміни в ході діяльності співвідношення між поточним, вихідним і граничним станами функціональних систем організму, які є провідними для забезпечення даної діяльності
Метод оцінки функціональної надійності людини-оператора [70]	В.Г. Бруснецов	Однією з найважливіших є функціональна надійність, під якою розуміють властивість функціональних систем людини-оператора забезпечувати його динамічну стійкість у виконанні професійного завдання протягом певного часу і з заданим якістю. Розділяють дві її складові – довготривалу (базову) і поточну (функціональний стан).

Як зазначено вище, існує багато різних моделей за допомогою яких можливо не тільки описати роботу оператора АНС, а також розрахувати надійність системи ОрПР в цілому. Вони враховують безліч аспектів пов'язаних з роботою операторів АНС таких як: якість зв'язку та рівень комунікації з екіпажем ПС, відносини у колективі, навантаження, мотивацію. А за допомогою цієї інформації прогнозуються можливі помилки, що можуть бути спричинені оператором під час ОрПР. Враховуються навіть той факт, що помилка оператора насправді може бути лише помилкою комісії, яка досліджує певну подію, чи інцидент, пов'язаний з ним.

Але багато з них мають певний ряд недоліків через які неможливо досягнути мети дисертаційної роботи, яка була поставлена. Проаналізувавши особливості моделей СЛМ було виявлено ряд недоліки (рис.1.15).

Слід виділити спільні для багатьох моделей риси, що не дозволяють досягти мети поставленої у дисертаційній роботі. Серед них найбільш значущою є та, що не враховується відновлюваність оператора після помилки. Також знижує якість моделей те, що в якості моделей розподілу помилок в багатьох з них використовуються застарілі моделі, такі як експоненціальна, гамма модель, тощо.

Ще одним істотним недоліком є те, що деякі моделі не мають певної зони визначеності та результати отримані за їх допомогою погано корелюються з реальною статистикою помилок операторів.

Також слід брати до уваги, що ряд моделей не є релевантними, тобто погано узгоджуються з реальною картиною поведінки та особливостей роботи оператора.

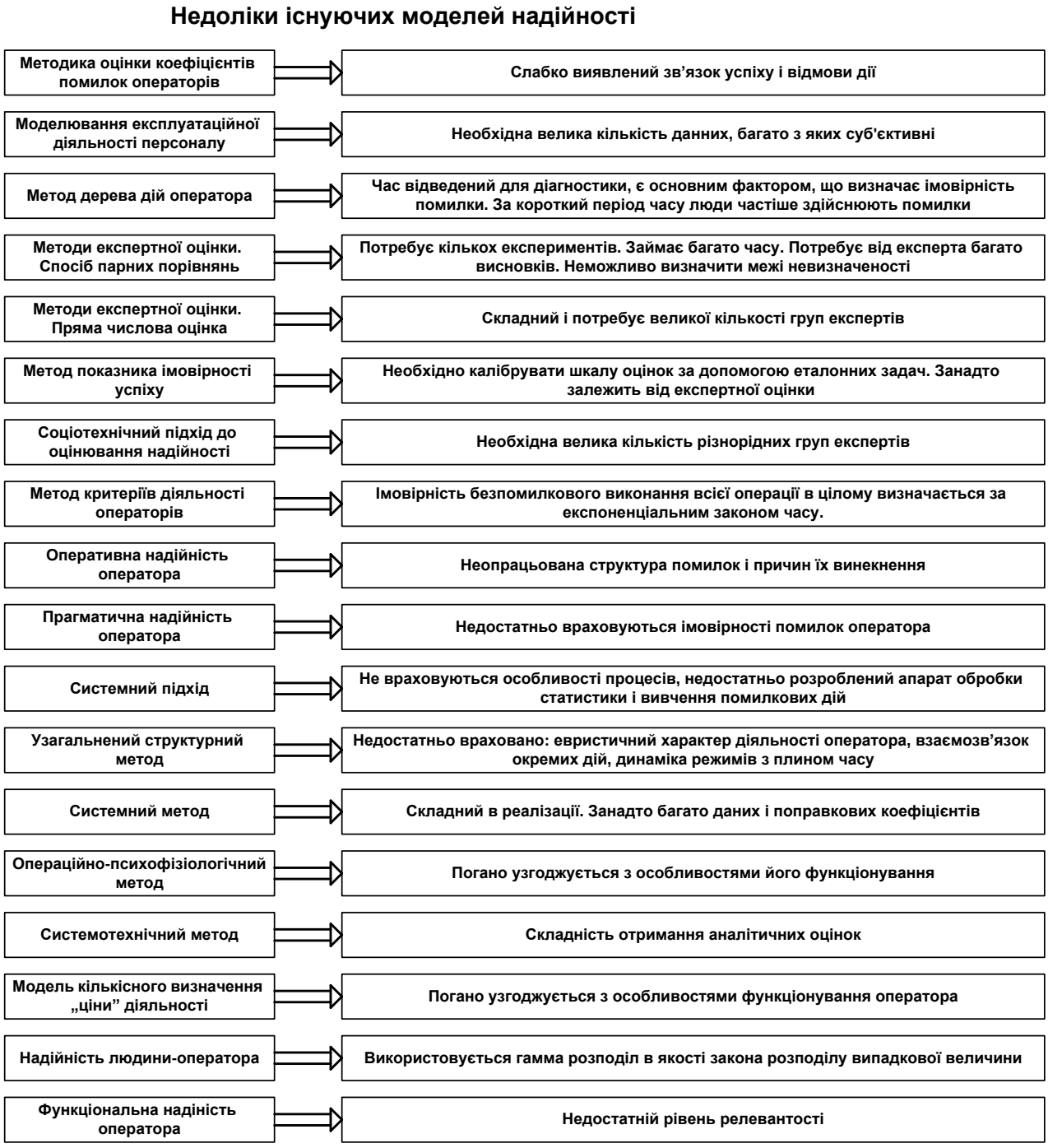


Рис. 1. 15. Недоліки існуючих моделей надійності людини-оператора

1.5. Синтез вимог до інформаційно-функціональної моделі надійності оператора АНС

При синтезі вимог до моделі надійності оператора АНС були враховані як переваги все існуючих моделей, так й їхні недоліки. Отримання опорної оцінки

надійності його функціонування можливе тільки на основі адекватної аналітичної моделі.

Під помилкою оператора АНС будемо розуміти неправильне виконання або невиконання ним вказаних дій, що веде до появи аварійної ситуації або до створення такої ситуації, яка може призвести до аварійного ефекту.

Вичерпною характеристикою будь-якої випадкової величини, наприклад, помилки оператора АНС, при тривалості *t* безпомилкової функція розподілу *F(t*), яку назвемо моделлю розподілу помилок оператора АНС. Вона пов'язана з ймовірність помилки *Q(t*) тотожністю, яка випливає з визначення функції розподілу (1)

$$F(t) \equiv Q(t) \ .$$

Модель помилок, описувана функцією розподілу *F(t)*, пов'язана з імовірністю безпомилкової роботи оператора АНС *R(t)* яку назвемо моделлю надійності оператора, яка визначається співвідношенням виду:

$$R(t) = 1 - Q(t).$$

Отже, модель надійності оператора АНС можна визначити, як математичну модель, яка встановлює зв'язок між показниками надійності оператора АНС, характеристиками надійності елементів ергатичної структури і параметрами процесу її функціонування.

Однак, не всі моделі помилок, що застосовуються в теорії надійності можна використовувати для розрахунків ергатичних систем, багато з них мають ряд недоліків неприйнятних для використання в даних системах.

Існують критерії, яким повинні відповідати моделі розподілу помилок оператора АНС в інтервалі часу обумовленому особливостями його функціонування. Відповідно до вимог нормативних документів такими критеріями вважають: релевантність, адекватність, можливість виконання розрахунків надійності системи, універсальність і практична придатність (Рис. 1.16).

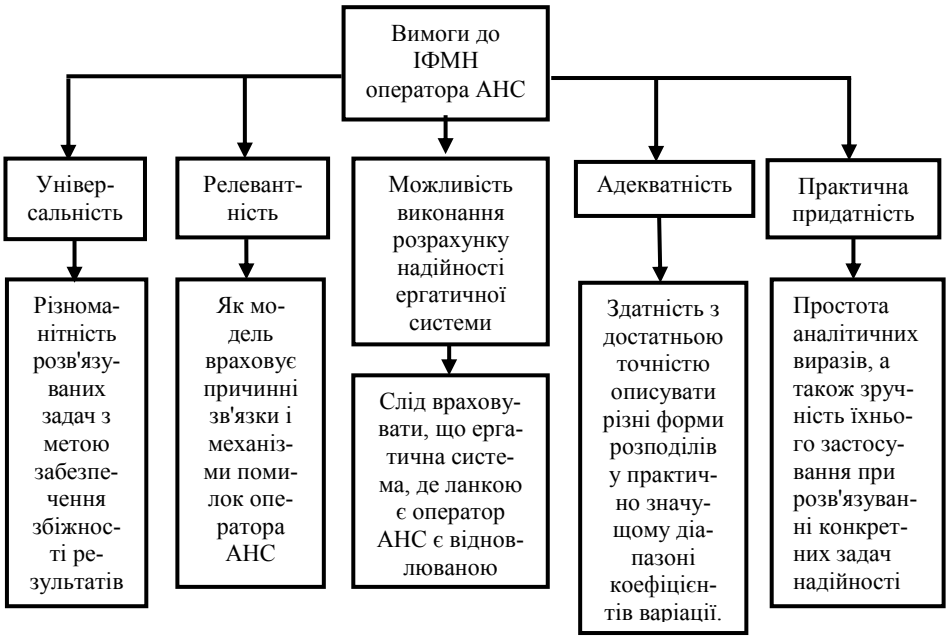


Рис. 1.16 Вимоги до моделі помилок оператора АНС

Розрахунок безпомилковості оператора АНС повинен враховувати той факт, що оператор функціонує в умовах перешкод і має право на помилку при виконанні функціональних обов'язків з подальшим відновленням своєї працездатності [77].

Слід зазначити, що розрахунок безпомилковості оператора АНС з урахуванням необхідного відновлення може бути виконаний якщо модель помилок розподілу має властивості згортки розподілу випадкових величин.

Згортка функцій – операція в функціональному аналізі, що показує «схожість» однієї функції з відбитою і зрушеною копією іншої. Поняття згортки узагальнюється для функцій, визначених на групах, а також заходів. За визначенням, згортка – це математична операція, застосована до двох функцій f і g, що породжує третю функцію, яка іноді може розглядатися як модифікована версія однією з первинних. По суті, це особливий вид інтегрального перетворення [77].

З відомих моделей надійності цим вимогам задовольняють лише дві: експоненціальна (EXP) і дифузійна немонотонна моделі (DN).

Проаналізуємо ці дві моделі для визначення найбільш раціональної для вирішення поставленої у дисертаційному завданні цілі. Результати дослідження додаймо в таблицю 1.6.

Таблиця 1.6

Порівняльний аналіз експоненціальної і дифузійної немонотонної моделі

	EXP	DN
Параметри моделі	λ – параметр масштабу (-)	μ - параметр масштабу υ - параметр масштабу (+)
Оцінка показників надійності оператора в умовах відсутності помилок	-	+
Розрахунок безпомилковості оператора та можливість введення його надлишковості	-	+
Розрахунок готовності	+	+
Планування контролю ймовірності безпомилкової роботи оператора АНС	+	+
Планування контролю готовності оператора	+	+
Адекватність	Нажаль не описує точно не тільки щільність розподілу помилок оператора, але й допускає той факт, що інтенсивність його помилок є сталою величиною (-)	Найбільш точно описую «хвости» розподілу помилок оператора (+)

Беручі до уваги усі вищезазначені у таблиці 1.6 результати аналізу, можемо зробити висновок, що для поставленої у дисертаційному дослідженні для

досягнення поставленої цілі необхідно і достатньо використовувати дифузійну немонотонну модель розподілу помилок, для обробки вхідної статистики помилок оператора АНС.

1.6. Огляд дифузійної немонотонної моделі розподілу помилок та обґрунтування вибору моделі розподілу помилок

Правильний вибір теоретичної моделі розподілу помилок оператора АНС виявляється не простим завданням. Якщо для технічних об'єктів правильність вибору теоретичної моделі можна перевірити статистичними методами, то у випадку оператора АНС завдання набагато ускладняється, оскільки отримання повних вибірок помилок оператора часто не представляється можливим. Тому шлях вибору найбільш підходящої моделі на основі відомих статистичних критеріїв згоди виявляється непродуктивним.

Таким чином, вибір теоретичної моделі розподілу помилок оператора АНС може бути здійснений в основному на базі фізичного обґрунтування. Іншими словами, тільки ретельне дослідження причинно-наслідкових зв'язків механізмів появи помилок допоможуть встановити найбільш підходящу модель розподілу помилок.

Для того щоб визначити вираз для закону розподілу до першої помилки, розглянемо марківський дифузійний процес та конкретизуємо його складові функції:

$$dx(t) = A(t)\,dt + B(t)\cdot d\eta(t), \qquad (1.1)$$

де $x(t)$ – визначальний параметр;

$A(t)$, $B(t)$ – детерміновані функції, що характеризують зміна середнього значення і дисперсії визначального параметра (коефіцієнти зносу і дифузії);

$\eta(t)$ – випадкова складова гауссівського типу.

Будемо розглядати процес відновлення оператора АНС після помилки (1.1) як однорідний, тобто з постійною середньою швидкістю і постійним середнім квадратичним відхиленням швидкості (або постійним коефіцієнтом варіації

швидкості). У такому випадку кінетичне рівняння процесу (1.1) можна записати у вигляді:

$$dx(t) = adt + b \cdot d\eta(t), \qquad (1.2)$$

де a – коефіцієнт зносу (середня швидкість зміни визначального параметра);

b – коефіцієнт дифузії (b^2 - середня швидкість зміни дисперсії визначального параметра).

Якщо марківський процес дифузійного типу визначається рівнянням виду (1.2), то дифузія умовної перехідною щільності $\omega(t_0, x_0;\ t, x)$ цього процесу описується рівнянням Фоккера-Планка-Колмогорова наступного виду:

$$\frac{\partial \omega(t_0, x_0; t, x)}{\partial t} + a \cdot \frac{\partial \omega(t_0, x_0; t, x)}{\partial x} - \frac{b^2}{2} \cdot \frac{\partial^2 \omega(t_0, x_0; t, x)}{\partial x^2} = 0. \qquad (1.3)$$

Як відомо [106], щільність розподілу часу досягнення кордону досліджуваним нормованим процесом (щільність розподілу часу до відмови) має наступну зв'язок з умовною щільністю переходу процесу з одного стану в інше:

$$f(t) = -\int_{-\infty}^{1} \frac{\partial \omega(t_0, x_0; t, x)}{\partial t}\, dx. \qquad (1.4)$$

Схема формалізації так званих дифузійних розподілів припускає:

- визначення щільності ймовірності розподілу часу до відмови $f(t)$,
- рішення рівняння (2.8) у вигляді аналітичного вираження для $\omega(t_0, x_0; t, x)$,
- визначення приватної похідною за часом від функції $\omega(t_0, x_0; t, x)$ і
- інтегрування $\omega'(t_0, x_0; t, x)$ по параметру x відповідно до (1.4).

Назва «дифузійний» обумовлено тим, що вираз для закону розподілу напрацювання до відмови випливає з рішення рівняння дифузії ймовірностей.

Рівняння дифузії ймовірностей (1.3) являє собою параболічне диференціальне рівняння в приватних похідних. Для вирішення такого типу рівнянь необхідно встановити крайові умови, які визначаються із загальних фізичних міркувань про процес і шукану функцію.

Початкові умови в самому загальному випадку, виходячи з шуканої функції – щільності вірогідності переходу $\omega(t_0, x_0; t, x)$, можуть бути задані, наприклад, у вигляді

$$\omega(t_0, x_0; t, x)\Big|_{t=t_0} = \omega_0(x_0), \qquad (1.5)$$

де $\omega_0(x_0)$ – деякий довільний розподіл досліджуваного параметра в початковий момент.

Якщо початкове значення параметра задано (наприклад, без втрати спільності можна покласти $x_0 = 0$, $t_0 = 0$), то $\omega_0(x_0)$ вироджується в δ-функцію:

$$\omega(t, x)\big|_{t=0} = \delta(x). \qquad (1.6)$$

Що стосується визначення граничних умов, то тут необхідно оцінити характер реалізацій процесу $x(t)$. Маються на увазі реалізації – послідовна зміна значень визначальних параметрів невідновлювальних об'єктів. Перше досягнення реалізацією гранично заданої області (у нашому випадку параметр змінюється від нуля до одиниці) відповідає помилку оператора АНС. За характером зміни реалізації необхідно визначити, чи помилка вперше досягла реалізацією кордону заданої області і чи може реалізація вплинути на досліджуваний процес $x(t)$ і відповідно на шукану функцію $\omega(t, x)$ надалі, після першого досягнення кордону.

Якщо реалізації мають немонотонний характер, то після першого досягнення кордону заданої області (фізично це відповідає відмові й зняттю вироби з спостереження) немонотонна реалізація може знову повернутися в задану область і брати участь в спостережуваному процесі.

Для того, щоб перше досягнення кордону немонотонної реалізації моделювали помилку і подальша реалізація не брала участь в спостережуваному процесі і не впливала на функцію $\omega(t, x)$, необхідно на кордоні заданої області поставити граничну умова типу «поглинаючий екран». У такому випадку будь-

яка реалізація, вперше досягнувши його, назавжди залишається на кордоні, поза заданою областю.

Оскільки вище було встановлено, що реалізації процесу відновлення оператора після помилки може мати немонотонний характер, в якості граничних умов при вирішенні рівняння (1.3) приймаються умови:

$$\omega(t, x)\big|_{x=-\infty} = 0; \tag{1.7}$$

$$\omega(t, x)\big|_{x=1} = 0. \tag{1.8}$$

Перше гранична умова (1.7) чисто формально. Оскільки досліджуваний процес не може приймати від'ємних значень, встановлена ліва межа є недосяжною (природною) і ніяк не впливає на процес в заданій області. Ухвалення формального умови (1.7) необхідно для рішення рівняння (1.3). Гранична умова (1.8) випливає з вище наведених міркувань і відповідає поглинаючому екрану в точці $x = 1$.

Рішення рівняння (1.3) для крайових умов (1.6) - (1.8) записується в наступному

$$\omega(t, x) = \frac{1}{b\sqrt{2\pi t}}\left\{\exp\left[-\frac{(x - a\,t)^2}{2b^2\,t}\right] - \exp\left[-\frac{(x - at - 2)^2 - 4at}{2b^2 t}\right]\right\}. \tag{1.9}$$

Обчислимо похідну від щільності (1.9) ймовірності переходу $\omega(t, x)$:

$$\frac{\partial\omega(t,x)}{\partial t} = \frac{x^2 - a^2t^2 - b^2t}{2b^3t^2\sqrt{2\pi t}}\exp\left[-\frac{(x-at)^2}{2b^2t}\right] - \frac{(x-2)^2 - a^2t^2 - b^2t}{2b^3t^2\sqrt{2\pi t}}\exp\left[-\frac{(x-at-2)^2 - 4at}{2b^2t}\right]. \tag{1.10}$$

Підставивши (1.10) в (1.4), знайдемо вираз для щільності розподілу часу до першої відмови:

$$f(t) = -\int_{-\infty}^{1}\left\{\frac{x^2 - a^2t^2 - b^2t}{2b^3t^2\sqrt{2\pi t}}\exp\left[-\frac{(x-at)^2}{2b^2t}\right] - \frac{(x-2)^2 - a^2t^2 - b^2t}{2b^3t^2\sqrt{2\pi t}}\exp\left[-\frac{(x-at-2)^2 - 4at}{2b^2t}\right]\right\}dx.$$

Представимо отриманий інтеграл у вигляді суми інтегралів:

$$f(t) = J_1 + J_2;$$

$$J_1 = -\int_{-\infty}^{1}\left\{\frac{x^2 - a^2t^2 - b^2t}{2b^3t^2\sqrt{2\pi t}}\exp\left[-\frac{(x-at)^2}{2b^2t}\right]\right\}dx;$$

$$J_2 = \int_{-\infty}^{1}\left\{\frac{(x-2)^2 - a^2t^2 - b^2t}{2b^3t^2\sqrt{2\pi t}}\exp\left[-\frac{(x-at-2)^2 - 4at}{2b^2t}\right]\right\}dx.$$

Для визначення інтегралу J_1 робимо заміну змінних $y = \dfrac{x-at}{b\sqrt{2t}}$, звідки

$dx = b\sqrt{2t}\ dy$; при $x = 1 \ \rightarrow\ y = \dfrac{1-at}{b\sqrt{2t}}$.

Виконуємо підстановку і деякі перетворення в інтегралі J_1:

$$J_1 = -\int_{-\infty}^{y}\left\{\frac{2by^2 + 2ay\sqrt{2} - b}{2bt\sqrt{\pi}}\exp(-y^2)\right\}dy =$$

$$= -\frac{1}{t\sqrt{\pi}}\int_{-\infty}^{y} y^2\exp(-y^2)\,dy\ -\frac{a\sqrt{2}}{b\sqrt{\pi t}}\int_{-\infty}^{y} y\ \exp(-y^2)\,dy + \frac{1}{2t\sqrt{\pi}}\int_{-\infty}^{y}\exp(-y^2)\ dy =$$

$$= \frac{1}{t\sqrt{\pi}}\left[\frac{y}{2}\ \exp(-y^2) - \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{y}\exp(-y^2)\,dy\right] + \frac{a}{b\sqrt{2\pi t}}\exp(-y^2) + \frac{1}{2t\sqrt{\pi}}\int_{-\infty}^{y}\exp(-y^2)\ dy\ =$$

$$= \left(\frac{y}{2t\sqrt{\pi}} + \frac{1}{b\sqrt{2\pi t}}\right)\exp(-y^2).$$

Зробивши зворотну заміну змінних, отримуємо

$$J_1 = \frac{1+at}{2bt\sqrt{2\pi t}}\exp\left[-\frac{(1-at)^2}{2b^2t}\right].$$

Для обчислення інтеграла J_2 робимо підстановку $z = \dfrac{x-at-2}{b\sqrt{2t}}$, звідки

$dx = b\sqrt{2t}\,dz$; при $x = -\infty \ \rightarrow\ z = -\infty$, а при $x = 1 \ \rightarrow\ z = -\dfrac{1+at}{b\sqrt{2t}}$.

Після підстановки і деяких перетворень маємо

$$J_2 = \int_{-\infty}^{z}\frac{(2bz^2 + 2az\sqrt{2t} - b)}{2bt\sqrt{\pi}}\exp\left(\frac{2a}{b^2} - z^2\right)dz = -\left(\frac{z}{2t\sqrt{\pi}} + \frac{a}{d\sqrt{2\pi t}}\right)\exp\left(\frac{2a}{b^2} - z^2\right).$$

Зробивши зворотну заміну змінних, отримуємо

$$J_2 = \frac{1-at}{2bt\sqrt{2\pi t}} \exp\left[-\frac{(1-at)^2}{2b^2 t}\right].$$

Підсумовуючи знайдені інтеграли *J1* і *J2*, визначаємо вираз для щільності розподілу часу до помилки оператора АНС:

$$f(t) = \frac{1}{bt\sqrt{2\pi t}} \exp\left[-\frac{(1-at)^2}{2b^2 t}\right]. \qquad (1.11)$$

Для однорідного процесу відновлення оператора дифузійного типу коефіцієнт дифузії b має простий зв'язок із характеристиками процесу, які зазвичай використовуються – середнім квадратичним відхиленням швидкості процесу σ_a і коефіцієнтом варіації процесу ν

$$b = \frac{\sigma_a}{\sqrt{a}} = \nu\sqrt{a}\,. \qquad (1.12)$$

З урахуванням співвідношення (1.13) можна записати вираз для закону розподілу часу до помилки оператора АНС (1.12) в наступному вигляді:

$$f(t) = \frac{1}{\nu t\sqrt{2\pi\, a\, t}} \exp\left[-\frac{(1-at)^2}{2\nu^2 at}\right]. \qquad (1.13)$$

Прийнято отриманий дифузійний (**Diffusive**) розподіл (1.13), відповідно немонотонному (**Nonmonotonic**) Марківському процесу, за першими літерами визначальних слів називати дифузійним немонотонним розподілом (DN-розподілом).

Щільність (1.13) відповідає функція розподілу

$$F(t) = \Phi\left(\frac{at-1}{\nu\sqrt{at}}\right) + \exp\left(\frac{2}{\nu^2}\right)\Phi\left(-\frac{at+1}{\nu\sqrt{at}}\right), \qquad (1.14)$$

де $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{z}\exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)dx$ – нормований нормальний розподіл

1.7. ВИСНОВКИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. У першому розділі вирішено задачу щодо здійснення аналізу, систематизації та узагальнення проблем пов’язаних з помилками операторів АНС та моделями, що описують закономірності роботи людини-оператора.

1.1. Сучасний рівень впливу людського чинника на безпеку польотів складає майже 90%, саме тому актуальною є задача прогнозування помилок операторів завдяки моделі надійності.

1.2. Результати аналізу основних причини класифікації помилок свідчать:

-це дозволяє контролювати виникнення помилок протягом довгого часу, щоб виявляти тенденції до серйозних помилок;

-класифікація помилок допомагає генерувати дослідження помилок, їх причини та прояви.

- класифікація людських помилок допомагає розвитку стратегії, усунення або зменшення кількісті помилок, або зменшення їх небажаних ефектів в системах ОрПР.

1.3. Розглянуто та проаналізовано існуючі моделі помилок та моделі надійності людини-оператора. З аналізу досліджених існуючих концептуальних складових, показників та визначень надійності оператора АНС виявлено, 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 відновлювання оператора після помилки.

1.4. Проведена концептуальна систематизація існуючих показників надійності людини-оператора та їх визначення та розглянуті її особливості на сучасному етапі управління повітряним рухом. Дослідження показали, що основна позиція існуючих моделей та підходів до визначення надійності оператора зосереджені на накопиченні статистичної інформації, однак відсутні методи аналізу, прогнозування та прийняття управлінського рішення.

1.5. В результаті синтезу вимог до інформаційно-функціональної моделі надійності оператора АНС було визначено критерії, яким повинна відповідати ІФМН операторів АНС в інтервалі часу, обумовленому особливостями його функціонування: релевантність, адекватність, можливість виконання розрахунків надійності системи, універсальність і практична придатність.

1.6. В якості базової моделі для обробки помилок оператора АНС вибрана дифузійна немонотонна модель розподілу помилок. Яка на відмину від експоненціальної та логарифмічно нормальної є релевантною та враховую таку складову надійності оператора АНС як відновлюваність працездатності після помилки.

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ ОПЕРАТОРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

2.1. Визначення головних вимог до інформаційно-функціональної моделі надійності оператора аеронавігаційних систем

Проблема підтримки надійності АНС є вкрай актуальною на сьогоднішній день, так як від підтримки її необхідного рівня залежить безпека авіаперевезень і їх ефективність.

Система організації повітряного руху є ергатичній системою управління, яка включає в якості елементів як технічні засоби, так і операторів, які взаємодіють з цією системою.

Як відомо, всі апаратурні системи включають як машини, так і персонал, який з ними взаємодіє. Отже, при оцінці надійності системи інженери повинні аналізувати обидва елементи. Не можна розглядати окремо надійність апаратури і надійність оператора, яка обумовлена психофізіологічними факторами.

Введення будь-якої нової складової в оцінку надійності знижує її показник, якщо тільки складова не характеризує незмінно надійний елемент. Якщо при оцінках надійності аналіз враховує тільки фактори, що характеризують відмови апаратури, не пов'язані з діями персоналу, то передбачається, що робота оператора характеризується як бездоганна (ймовірність безвідмовної роботи оператора $R(t) = 1{,}00$). Так як відомо, що насправді надійність роботи оператора безумовно нижче, ніж це могло б очікуватися в ідеальному випадку, то цей момент повинен бути врахований шляхом оцінки характеристик оператора. В іншому випадку оцінки виявляться грубо помилковими.

Про вплив оператора на надійність свідчить велике число відмов апаратури, що виникають з вини людини. Частота відмов з вини людини становить від 20 до 95% всіх відображених у звітній документації відмов, які трапилися. То-

му набір інтенсивностей відмов тільки з погляду відмов самої апаратури випускає з уваги важливе джерело ненадійності системи [47].

Оператор являє собою значно складнішу систему, ніж будь-яка машина, яка працює або буде розроблена в майбутньому. В даний час не може замінити людину-оператора жодна машина, навіть за умови, що вона здатна повністю продублювати роботу органів почуття і вищу нервову діяльність людини, наприклад сприйняття, впізнання й прийняття рішень [71].

Оператору внутрішньо властива менша стабільність в порівнянні з машиною. На нього впливає значно більше число факторів. Робота оператора залежить від його фізіологічного стану, ступеня втоми, впливів оточуючих подразників (наприклад, шуму), тривалості навчання, спонукальних мотивів, стимулювання та інших факторів [66].

Однак дія оператора можна оцінити так само, як функціонування апаратури, тощо. Шляхом використання вхідних і вихідних параметрів. Це дає можливість інженерові й фахівцеві в області інженерної психології знаходити алгоритми для опису характеристик людини і машини, і використовувати один і той же математичний апарат при дослідженні роботи людини і машини.

При створені моделі яка б могла б прогнозувати надійність оператора АНС та рівні ризиків, що пов’язані з виконанням ним функціональних повноважень, необхідно враховувати не тільки те, щоб вищезазначена модель була гнучкою й була здатна використовуватися та інтегруватися до структури надійності АНС, але також слід усунути ряд недоліків, а саме: необхідність використання великих змішаних експертних груп та великої залежності від їх сприйняття проблеми; слабкий зв'язок між успіхом та відмовою дії; використання застарілих моделей розподілу помилок, а саме експоненціальної, гамма-моделі; не враховувано динаміку зміни помилок в залежності від завантаження оператора; складність отримання аналітичних залежностей.

Виходячи з цього можливо сформульовати основні межі та вимоги до створюваної ІФМН оператора АНС (рис. 2.1).

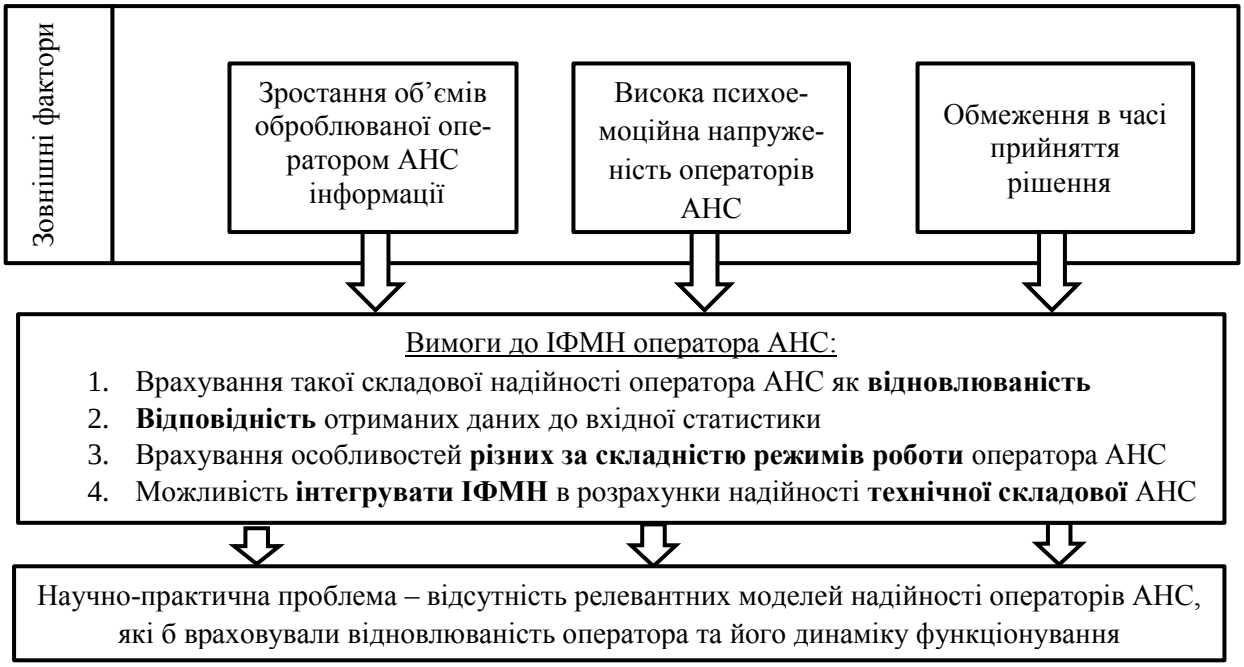


Рис. 2.1. Вимоги до інформаційно-функціональної моделі надійності оператора аеронавігаційних систем

2.2. Визначення основних груп помилок, що виникають під час функціонування оператора аеронавігаційних систем

Помилка оператора АНС - вид відмови людини-оператора, що складається в будь-якому порушенні приписаного йому алгоритму діяльності.

У загальному випадку помилками є невиконання необхідної або виконання зайвої (несанкціонованої) дії, неправильне або несвоєчасне виконання необхідного дії.

За зовнішнім проявом помилок у звітах Євроконтролю [72] розрізняють наступні види та визначені помилки, які зазначені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Типи помилок оператора АНС і їх визначення

Час дії	Приклади
Дія оператора надто швидка	Оператор виконав позицію занадто швидко після перерви
Дія оператора надто повільна	Тренер занадто повільно віддавав вказівки стажисту
Дія оператора надто рано	Оператор рано перевів літак

Дія оператора надто пізно	Керівник чекав дуже довго, щоб розділити сектори
Оператор повторив неправильно	Оператор повторив неправильне введення даних
Оператор зробив правильну дію у неправильному порядку	Оператор приєднав позначки літаків в неправильній послідовності
Вибір дії	
Оператор забув	Оператор забув очистити трафік
Оператор не впорався	Оператору не вдалося відокремити два літака перед передачею
Оператор дав забагато/замало	Оператор доручив більший контроль швидкості, ніж було необхідно
Оператор зробив невірну дію	Оператор набрав неправильний номер на панелі зв'язку
Оператор виконав невірну дію для вірного літака	Оператор вимагав від правильного літака повернути в неправильному напрямку
Оператор виконав невірну дію для невірного літака	Оператор вимагав від неправильного літака повернути в неправильному напрямку
Оператор виконав вірну дію для невірного літака	Оператор вимагав від неправильного літака повернути в правильному напрямку
Оператор зробив лишню дію	Оператор повторно очистив літак, хоча не було ніякого конфлікту
Передача інформації	
Оператор передав чи надіслав нечітку, згорнуту, незрозумілу	Оператор видаляв лишнє дуже нечітко
Оператор написав чи надрукував нечітку, згорнуту, незрозумілу	Оператор написав або набрав поправку FPS нечітко
Оператор отримав нечітку, згорнуту, незрозумілу	Оператор отримав запит від іноземної борта, який не був ясним

Оператор не зміг отримати ту, що вимагали	Оператору не вдалося отримати зворотній зв'язок від авіаційного оператора
Оператор не зміг надіслати чи передати	Оператор не зміг передавати / відправити інформацію з аеропорту
Оператор не зміг написати, надрукувати	Оператор не вдалося записати або ввести поправку FPS
Оператор надіслав чи передав неповну, часткову інформацію	Оператор відправлено неповну інформацію про останні події
Оператор написав, надрукував неповну, часткову інформацію	Оператор написав або набрав неповну інформацію про погоду
Оператор надіслав чи передав невірну	Оператору відправлено неправильну інформацію про закриття доріжки
Оператор написав, надрукував невірно	Оператор підготував FPS неправильно

Крім того помилки оператора АНС можливо класифікувати за місцем у структурі діяльності (рис. 2.2), за наслідками (рис. 2.3) та згідно причин їх виникнення (рис 2.4) [73].

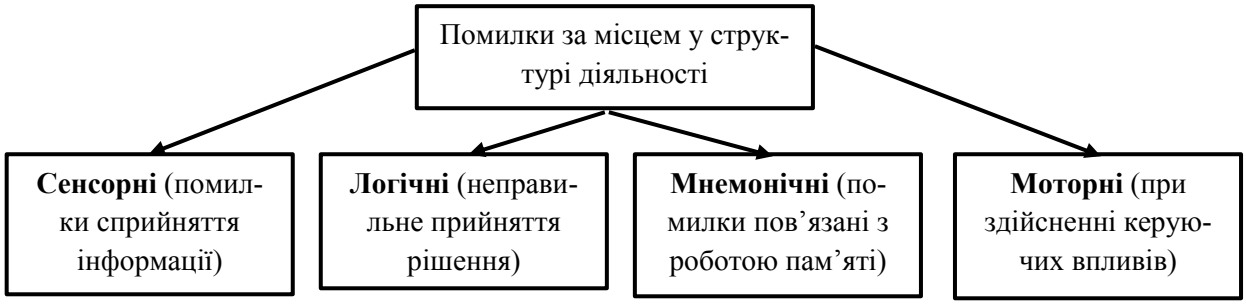


Рис. 2.2. Помилки оператора АНС за місцем у структурі діяльності

Розглянутий набір критеріїв аналізу та класифікації помилок оператора визначає послідовність проведення їх психологічного аналізу і дозволяє об'єднати в єдину систему велике число різнорідних чинників, що призводять до появи помилок.

Рис. 2.3. Класифікація помилок оператора АНС за наслідками

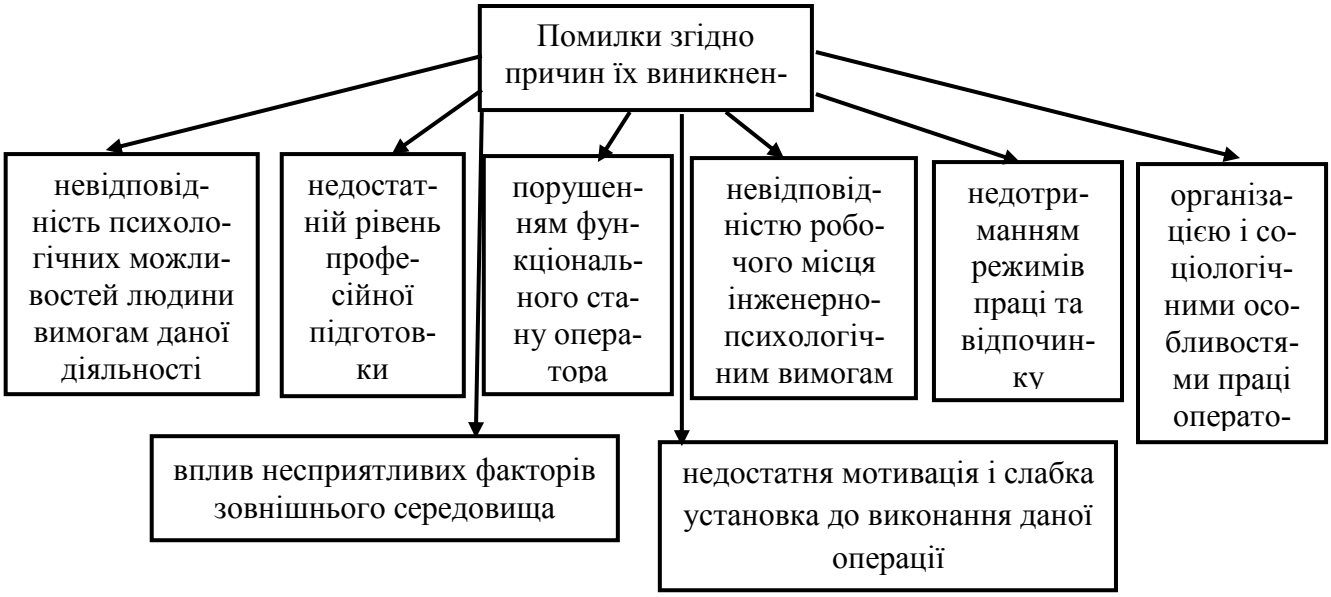


Рис. 2.4. Класифікація помилок оператора АНС згідно причин їх виникнення

Для реєстрації помилок, а також умов і обставин, при яких вони виникли, слід використовувати традиційні методи і прийоми інженерно-психологічного вивчення діяльності: методи спостереження, опитування, об'єктивної реєстрації якості виконання технологічних операцій і дій (хронометраж, кінорегістрація, циклографія та ін.), прийоми професіографії.

Усі вищезазначені причини помилок можна вважати незалежними і класифікувати за такими чотирьом групам (рис. 2.5).

Рис. 2.5. Групи помилок оператора АНС

2.3. Обґрунтування необхідності застосування елементів декомпозиції у інформаційно-функціональній моделі надійності оператора аеронавігаційних систем

При розрахунках показників надійності приймаються наступні два припущення:

- вся система і будь-який її елемент можуть знаходитися тільки в одному з двох можливих станів - працездатному або непрацездатному,

- помилки елементів незалежні одна від одної.

Теоретично ці припущення дозволяють звести розрахунок безвідмовності будь-якої системи до перебору всіх можливих комбінацій станів її елементів, визначенню ймовірності кожної з них і підсумовуванню ймовірностей працездатних станів системи.

Такий метод (метод прямого перебору) практично універсальний і може бути використаний при розрахунку будь-яких структур. Однак при великій кількості елементів M системи застосування цього методу недоцільно через великого обсягу обчислень: при $M = 10$ число можливих станів системи складає 1024, при $M = 20$ перевищує 10^6 [75].

Тому на практиці використовують більш ефективні та економічні прийоми розрахунку, не пов'язані з великим обсягом обчислень. Можливість їх застосування пов'язана з декомпозицією досліджуваної системи, тобто виділенням у складній системі досить простих, але функціонально цілісних фрагментів її структури - структурних моделей надійності (СМН).

Саме застосування до складної структури принципу декомпозиції і дозволяє вирішити задачу аналітичної оцінки надійності такої системи як оператор АНС за відомими характеристиками надійності її компонентів.

СМН являє собою графічне зображення працездатного стану системи і показує логічний зв'язок компонентів системи, необхідних для її функціонування відповідно до заданого алгоритму.

Критерієм об'єднання декількох елементів системи в СМН є можливість формулювання умови працездатності виділеної групи елементів.

Можливість однозначного формулювання умови працездатності всієї групи елементів, що входять в типову схему надійності, дозволяє записати математичний вираз – функцію зв'язку, яка виражає залежність показника безвідмовності фрагмента структури від показників безвідмовності елементів, які входять до її складу, і отримати кількісну оцінку безвідмовності фрагмента структури системи [76].

Зокрема, для ймовірності безвідмовної роботи функція зв'язку може бути записана в загальному вигляді так:

$$R_C(t) = \Psi\left[R_1(t), R_2(t), \ldots, R_M(t)\right],$$

де $R_i(t), i \in \overline{1, M}$ - відомі показники безвідмовності елементів фрагмента структури;

Ψ[·]- функція зв'язку показника безвідмовності фрагмента структури з показниками безвідмовності елементів;

M - кількість елементів у СМН.

2.3.1. Особливості функції зв'язки в структурі з послідовним з'єднанням елементів

До структурної моделі надійності з послідовним з'єднанням елементів зводяться всі системи з простим умовою працездатності: система втрачає працездатний стан при помилці хоча б одного з складових її елементів.

Розглянемо послідовну структуру, представлену *M* елементами на рис. 2.6 а).

З кожним *i*-м елементом системи в будь-який момент часу, тобто при будь-якому напрацюванні пов'язані два протилежних випадкових події:

- подія A_i - працездатний стан *i*-го елемента; ймовірність цієї події, тобто ймовірність безпомилкової роботи *i*-го елемента *Ri* (*t*) попередньо відома;

- подія $\overline{A_i}$ - відмова *i*-го елемента; ймовірність цієї події, тобто ймовірність відмови елемента дорівнює [75]:

$$Q_i(t) = 1 - R_i(t).$$

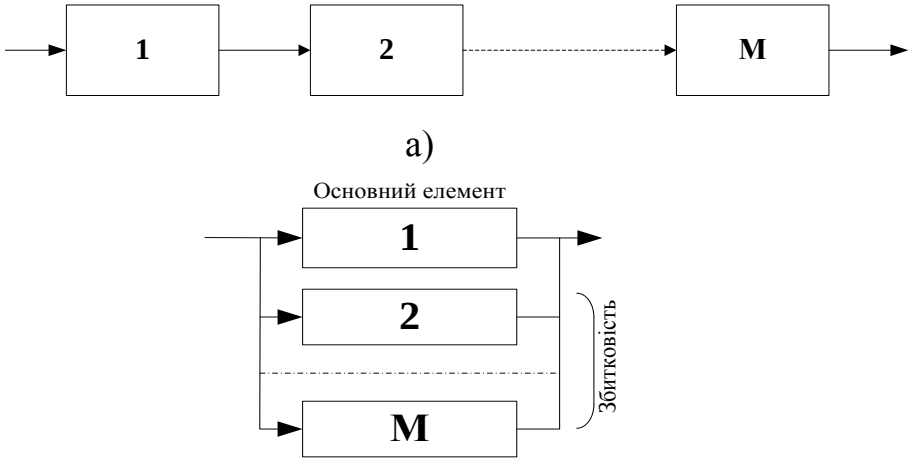


Рис. 2.6. СМН а) з послідовним з'єднанням елементів; б) з паралельним з’єднанням елементів

Структурна формула для події А (працездатний стан оператора АНС в цілому):

$$A_S = A_1 \cdot A_2 \cdot \ldots \cdot A_n = \prod_{i=1}^{M} A_i .$$

На підставі теореми множення ймовірностей незалежних разом випадкових подій ймовірність безвідмовної роботи системи в даний момент часу складе

$$R_S(t) = R\left(A_S\right) = \prod_{i=1}^{M} R\left(A_i\right) = \prod_{i=1}^{M} R_i(t) .$$

2.3.2. Особливості функції зв'язку в структурі з паралельним з'єднанням елементів

У системах з паралельною структурою реалізується принцип структурного резервування елементів систем. Один будь-який елемент паралельного з'єднання умовно вважається основним, а решта - резервними. Число резервних елеме-

нтів визначає кратність резервування. Для виведення аналітичної функції зв'язку в системі з паралельним з'єднанням елементів досить розглянути систему на рис. 2.6 б).

Умова працездатності такої системи з паралельним з'єднанням компонентів формуються наступним чином: система зберігає працездатний стан до тих пір, поки залишається працездатним хоча б один будь-який компонент [75].

Вважаючи відмову елемента простим подією, а відмова системи - складним, застосуємо до даної ситуації теорему множення ймовірностей і, за умови незалежності відмов, ймовірність безпомилкової роботи

$$R_S(t) = 1 - Q_S(t) = 1 - \prod_{j=1}^{r+1} \left(1 - R_j(t)\right).$$

2.4. Структурна модель надійності оператора аеронавігаційних систем та її складові

Таким чином, структурна модель надійності системи будується на основі аналізу впливу помилок елементів на надійність системи в цілому.

Можливо, що аеронавігаційна система так само як і оператор функціонує в декількох режимах. Якщо для кожного режиму функціонування системи використовуються набори компонентів, які відрізняються за складом, то кожен режим необхідно розглядати незалежно від інших і використовувати при цьому відповідні моделі функціонального стану системи (СМН конкретного режиму).

Враховуючи складність роботи оператора АНС, а також структури АНС так само як й кількість елементів його функціонування, необхідно щоб ІФМН оператора АНС будувалась на основі методів декомпозиції, тобто являла собою структурну модель надійності оператора АНС.

Для визначення елементів структури надійності оператора АНС по-перше розглянемо складовій його надійності (рис. 2.7).

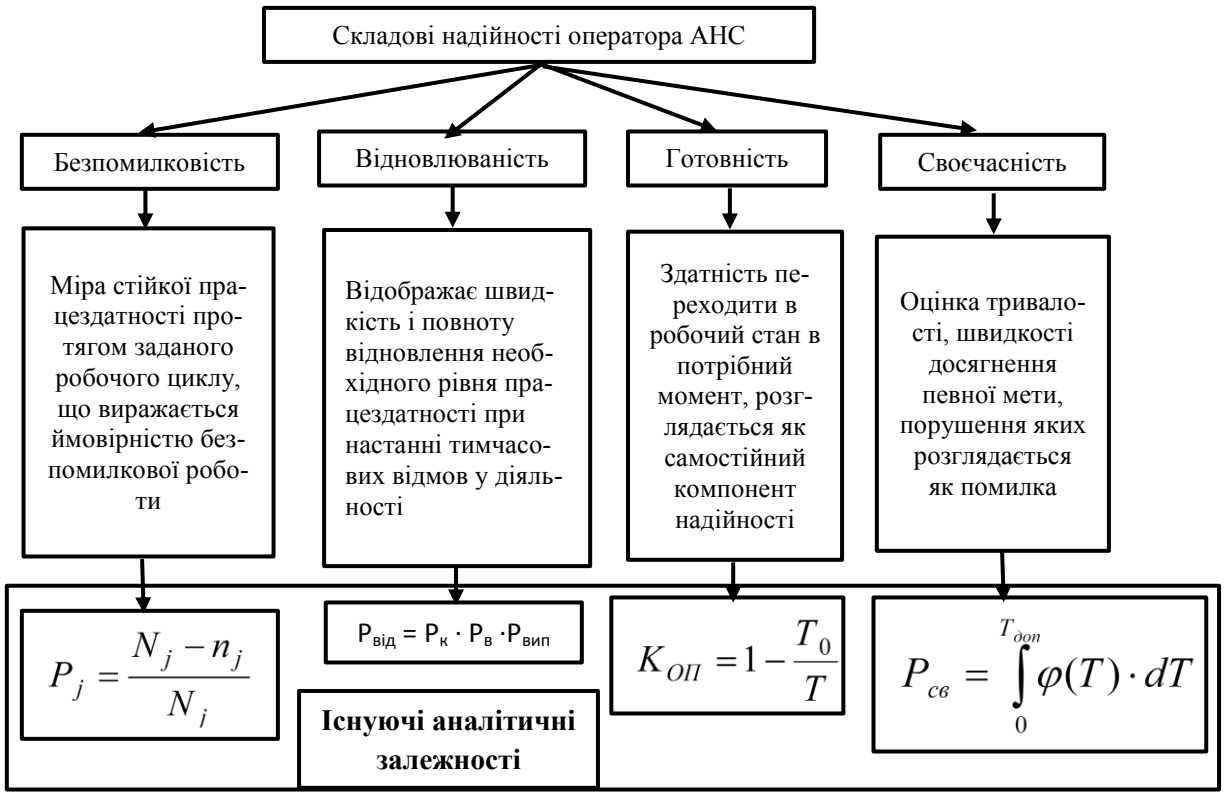


Рис. 2.7. Складові надійності оператора АНС та існуючи підходи до їх розрахунку

У ІФМН оператора АНС безпомилковість враховується за допомогою ймовірності безпомилкової роботи $R(t)$.

За аналогією з надійністю технічних систем, в яких одним з провідних показників надійності є ймовірність безвідмовної роботи, для оцінювання надійності оператора АНС введемо показник ймовірності безпомилкової роботи. Ймовірність безпомилкової роботи $R(t)$ характеризує ступенем стійкої працездатності оператора АНС протягом заданого робочого циклу.

Ймовірність безпомилкової роботи оператора АНС – ймовірність того, що за певний проміжок часу помилка у роботі оператора АНС не відбулась.

Ймовірність безпомилкової роботи оператора АНС $R(t)$ вираховується використовуючи методи декомпозиції та інформаційно-функціональні залежності, що пов’язані з особливістю обов'язкових команд та інструкцій, які виконує оператор.

Відновлюваність в ІФМН врахована завдяки використанню дифузійної немонотонної моделі розподілу відмов, в якості опорної моделі розподілу помилок оператора АНС.

$$R(t) = \Phi\left(\frac{\alpha - t}{\beta \cdot \sqrt{\alpha \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\beta^2}\right) \cdot \Phi\left(\frac{\alpha + t}{\beta \cdot \sqrt{\alpha \cdot t}}\right), \qquad (2.1)$$

де α – середній часу напрацювання оператора до першої помилки,

β – коефіцієнт варіації напрацювання оператора до помилки.

Ф(•) – інтегральна функція Лапласа.

Готовність та своєчасність будемо розглядати як складові створеної для оператора АНС структури надійності, а саме професійної надійності.

2.5. Складові інформаційно-функціональної моделі надійності оператора аеронавігаційних систем

Як було зазначено вище, весь спектр помилок оператора АНС може бути розділений на чотири основні групи (див рис. 2.5). Таким самим чином також можливо розділити й структуру надійності оператора (рис 2.8).

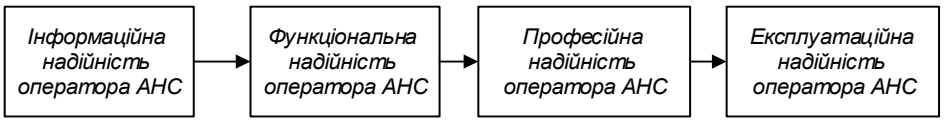


Рис. 2.8 Складові структурної надійності оператора АНС

При кількісних оцінках надійності слід розглядати інформаційну, функціональну, професійну та експлуатаційну складові як послідовно з'єднані ланки одного фізичної системи, якою є оператор АНС [79]. В системі з послідовною структурою помилка оператора АНС через будь-який з представлених на рис. 2.10 причин призводить до відмови фізичної системи в цілому.

Виходячи з цього, структурна ймовірність безпомилкової роботи оператора АНС може бути представлена:

$$R_{\text{ст}}(t) = R_{\text{інф}}(t) \cdot R_{\text{функ}}(t) \cdot R_{\text{проф}}(t) \cdot R_{\text{експ}}(t), \qquad (2.2)$$

де $R_{ст}(t)$, $R_{інф}(t)$, $R_{функ}(t)$, $R_{проф}(t)$, $R_{експ}(t)$ складові ймовірності безпомилкової роботи оператора АНС: структурна, інформаційна, функціональна, професійна і експлуатаційна відповідно [74].

Результуюча надійність оператора АНС при заданій структурі і відомих значеннях надійності всіх вхідних в неї до компонентів визначено нами як структурна надійність оператора (див. рис. 2.9).

Слід відмітити, що якщо ймовірність безпомилкової роботи $R(t)$ однієї з ланок в цій структурі буде дорівнює одиниці $R(t) = 1$, то фактично це буде рівнозначно тому, що ланка просто буде виключена з структури (2.2).

Виходячи з вищезазначеного слід ввести визначення для чотирьох груп надійності оператора АНС (рис. 2.9).

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 [74].

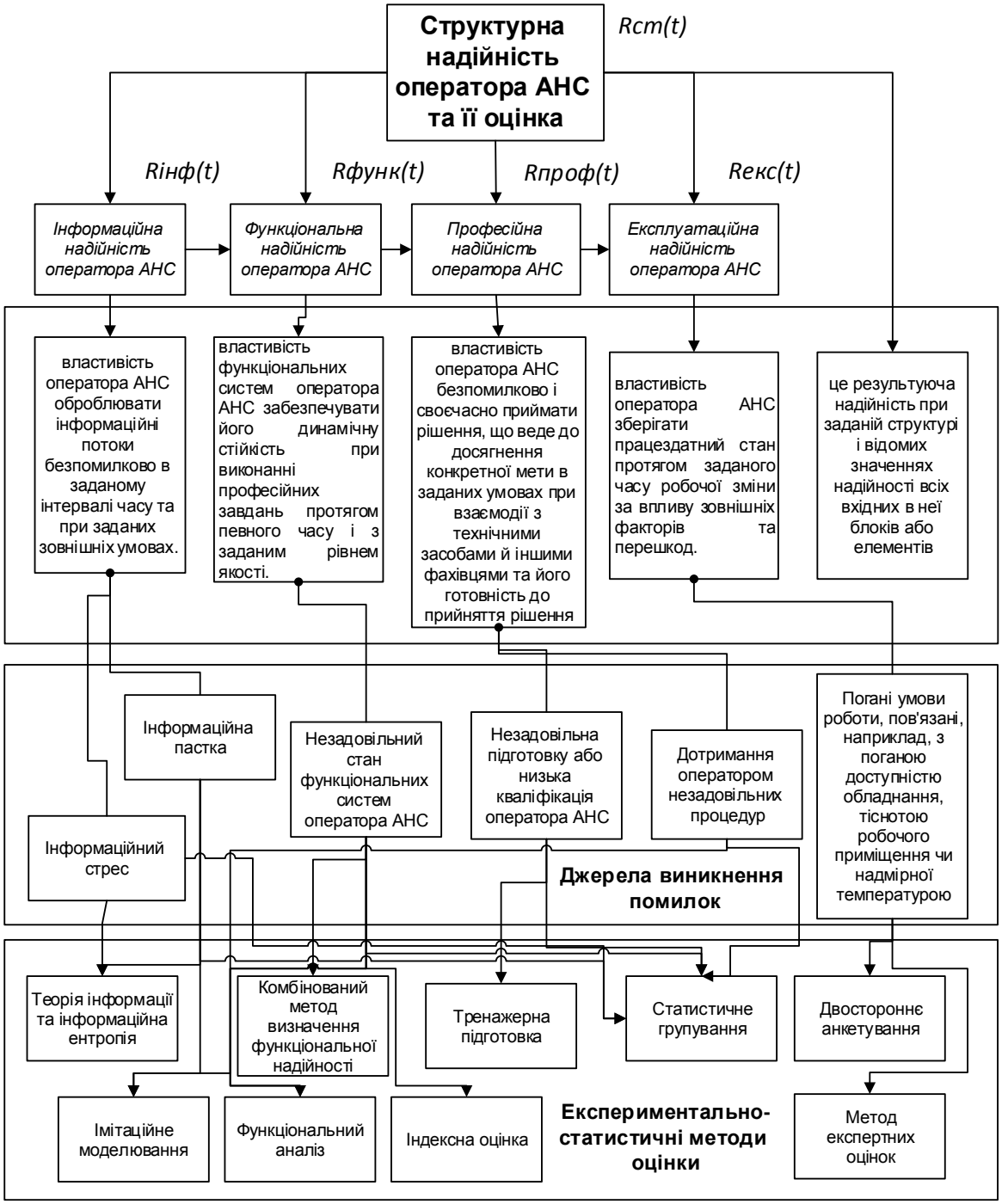


Рис. 2.9. Структура ІФМН оператора АНС, причини виникнення його помилок та методи їх оцінки

2.5.1. Особливості структури інформаційної та професійної надійності оператора АНС та аналітичні залежності для відповідні ймовірності безпомилкової роботи

Виявлення специфічних особливостей ІФМН, а саме її інформаційної та професіональної складових є тим підґрунтям, на якому будуються всі інші аспекти моделі та їх структура.

Спираючись на ряд публікацій [80, 81, 82, 83] була розроблена структура прийняття рішення диспетчером ОрПР, який є окремими випадком оператора АНС. Слід відмітити, що для підвищення достовірності оцінки надійності певної категорії операторів АНС, рекомендується застосовувати індивідуальні елементи, які відповідають структурі функціонування оператора.

Завдяки розробленій структурі (рис 2.10) можливо не лише оцінити надійність кожного з елементів та етапів прийняття рішення оператором АНС, а також створити аналітичну залежність завдяки якій можливо розрахувати надійність усієї структури.

Слід зазначити, що кожен етап або елемент функціонування оператора, а саме процес обробки інформації та прийняття рішення, розглядається як сукупність ймовірностей. Успішною реалізацією події є така ймовірність безпомилкової роботи якої прямує до 10^{-9}.

Враховуючи функції зв'язку між елементами можливо вивести аналітичні залежності для інформаційної ймовірності безпомилкової роботи оператора АНС:

$$R_{інф}(t) = \left[\prod_{i=1}^{b} R_i(t) \cdot \left(1 - \prod_{i=1}^{d} (1 - R_i(t)) \right) \right] \qquad (2.3)$$

де R_i- складові ймовірності інформаційної безпомилкової роботи оператора АНС.

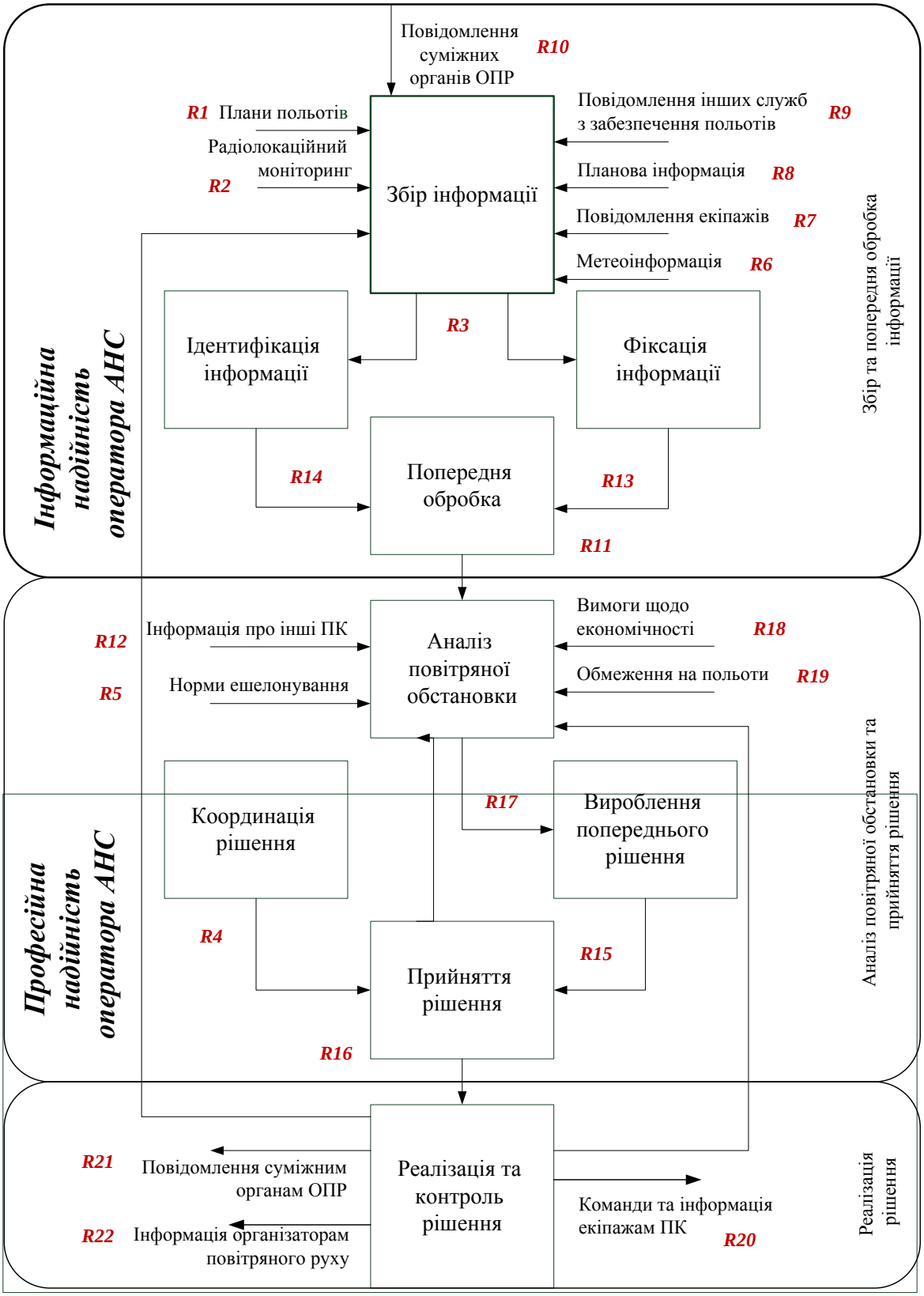


Рис. 2.10. Інформаційна та професійна надійність оператора АНС

Так для професійної ймовірності безпомилкової роботи оператора АНС

$$R_{\text{проф}}(t) = \prod_{n=1}^{k} R_n(t) \qquad (2.4)$$

де R_n - складові ймовірності професійної безпомилкової роботи оператора АНС;

2.5.2. Особливості структури експлуатаційної надійності оператора АНС та аналітична залежність для відповідної ймовірності безпомилкової роботи

Використовуючи метод експертного оцінювання була виявлена матриця найбільш значущих для операторів АНС експлуатаційних параметрів. Серед них варто відзначити ті, що були особливо виділені групою експертів (рис. 2.11).

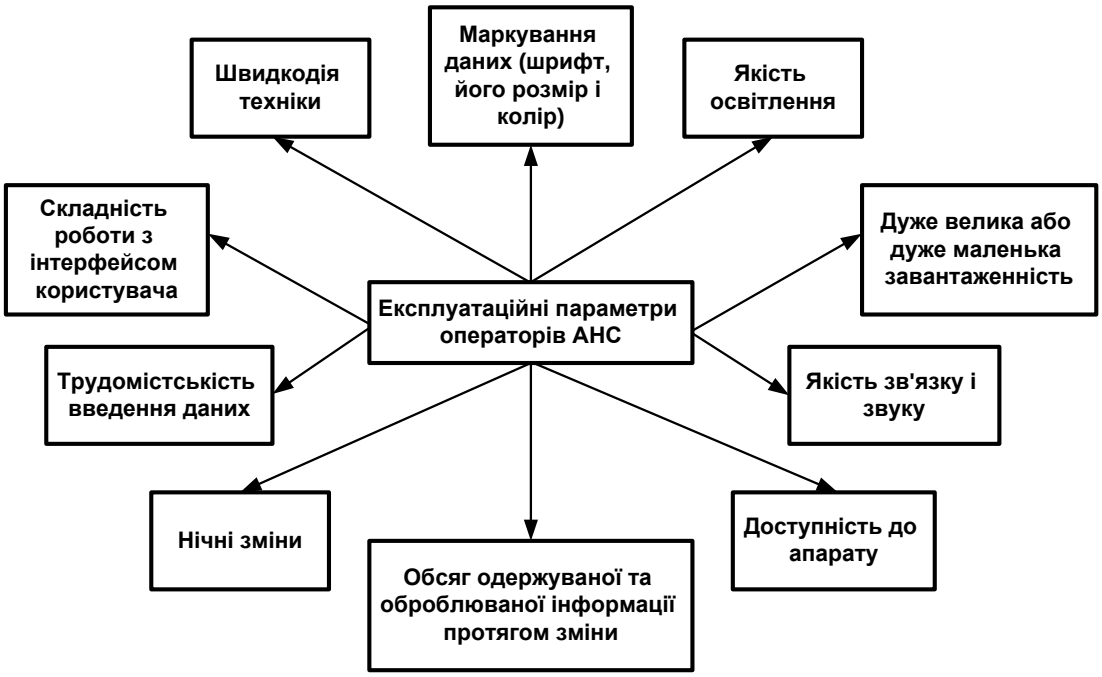


Рис.2.11. Експлуатаційні параметри операторів АНС

Для оцінки якості вищезазначених параметрів вирішено було використовувати двостороннє анкетування. На анкетах операторами АНС (рис. 2.12), що проходять первинну підготовку, відзначені два різних рівня оцінки запропонованих вище параметрів. Перший рівень - це реальний рівень параметра, другий - необхідна якість параметра.

Аналіз результатів опитування операторів (див. рис 2.12), що проходять первинну підготовку, показав, що якщо реальний рівень певного параметра виявляється вище необхідного рівня, це говорить про те, що даний параметр буде впливати на безпомилкову роботу оператора АНС, знижуючи його експлуата-

ційну надійність. Ступінь впливу цього негативного явища визначається за допомогою трасування.

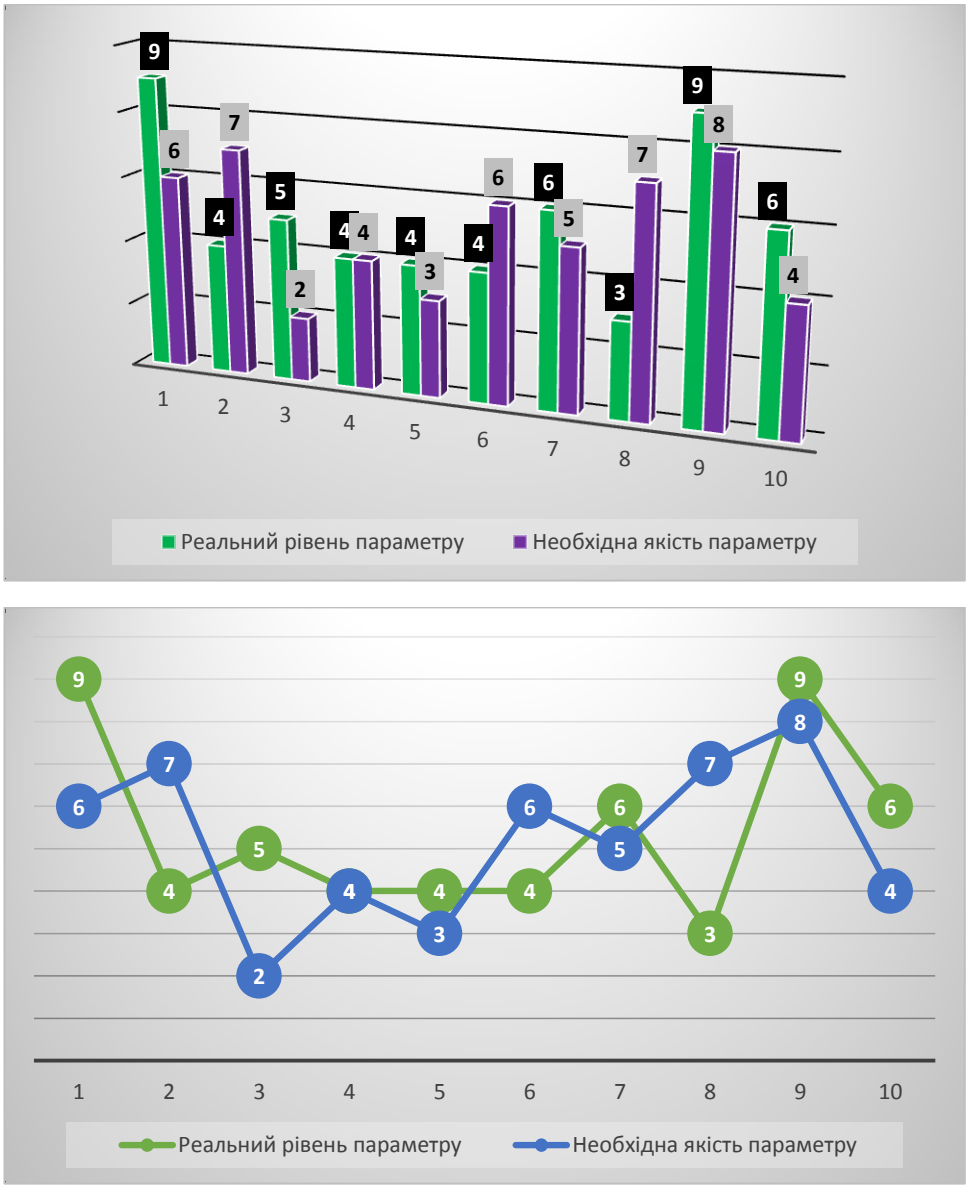


Рис. 2.12. Приклади двосторонньої анкети експертного оцінювання для визначення експлуатаційної надійності оператора АНС

У результаті вивчення закономірностей зниження рівня необхідної якості було зроблено висновок, що вивчення думки операторів АНС щодо особливостей оточуючого їх середовища та умов праці завдяки двосторонньому анкетуванню може дозволити не тільки підтримувати необхідний рівень надійності, але й з більшою ймовірністю прогнозувати помилки оператора.

Враховуючи функції зв’язку між елементами, а саме, що помилка через один з ряду параметрів не обов’язково буде спричиняти помилку у іншому випадку, можливо вивести аналітичні залежності для загальної експлуатаційної ймовірності безпомилкової роботи оператора АНС.

$$R_{\text{експ}}(t) = 1 - \prod_{e=1}^{l} \left(1 - R_e(t)\right) \qquad (2.5)$$

де R_b- складові ймовірності експлуатаційної безпомилкової роботи оператора АНС;

2.5.3. Особливості структури функціональної надійності оператора АНС та аналітична залежність для відповідної ймовірності безпомилкової роботи

Функціональна надійність проявляється в адекватних вимогах рівня розвитку професійно значущих, психічних і фізіологічних функцій, і механізмів їх регуляції в нормальних і екстремальних умовах. Це поняття має подвійне смисловий зміст.

По-перше, воно визначає відносно самостійну і важливу роль у забезпеченні професійної надійності стану функціональних систем організму, його професійно-важливих функцій.

По-друге, це поняття відображає значення надійності, стійкості функцій організму в умовах професійної діяльності, ступеня адекватності їх реагування на умови та утримання робочого процесу, рівня гомеостатической і адаптивної регуляції організму в умовах впливу зовнішніх і внутрішніх факторів діяльності. Інакше кажучи, поняття функціональної надійності відображає характер енергетичного та інформаційного пристосувань оператора АНС до процесу управління.

Проблема функціональної надійності людини-оператора ґрунтується на вивченні таких її аспектів, як стійкість професійно-значущих психологічних і фізі-

ологічних якостей і функцій людини, його працездатності, впливу змінених функціональних станів та організації діяльності (режимів, навантажень і т. п.) на робочі показники оператора, значення індивідуально-психологічних характеристик особистості на формування і збереження професійної надійності тощо.

Враховуючи, що помилка через один з ряду функціональних параметрів не обов'язково буде спричиняти помилку у іншому випадку, можливо вивести аналітичні залежності для загальної функціональної ймовірності безпомилкової роботи оператора АНС.

$$R_{\text{функ}}(t) = 1 - \prod_{f=1}^{m} (1 - R_f(t)) \qquad (2.6)$$

де R_f - складові ймовірності функціональної безпомилкової роботи оператора АНС.

2.5.4. Загальна аналітична залежність ІФМН оператора АНС

Враховуючи отримані вище залежності для оцінювання ймовірності безпомилкової роботи оператора АНС можливо скласти загальну структурну залежність.

Підставивши у 2.2 вирази 2.3, 2.4, 2.5 та 2.6 отримаємо залежність:

$$R_{\text{ст}}(t) = \left[(1 - \prod_{e=1}^{l} (1 - R_e(t)) \right] \cdot \left[(1 - \prod_{f=1}^{m} (1 - R_f(t)) \right] \cdot \left[\prod_{i=1}^{b} R_i(t) \cdot (1 - \prod_{i=1}^{d} (1 - R_i(t)) \right] \cdot \left[\prod_{n=1}^{k} R_n(t) \right] \qquad (2.7).$$

Беручи до уваги те, що ймовірність безвідмовної роботи оператора АНС $R(t)$ будемо розраховувати використовуючи дифузійну немонотонну модель розподілу помилок та аналітичну залежність (2.1), отримаємо ІФМН оператора АНС:

$$R_{\text{ст}}(t)=\left[\left\{1-\prod_{e=1}^{l}\left(1-\left(\frac{\alpha_e-t}{\beta_e\cdot\sqrt{\alpha_e\cdot t}}\right)-\exp\left(\frac{2}{\beta_e{}^2}\right)\cdot\Phi\left(\frac{\alpha_e+t}{\beta_e\cdot\sqrt{\alpha_e\cdot t}}\right)\right)\right\}\right]$$

$$\left[\left\{1-\prod_{f=1}^{m}\left(1-\left(\frac{\alpha_f-t}{\beta_f\cdot\sqrt{\alpha_f\cdot t}}\right)-\exp\left(\frac{2}{\beta_f{}^2}\right)\cdot\Phi\left(\frac{\alpha_f+t}{\beta_f\cdot\sqrt{\alpha_f\cdot t}}\right)\right)\right\}\right]\cdot$$

$$\cdot\left[\prod_{i=1}^{b}\left(\frac{\alpha_i-t}{\beta_i\cdot\sqrt{\alpha_i\cdot t}}\right)-\exp\left(\frac{2}{\beta_i{}^2}\right)\cdot\Phi\left(\frac{\alpha_i+t}{\beta_i\cdot\sqrt{\alpha_i\cdot t}}\right)\cdot\right.$$

$$\left.\left\{1-\prod_{i=1}^{d}\left(1--\left(\frac{\alpha_i-t}{\beta_i\cdot\sqrt{\alpha_i\cdot t}}\right)-\exp\left(\frac{2}{\beta_i{}^2}\right)\cdot\Phi\left(\frac{\alpha_i+t}{\beta_i\cdot\sqrt{\alpha_i\cdot t}}\right)\right)\right\}\right]\cdot$$

$$\left[\prod_{n=1}^{k}\left(\frac{\alpha_n-t}{\beta_n\cdot\sqrt{\alpha_n\cdot t}}\right)-\exp\left(\frac{2}{\beta_n{}^2}\right)\cdot\Phi\left(\frac{\alpha_n+t}{\beta_n\cdot\sqrt{\alpha_n\cdot t}}\right)\right]$$

2.6. Висновки

2. Розроблено інформаційно-функціональну модель надійності оператора аеронавігаційної системи, яка є інтегрально узагальненим дослідженням, враховуючим не тільки особливості надійності оператора, але й ергономічні, інженерно-психологічні та фізіологічні аспекти пов’язані з оператором.

2.1. Визначено головні вимоги до інформаційно-функціональної моделі надійності оператора аеронавігаційних систем, а саме:

1. Врахування такої складової надійності оператора АНС як відновлюваність;

2. Відповідність отриманих даних до вхідної статистики;

3. Врахування особливостей різних за складністю режимів роботи оператора АНС;

4. Можливість інтегрувати ІФМН в розрахунки надійності технічної складової АНС.

2.2. Використовуючи особливості причинності помилок оператора АНС, визначено основні групи помилок, що виникають під час функціонування опе-

ратора аеронавігаційних систем. Серед них: функціональна, експлуатаційна, інформаційна та професійна надійність оператора АНС.

2.3. Обґрунтування необхідності застосування елементів декомпозиції у інформаційно-функціональній моделі надійності оператора аеронавігаційних систем викликано тим, що помилки оператора є високо ймовірнісною подією та мають різну за своїм походженням природу. Саме тому для виявлення суті вищезазначеної події вкрай необхідно застосовувати методи декомпозиції.

2.4. Структурна модель надійності оператора аеронавігаційних систем створена завдяки дослідженню причинності помилок оператора АНС, використовуючи методи декомпозиції та дифузійний немонотонний розподіл помилок.

2.5. Отримано аналітичні залежності для функціональної, професійної, інформаційної та експлуатаційної надійності, досліджено особливості їх структури. Враховуючи вищезазначене, отримано загальну аналітичну залежність ІФМН оператора АНС.

РОЗДІЛ 3
ІНФОРМАЦІЙНА СКЛАДОВА НАДІЙНОСТІ ОПЕРАТОРА АЕРОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

3.1 Особливості інформаційної складової надійності оператора АНС

Інформаційна складова надійності оператора АНС є в край важливою ланкою надійності, оскільки вона є елементом прийняття рішенні. Невірні рішення, що беруть свій початок від неправильної інформації, створюють загрозу розвитку аварійної ситуації під час ОрПР.

Інформаційна надійність оператора АНС з одного боку, створює базис для прийняття рішень, що мотивує відповідні зміни в реальному просторі після введення потрібних змін в інформаційному просторі. З іншого, інформаційна складова сама по собі є базисом для функціонування тих чи інших організаційних структур: той чи інший тип інформації породжує ті чи інші типи структур [84].

Окрім прийняття рішення оператор АНС також оброблює велику кількість допоміжної інформації, об’єми якої можуть змінюватися в залежності від складності завдання та режиму функціонування.

Визначимо ступінь впливу інформаційної складової на процес функціонування оператора АНС та на його надійність в цілому. Розглянемо детальніше факти, що спричиняють зниження рівня інформаційної надійності, а також методи підвищення даного показника.

3.2. Виявлення закономірностей інформаційної складової надійності оператора завдяки аналізу робочих інструкцій органів ОрПР Украероруху

Для аналізу впливу інформаційної складової на надійність оператора АНС в цілому вирішено дослідити робочі інструкції органів організації повітряного руху (ОрПР) Украероруху.

Для раціоналізації результатів отриманої статистики був розроблений алгоритм аналізу робочих інструкцій (рис 3.1.) [85].

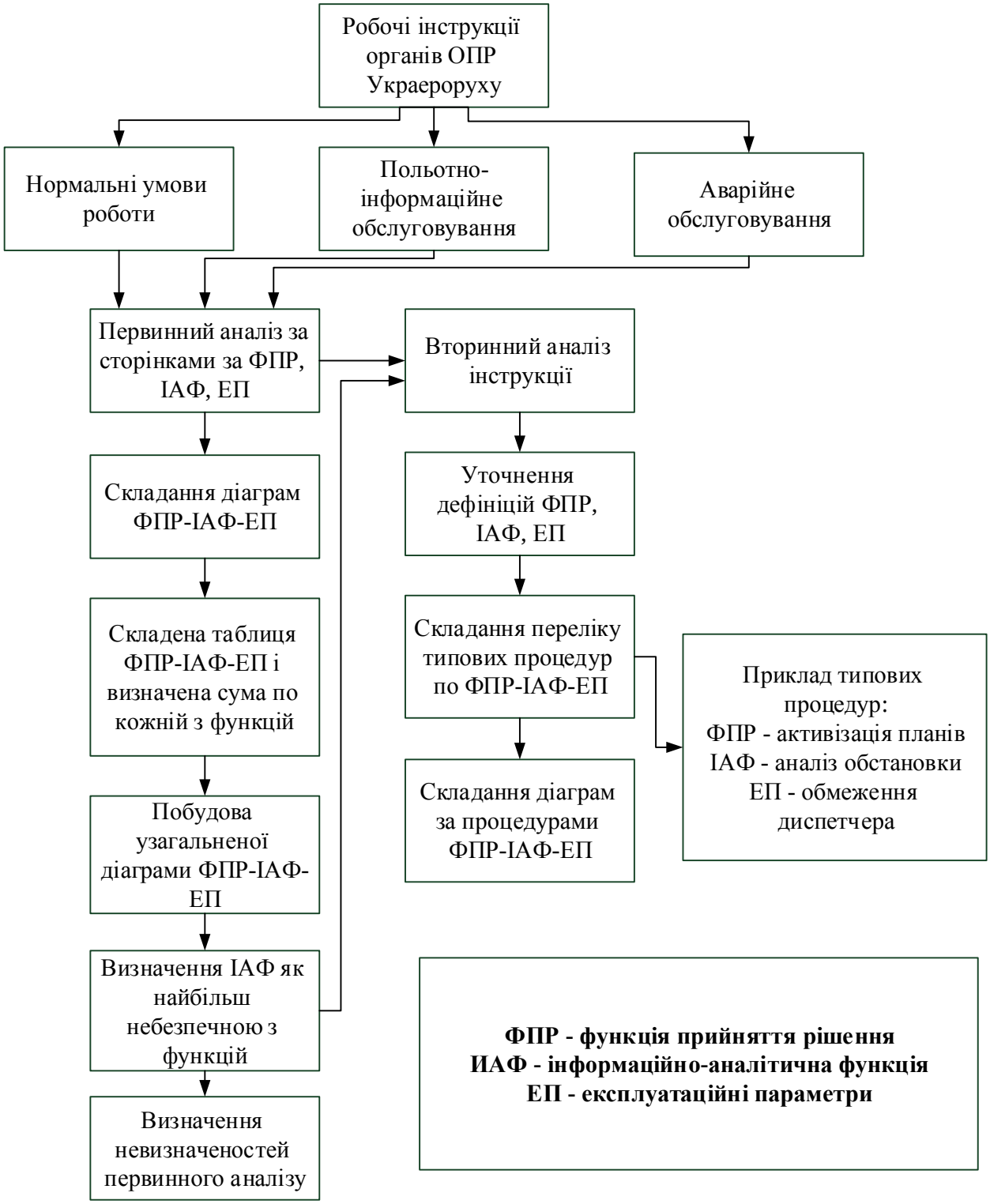


Рис. 3.1. Алгоритм аналізу робочих інструкцій органів ОрПР Украероруху

У результаті первинного аналізу діяльності оператора АНС за даними робочих інструкцій Украероруху, відповідно до класифікації причинності помилок диспетчера, виявлено три основні функцій на які можливо поділити процес функціонування оператора АНС:

1. Функція прийняття рішення (ФПР) (рис. 3.2)

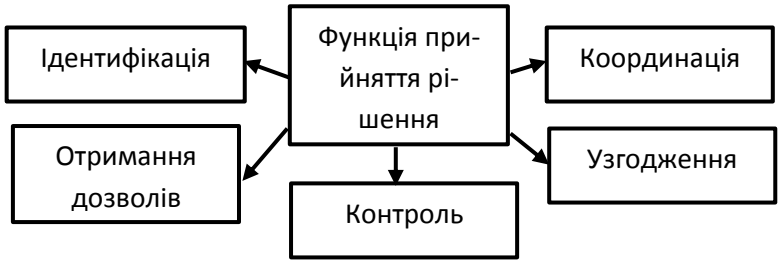


Рис. 3.2. Деякі складові функції прийняття рішення

2. Інформаційно-аналітична функція (ІАФ) (рис 3.3.)

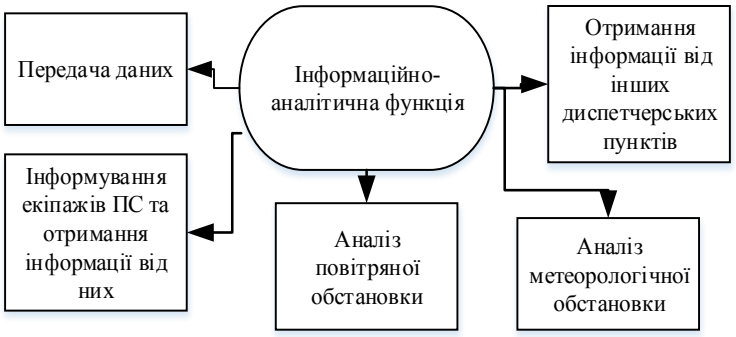


Рис. 3.3. Деякі складові інформаційно-аналітичної функції

3. Експлуатаційні параметри (ЕП) (рис 3.4.)

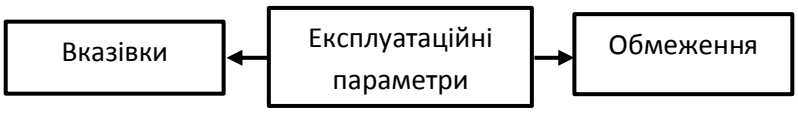


Рис. 3.4. Деякі складові експлуатаційних обмежень

Розрахунок кількості процедур, які виконує оператор АНС під час обслуговування повітряного руху відбувався за допомогою заповнення табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Кількість процедур, що відносяться до різних функцій оператора згідно з робочих інструкцій органів ОрПР Украероруху

Номера сторінок	Функція прийняття рішення	Інформаційно-аналітична функція	Експлуатаційні процедури
1	8	3	4
2	11	9	7
3	8	4	6
4	9	6	3
5	10	6	4
6	6	8	7
7	6	8	8
8	5	15	5
9	7	8	4
10	4	12	4
11	12	5	6
12	11	9	7
13	9	10	9
14	11	7	4
15	6	17	11
Сума	123	127	89

Під час обслуговування повітряного руху в нормальних режимах роботи авіаційний диспетчер (оператор АНС) виконує триста тридцять дев'ять процедур. З яких: сто двадцять три відносяться до функції прийняття рішення, вісімдесят дев'ять до експлуатаційних процедур і сто двадцять сім до інформаційно-аналітичної функції.

Виходячи з діаграм приведених на рис 3.5 та за даними статистики (табл. 3.1.), було зроблено висновок, що найбільший об’єм процедур містить інфор-

маційно-аналітична функція, тобто інформаційна складова надійності оператора АНС.

Крім того, як зазначалось вище ця функція буде важливим підґрунтям під час процедури прийняття рішення оператором АНС. Успішне та безпомилкове виконання дій, що належать до ІАФ дає можливість успішно здійснити виконання ФПР [85].

Також слід зазначити, що важливим фактором є той, що більшість помилок операторів АНС відбуваються в результаті не вірного трактування інформації або її неотримання.

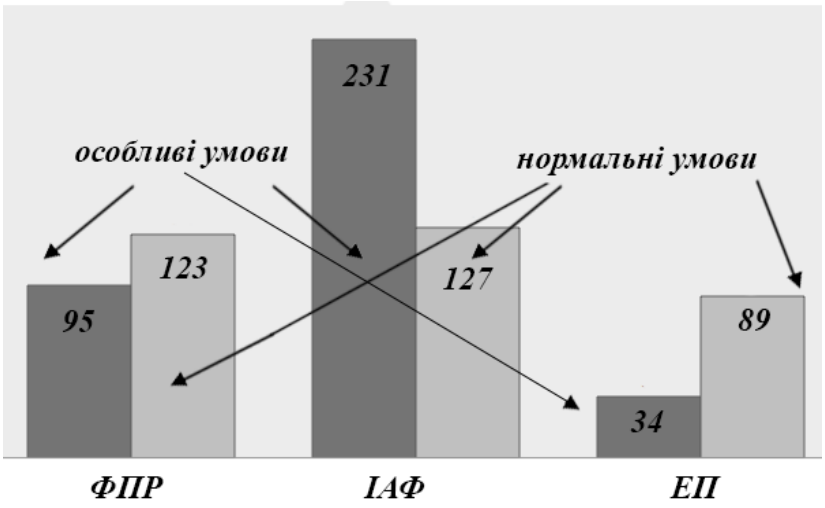


Рис. 3.5. Порівняння кількості операцій, які виконує оператор в нормальних та особливих умовах функціонування

На жаль, стає зрозумілим, що у вищезазначеному діапазоні функціонування оператора АНС слід очікувати найбільшої інтенсивності помилок. Це пов'язано з тим, що в оператора, може не вистачати часу на детальний аналіз інформації, або її об’єми будуть перевищенні.

До того ж якщо завантаження оператора АНС буде максимальним, то і ймовірність інформаційної помилки так само буде максимальною.

Особливо це стосується особливих та аварійних режимів функціонування оператора АНС. Так як зі збільшенням складності обслуговування повітряного руху збільшується й об’єм інформації, яку необхідно обробити оператору (рис

3.6). Слід відмітити, що в цьому випадку об’єм інформаційної складової збільшується в 1.86 разів.

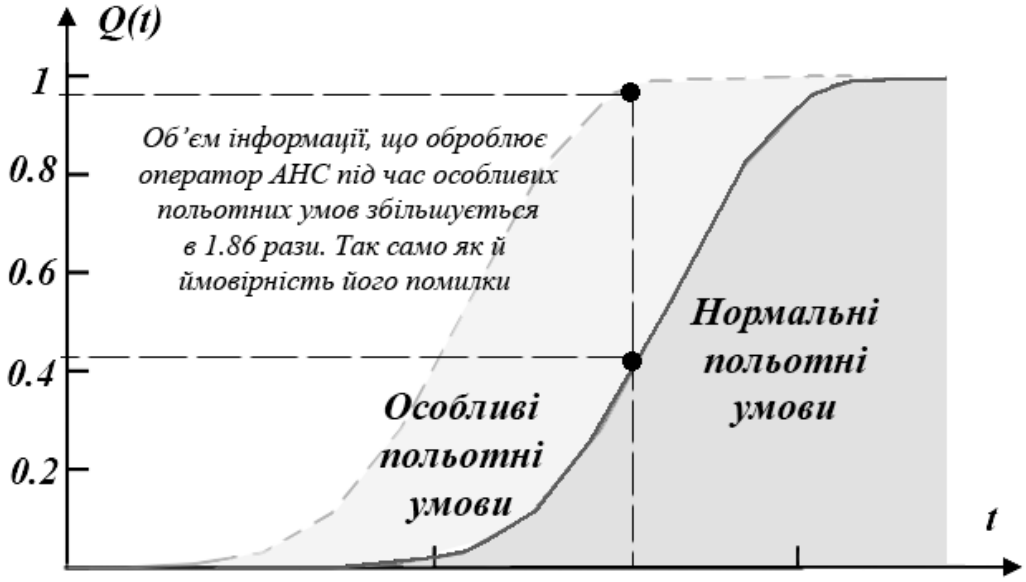


Рис. 3.6. Збільшення обсягу інформації в аварійних режимах роботи оператора АНС

Виходячи з вищезазначеного можна зробити висновки, що зображено на рис. 3.7.

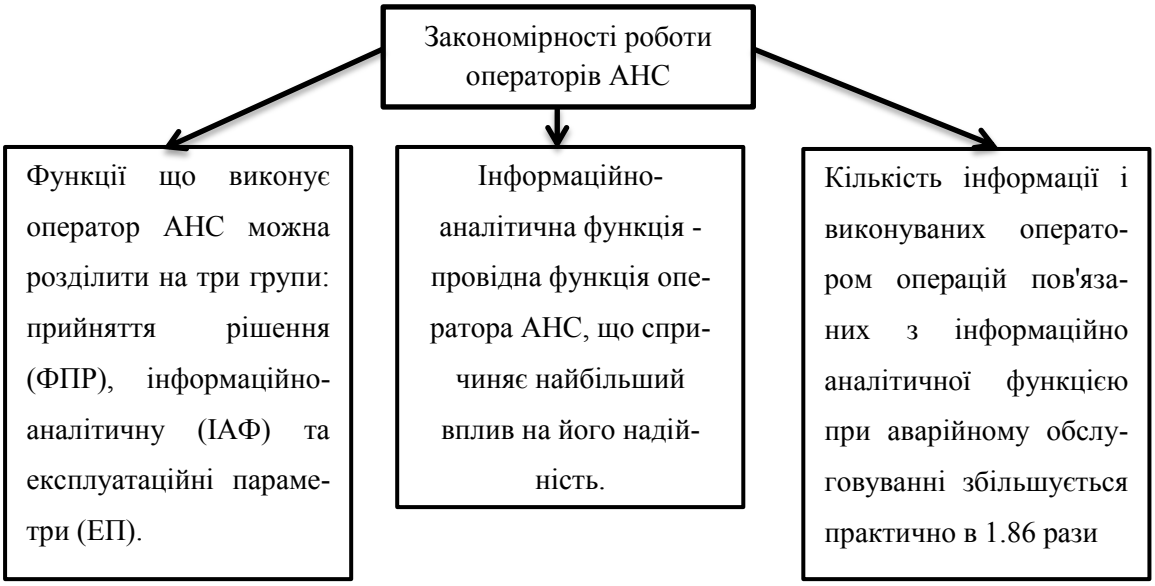


Рис. 3.7. Закономірності роботи операторів АНС згідно аналізу робочих інструкцій Украероруху

В результаті аналізу інструкцій органів організації повітряного руху Украероруху було виявлено, що для підтримання належного та достатнього рівня

надійності оператора АНС необхідно оптимізувати інформаційно-аналітичну функцію.

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.

3.3. Дослідження причин зниження інформаційної надійності оператора АНС.

У результаті аналізу інформаційних процесів (рис. 3.8) та інформаційної складової надійності оператора АНС було виявлено його основні властивості інформаційних процесів.

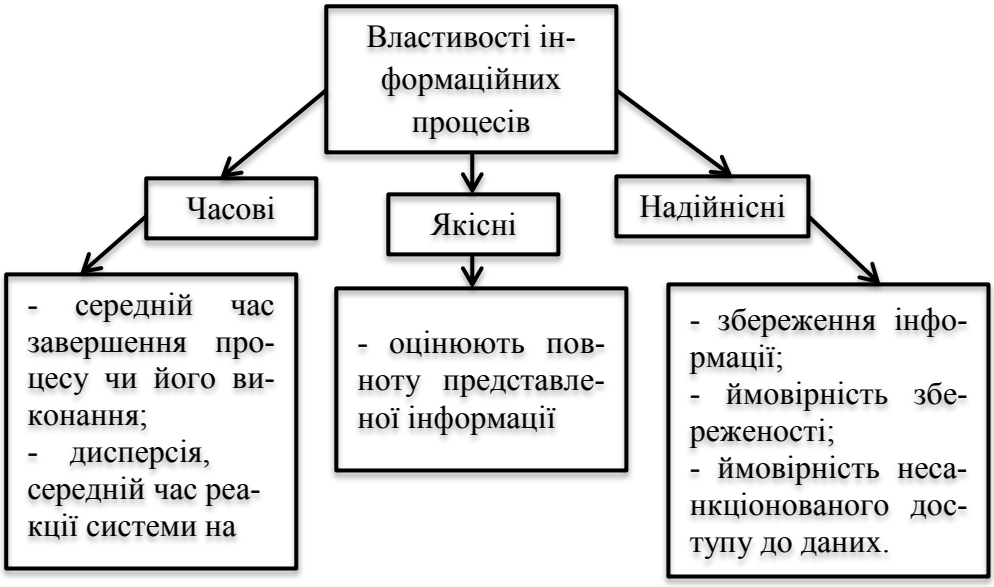


Рис. 3.8 Властивості інформаційних процесів

Отримати оцінки, що характеризують інформаційні процеси, а також дослідити причини зниження рівня інформаційної надійності можливо двома способами:

- моделюванням

- експериментом.

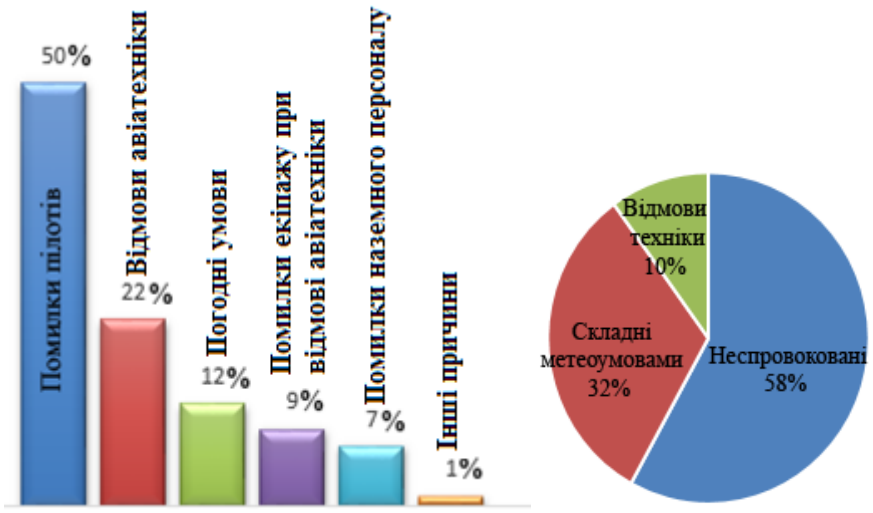
Моделювання дозволяє спростити аналіз та розглядати лише ті характеристики, які необхідні в даний момент.

Моделі інформаційних процесів класифікуються в залежності від способу їх опису та представлення. Застосуємо описові та аналітичні моделі для вивчення процесів зниження інформаційної надійності оператора АНС.

3.3.1. Особливості явища інформаційних пасток та їх вплив на зниження рівня інформаційної надійності оператора АНС

Існують різні причини виникнення авіаційних катастроф та інших авіаційних подій (рис 3.9).

Складні і небезпечні ситуації в діяльності операторів АНС створюють передумови для порушень робочого процесу, появи помилкових дій, загрози виникнення і реальних проявів аварійних ситуацій.



а) б)

Рис. 3.9. а) Статистика причин авіаційних подій, б) та процентне співвідношення та причини помилок авіаційних операторів

Дії операторів відповідають моделі поведінки, яка формується самим їх колективом з урахуванням всіх або основних факторів, що визначають поточну ситуацію. В абсолютній більшості поточних ситуацій ця модель вироблена тривалою професійною підготовкою, багаторазово перевірена практикою і затвер-

джена основними документами (РЛЕ, НЛП, тощо.) і є інформаційно правильною [86].

Однак, у практиці експлуатації ПС бувають випадки, коли важливий елемент ситуації зовні не викликає жодних сумнівів, а насправді є хибним, та може проявитися лише тоді, коли часу на виправлення ситуації вже не залишилося, тобто оператор АНС потрапив в інформаційну пастку (ІЛ), з якої дуже складно вийти [87].

Вперше про інформаційні пастках в авіації згадує Ю. Курлін у своїй статті «Інформаційні пастки - основа формування складних аварійних ситуацій» [88]. У ній він розглядає кілька авіакатастроф, які несли в собі ознаки ІП (див. Табл 3.2. пункти 1,2,4,5).

До дослідження ІП можна підійти, використовуючи два різних підходи (рис 3.10):

-ситуаційний

-з позиції невідомих інформаційних явищ.

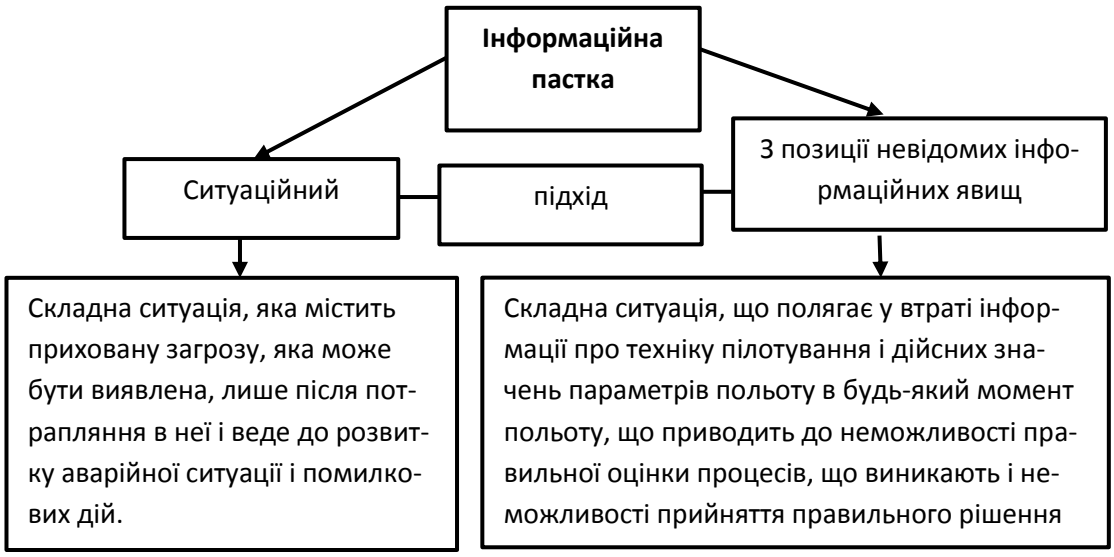


Рис. 3.10. Інформаційна пастка

Такими невідомими інформаційними явищами можуть бути: тороїдальне обертання інформації, факторний перехід, факторний резонанс, факторні накладки і т.д.

Ситуаційний підхід передбачає розгляд і моделювання явища ІП на практичних ситуаціях, таких як авіакатастрофи, аварійні і критичні режими польоту.

Якщо ж аналізувати ІП з позиції невідомих інформаційних явищ, то узагальнено розглядаються різні фактори або їх групи, які можуть гіпотетично привести до ІП або спровокувати ситуацію, яка неминуче закінчиться ІП.

У діяльності оператора АНС причиною багатьох помилкових дій і відмов техніки є порушення інформаційної взаємодії в системі «людина-машина». З одного боку, виникнення помилкових дій в процесі вирішення завдань оператора АНС, що часто супроводжується розвитком психічної напруги і стресу, а з іншого боку, чинники складності, відповідальності, небезпеки операторської діяльності зумовлюють виникнення напруженості і стресу, які, в свою чергу, стають причинами появи помилок, аварій, катастроф [89].

Розглянемо деякі авіакатастрофи, а також інформаційні пастки, що виникли і наслідки до яких вони призвели. (Табл 3.3.) [95, 96].

Таблиця 3.2

Перелік авіаційних катастроф та відповідних інформаційних пасток

	Авіакатастрофа	***Дата***	***Інформаційна пастка***	***Наслідки ІП***
1	Ту-154 під Смоленском, РФ	10 квітня 2010	Лощина в місці виходу літака на висоту прийняття рішення	Фактична висота була менше на величину западини
2	Як-42Д під Ярославлем, РФ	7 вересня 2011	Випадкове гальмування коліс, неправильний розрахунок швидкості прийняття рішення, неузгодженість в діях екіпажу	Виникнення пікіруючого моменту, що не дозволив літаку в потрібний час підняти носове колесо і почати відрив від ЗПС
3	Boing 737 Сулавесі, Індонезія	1 січня 2007	Пілоти відволіклися на усунення несправностей навігаційної системи і	Різкий маневр з метою виправлення курсу привів до

			випадково відключили автопілот	глибокого пікірування з набором швидкості до рівня, близького до швидкості звуку
4	Ан-148 в Белгородської області, РФ	5 березня 2011	Помилки програмування режимів роботи систем керування літаком	Перевищення гранично допустимої швидкості літака на 110 км / год
5	Ту-154 Донецька область, Україна	22 серпня 2006	Спроба втриматися на висоті ешелону, критичні кути атаки	Падіння в плоский штопор
6	Ан-24 в Донецьку, Україна	13 лютого 2013	Інформаційна девіація при промисловому тумані	Посадка повз ЗПС
7	SSJ-100 в Індонезії	9 травня 2012	Ігнорування сигналів TAWS	Лобове зіткнення з гірською поверхнею
8	Ту-134А під Петрозаводськом, РФ	20 червня 2011	Не був налаштований ближній привід, авіаційний оператор вів літак наосліп по візуальним орієнтирам	Не відхід на друге коло, зниження літака нижче встановленої мінімально безпечної висоти (100 м)
9	Airbus A330 вилетів з Ріо-де-Жанейро, впав в Атлантичному океані	1 червня 2009	Недостовірні свідчення швидкості, сигнал про звалюванні відключався, а потім знову включався кілька разів в ході звалювання; він включався,	Пілоти порахували, що невірні всі свідчення приладів. Другий авіаційний оператор почав набір висо-

			коли авіаційний оператор віддавав сайдстік від себе, і відключався, коли авіаційний оператор тягнув його на себе.	ти, задерши носа літака, не повідомивши про це КВС. Досягнуто граничні кути атаки і гранична висота
10	Bombardier Dash 8 Баффало, штат Нью-Йорк, США	12 лютого 2009	Через обмерзання спрацювала сигналізації про наближення звалюванні літака.	Замість необхідної віддачі штурвала від себе, зафіксовано тягне зусилля. Це призвело літак до виконання висхідного маневру, втрати швидкості, звалювання і падіння.

Виходячи з таблиці 3.2, можна зробити висновок, що інформаційні пастки можуть носити різний характер і виявлятися:

• в неоднозначному тлумаченні причин спрацьовування аварійних систем попередження та сигналізації;

• в не розуміння причин розвитку аварійної ситуації, її небезпеки;

• в погане взаєморозуміння між членами екіпажу і не знанні про дії одного з них, які вже вплинули на розвиток аварійної ситуації;

• в хаотичних діях авіаційні оператори зазнали інформаційного стресу і впадали в паніку;

• на авіаційних операторів діє дуже велика кількість факторів, що ускладнює виявлення основних з них і виконання, відповідних заходів для їх усунення.

Розглядаючи головні причини появи ІП можна виділити основні події, що сприяють збільшенню можливості їх появи під час експлуатації ПС. Серед них можуть бути такі складові польоту як:

а) Посадка ВС в тумані

б) Складний рельєф місцевості

в) Політ вночі

г) Політ над океаном

д) Сигналізація про відмову кількох систем на ВС

е) Неузгодженість екіпажу ПС

ж) задертий вгору ніс літака

Досліджувати ІП проводилося за алгоритмом, що вказано на рис 3.11.

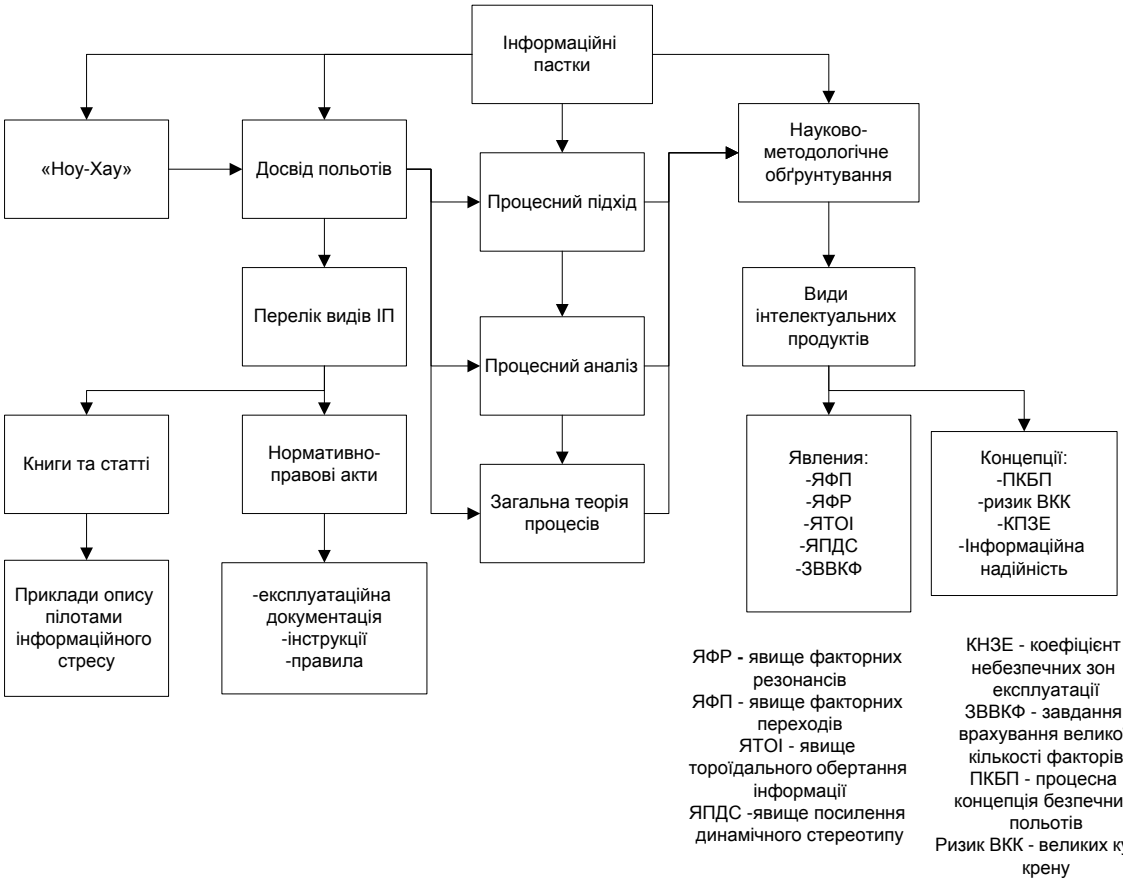


Рис. 3.11. Структура методів дослідження інформаційних пасток

Виходячи з вищевикладених причин, виникнення інформаційних пасток в Таблиці 3.3., та враховуючи структуру їх дослідження (див. 3.11) розглянуті різні методи запобігання їх появи або, принаймні, зменшення частоти їх появи.

Таблиця 3.3.

Інтелектуальний продукт з проблематики «Інформаційні пастки»

Назва інформаційної пастки	Приклад авіакатастрофи	Методи попередження	Автори методів щодо попередження інформаційних пасток
Явище факторних переходів - вперше показує, що крім відомого явища дії факторів, у процесах існують невідомі раніше механізми факторних переходів, які враховують взаємодію факторів як «кінцеву причину» зміні. Під факторними накладками розуміється ефективність одночасної дії групи (комплексу) аварійних факторів (фактор небезпеки).	Ан-70 1995 р Біля села Небрат (Київська обл.)	1) Дослідження факторних переходів і «факторних накладок» при аналізі переходу нормальної фази польоту до аварійної (катастрофічною) [91] 2) застосування методології ПОМОР	Хохлов Є.М.
Явище резонансу це приклад явища виник при одночасній дії факторів і виявляється в різкому збільшенні основних параметрів польоту (кути крену, тангажу, атаки).	Ту-154М 2001 рік, Іркутськ	Метод визначення перших ознак факторного резонансу за експлуатаційними картками [90]	Положевець А.А.

Інформаційну надійність діяльності авіаційних фахівців (операторів аеронавігаційних систем та авіаційних операторівів) можна визначити через коефіцієнт його завантаженості протягом заданого інтервалу часу. Інформаційна завантаженість - це труднощі розуміння проблеми і прийняття рішень, причиною яких є надлишок інформації. Суть інформаційного перевантаження полягає в тому, що кількість корисної інформації, яка надходить перевершує об'єктивні можливості її сприйняття людиною. Корисною називається та інформація, яка необхідна для вирішення завдань, що забезпечують життєдіяльність особистості або організації. Дослідження показують, що при великій	- Airbus A330 2009 рік, Атлантичний океан (рейс з Ріо-де-Жанейро в Париж) - Bombardier Dash серпня 2009 р., Баффало, штат Нью-Йорк, США - Boing 737 2007 рік, Сулавесі, Індонезія	1) надавати інформацію авіаційним фахівцям з необхідним випередженням до початку виконання; 2) скоротити потік інформації до необхідного мінімуму, відокремити інформацію, що надходить епізодично, так, щоб її можна було отримати за запитом (слід враховувати, що обсяг оперативної пам'яті людини обмежений і не перевищує 5 - 9 елементів); 3) передбачити можливість фільтрації інформації, що дозволить авіаційним фахівцям відбирати дані, що відповідають його можливостям і умовам роботи, а так само виявити найбільш актуальні в даний момент часу; 4) передбачити можливість системи підказок поведінки в екстрених і аварійних ситуаціях;	Кожохіна О.В.

інформаційної навантаженні оператор втрачає можливість адекватно і достовірно оцінювати ситуацію, що перешкоджає прийняттю раціонального і правильного рішення		5) зберегти на індикаторі інформацію за бажанням авіаційних фахівців. [94]	
Зона фатальності або ж небезпечні зони експлуатації (зона АП CFIT), тобто частина зони попередження і зон захисту, де прийняття рішення льотним екіпажем з інженерної психологічним допускам практично неможливо	ТУ-154 М 2010 р., під Смоленськом	Використання розробленого (на рівні корисної моделі) і запатентовано на Україні влаштування сигналізації щодо попередження CFIT (СРВ – радіовисотомір, що сканує), що не має небезпечних зон експлуатації) [92]	Власова (Пономарева) А.Ю. Тимошенко Т.М.
Явище посилення динамічного стереотипу (ЯПДС) виявляється шляхом порівняння динамічного стереотипу (ДС) авіаційного оператора (на тренажері) при «польоті» без відмов з його ж ДС при дії комплексних відмов	Ту-154М 2001 рік, Іркутськ	Автором встановлена закономірність зниження аварійності в тих авіапідприємствах, де інструктора КТС за власною ініціативою, не користуючись офіційними інструкціями, дають комплексні відмови і намагаються навчити авіаційних операторів протидії ФН, навіть не знаючи природи процесу	Грищенко Ю.В.

		відображених рухів. При теоретичної підготовки та автоматизованої системі аналізу ЯПДС ефективність підготовки підвищується [93].	

Незважаючи на те, що на сучасному етапі розвитку науки тенденція та закономірності виявлення та протікання ІП майже не розглянуті, тим паче вони мають значний вплив не тільки на надійність АНС, але й на безпеку польотів в цілому. Особливо в умовах зростання об'ємів оброблюваної операторами АНС інформації.

Крім виявлених автором причин виникнення вищезазначеного негативного явища, слід досліджувати і інші фактори. Найбільше це стосується випадків скупчення інформації, коли оператор АНС може втратити основну інформацію через ІП, яка у подальшому може призвести до катастрофи.

Також слід зазначити, що при виникненні ІП інформаційна ймовірність безпомилкової роботи оператора АНС знижуються стрибкоподібно майже до нуля та призводить до загального зниження рівня надійності оператора.

Виходячи з цього, був введений коефіцієнт δ - **ймовірність виникнення інформаційної пастки** [86]. Який визначається в межах від 10^{-3} до 10^{-9}.

3.3.2. Особливості явища інформаційного стресу та його вплив на зниження рівня інформаційної надійності оператора АНС

Стрес нерідко сприймається як особливе функціональний стан і в той же час як психофізіологічна реакція організму на впливи середовища, що виходять за межі адаптивної норми.

В цілому стрес являє собою неспецифічний компонент адаптації, який грає мобілізуючу роль і що обумовлює залучення енергетичних і пластичних ресурсів для адаптаційної перебудови організму [97].

Проблема стійкості, надійності діяльності оператора АНС в умовах впливу екстремальних факторів і розвитку психологічного стресу привернула до себе підвищену увагу і набула певні обриси як самостійна область досліджень у зв'язку з розвитком техніки, систем автоматизованого управління виробництвом і, особливо, комп'ютеризацією всіх сфер діяльності [89].

Діяльність оператора АНС пов'язана з періодичним, іноді досить тривалим і інтенсивним впливом (чи очікуванням впливу) екстремальних значень професійних, соціальних, екологічних чинників, яке супроводжується негативними емоціями, перенапруженням фізичних і психічних функцій, деструкцією діяльності. Найбільш характерним психічним станом, що розвиваються під впливом зазначених факторів у оператора УВС, є психологічний стрес.

Розвиток стресу в екстремальних умовах операторської діяльності може бути пов’язаний також з можливістю, очікуванням, загрозою впливу на оператора АНС різноманітних подразників фізико-хімічної, психологічної (особистісної), організаційної та, насамперед, професійної природи. На цій підставі даний стан можна вважати типовою формою професійного стресу.

Дані досліджень показують, що в умовах впливу на оператора АНС екстремальних значень інформаційних чинників професійної діяльності у нього відзначаються зміни біохімічних реакцій, ряду фізіологічних функцій і деяких психофізіологічних показників, характерних для ефектів впливу фізико-хімічних стресорів і є неспецифічною адаптаційною реакцією організму [98, 99].

Неспецифічні адаптаційні процеси при екстремальному впливі інформаційних факторів дозволяють розглядати як розвивається в цих умовах психічний стан, як інформаційний стрес, оператора АНС.

Цей вид стресу можна визначити як стан підвищеної психічної напруженості з явищами функціональної вегетосоматичних і психічної дезінтеграції, негативними емоційними переживаннями та порушеннями працездатності внаслідок несприятливого впливу факторів інформаційної взаємодії фахівця в процесі професійної діяльності оператора АНС (рис. 3.12).

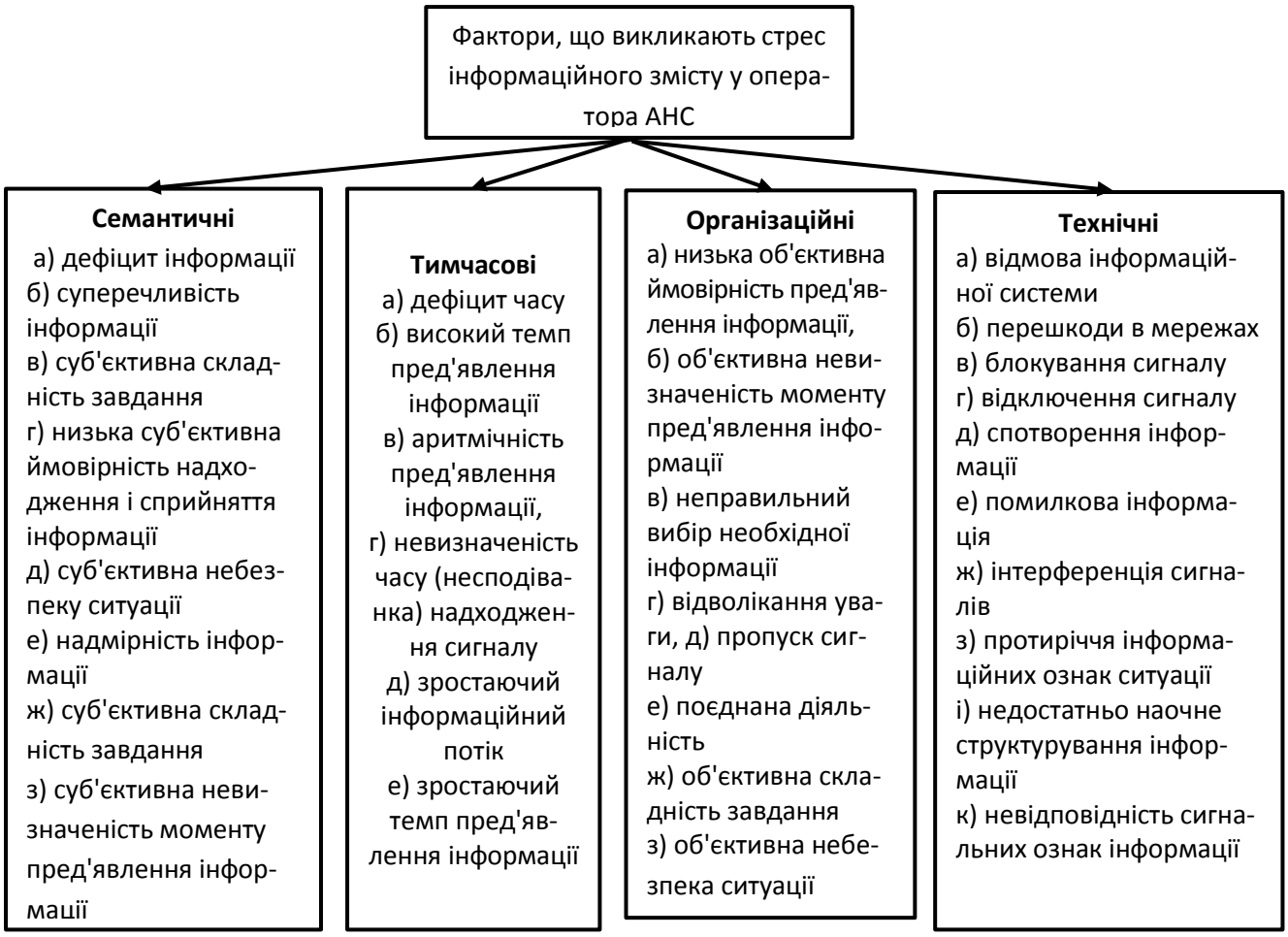


Рис. 3.12. Найбільш поширеними факторами, що викликають стрес інформаційного змісту в процесі професійної діяльності операторів АНС

Інформаційний стрес оператора АНС - це такий стан оператора, який виникає в ситуаціях інформаційних перевантажень, коли він не справляється із завданням, не встигає приймати правильні рішення в необхідному темпі при високому ступені відповідальності за наслідки прийнятих рішень.

Труднощі визначення стресу впираються і в неоднозначність розуміння того, які вимоги до організму можна назвати стресовими. Розглядаючи існуючі в літературі визначення стресу, слід вважати, що терміном стрес визначається не реакція, а стан гомеостазу, що забезпечує потрібну активність людини в певних умовах середовища. Стресова реакція - зміна рівня активності під впливом тих чи інших стресорів [100].

Було зроблено чимало спроб виявлення найбільш чутливих показників (маркерів) психологічного стресу як біохімічних, так і фізіологічних. Відзначено, що різкі зрушення окремих показників виникають у тих осіб, у яких рівень цих констант в нормі був вище або нижче, ніж у інших. Хоча біохімічні, і фізіологічні показники емоційно-стресової реакції індивідуально дуже мінливі, тим не менш, виділимо деякі з них, за допомогою яких можливо буде визначити стресовий вплив на оператора АНС [101].

Найбільшою інформативністю серед фізіологічних маркерів володіють показників серцевого ритму і шкірно-гальванічного рефлексу, цих двох компонентів емоційної напруги не викликають розбіжностей: обидва показники відчувають на собі впливу основних складових емоційної реакції (сили потреби і прогностичної оцінки ефективності дій, спрямованих на її задоволення).

Щодо біохімічних маркерів, в якості них можна використовувати рівень гемоглобіну і глюкози в крові оператора АНС.

При стресі в кров виділяються гормони (кортизол, адреналін), які швидко підвищують рівень глюкози за рахунок її викиду з печінки (печінка - місце зберіганні глюкози у видозміненому стані - глікоген). Це явище - захисна реакція організму. Так як глюкоза - це основне джерело енергії, то її високий рівень забезпечує здатність організму реагувати на сторонній подразник. Отже, навіть при найменшому стресі може спостерігатися значна гіперглікемія. Коли стрес проходить, рівень глюкози повертається до нормальних показників [102].

Інформаційний стрес викликає виражене зниження спорідненості гемоглобіну до кисню в крові, що в свою чергу сприяє збільшенню напруги кисню в гепатоцитах і активує вільно радикальні процеси в мікросомах печінки. Отже, буде спостерігатися зниження рівня гемоглобіну.

Лабораторні дослідження крові, побудовані на інвазійних методах, сполучені з травмуванням пацієнтів, можливістю інфікування, а також з досить тривалою процедурою отримання діагностичного результату. Тому для діагностування стану оператора АНС краще використовувати неінвазійні методики ви-

значення параметрів крові, які перевершують лабораторні по оперативності, ефективності та економічності [103].

Виявлення психологічних закономірностей інформаційного забезпечення діяльності оператора АНС, психофізіологічних процесів регуляції робочої активності при взаємодії його із засобами відображення інформації та управління, і розробка на цій основі принципів і рекомендацій забезпечення надійності професійної має стати предметом подальших досліджень.

Вивчення причин виникнення інформаційних стресів і механізмів їх формування, допоможе знизити рівень їхнього впливу на організм оператора АНС, а також у подальшому буде сприяти підтриманню рівня надійності оператора.

Також слід зазначити, що при виникненні інформаційного стресу інформаційна ймовірність безпомилкової роботи оператора АНС знижуються в залежності від тривалості стресу та призводить до загального зниження рівня надійності оператора.

Виходячи з цього, був введений коефіцієнт γ - **ймовірність виникнення інформаційного стресу**.

3.3.3. Особливості інформаційної завантаженості оператора АНС та його вплив на зниження рівня інформаційної надійності

Інформаційну надійність діяльності оператора АНС можна визначити через коефіцієнт його завантаженості протягом заданого інтервалу часу. Отже, ефективність роботи диспетчера можна оцінити рівнем його завантаженості [104].

Ступінь завантаженості диспетчера визначається як відношення математичного очікування періоду безперервної зайнятості ТПЗ до математичного сподівання часу $T_{оп}$:

$$\Psi = \frac{E[T_{пз}]}{E[T_{оп}]}, \qquad (3.1)$$

Тривалість і якість роботи операторів АНС вимірюється обсягом інформаційних сигналів. Тому, поряд з помилками льотного складу, однією з причин авіаційних катастроф можуть стати інформаційні фактори, які значною мірою впливають на прийняття рішень авіадиспетчерів.

Інформаційне перевантаження - це поняття, яке описує труднощі розуміння проблеми і прийняття рішень, причиною яких є надлишок інформації.

Суть інформаційного перевантаження полягає в тому, що кількість надходить корисної інформації перевершує об'єктивні можливості її сприйняття людиною. Корисною називається та інформація, яка необхідна для вирішення завдань, що забезпечують життєдіяльність особистості або організації. Дослідження показують, що при великій інформаційної навантаженні оператор втрачає можливість адекватно і достовірно оцінювати ситуацію, що перешкоджає прийняттю раціонального і правильного рішення. Інформаційну перевантаження можна порахувати за допомогою інформаційної ентропії Шеннона.

Інформаційна ентропія - міра невизначеності або непередбачуваності інформації, невизначеність появи якого-небудь інформаційного сигналу.

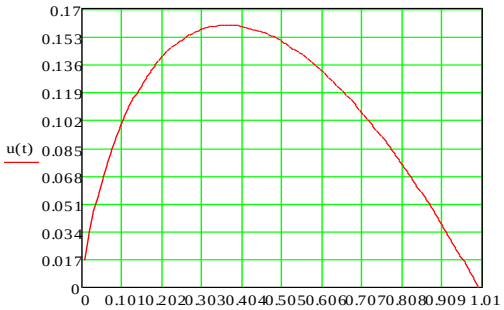
Інформаційна двійкова ентропія для незалежних випадкових подій x з n можливими станами (від 1 до n, p - функція ймовірності).

Величина $\log_2 \frac{1}{p(i)}$ називається приватною ентропією, що характеризує тільки *i*-й стан.

На рис. 3.13. показаний графік, який відповідний обсягу інформації рівному одному інформаційного сигналу. Але потрібно розглядати скільки таких сигналів оператор АНС обробляє за зміну і за час роботи з одним рейсом.

Робочий день авіадиспетчера починається з вивчення обстановки в секторі спостереження та сусідніх секторах, оцінки льотної ситуації. Під наглядом перебувають літаки, що пролітають через сектор після зльоту, сектор посадки і транзитні.

Спостереження за одним літаком починається з отримання інформації на паперовому носії («Стрипі») і візуальному контролі літака в сусідньому секторі спостереження.



$$u(t) := -t \cdot \log(t)$$

Рис. 3.13. Інформаційна ентропія при кількості інформації рівної одному інформаційного сигналу

Сигналом до прийому літака на управління в сектор спостереження служить поява зеленого світла на формулярі. Диспетчер зчитує інформацію з формуляра, де вказані: тип літака, номер рейсу, напрямок польоту, висота на даний момент, задана висота, швидкість, покажчик набору висоти або зниження, район сектора, колір. У сумі це становить 30 інформаційних сигналів.

Диспетчер здійснює зв'язок з літаком і отримує відповідь (2 повідомлення приблизно 20 сигналів). Завдання висоти проводиться шляхом набору цифр на клавіатурі і відтворення на бланку, що становить 10 інформаційних сигналів. Зв'язок з літаком і корекція висоти проводиться декілька разів за період керування літаком (в середньому 3 рази). При передачі літака в інший сектор диспетчер здійснює зв'язок з літаком та іншим сектором, спостереження за формуляром до появи білого кольору. Управління одним літаком оцінюється приблизно в 200 інформаційних сигналів.

Авіадиспетчер паралельно здійснює спостереження за літаками в інших секторах, особливо за тими, які наближаються до сектору спостереження. Здійснюється зв'язок з метеослужбою, звідки надходять повідомлення про грозу, швидкість вітру, атмосферний тиск, температуру повітря.

Характерною для праці авіадиспетчерів є відсутність поділу виконуваної ними роботи на основну і допоміжну. Вся виконувана авіадиспетчерами робота

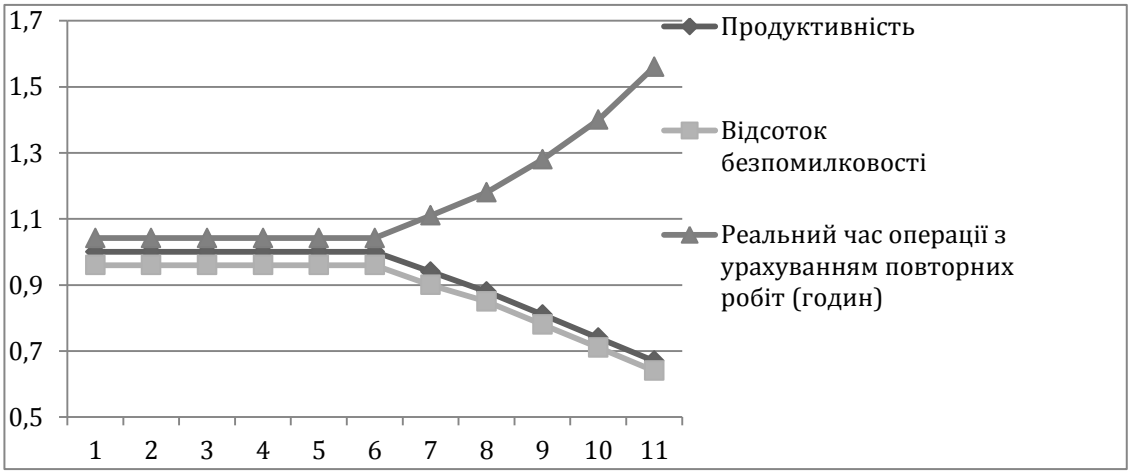
є основною і вимагає 100% часу тривалості зосередженого спостереження за зміною, що є істотним чинником у формуванні професійного напруги та інформаційної перевантаження.

Значну зорову напругу і втому очей розвивається при необхідності стеження за об'єктом повітряного руху на відео терміналі, який представлений у вигляді точки (розмір 0,3 мм), або рисочки (розмір від 1 до 0,5 мм) та інших відображень. Слід зазначити, що поряд зі значним обсягом інформації, що надходить до диспетчера через орган зору, одночасно надходить і звукова інформація в не меншому обсязі, яку необхідно прийняти, проаналізувати, прийняти рішення, зробити дію і проконтролювати правильність її виконання, оцінити і спрогнозувати кінцевий результат [105].

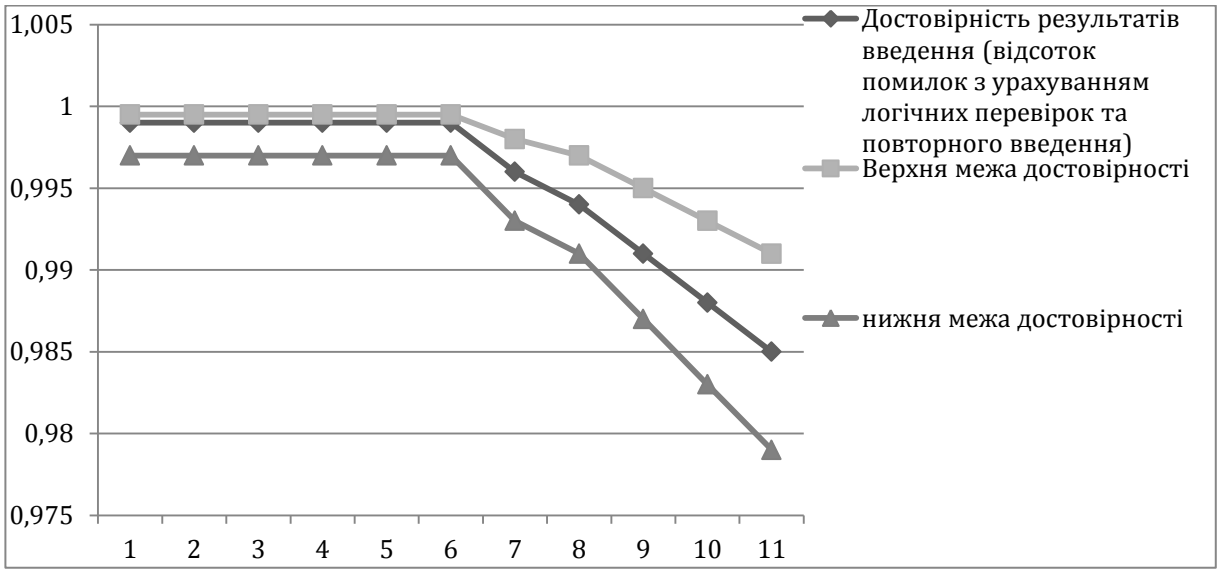
Швидкість передачі і переробки інформації людиною дуже висока, майже 25 біт в секунду. Але людина не здатна підтримувати такий потік даних безперервно. За 12-ти годинну зміну диспетчер здатний обробити до 5000 інформаційних сигналів, що є досить великою кількістю для сприйняття.

Виходячи з проведених досліджень можна зазначити, що інформаційна складова надійності оператора має найбільш сильний вплив на структурну надійність оператора АНС.

Вплив на достовірність введення інформації оператором АНС в залежності від часу роботи приведена на рис. 3.14.



а)



б)

Рис. 3.14. Вплив на достовірність введення інформації оператором АНС в залежності від часу роботи: а) вплив на продуктивність, відсоток безпомилковості та реальний час операції з урахуванням повторних робіт; б) достовірність результатів введення верхня та нижні межі достовірності

3.4. Дослідження можливостей підвищення рівня інформаційної надійності оператора АНС за допомогою введення надлишковості

Надлишковість оператора АНС - це додаткові кошти і можливості понад мінімально необхідних для виконання оператором АНС заданих функцій. Метою введення надлишковості буде збільшення рівня ймовірності безпомилкової роботи оператора АНС у певний проміжок часу.

Розрізняють структурну, інформаційну, алгоритмічну і тимчасову надлишковості (Рис. 3.15).

Структурна надлишковість (іноді називають апаратурною) передбачає використання надлишкових елементів, таких як оператор АНС. Суть полягає в тому, що в структуру вводяться додаткові оператори АНС.

Інформаційна надлишковість, передбачає використання надлишкової інформації. Його найпростішим прикладом є багаторазова передача одного і того ж повідомлення по каналу зв'язку. Слід зауважити, що інформаційна

надлишковість тягне за собою необхідність введення надлишкових елементів або інших видів надмірності.

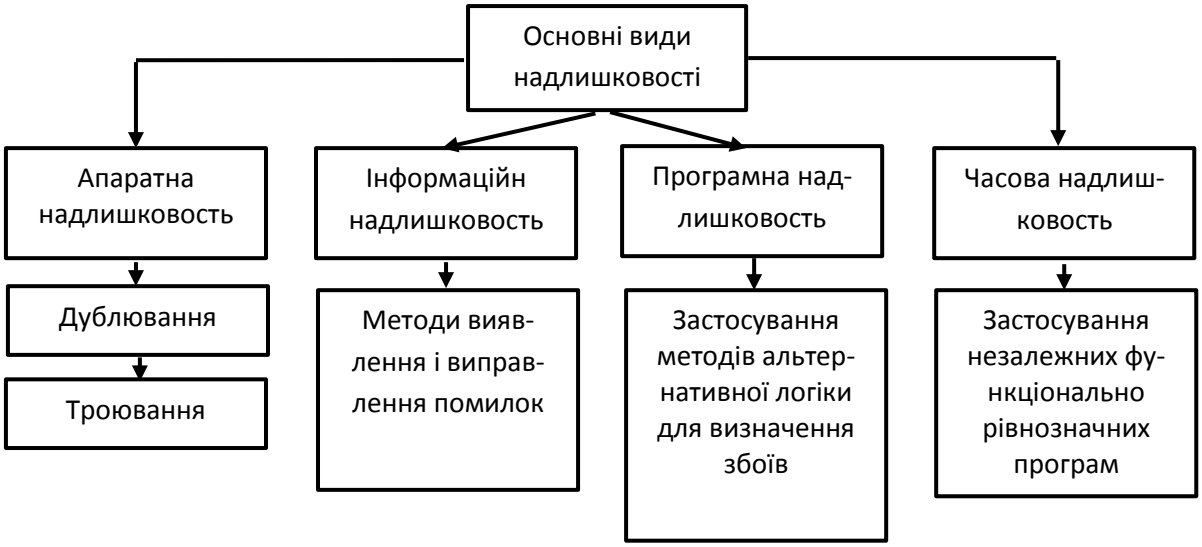


Рис. 3.15 Основні види надлишковості і способи їх реалізації

Часова надлишковість передбачає резерв часу, який можна витрачати не лише на перемикання на структурну надмірність, але і на очікування відновлення працездатного стану, а також на вирішення поставленого перед оператором АНС завдання. Хоча часова надлишковість тягне за собою втрату робочого часу, проте вона дає можливість оператору АНС зайвий раз вивчити отриману інформацію з більшою точністю і без зайвого поспіху, яка може надалі привести до зниження рівня безпомилковості роботи оператора АНС.

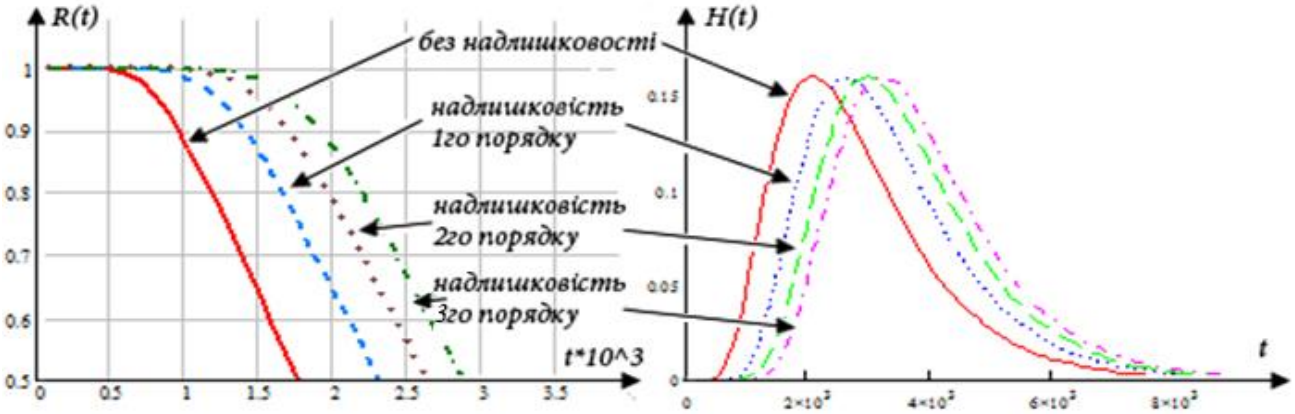
Алгоритмічна надмірність полягає в застосуванні таких алгоритмів роботи оператора АНС, які забезпечують задовільні результати у випадках наявності або винекнення помилок в процесі опрацювання інформації. Алгоритмічна надлишковість передбачає наявність часової надлишковості і є засобом її реалізації.

3.5. Дослідження ефективності введення надлишковості оператора АНС

Не дивлячись на безперечну користь від введення надмірності оператора АНС, слід зазначити, що зі збільшенням кратності резерву (надлишковості) її ефективність різко падає.

На Рис 3.16 (а). наведені ймовірності безпомилкової роботи оператора АНС із застосуванням дифузійного немонотонного закону розподілу випадкових величин (3.2).

$$R(t) = \Phi\left(\frac{\mu - t}{\nu \cdot \sqrt{\mu \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\upsilon^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{\mu + t}{\upsilon \cdot \sqrt{\mu \cdot t}}\right) \qquad (3.2)$$



(а) (б)

Рис. 3.16, (а) Порівняння ймовірностей безпомилкової роботи оператора АНС для рівня безпомилковості рівного 0.5 для різних ступенів надлишковості та (б) порівняння кількості інформації, що опрацьовує оператор АНС для різних ступенів надлишковості, де H (t) – об'єм інформації для оператора АНС без урахування надлишковості.

Як видно з Рис. 3.16, а) з підвищенням рівня надлишковості ефективність її введення різко падає. І якщо при введення першого резерву ми отримуємо приріст в тисячу годин для ймовірності безпомилкової роботи $R(t) = 0.5$ в порівнянні з оператором який працює без надлишковості, то після введення другого рівня надлишковості, ми маємо приріст рівний 700 годин до помилки, що очікується, після троювання лише 500 годин.

$$R'(t) := \left[1 - (1 - R(t))^{n}\right] \tag{3.3}$$

Крім того через введення надлишковості оператор АНС який і так був дуже сильно завантажений, може опинитися в ситуації, коли йому доведеться працювати з зайвою інформацією, яка знижує його працездатність.

Для визначення міри надмірності інформації будемо використовувати інформаційну ентропію Шеннона (4.4).

$$H(t) = -\sum_{i=1}^{n} R(t) \cdot \log_2 \cdot R(t) \tag{3.4}$$

Інформаційну ентропію розраховують за формулою (3.4). Де *R(t)* ймовірність появи деякої події. У нашому випадку подією будемо вважати появу відсутність помилки, а ймовірність її *R(t)* будемо будувати з урахуванням дифузійного немонотонного розподілу випадкових величин (3.2).

Підставивши значення (3.2) в (3.4), побудуємо графіки залежності (3.16 б) залежно від рівня надмірності. Порівнявши площі отриманих залежностей, ми можемо зробити висновок, що зі збільшенням надлишковості площа кожної з залежностей буде нелінійно збільшуватися. А так як інформаційна ентропія Шеннона обчислюється в бітах, виходить, що введенням надмірності збільшується кількості біт, які необхідно обробити оператора АНС.

Виходячи з цього слід застосовувати надмірність не більше троювання для збереження ефективності функціонування оператора АНС.

В результаті проведених експериментів удалось встановити, що зі збільшенням ступенів надлишковості також збільшується кількість інформації яку необхідно оброблювати оператору АНС. А саме якщо без введення надлишковості він обробляє 431 біт інформації, при дублюванні це вже буде 450 біт, при троюванні 458 біт, тощо (таблиця 3.6).

З урахуванням того, що за дванадцяти годинну зміну оператор АНС здатний обробити до 5000 інформаційних сигналів не слід перевищувати цю межу.

Таблиця 3.6.

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

Враховуючи вищезгадані коефіцієнти аналітична залежність для ІФМН оператора АНС набуде вигляду:

$$R_{cm}(t) = \phi \cdot \gamma \cdot \delta \cdot \left[\left\{ 1 - \prod_{e=1}^{l} \left(1 - \left(\frac{\alpha_e - t}{\beta_e \cdot \sqrt{\alpha_e \cdot t}} \right) - \exp\left(\frac{2}{\beta_e^{\,2}} \right) \cdot \Phi\left(\frac{\alpha_e + t}{\beta_e \cdot \sqrt{\alpha_e \cdot t}} \right) \right) \right\} \right]$$

$$\left[\left\{ 1 - \prod_{f=1}^{m} \left(1 - \left(\frac{\alpha_f - t}{\beta_f \cdot \sqrt{\alpha_f \cdot t}} \right) - \exp\left(\frac{2}{\beta_f^{\,2}} \right) \cdot \Phi\left(\frac{\alpha_f + t}{\beta_f \cdot \sqrt{\alpha_f \cdot t}} \right) \right) \right\} \right] \cdot$$

$$\cdot \left[\prod_{i=1}^{b} \left(\frac{\alpha_i - t}{\beta_i \cdot \sqrt{\alpha_i \cdot t}} \right) - \exp\left(\frac{2}{\beta_i^{\,2}} \right) \cdot \Phi\left(\frac{\alpha_i + t}{\beta_i \cdot \sqrt{\alpha_i \cdot t}} \right) \cdot \right.$$

$$\left. \left\{ 1 - \prod_{i=1}^{d} \left(1 - - \left(\frac{\alpha_i - t}{\beta_i \cdot \sqrt{\alpha_i \cdot t}} \right) - \exp\left(\frac{2}{\beta_i^{\,2}} \right) \cdot \Phi\left(\frac{\alpha_i + t}{\beta_i \cdot \sqrt{\alpha_i \cdot t}} \right) \right) \right\} \right] \cdot$$

$$\left[\prod_{n=1}^{k} \left(\frac{\alpha_n - t}{\beta_n \cdot \sqrt{\alpha_n \cdot t}} \right) - \exp\left(\frac{2}{\beta_n^{\,2}} \right) \cdot \Phi\left(\frac{\alpha_n + t}{\beta_n \cdot \sqrt{\alpha_n \cdot t}} \right) \right] .$$

Приклад розрахунку безпомилковості оператора АНС з врахуванням ІФМН наведено в додатках 13-19.

3.6. Висновки

3. Інформаційна складова надійності оператора АНС є в край важливою ланкою надійності, оскільки вона є елементом прийняття рішенні. Невірні рішення, що ведуть свій початок від неправильної інформації, створюють загрозу розвитку аварійної ситуації під час ОрПР.

3.1. В результаті досліджень особливостей Інформаційної надійністі оператора АНС виявлено, що з одного боку, вона створює базис для прийняття оператором рішень, що мотивує відповідні зміни в реальному просторі після введення потрібних змін в інформаційному просторі. З іншого, інформаційна складова сама по собі є базисом для функціонування тих чи інших організаційних структур: той чи інший тип інформації породжує ті чи інші типи структур

3.2. Під час дослідження причин зниження інформаційної надійності оператора АНС були виявлені такі фактори як:

-інформаційний стрес

-інформаційна пастка

-інформаційне перевантаження

-збільшення об’ємів оброблюваної оператором інформації в 1,86 раз під час особливих умов та ситуацій та відповідно зростання інформаційної ймовірність помилки.

3.3. Дослідження можливостей підвищення рівня інформаційної надійності оператора АНС за допомогою введення надлишковості показало, що для компенсації вищезазначених негативних явищ рекомендовано використовувати введення надлишковості. При збільшенні ступеня надлишковості її ефективність зменшується в ≈2 рази кожен наступний рівень та відбувається збільшення оброблюваної оператором інформації в ≈1,03 рази.

РОЗДІЛ 4

ОСОБЛИВОСТІ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ ОПЕРАТОРА АНС ТА ЙОГО ПРОФЕСІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ

4.1. Комбінований метод визначення функціональної надійності оператора АНС

Завданням комбінованого методу визначення функціональної надійності оператора АНС є підвищення достовірності визначення функціональної придатності оператора безпосередньо перед виконанням службового завдання.

Поставлене завдання вирішується за рахунок того, що включає проходження тестування у вигляді виконання оператором комплексу психофізіологічних особистісних тестів з подальшим порівнянням отриманих результатів з допустимими значеннями, отриманими по групі випробовуваних з високою професійною успішністю, а також вимірювання психофізіологічних параметрів з аналізом результатів вимірювань, відповідно до корисної моделі, вимірювання психофізіологічних параметрів оператора проводять заздалегідь, одночасно з проходженням тестування для виявлення закономірності взаємозв'язку значень виміряних психофізіологічних параметрів з результатами тестів з обраним критерієм, після чого вибирають групу психофізичних параметрів, за значеннями яких можна судити про функціональну придатність оператора для виконання поставлених завдань в заданих умовах, а безпосередньо перед допуском оператора до виконання завдань, контролюють поточні значення даних параметрів за допомогою методів неруйнівного контролю.

Запропонований метод полягає у наступному. Заздалегідь проводять тестування оператора в різних умовах у вигляді виконання ними комплексу психофізіологічних особистісних тестів. При цьому проводиться тестування розумової працездатності, логічного мислення, врівноваженості нервових процесів, уваги, здатності до прогнозування, оперативного мислення, довготривалої па-

м'яті, швидкості протікання розумового процесу при оперуванні з числовим матеріалом та інших властивостей, важливих для виконання того чи іншого завдання.

Критерієм оцінки функціональної придатності оператора може бути, кількість допущених ним під час процедури помилок. Отримані дані порівнюються з допустимими значеннями, отриманими по групі випробовуваних з високою професійною успішністю.

Для підвищення точності та достовірності отримуваних результатів було використане математичне моделювання за засновано не методі Монте-Карло с застосуванням програми Mathcad (рис. 4.1).

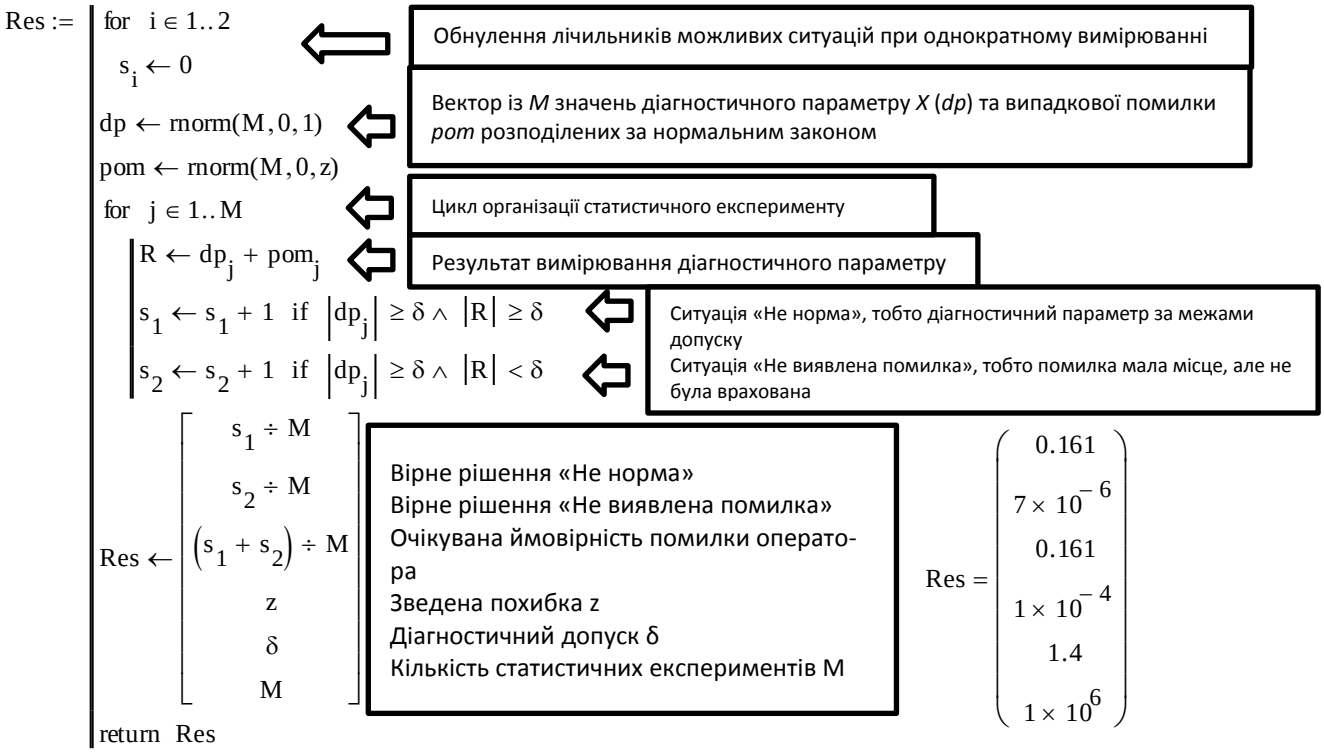


Рис. 4.1. Лістінг математичного моделювання виконаного у програмному середовищі Mathcad

Одночасно з проведенням тестування вимірюють психофізіологічні параметри випробуваного, в якості яких можуть бути прийняті параметри дихання, серцево-судинної активності, електричний опір шкіри, параметри крові, спектральні коефіцієнти відбиття ділянок тіла і очного яблука, параметри нервової

системи, параметри голосу, температурні параметри, параметри результату аналізу психосемантичних полів, параметри результатів психозондування.

Кожен з вищезазначених параметрів буде входити до матриці функціональних параметрів оператора АНС з присвоєнням певного індексу. Таку матрицю будемо називати матрицею індексів перед помилковості (рис 4.2). До неї заносяться значення параметрів функціонального стару оператора АНС відповідно до кожного наступного вимірювання.

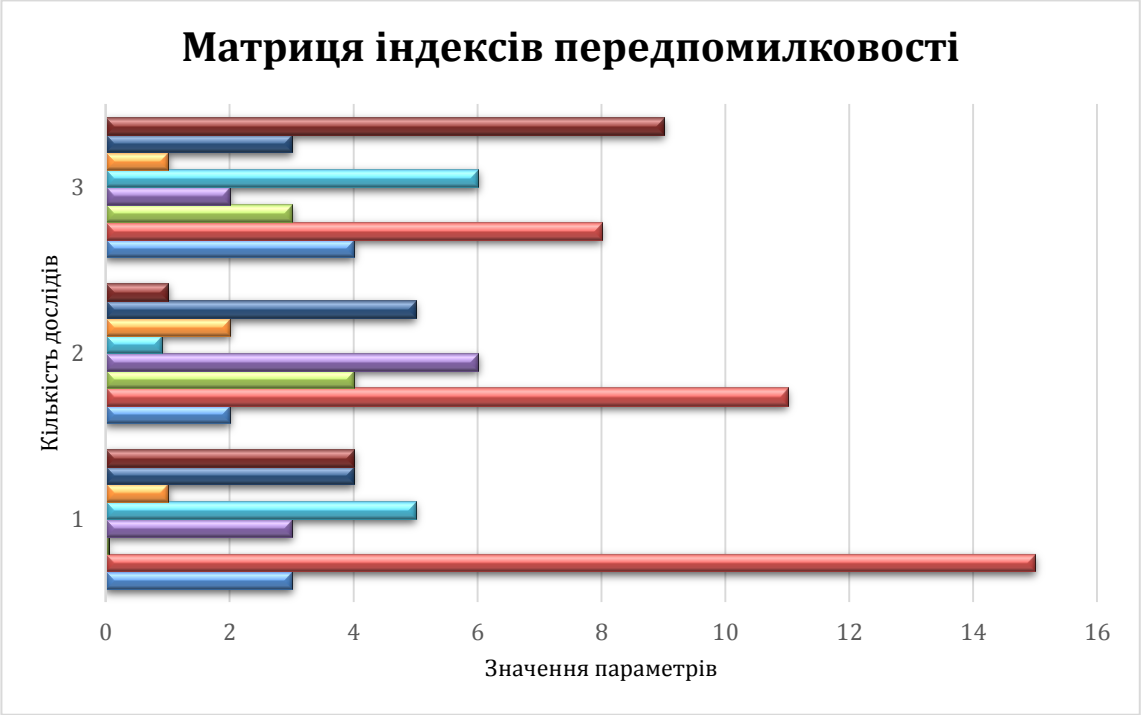


Рис. 4.2. Приклад матриці індексів перед помилковості

Результати тестування і вимірювань піддають статистичної обробці з метою виявлення кореляційного взаємозв'язку між значенням критерію ефективності і значеннями виміряних психофізіологічних параметрів. Після цього вибирають групу психофізичних параметрів, за значеннями яких можна судити про функціональну придатність оператора для виконання поставлених завдань в заданих умовах, тобто вибираються певні індекси параметрів особливо характерних для певного оператора АНС. Надалі, безпосередньо перед допуском оператора до виконання завдань, контролюють поточні значення даних параме-

трів за допомогою методів неруйнівного контролю, наприклад неінвазійної діагностики параметрів крові [115].

Наприклад, в результаті тестування виявлено, що втомлений оператор допускає неприпустиму в нормальних умовах кількість помилок. Одночасно з цим відзначається підвищене серцебиття і збільшення очного тиску. Таким чином, виникає оперативна можливість виключити ризики шляхом проведення відповідних вимірювань безпосередньо перед виконанням завдання або початком чергування. У іншого оператора, в абсолютно аналогічних умовах, які також призводять до збільшення помилок, можуть мати місце інші прояви, наприклад, тремтіння рук, порушення мови, зміна електропровідності шкіри або зміна її спектрального коефіцієнта пропускання.

Враховуючи той факт, що за аналогічних умов діагностичний параметр стану оператора з певним однаковим індексом за яким буде вестися спостереження буде виходити за межі допуску (рис. 4.3), особливу увагу під час досліджень приділено областям де параметр виходить за межі допусків.

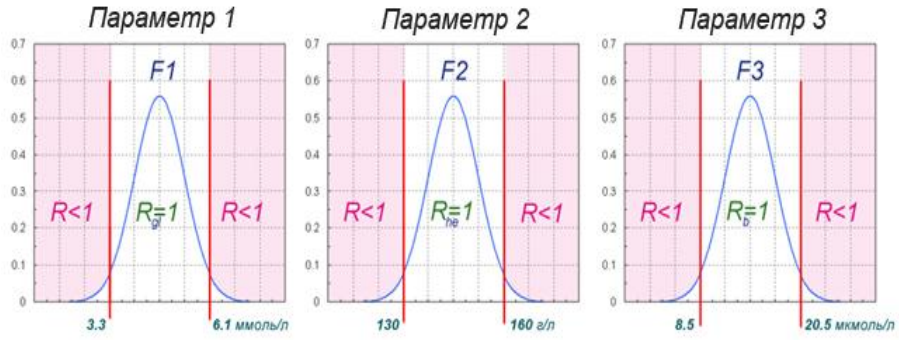


Рис. 4.3. Кореляція параметрів стану оператора АНС з імовірністю функціональної безпомилкової роботи з використанням нормального закону розподілу

Запропонований комбінований метод дозволяє підвищити достовірність результатів визначення функціональної придатності та надійності оператора безпосередньо перед виконанням службового завдання, за рахунок урахування індивідуальних властивостей кожного оператора, а так само зменшити час аналізу за рахунок вимірювань групи параметрів, що несуть основну інформацію про стан конкретного випробуваного.

Приклади матриці діагностичних параметрів стану оператора АНС наведено у таблиці 4.1. Слід зазначити, що нижчезазначені параметри можуть бути змінені в залежності від стану оператора та наявних засобів діагностики.

Таблиця 4.1.

Матриці діагностичних параметрів стану оператора АНС

Діагностичний параметр функціонального стану оператора АНС	Вплив параметра на стан оператора АНС
1. Рівень гемоглобіну	Причиною збільшеного рівня гемоглобіну можуть бути інтенсивні фізичні навантаження і тривале перебування в умовах гіпоксії (наприклад, проживання у високогірному районі).
2. Рівень глюкози	Зниження рівня глюкози призводить до нервозності, тремтіння і слабкості, голоду і легкої нудоти, запаморочення і головного болю, затуманеного зору, прискореного серцебиття і почуття занепокоєння. При підвищенні рівня глюкози може відбуватися: затуманений зір; втомлюваність, сонливість; нестабільне емоційний стан.
3. Артеріальний тиск	При перевищені норми тиску можуть виникнути біль у серці, а також перебої в його роботі. Підвищення тиску може також супроводжуватися жаром, почервонінням обличчя і підвищеною пітливістю. У той же час кисті рук, навпаки, стають холодніше.
4. Таблиці Шульте	Таблиці Шульте являють собою набір цифр (від 1 до 25) являють собою простий, але наглядний тест, що дозволяє розрахувати рівень концентрації уваги
5. Методика Мюнстерберга	Являє собою суцільний буквений текст, серед яких є слова. Може слугувати не тільки для розрахунку рівня концентрації уваги, але як маркер, що дозволяє оцінювати швидкість розпізнавання інформації.
6. Температура тіла	Без симптомна температура підвищується у випадку сильної перевтоми та в стані постійного стресу
7. Методика «Компаси»	Методика призначена для визначення особливостей просторового мислення. Методика зазвичай використовується з метою профвідбору.
8. Тремтіння рук	Є симптомом не тільки страху, але й підвищеного рівня хвилювання та напруженості

9. Пульс	Є маркером перевтоми, хвилювання, перед стресового стану
10. Ілюзії Акіоші Кітаока	Можуть слугувати не тільки для виявлення рівня психологічної втоми, але й накопиченої втоми, високого рівня стресу, який ви відчуваєте в даний момент та погіршення здоров'я.

4.2. Оцінка ролі застосування авіаційних тренажерів для визначення рівня професійної надійності оператора АНС

Нормативною моделлю професійної працездатності та надійності авіадиспетчера або оператора аеронавігаційних систем (АНС) виступає його освітньо-кваліфікаційна характеристика. Згідно з останньою, випускник-авіадиспетчер повинен мати базові загальнонаукові знання та професійні знання з основних законів аеродинаміки, основ авіаційної картографії та картографічного забезпечення польотів, основних складових метеорології для забезпечення безпеки повітряного руху, системи безпеки авіації та порядку розслідування авіаційних подій, тощо. Крім того він має володіти уміннями вирішувати навігаційні завдання з використанням сучасних аеронавігаційних систем, застосовувати алгоритми функціонування сучасних систем зв’язку, навігації та спостереження, організувати роботу відповідно до вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці, вести радіозв’язок російською та англійською мовами тощо.

Оскільки для роботи авіадиспетчера характерні пристосовуваність до змінних умов, важливість часу реагування диспетчера на об’єктивні обставини повітряного руху, необхідність приймати рішення на основі неповної інформації про повітряні обставини не менш важливими є особисті професійно важливі якості авіадиспетчера: принциповість, активність, послідовність, винахідливість, витримка та стриманість, ввічливість, комунікативність, ініціативність, самокритичність, наполегливість тощо.

Крім того, диспетчер ОрПР має володіти здатністю вибирати необхідну інформацію з великого обсягу повідомлень, мати розвинену просторову уяву, що дає змогу правильно уявляти положення літаків у повітряному просторі та

прогнозувати їхнє положення через певний проміжок часу, проявляти креативність у пошуку розв'язання професійних завдань та мати високий рівень розвиненості системного мислення, уваги та пам'яті [107].

Таким чином ми можемо зробити висновок що одним з найважливішим етапом в присвоєнні вище перерахованих якостей являється тренажерна підготовка. Тренажерна підготовка проводиться на диспетчерських тренажерах. Її метою є вдосконалення технології роботи й відпрацювання диспетчерами ОрПР практичних навичок роботи в простих та особливих умовах, конфліктних ситуаціях, особливих випадках в польоті та аварійних ситуаціях. Підготовка може проводитися як на початкових рівнях підготовки, так і при перепідготовці, під час відновлення/підтримання або підвищення кваліфікації диспетчерів ОрПР. Тренажерна підготовка в системі навчання й тренування персоналу ОрПР є незамінним елементом у формуванні навичок, що є необхідними під час управління повітряним рухом, особливо у особливих випадках та аварійних ситуаціях в польоті ПС.

Існує чотири етапи тренажерного навчання (рис. 4.4), що визначаються за допомогою аналізу ситуацій при ОрПР, а також в процесі сприйняття людиною інформації, розуміння та подання її.

Тренування проводяться на базі тренажерних центрів, обладнаних спеціалізованими й комплексними тренажерами, і спрямовані на:

- закріплення й поглиблення знань, отриманих під час первинної підготовки, набутого досвіду на робочому місці та теоретичних знань;
- розвинення емоційної та вольової стійкості при роботі в особливих та екстремальних умовах;
- виявлення помилок у роботі диспетчерів ОрПР та їхнє своєчасне виправлення [108].

Рис. 4.4. Етапи тренажерної підготовки

Тренажери ОрПР можна поділити на три види (рис. 4.5.).

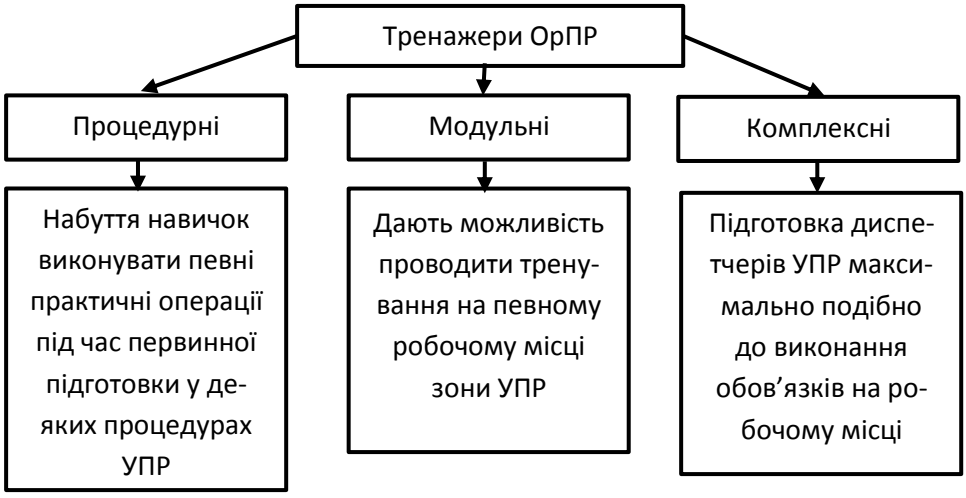


Рис. 4.5. Тренажери ОрПР

Процедурні тренажери – дають можливість набути навичок частково виконувати певні практичні операції під час первинної підготовки у деяких процедурах ОрПР без участі диспетчера-інструктора, користуючись знаннями, набутими на теоретичних заняттях. Процедурні тренажери дозволяють розвивати та набувати навичок лише у окремих процедурах ОрПР.

Також процедурні тренажери можуть бути створені на базі персональним ЕОМ та бути встановленими та використовуватися при первинній підготовці у навчальних закладах, де готують спеціалістів ОрПР.

Модульні тренажери – дають можливість проводити тренування на певному робочому місці зони ОрПР. Ці тренажери надають змогу набути навиків роботи та розвивають професійно важливі якості диспетчерів. На модульному тренажері працюють двоє людей: диспетчер та псевдопілот.

Також процедурні тренажери можуть бути створені на базі персональним ЕОМ і бути встановленими та використовуватися в навчальних закладах та тренажерних центрах служб руху при проведенні практичної підготовки на одному з пунктів ОрПР.

Використовуючи модульні тренажери можливо промоделювати будь-яку з існуючих зон ОрПР, створити будь-яку бажану повітряну обстановку, проводити підготовку на будь-якому рівні складності, в залежності від отриманих чи поставлених завдань

Комплексні тренажери – дозволяють проводити тренажерну підготовку диспетчерів ОрПР у складі диспетчерської зміни максимально подібно до виконання обов'язків на робочому місці, відпрацьовувати групові навички роботи та взаємодію з суміжними секторами чи пунктами ОрПР. Комплексні тренажери встановлюються в навчальних закладах, де їхня експлуатація є набагато економічно ефективнішою, ніж на підприємствах, тому що використання таких тренажерів вимагає наявності придатних приміщень, великої кількості інструкторів, операторів та обслуговуючого персоналу [109].

Навички, що повинні бути сформовані у авіадиспетчера (рис. 4.6), можна поділити на декілька груп [109].

Рис. 4.6. Навички авіаційного диспетчера

Перевірка практичних навичок з ОрПР на ТЦ проводиться на диспетчерському пункті при:

- отриманні кваліфікаційної оцінки;
- подовженні терміну дії посвідчення диспетчера;
- сертифікації;
- підвищенні кваліфікації.

Планові перевірки практичних умінь з ОрПР проводять диспетчери-інструктори і начальники згідно з посадовою інструкцією та технологією роботи диспетчера ОрПР:

- перед допуском до самостійної роботи;
- перед допуском до самостійної роботи на новому диспетчерському пункті й при переході з іншого підприємства;
- при суттєвих змінах операційного середовища або обладнання;
- перед самостійною роботою сформованої зміни;
- при підтвердженні кваліфікації;
- при підвищенні кваліфікації;
- при перерві в роботі один місяць і більше, а також при значних змінах у структурі ПП і технології роботи [110].

4.2.1. Обґрунтування вимог до тренажерів операторів аеронавігаційних систем

Досягти більш високого рівня підготовки можна якщо кожного диспетчера навчати по найбільш пристосованій до нього програмі. Це може значно скоротити тривалість навчання [111].

Процес професійного навчання авіадиспетчерів здійснюється за допомогою сучасних методів і засобів навчання, наприклад тренажерів.

Організація навчання диспетчерів ОрПР за допомогою тренажерів дозволяє індивідуалізувати процес навчання і перевести потік інформації від викладача чи інструктора на навчальну програму/модуль [112].

Існую ряд вимог до тренажерів ОрПР (рис. 4.7), завдяки яким диспетчер може підвищувати свій професійний рівень надійності, а також зменшувати рівень ризиків, що виникають під час виконання ним професійних обов'язків. [113, 114].

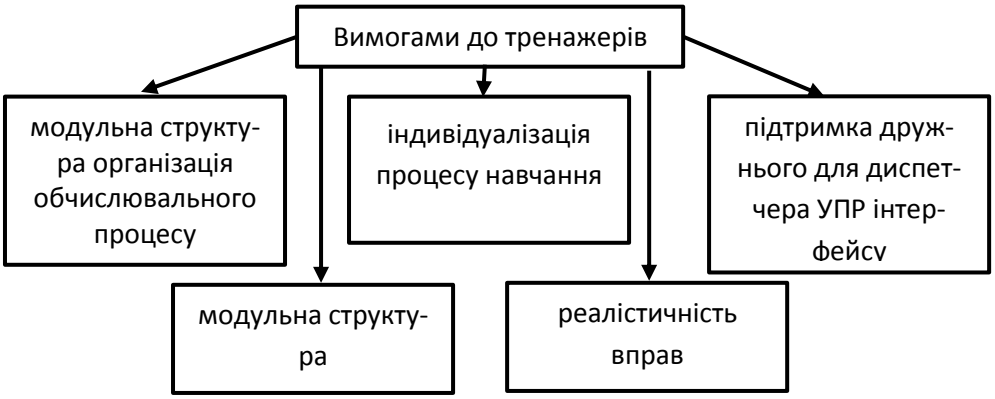


Рис. 4.7. Вимоги до тренажерів для операторів АНС

Головним недоліком тренажерів є те що під час підготовки авіадиспетчера жодний тренажер не має властивостей давати оцінку діям оператора, оцінку ж роботи надає інструктор але на превеликий жаль в даний час об'єктивно дати оцінку виконаній роботі на тренажері не можливо враховуючи людський фактор [119].

4.2.2. Аналіз алгоритмів роботи диспетчера пункту збору донесень щодо організації повітряного руху аеродромно-диспетчерської вишки та побудова еталонних моделей роботи.

Еталонна модель це абстрактне уявлення понять і відносин між ними в деякій проблемної області. На основі еталонної моделі будуються більш конкретні і детально описані моделі, в підсумку втілені в реально існуючі об'єкти і механізми.

Робота диспетчера пункту збору донесень щодо ОрПР аеродромної диспетчерської вишки це виконання переліку основних обов'язкових дій під час виконання ним службових обов'язків (рис. 4.8).

Еталонною моделлю роботи диспетчера пункту збору донесень щодо ОрПР аеродромної диспетчерської вишки являється найшвидша правильна по-

слідовність дій щодо керування повітряним простором в будь якій ситуації за зазначений проміжок часу.

Для формалізації роботи необхідно проаналізувати алгоритми роботи дії диспетчера пункту збору донесень щодо ОрПР аеродромної диспетчерської вишки (Додаток 3-12).

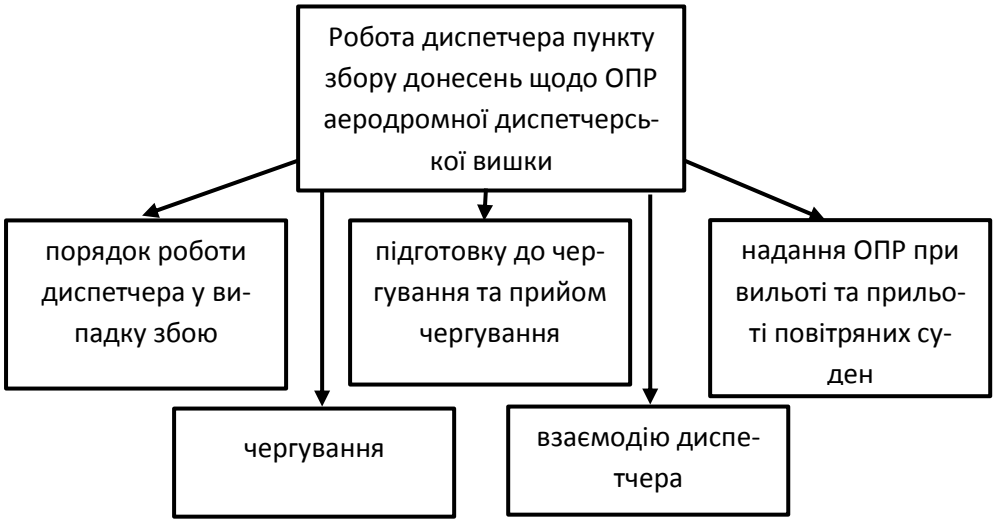


Рис. 4.8. Складові функціонування диспетчера пункту збору донесень щодо ОрПР аеродромної диспетчерської вишки

Під час своєї роботи диспетчера пункту збору донесень щодо ОрПР аеродромної диспетчерської вишки використовує саме такі еталонні моделі в яких описано порядок дій при взаємодії : з органами ОрПР, зі службами аеропорту, з питань надання звітів про інцидент при повітряному русі, з САІ Украероруху, з Євроконтролем щодо заходів ATFM [119].

Провівши аналіз розроблених алгоритмічних моделей, можливо розробити віртуальний план польотів, який відображає певну повітряну обстановку, в якій необхідно виконувати певні процедури обслуговування повітряного руху в зазначений термін часу, що в свою чергу дозволило передати найбільш приближену, до реальної, атмосферу роботи диспетчера з великою завантаженістю повітряного простору.

Завдяки цьому можливо отримувати реальну статистику помилок оператора, що проходить первинну підготовку. Та завдяки їй розраховувати рівень ри-

зику оператора АНС (Рис. 4.9) Така статистика дозволить не тільки отримувати певний портрет конкретного оператора, але й може використовуватися під час прогнозування ризиків пов'язаних з функціонуванням оператора АНС, а саме диспетчера пункту збору донесень щодо ОрПР аеродромної диспетчерської вишки [120].

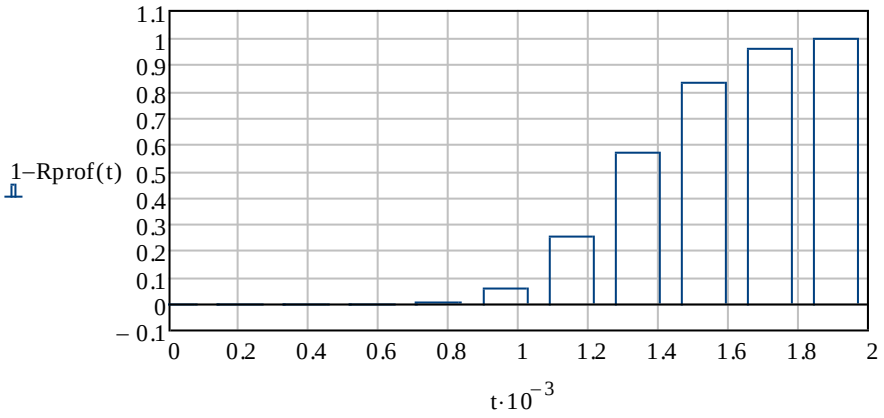


Рис. 4.9. Прогнозований рівень ризику роботи оператора АНС використовуючи ІФМН

4.2.3. Реалізація еталонних моделей роботи диспетчера пункту збору донесень щодо організації повітряного руху аеродромно-диспетчерської вишки в тренажері з модулем оцінювання знань

Застосувавши еталоні моделі роботи диспетчера пункту збору донесень щодо організації повітряного руху аеродромно-диспетчерської вишки, які перераховані вище, розроблено тренажер з модулем оцінювання знань.

Вікно тренажера, яке складається з панелі інструментів, яка в свою чергу складається з 4 вкладок: «новий тест», «обрати мову», «швидкість», «про програму» та таймеру зображена на рис. 4.10.

Розглянемо їх детальніше:

- Вкладка «новий тест» - за допомогою даної вкладки оператор маємо змогу обрати за рівнем складності тест і почати його роботу. За складністю тест має 3 ріні: легкий, середній, високий. Складність тестів відрізняється за кількістю повідомлень та часом між ними.
-

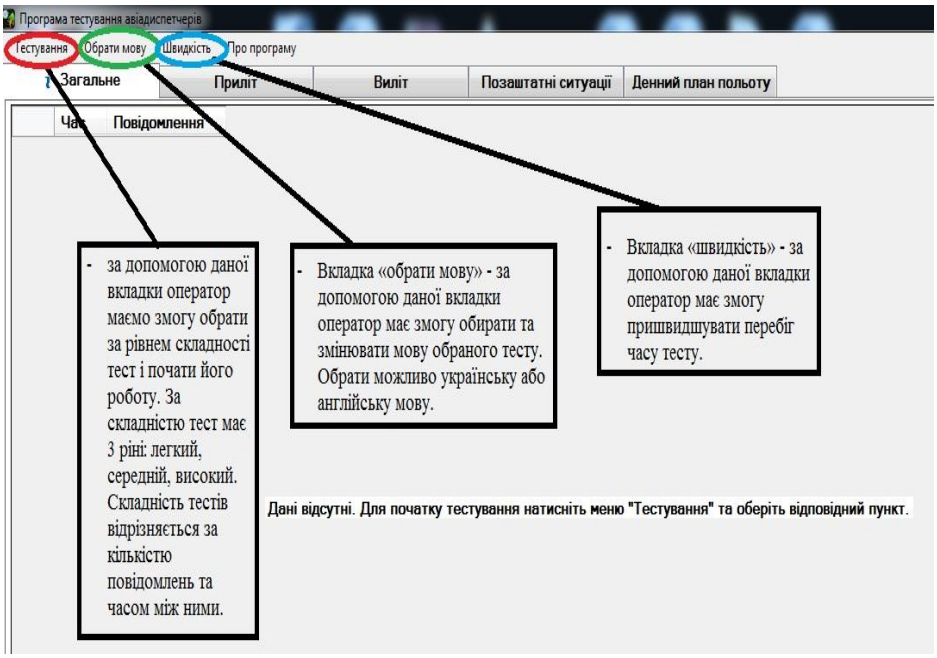


Рис. 4.10. Вигляд та роз’яснення панелі інструментів

- Вкладка «обрати мову» - за допомогою даної вкладки оператор має змогу обирати та змінювати мову обраного тесту. Обрати можливо українську або англійську мову.
- Вкладка «швидкість» - за допомогою даної вкладки оператор має змогу пришвидшувати перебіг часу тесту.
- Вкладка «про програму» - за допомогою даної вкладки оператор має змогу ознайомитись з даними про розробника програми, для чого вона створена.

Обравши рівень тесту перед оператором з’являється вікно з повним переліком завдання та кнопкою «почати тест».

Після натиснення кнопки «почати тест» запускається робота тренажера з модулем оцінки знань. Починається відлік часу і оператор перед собою бачить 5 вкладок: «загальне», «приліт», «виліт», «позаштатні ситуації», «добовий план польоту». Розглянемо ці вкладки детальніше:

- Вкладка «загальне» (рис 4.11) - почавши тест оператор в даній вкладці бачить інформацію щодо кожного рейсу в завданні, таку як час повідомлення, яка дія відбувається з повітряним судном, позивний повітряного судна, аеродром вильоту, аеродром прильоту.

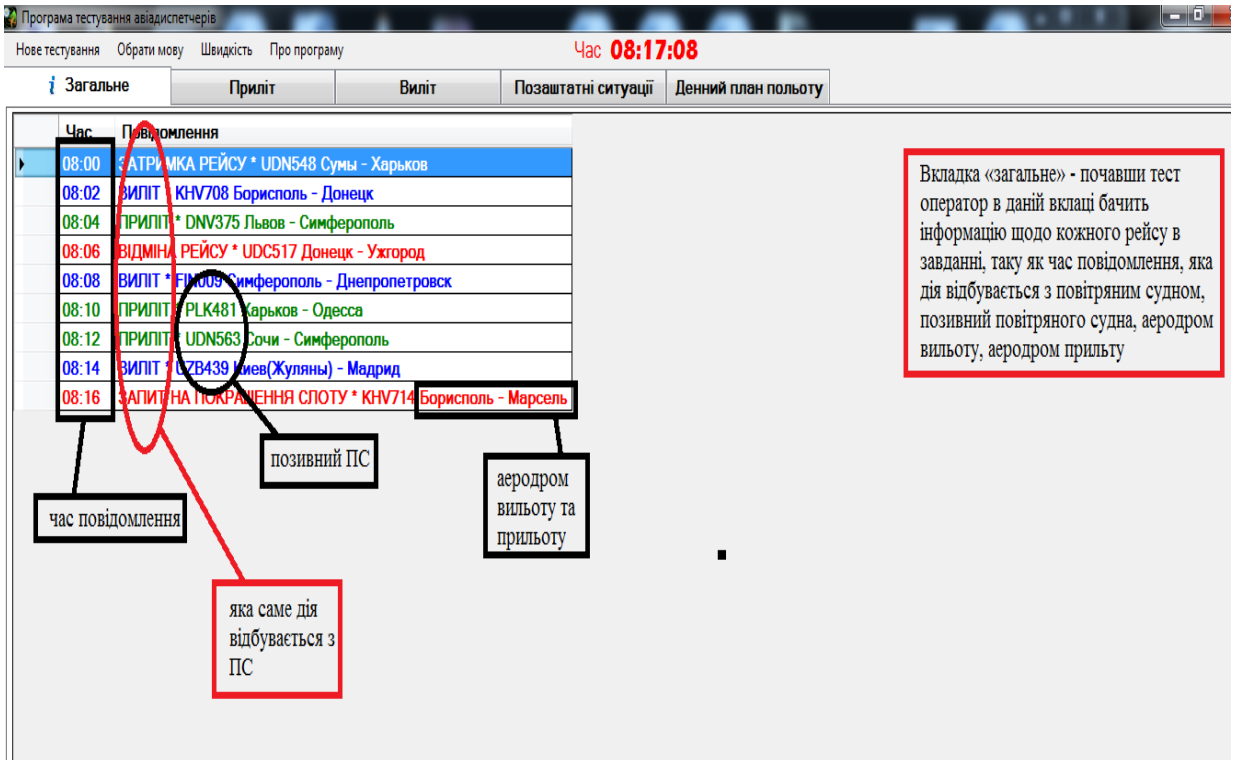


Рис. 4.11. Вигляд та роз’яснення вкладки «загальне»

▪ Вкладка «приліт» (рис.4.12) – побачивши повідомлення щодо прильоту, яке позначається зеленим кольором, повітряного судна у вкладці «загальне», оператор тренажеру має натиснути вкладку «приліт», де він бачить повідомлення щодо прильоту і у верхній частині 2 поля для вводу правильної відповіді.

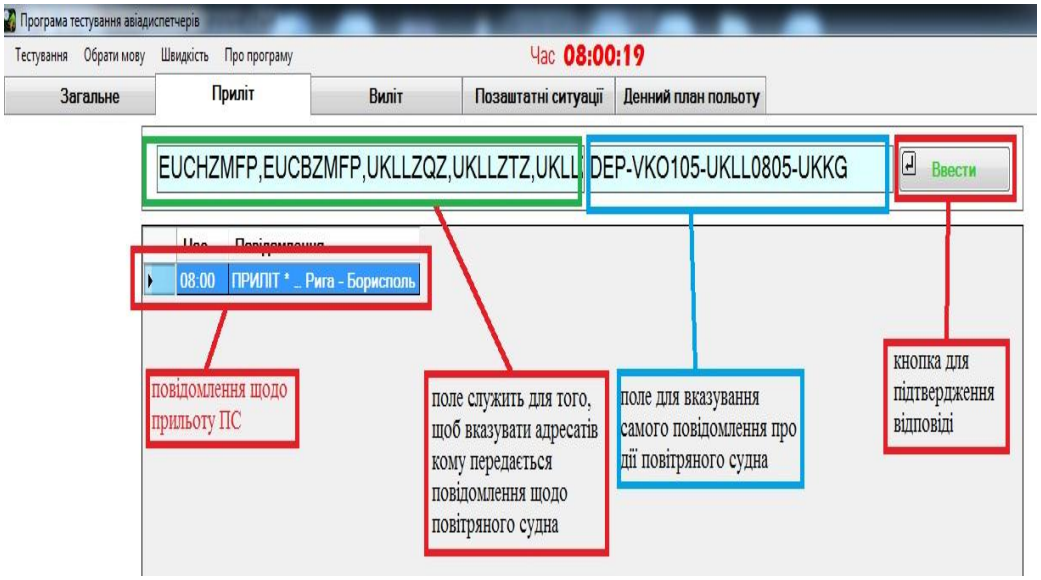


Рис. 4.12. Вигляд та роз’яснення вкладки «приліт»

Перше поле служить для того, щоб вказувати адресатів кому передається повідомлення щодо повітряного судна, друге поле для вказування самого повідомлення про дії повітряного судна. Вказавши адресатів та саме повідомлення оператор має натиснути кнопку ввести і повідомлення зникне.

- Вкладка «виліт» - побачивши повідомлення щодо вильоту, яке позначається синім кольором, повітряного судна у вкладці «загальне», оператор тренажеру має натиснути вкладку «виліт», де він бачить повідомлення щодо вильоту і у верхній частині 2 поля для вводу правильної відповіді. Перше поле служить для того, щоб вказувати адресатів кому передається повідомлення щодо повітряного судна, друге поле для вказування самого повідомлення про дії повітряного судна. Вказавши адресатів та саме повідомлення оператор має натиснути кнопку ввести і повідомлення зникне.

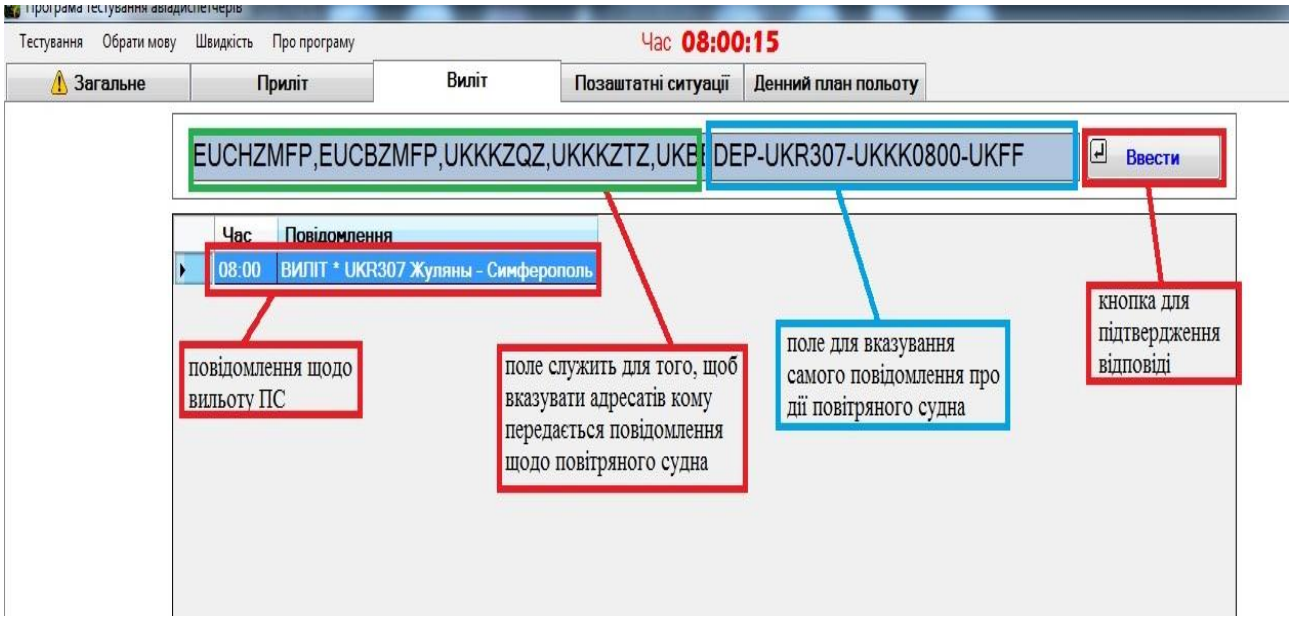


Рис. 4.13. Вигляд та роз’яснення вкладки «виліт»

- Вкладка «позаштатні ситуації» - побачивши повідомлення щодо будь якої операційної процедури, яке позначається червоним кольором, повітряного судна у вкладці «загальне», оператор тренажеру має натиснути вкладку «позаштатні ситуації», де він бачить повідомлення щодо операційної процедури і у верхній частині поле для вводу правильної відповіді. Вказувати необхідно лише по-

відомлення щодо дій повітряного судна. Ввівши відповідь оператору тренажера необхідно натиснути кнопку ввести після чого повідомлення зникне.

▪ Вкладка «добовий план польоту» - натиснувши дану вкладку оператор тренажера має змогу переглянути всі польоти які запрограмовані в завдані.

Варто звернути увагу, що у вкладках де необхідно вводити відповідь треба обирати повідомлення оскільки може скластись ситуація, що за умовою завдання в натиснутій вкладці буде декілька повідомлень. Вибір повідомлення відбувається за допомогою натиснення лівої кнопки миші на обраному повідомленні.

Також слід звернути увагу що програма сповіщає про нове повідомлення блимаючим знаком оклику на вкладці загальне.

Відповідь на дію повітряного судна необхідно надати не пізніше ніж за 5 хвилин з його появи, в інакшому випадку повідомлення у відповідній вкладці зникне і зарахується як неправильна відповідь.

Оцінювання відбувається чином підсумовування правильних відповідей.

Правильною відповіддю вважається:

-для легкого рівня складності – перечислення та правильне написання всіх адресатів та повідомлень за 5 хв. після появи повідомлення.

- для середнього рівня складності - перечислення та правильне написання всіх адресатів та повідомлень за 4 хв. 30 сек. оцінка відмінно; за 5 хв. оцінка добре після появи повідомлення.

- для високого рівня складності - перечислення та правильне написання всіх адресатів та повідомлень за 4 хв. 30 сек. оцінка відмінно; за 5 хв. оцінка добре після появи повідомлення.

Після відповіді на останнє повідомлення щодо дії повітряного судна або після закінчення часу завдання тренажер дає оцінку діям оператора: незадовільно, добре або відмінно.

4.3. Порівняння тренажерів першого та другого поколінь

Завдання підвищення ролі тренажерної підготовки та вдосконалення методики навчання операторів АНС діям в особливих випадках польоту потребує проведення процесу тренувань льотного складу на комплексних тренажера літака (КТЛ), а авіаційних диспетчерів за допомогою процедурних та інших видів тренажерів. У ході робіти були виділені критичні процеси діяльності інструкторського складу на тренажерах, розроблена методика атестації центрального пульта інструктора (ЦПІ). Слід зазначити, що останні десятиліття вони зазнали певного розвитку (рис 4.14), який в багатьох випадках пов'язано з вдосконаленням рівня цифрової техніки та заміщення нею аналогової.

Необхідно відзначити, що в даний час тренажери експлуатаційних підрозділів цивільної авіації розглядаються як контрольно-тренувальні засоби, в той час як вже назріла необхідність перетворення їх у навчально-тренувальні засоби, засоби антистресової підготовки, а не перевірки навичок дій в особливих випадках польоту .

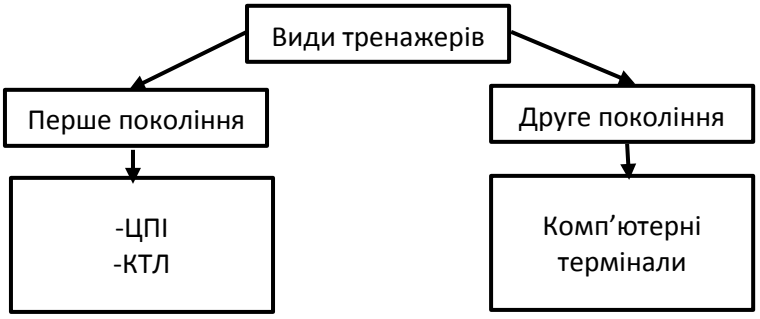


Рис. 4.14. Види тренажерів в залежності від покоління

Процес тренування КТЛ організаційно розбитий на 3 етапи:

- перед польотна підготовка (перевірка знань, настанови з виробництва польотів НВП, керівництво льотної експлуатації (КЛЕ) та інших керівних документів цивільної авіації);

- власне тренування на КТЛ;

- після польотний розбір (видача зауважень і рекомендацій, виставлення оцінок).

Напевно, що тренування на КТЛ є для інструктора сукупністю складних процесів, таких як: управління умовами польоту, введення відмов (чинників), контроль дії екіпажу, реєстрація помилок і т. ін. При цьому всі названі процеси протікають практично одночасно і виконуються інструктором при взаємодії з ЦПІ.

Конструктивно ЦПІ являє собою панель, на якій розміщені окремі пульти управління, системами тренажера, введенням відмов, умови польоту тощо

Зовнішній вигляд ЦПІ та розміщення на ньому окремих пультів показано на рисунку. Необхідно відзначити, що з двадцяти пультів ЦПІ 9 не використовуються в процесі тренувань. Це пульти 6, 8, 10, 15, 16, 19-22.

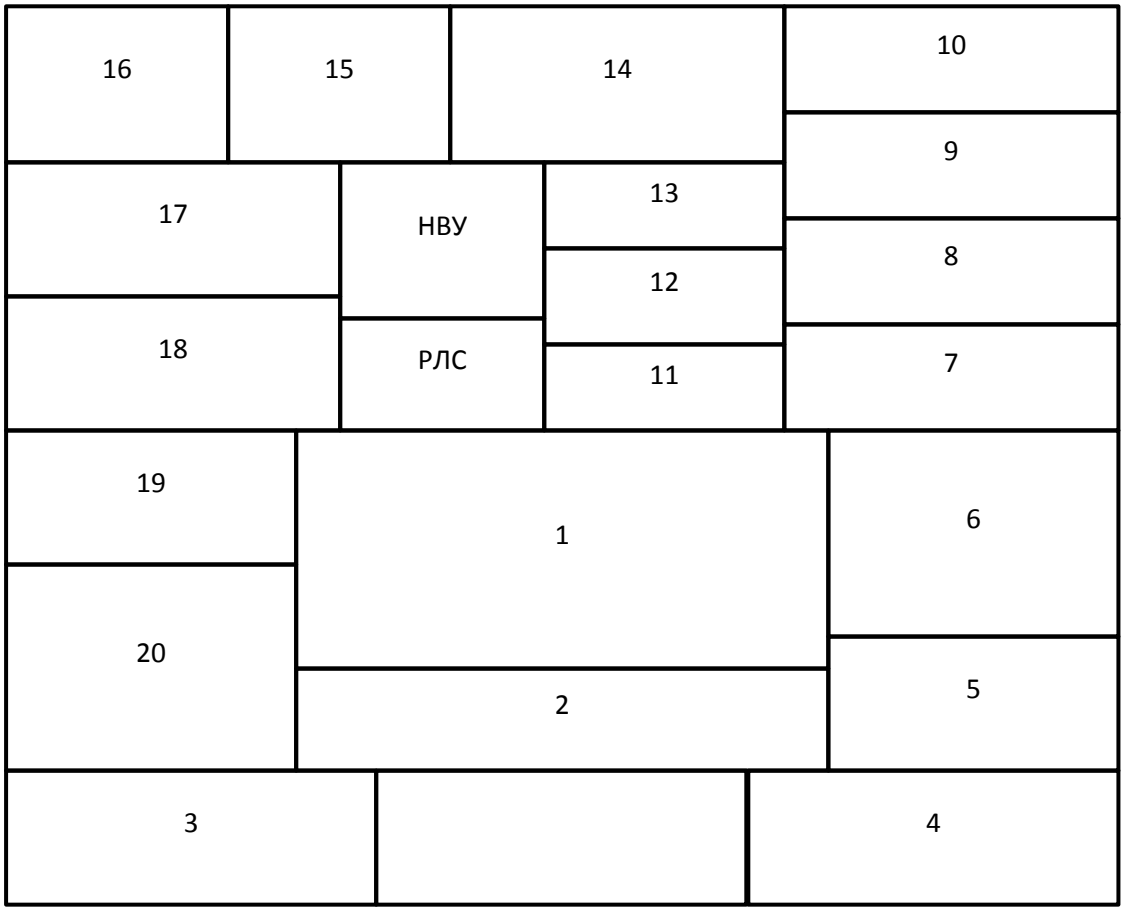


Рис. 4.15. Розміщення пультів на ЦПІ

Критичність процесу введення відмов і контролю діяльності екіпажу в польоті підтвердилася і при зборі зауважень інструкторського складу, і за обліком доробок ЦПІ. Основні зауваження по пульту 1 (пульт-аналог) - це відмін-

ність у розміщенні приладів в порівнянні з дошкою приладів авіаційного операторааі відсутність оперативних засобів об'єктивного контролю (ЗОК), які вже в процесі тренування дозволяли б оцінювати як помилки екіпажу так і зміни в якості пілотування.

Завдяки ЦПІ була отримана статистика помилок операторів під час процесу виконання заходу на посадку по каробочці.

Тренажери авіаційного диспетчера другого покоління

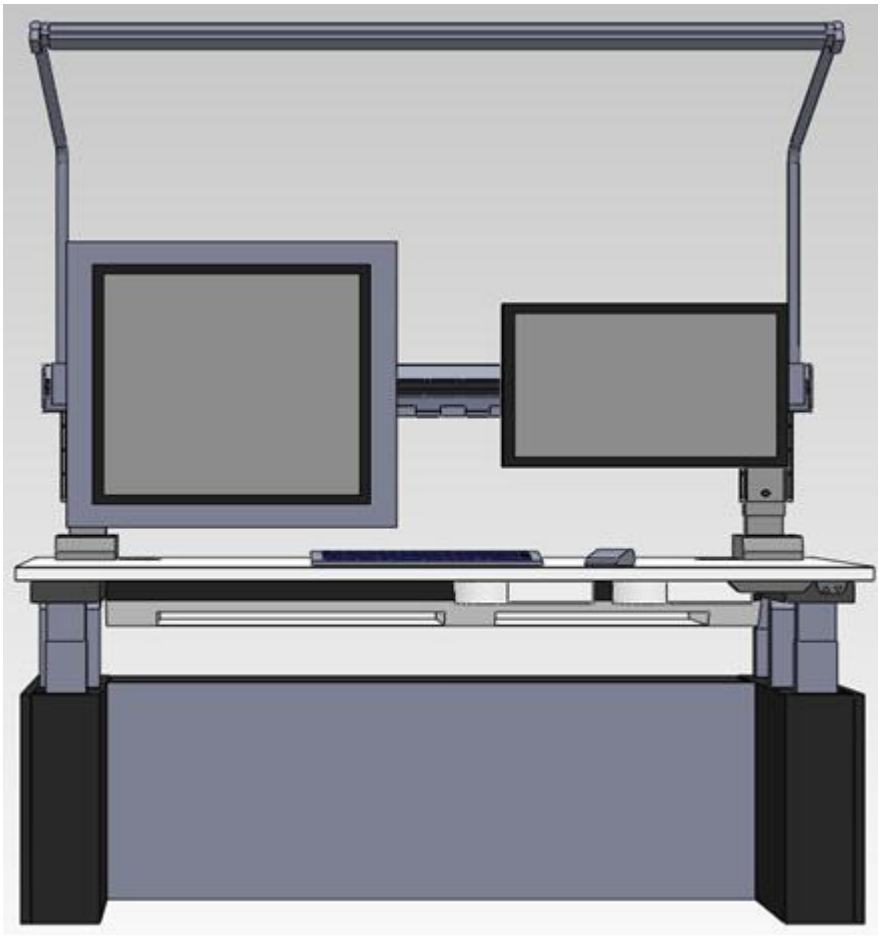


Рис. 4.16. Загальний вигляд тренажеру оператора АНС

Основним нормативним документом України, який регламентує вимоги до робочого місця оператора АНС, є НПАОП 0.00-1.31-99 [122]. Хоча даний стандарт актуалізувався в 2010 році, в ньому міститься безліч застарілих норм, а багато аспектів організації робочого місця не висвітлені зовсім. Можна розділити вимоги до робочого місця оператора АНС на декілька категорій:

- ергономіка робочого місця;

● вимога до виробничому середовищі: рівню освітленості, шуму, вібрації, електромагнітного випромінювання, мікроклімату;

● вимоги до влаштування візуального відображення інформації (дисплеям);

● вимоги до пристроїв введення (клавіатур , мишам);

● вимоги до периферійних пристроїв (принтери, сканери, аудіо обладнання та інше). З усіх категорій, тільки вимоги, які стосуються виробничого середовищі, можна вважати нестаріючими, всі інші в більшій чи меншій мірі висвітлені в основному стандарті, але більша їх частина вимагає доопрацювань і уточнень.

Рис. 4.17 Робочі місця операторів АНС, що проходять первинну підготовку

4.4. Антистресова підготовка за допомогою комплексу «Антипульт» як спосіб підвищення надійності оператора АНС

В період 2007-2010 років на кафедрі авіоніки Національного авіаційного університету здобувачем у співавторстві було проведено комплекс досліджень з визначення оптимального способу антистресової підготовки та оцінки працездатності авіадиспетчерів з використанням програм ІСАО з безпеки польотів.

На основі досліджень зроблено висновок про необхідність запровадження та подальшого розвитку системи антипультів, що на сучасному етапі розвитку передбачають комплексне дослідження працездатності диспетчерів і авіаційних операторів та проведення їх антистресової підготовки .

Антипультом називають технічний пристрій, принцип роботи якого є протилежним принципу роботи звичайного пульта (рис 4.18).

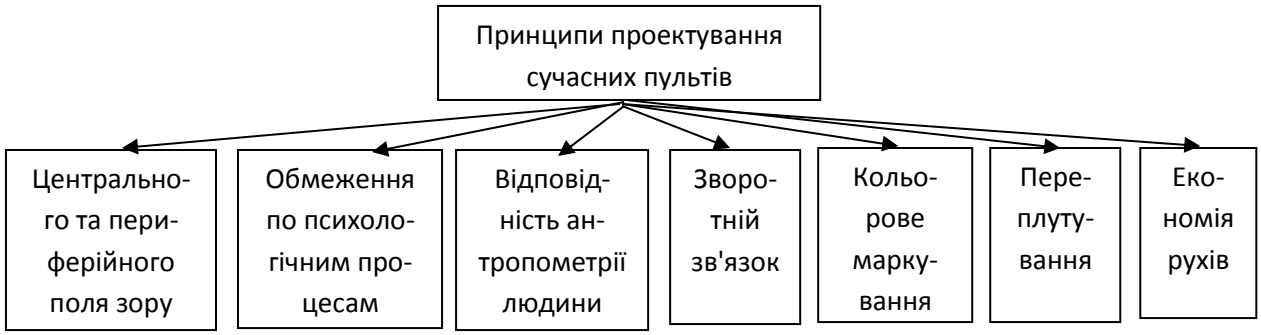


Рис. 4.18. Принципи проектування сучасних пультів

Перші системи антипультів почали розвиватися ще на початку 1970-х років. На той час цей напрям передував у військовій сфері, де були створені тренажери для операторів протиповітряної оборони. З часом цей напрямок розвивався, змінювалися антипульти та їх конфігурації, застосування. На даний момент сучасний антипульт майже не відрізняється від звичайної комп'ютерної клавіатури чи пультів керування операторів та диспетчерів (рис 4.19) [117].

Рис 4.19 Клавіатура на робочому місці диспетчера радіолокаційного керування. Московський центр керування повітряним рухом

4.5. Комплекс «Антипульт»

Технічним завданням комплексу є підвищення рівня безпеки польотів за рахунок кращої підготовленості авіаційних операторів і авіадиспетчерів та оцінки їхньої працездатності при комплексних відмовах авіоніки за допомогою уніфікованого, дешевого комп'ютерного забезпечення [118].

Програмний комплекс «Антпульт» (рис 4.20) ґрунтується на виникненні збою програмного забезпечення в авіоніці літака в процесі роботи оператора АНС (авіаційного оператора, авіадиспетчера), та реалізуються за допомогою зміни послідовності клавіш пульту.

Запропонований комплекс «Антипульт» дозволяє не тільки оцінити реакцію операторів АНС та зібрати статистику його помилок під час роботи з пультами другого покоління, але й виявити найбільш слабкі місця в його професійній підготовці.

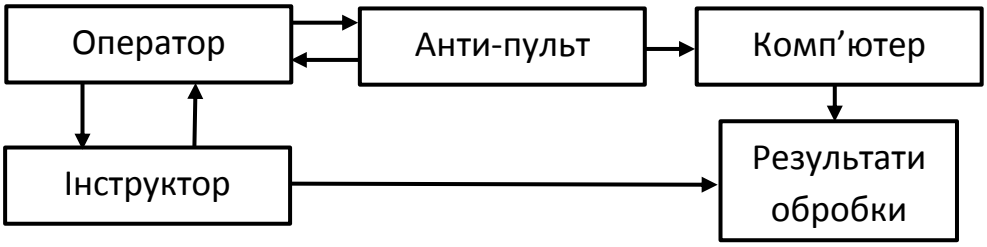


Рис. 4.20. Структурна схема приладу моделювання помилок оператора на основі антипульта клавіатури комп'ютера

Для реалізації вищезазначеного комплексу була створена програма, яка працює спільно з інтерфейсом комп'ютера. Суть її полягає в наступному: через певні проміжки часу на екрані з'являються символи, букви або цифри. За відведену відрізок часу людина повинна встигнути натиснути потрібну клавішу на клавіатурі, слід звернути увагу на те, що клавіші там поміняні місцями, що дозволяє ламати усталені помилки.

Розроблена комп'ютерна програма, в середовищі C ++ (рис. 4.21), розрахована на перевірку правильності натиснення клавіш і оцінювання загальної кількості символів. Клавіатура розділена на кілька ділянок (букви, цифри, ряд F і т.д).

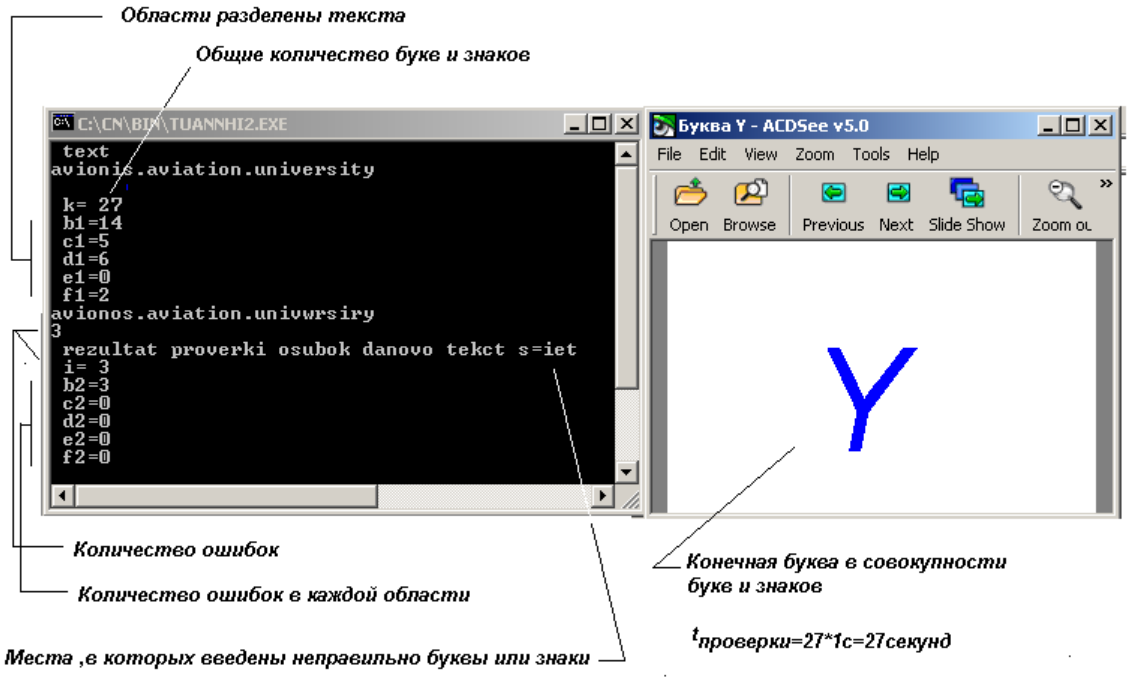


Рис. 4.21. Програмна реалізація для комплексу «Антипульт»

Час перевірки $t_{перев}$ визначається розрахунком добутком кількостей (букв і знаків) на крок часу.

$t_{\text{перев}} = n \cdot t_{\text{крок}}$

де n - кількостей (букв і знаків), $t_{крок}$ - крок часу

Наприклад n = 180 (букв і знаків); $t_{крок}$ = 1000 millisecond (1s) тоді $t_{перев}$ = 180 секунд або 3 хв.

Алгоритм комплексу можливо описати наступним чином:

1. Вводимо сукупність букв і знаків, і поділяємо їх на кілька областей, наприклад:

char a1 [10] = {'q', 'w', 'e', 'r', 't', 'y', 'u', 'i', 'o', 'p'},

a2 [9] = {'a', 's', 'd', 'f', 'g', 'h', 'j', 'k', 'l'},

a3 [7] = {'z', 'x', 'c', 'v', 'b', 'n', 'm'},

a4 [10] = {'1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9', '0'},

a5 [9] = {'-', '=', '/', '[', ']', ';', ',', '.', '/'};

2. Вводимо текст (послідовність якого відповідає послідовності появи на екрані в середовищі ACDSee символів).

3. Процес перевірки (за замовчуванням) кількостей букв і знаків у кожній області.

4. Процес прийняття символів (букв і знаків) натиснутих оператором.

5. Розрахунок програмою кількості букв або знаків, які натиснуті правильно чи неправильно в кожній області.

6. Виведення на екран даної програми результатів перевірки.

За результатами перевірки можна оцінювати:

-де, в якій області клавіатури комплексу «Анти-пульт», оператор АНС допустив найбільшу кількість помилок;

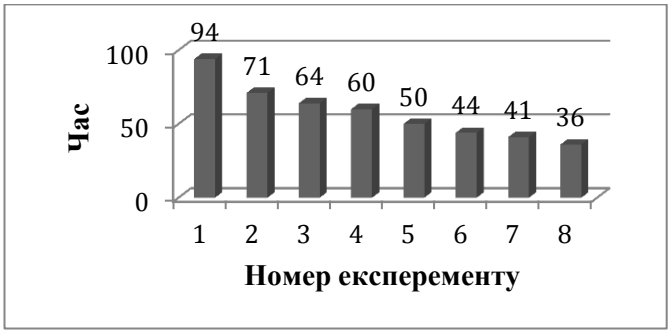
-точність або швидкодія в різних інтервалах часу, так само вплив світловідображення на ефективності дії

- поведінку оператора АНС в незвичних для нього умовах.

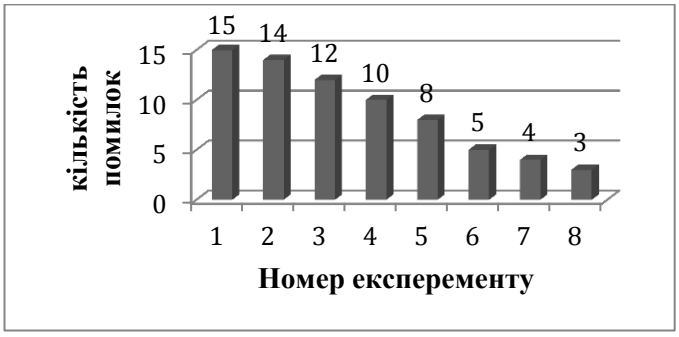
В результаті виконання програми, після збору статистичних даних по конкретному оператору або по групі операторів отримують графіки залежності кількості помилок та витраченого часу від номера експерименту (рис 4.22).

На основі отриманого графіку можна зробити висновок, що при проходженні оператором тесту вперше він використав велику кількість часу, а саме більше 1,5 хв. Протягом восьми наступних тестів у оператора вироблявся певний динамічний стереотип та пристосованість до нових умов роботи. Кількість часу на виконання тесту зменшувалося і на восьмому тесті час становив всього 37 с.

Отже, в результаті експерименту отримали експоненціальну залежність, згідно з якою можна зробити висновок про придатність оператора. Так, наприклад, у випадку лінійної залежності можна стверджувати про непрацездатний стан оператора, непристосованість до складних умов праці, відсутність антистресової підготовки та неможливість зміни динамічного стереотипу.



а)



б)

Рис. 4.22. а) Залежність використаного часу оператором від номеру експерименту; б) Залежність кількості помилок допущених кожного з групи операторів

При оцінці групи операторів на кількість допущених помилок можна отримати групову залежність (див. табл. 4.2).

В цьому експерименті брали участь вісім незалежних операторів. Вигляд отриманого графіку може мати будь-який характер (лінійний, експоненціальний, гілка гіперболи). В даному випадку було отримано експоненціальний графік, згідно з яким можна зробити висновок про високу працездатність, придатність та пристосованість до складних умов праці восьмого оператора, оскільки при стресовій ситуації в складних умовах він припустився всього трьох помилок, у той час як інші оператори допустили значно більшу кількість помилок (перший оператор припустився 15 помилок з 16 можливих комбінацій) [116].

Загальний вигляд комплексу «Анти пульт» можливо представити наступним чином (рис 4.23)

Рис. 4.23. Структурна схема комплексного методу оцінки функціональної надійності оператора АНС з урахування комплексу «Антипульт»

4.6. Обробка статистики помилок оператора АНС

На жаль, у ряді випадків при обробці статистики помилок операторів виникає проблема пов'язана з розбіжністю між теоретичної кривої $f(t)$ і гістограмою $f^*(\Delta t, t)$. Ці розбіжності можуть носити як випадковий характер та і бути пов'язаними з обмеженим числом спостережень. Але так само проблема може полягати в тому, що підібрана крива погано вирівнює отриманий статистичний розподіл.

Таблиця 4.2

Статистика помилок операторів, що проходять первинне навчання в залежності від часу

ПІБ	10	20	30	40	50	60
СОС	1	0	2	0	2	1
ТАВ	3	0	1	2	0	4
ПОВ	4	2	2	0	4	4
ППР	1	3	3	2	0	2
ШОГ	4	0	1	2	3	0
БДО	3	2	1	3	0	4
ХДВ	3	0	2	1	5	5
САГ	0	0	1	3	4	0
ГВМ	2	0	1	5	2	1
СЕГ	4	0	3	2	1	5
ТСЕ	2	1	0	5	1	3
РВТ	2	1	3	0	4	1
ТОО	3	0	1	4	2	5
ПАО	5	0	3	4	1	2
КГБ	3	0	2	3	0	1
МОД	1	2	0	0	2	0
ЧПЛ	2	3	3	2	0	3
СОГ	0	3	5	0	0	4
МДЄ	2	0	3	1	4	3
ГСА	0	0	3	2	1	0
ПЯО	5	2	0	1	2	0
МЯО	0	1	3	2	0	3
КОД	1	2	3	0	3	1
БАГ	3	0	0	1	2	2

Для того, щоб визначити наскільки теоретична крива $f(t)$ підходить для обробки гістограми $f^*(\Delta t, t)$ використовується критерій згоди.

Рішення завдання вирівнювання статистичного ряду передбачає вибір теоретичного розподілу $f(t)$, тобто математичної моделі розподілу помилок, який найкращим чином описує експлуатаційну статистику по помилках.

Теоретичний розподіл $f(t)$ вибирають на підставі аналізу закономірностей протікання фізичних процесів, що призводять до помилок і розглядаються як випадкові процеси, і відповідно до зовнішнім виглядом гістограм щільності розподілу ймовірностей помилок $f(\Delta t,t)$ і інтенсивностей помилок $\lambda(\Delta t,t)$, отриманих в результаті обробки наявних статистичних даних по помилках різних елементів, виробів і систем .

Функція $\lambda(t)$ отримала назву «інтенсивність помилок», є одним з найважливіших критеріїв при виборі теоретичної моделі розподілу наробітку до помилки.

Проаналізуємо інформаційні можливості різних функцій найбільш часто використовуваних в якості моделей помилок як строго імовірнісних, так і ймовірносно-фізичних розподілів.

Функції $R(t)$ та $F(t)$, що представляють собою інтегральні характеристики від щільності розподілу, для будь-яких законів розподілу наробітку до помилки монотонні, що включає особливості різних законів розподілу (додаток 1).

Щільність розподілу наробітку $f(t)$ до помилки характеризує різні властивості розподілу (розташування області можливих значень на осі часу, наявність і розташування найбільш ймовірних значень, ступінь розсіювання, симетричність та інші). Саме завдяки цим якостям функція $f(t)$ найчастіше використовується при графічному представленні того чи іншого закону розподілу. При виборі передбачуваної моделі розподілу помилок (або конкуруючих моделей) за зовнішнім виглядом гістограми щільності $f(\Delta t,t)$ (див. рис 4.23) теоретичні криві моделей щільності розподілу наробітку до відмови доцільно представляти у вигляді гістограми щільності розподілу помилок вихідної статистики.

Розглянемо статистику помилок оператора отриману завдяки ЦПІ на етапі заходу на посадку. Вихідні дані, відповідні вхідний статистиці, представимо у символах MathCAD в такому вигляді:

експлуатаційна статистика помилок оператора (статистичний ряд) представлена наступними параметрами:

- число інтервалів $K := 30$
- довжина інтервалу $\Delta t := 40$ сек
- середина першого інтервалу $\tau s_1 := 20$ сек
- число помилок в інтервалах

$$n := (1\ \ 18\ \ 30\ \ 44\ \ 40\ \ 34\ \ 29\ \ 22\ \ 20\ \ 17\ \ 14\ \ 13\ \ 11\ \ 10\ \ 8\ \ 7\ \ 7\ \ 6\ \ 4\ \ 3\ \ 3\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ \ 1\ \ 1)^T$$

Теоретичні криві моделей щільності розподілу наробітку до помилки оператора АНС доцільно представити на тлі гістограми щільності розподілу помилок оператора вихідної статистики . Для цього:

Транспонуємо вектор відмов $n_n := n^T$

Знайдемо межі інтервалів гістограми $int_k := 0..K \quad int_k := \frac{\tau s_1}{2} + \Delta t \cdot k$

Визначимо сумарне число помилок по вихідної статистиці

$$\Sigma n := \sum_{k=0}^{K-1} n_k = 347$$

Обчислимо щільність ймовірності помилки оператора $f := \frac{n}{\Sigma n \cdot \Delta t}$

Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ являє собою узагальнену характеристику розподілу, несучу інформацію відразу про дві функції $f(t)$ і $F(t)$. Тому $\lambda(t)$ є найбільш виразною характеристикою закону розподілу. Закономірності функції $\lambda(t)$ істотно відрізняються у ряді законів розподілу, хоча останні мають порівняно схожі функції $f(t)$ і $F(t)$.

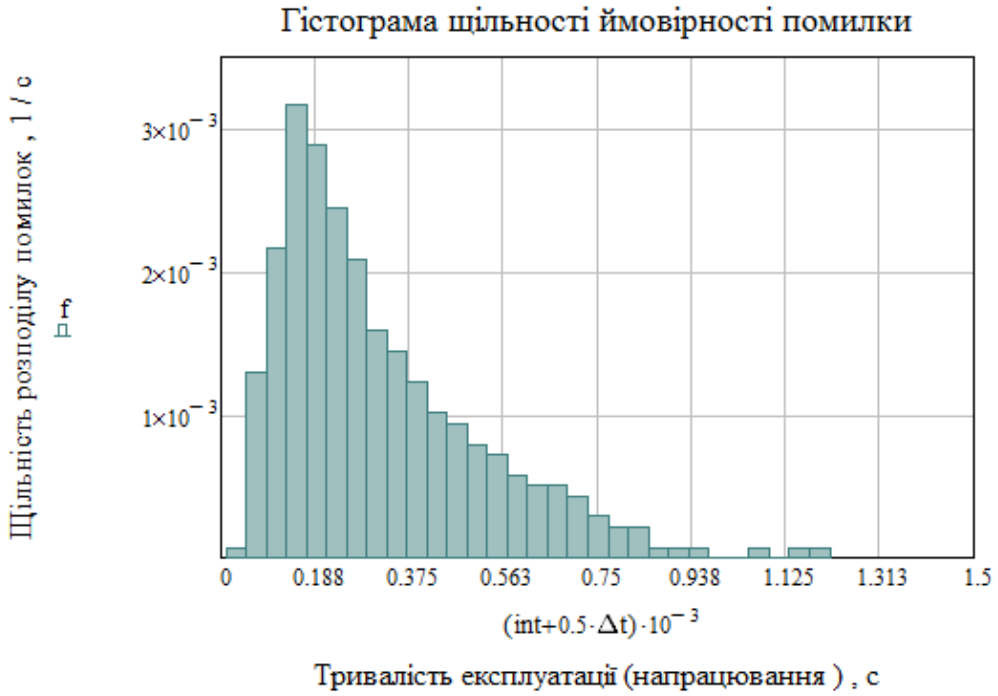


Рис. 4.24 Щільність розподілу помилок оператора АНС

Так, для найбільш поширених розподілів наробітку до відмови (розподіл Вейбула, дифузійних і логарифмічно нормального) криві густин розподілу $f(t)$ є асиметричними, зовні дуже схожими, але поведінка інтенсивностей відмов на «кінцях» самих функцій розподілу, тобто в асимптоті (при $t \to \infty$) істотно різна. Так, графіки щільностей дифузійних (*DM* і *DN*), Вейбула (*W*), логарифмічно нормального (*LN*) розподілів не мають помітного розходження, проте асимптотичну поведінку інтенсивностей відмов цих законом розподілу істотно різна:

- інтенсивність відмов розподілу Вейбулла (при b> 1) в асимптоті прагнути до нескінченності;

- інтенсивність відмов логарифмічно нормального розподілу прагнути до нуля;

-інтенсивність відмов дифузійних розподілів в асимптоті прагнути до деякої константи, яка визначається через параметри цих розподілів.

Таким чином, функція $\lambda(t)$ є одним з найважливіших критеріїв при виборі теоретичної моделі розподілу наробітку до помилки.

При виборі передбачуваної моделі розподілу помилок за зовнішнім виглядом гістограми $\lambda(\Delta t,t)$ теоретичні криві доцільно представляти на тлі гістограми інтенсивності відмов вихідної статистики.

Побудова гістограми інтенсивності помилок (рис 4.25) здійснюється у середовищі MathCAD наступним чином.

число помилок, помилок в інтервалах Δt n := f·(Σn ·Δt) Nt 1 := Σn

число помилок Nt_k, що не відбулися до початку k -го інтервалу:

$$\lambda := \left| \begin{array}{l} \text{for } k \in 1..K \\ \quad \lambda_k \leftarrow \dfrac{n_k}{Nt_k \cdot \Delta t} \\ \text{return } \lambda \end{array} \right. \qquad Nt := \left| \begin{array}{l} \text{for } k \in 2..K \\ \quad Nt_k \leftarrow Nt_{k-1} - n_{k-1} \\ \text{return } Nt \end{array} \right.$$

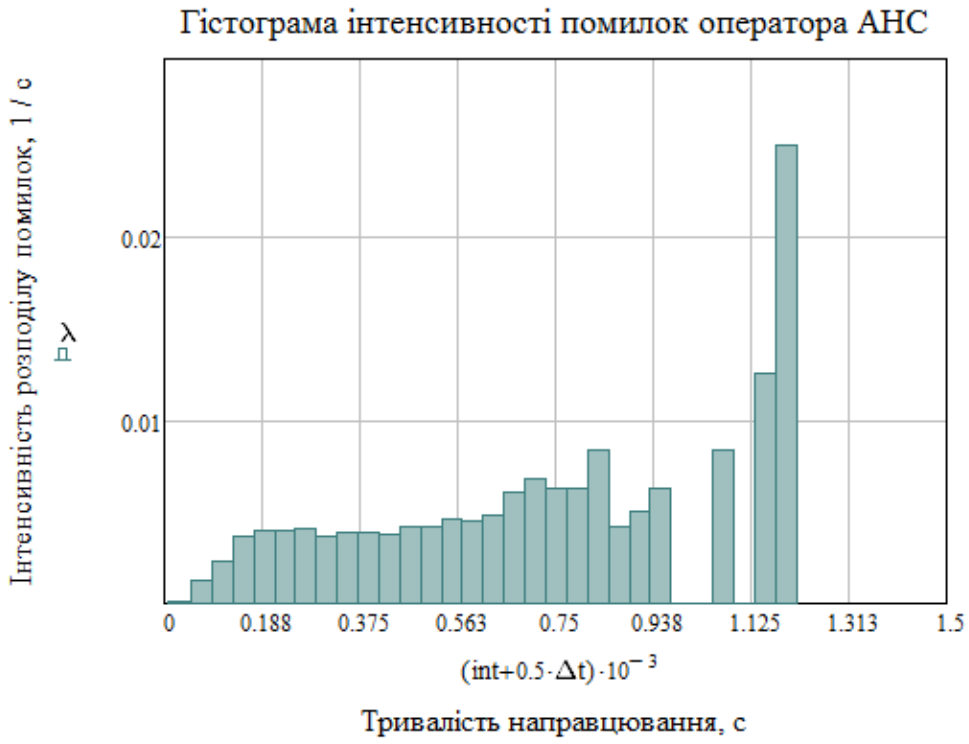


Рис. 4.25 Інтенсивність розподілу помилок оператора АНС

Отримаємо оцінку дисперсії вихідної статистики оператора АНС:

$$D := \frac{1}{\Sigma n} \cdot \sum_{k=1}^{K} \left[\left(\tau s_k - To \right)^2 \cdot n_{k-1} \right] = 4.202 \times 10^4 \text{ сек}^{2.}$$

Отримаємо оцінку коефіцієнта варіації напрацювання до помилки вихідної статистики:

$$\nu := \frac{\sqrt{D}}{T\hat{i}} = 0.666 \quad .$$

Функції інтенсивності $\lambda(t)$ і щільності розподілу помилок $f(t)$ оператора АНС у середовищі MathCAD будуємо наступним чином:

Побудуємо графіки інтенсивності помилок і визначимо властивості цього показника безпомилковості з урахуванням статистичних параметрів вихідного розподілу помилок по інтервалах.

тривалість напрацювання $t := 10, 20 .. 40 \cdot 10^3$ To=307.608 υ=0.666

Оцінки параметрів масштабу та форми для LN, EXP, W, DM, DN моделей наведено на рис 4.27-4.31 відповідно.

Параметри логарифмічно нормальної моделі

Орієнтири $\mu ln := 10 \quad \sigma ln := 0.80$

Given

$$\exp\left(\mu ln + \frac{\sigma ln^2}{2}\right) - To = 0 \qquad \sqrt{\exp\left(\sigma ln^2\right) - 1} - \nu = 0$$

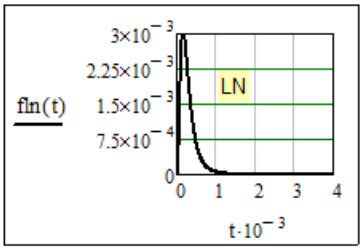
$$Find(\mu ln, \sigma ln) = \begin{pmatrix} 5.545 \\ 0.606 \end{pmatrix}$$

Оцінки параметрів LN-моделі:

$\mu := 5.545 \quad \sigma := 0.606$

$$\lambda ln(t) := \left(cnorm\left(\frac{\mu - \ln(t)}{\sigma}\right) \cdot t \cdot \nu \cdot \sqrt{2\pi}\right)^{-1} \cdot \exp\left[-\frac{(\mu - \ln(t))^2}{2 \cdot \sigma^2}\right]$$

$$fln(t) := \frac{1}{t \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{\left[(\mu - \ln(t))^2\right]}{2 \cdot \sigma^2}\right]$$



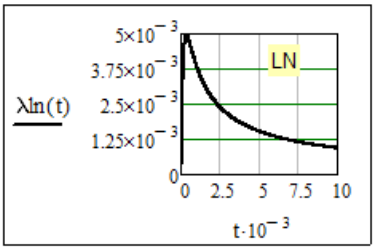


Рис. 4.26 Оцінка параметрів масштабу та форми логарифмічно-нормальної моделі

Оцінка парметру масштабу експоненційної моделі

Функція λ(t)

Щільність f(t)

$$\lambda := \frac{1}{To} = 3.251 \times 10^{-3} \quad сек^{-1}$$

$$\lambda exp(t) := \lambda \qquad fexp(t) := \lambda \cdot exp(-\lambda \cdot t)$$

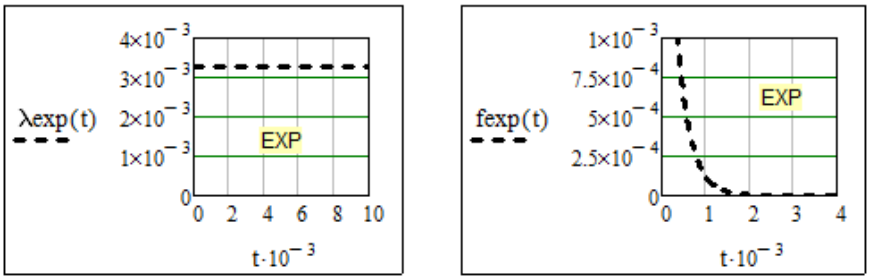


Рис. 4.27 Оцінка параметру масштабу експоненціальної моделі

Оцінки параметрів моделі **Вейбулла**

Given

Оріентир $aw := 5000 \quad bw := 1.0$

$$To = aw \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{bw}\right) \qquad \nu = \frac{\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{bw}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{bw}\right)\right)^2\right]^{1\div 2}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{bw}\right)}$$

Оцінкипараметрівмоделі **Вейбулла** $a := 341.5527 \quad b := 1.5307$

Щільність $fw(t) := \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \cdot exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^{b}\right]$ $\quad Find(aw, bw) = \begin{pmatrix} 341.5527 \\ 1.5307 \end{pmatrix}$

$$\lambda w(t) := \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1}$$

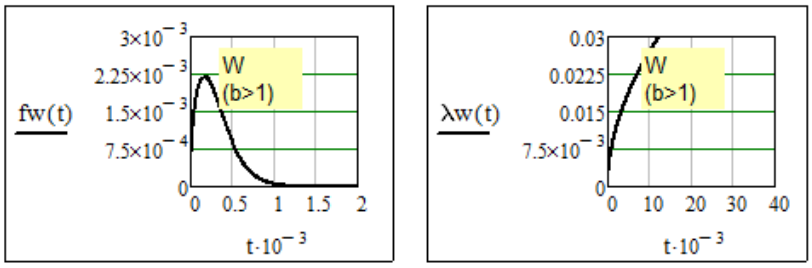


Рис. 4.28 Оцінка параметрів масштабу та форми моделі Вейбула

Оцінки параметров дифузійної монотонної (DM) моделі

Given орієнтир $\mu dm := 321$ $\nu dm := 0.70$ $To = 307.608$ $\nu = 0.666$

$$To = \mu dm \cdot \left(1 + 0.5 \cdot \nu dm^2\right) \qquad \nu = \frac{\nu dm \cdot \sqrt{1 + 1.25 \cdot \nu dm^2}}{1 + 0.5 \cdot \nu dm^2}$$

$$Find(\mu dm, \nu dm) = \begin{pmatrix} 253.553 \\ 0.653 \end{pmatrix}$$

Оцінки параметрів: $\mu' := 253.553$ $\nu' := 0.653$

Щільність DM-розподілу

$$fdm(t) := \frac{\mu' + t}{2 \cdot \nu' \cdot t \cdot \sqrt{2\pi \cdot \mu' \cdot t}} \cdot \exp\left[-\frac{(\mu' - t)^2}{2 \cdot \nu'^2 \cdot \mu' \cdot t}\right] \qquad \lambda dm(t) := fdm(t) \cdot cnorm\left(\frac{\mu' - t}{\nu' \cdot \sqrt{\mu' \cdot t}}\right)^{-1}$$

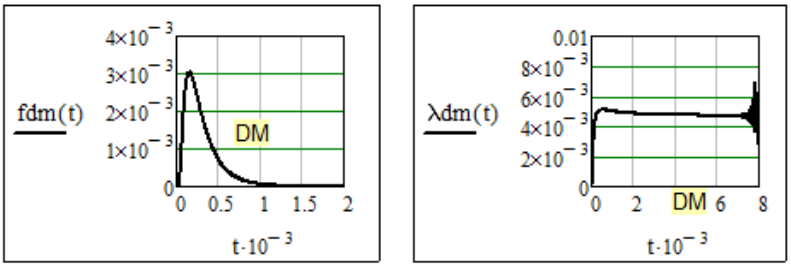


Рис. 4.29. Оцінка параметрів масштабу та форми DM моделі

Оцінки параметрів дифузійної немонотонної (DN) моделі $To = 307.608$ $\nu = 0.666$

Щільність **DN** -розподілу $\mu := To$

$$fdn(t) := \frac{\sqrt{\mu}}{\nu \cdot t \cdot \sqrt{2\pi \cdot t}} \cdot \exp\left[-\frac{(\mu - t)^2}{2 \cdot \nu^2 \cdot \mu \cdot t}\right]$$

$$\lambda dn(t) := \frac{fdn(t)}{cnorm\left(\frac{\mu - t}{\nu \cdot \sqrt{\mu \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu^2}\right) \cdot cnorm\left(-\frac{\mu + t}{\nu \cdot \sqrt{\mu \cdot t}}\right)}$$

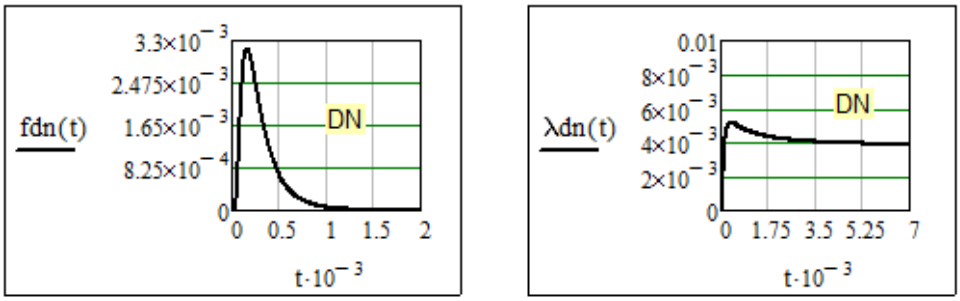


Рис. 4.30. Оцінка параметрів масштабу та форми DN моделі

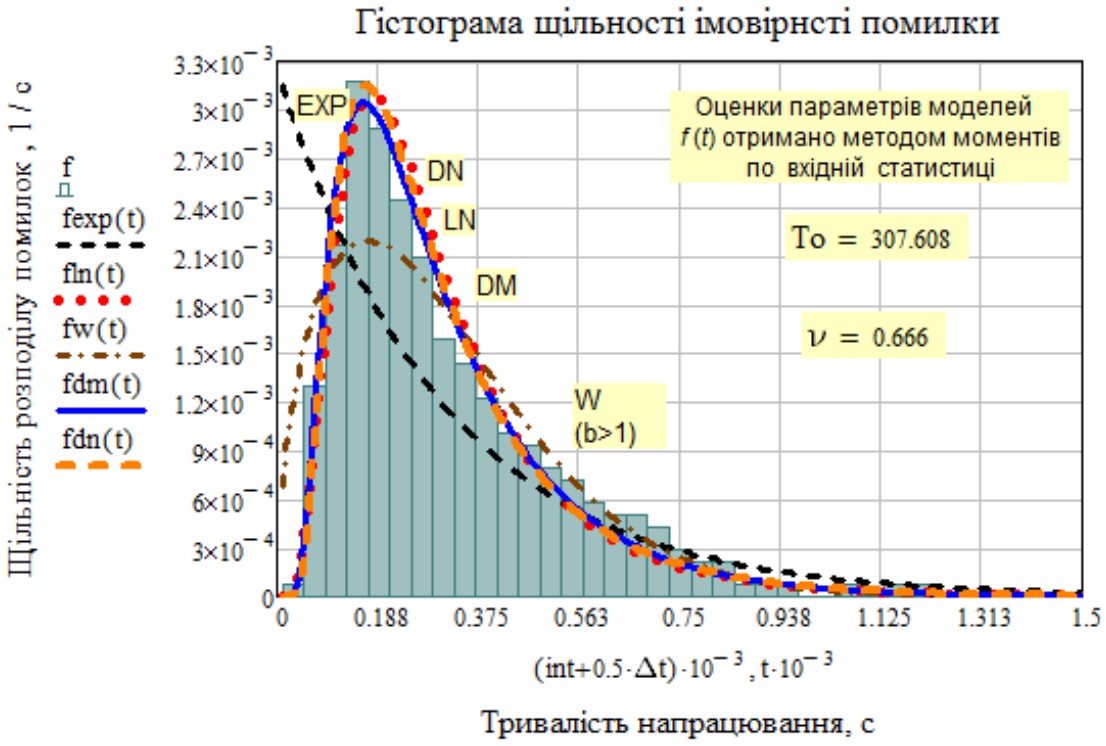


Рис 4.31. Порівняння гістограми щільності розподілу помилок оператора АНС з моделями розподілу помилок

4.7. Критерій згоди гістограми і моделі щільності розподілу помилок

Як би добре не була підібрана теоретична крива $f(t)$, між нею і гістограмою $f^*(\Delta t, t)$ неминучі деякі розбіжності. Природно, виникає питання: чи пояснюються ці розбіжності тільки випадковими обставинами, які пов'язані з обмеженим числом спостережень, або вони є суттєвими і пов'язані з тим, що підібрана крива «погано» вирівнює дане статистичний розподіл.

Для вирішення цієї проблеми служить критерій згоди. Ідея застосування критерію згоди полягає в наступному. На підставі даного статистичного матеріалу нам належить перевірити гіпотезу Н, яка полягає у тому, що випадкова величина t підпорядковується деякому заданому закону розподілу.

Для того, щоб підтвердити (прийняти) або спростувати гіпотезу Н необхідно встановити міру розбіжності z теоретичного і статистичного розподілів. Цей захід розбіжності і є критерій згоди; вона є також деякої випадкової величиною, має «свій» закон розподілу.

Англійський математик Карл Пірсон (1857-1936гг) довів, що при достатньо великих N закон розподілу випадкової величини z - заходи розбіжності - володіє вельми простими властивостями:

-практично не залежить від виду моделі помилки $f(t)$;

-залежить від числа інтервалів, що визначають число так званих ступенів свободи;

-практично збігається з розподілом хі-квадрат;

Відоме в математичній статистиці розподіл хі-квадрат характеризується щільністю виду:

$$f(z)=\left\{\begin{array}{ll} 2^{\frac{r}{2}}\cdot\Gamma\cdot\left(\frac{r}{2}\right)\cdot z^{\frac{r}{2}-1}\cdot\exp\cdot(-\frac{z}{2}) if & z>0 \\ 0 & if \quad z<0 \end{array}\right\},$$

де r - параметр розподілу (число ступенів свободи);

- $\tilde{A}\cdot\left(\frac{r}{2}\right)$ таблична гамма-функція.

Величина $\chi 2$ являє суми квадратів r незалежних випадкових величин, кожна з яких підпорядкована нормальному закону $\mu=0$ та $\sigma=1$, а критерій Пірсона записується у вигляді:

$$z=\chi^2=N\cdot\sum_{k=1}^{K}\frac{\left(f_k\cdot(\Delta t,t)\cdot\Delta t-Q_k^T\cdot(\Delta t,t)\right)^2}{Q_k^T\cdot(\Delta t,t)}$$

де f_k (Δt, t)- емпірична щільність імовірності відмови в к-му інтервалі Δt, отримана після обробки результатів експерименту;

$Q_k^T(\Delta t, t)$ -теоретично ймовірність відмови в к-те інтервалі Δt, обумовлена площею під кривою $f(t)$:

$$Q_k^T\cdot(\Delta t,t)=\int_{\text{int}_k}^{\text{int}_k+\Delta t} f(t)dt$$

-де int_k - межі інтервалів гістограми щільності розподілу наробітку до помилки.

Розподіл χ2 хі-квадрат залежить від числа ступенів свободи досліджуваної моделі, тобто параметра r.

Число ступенів свободи r дорівнює числу інтервалів статистичного розподілу помилок $K=(t_n-t_1)/\Delta t$ мінус число æ незалежних умов або «зв'язків», що представляються теоретичною моделлю помилок f (t).

Ця умова наступна:

1. Умова нормування щільності розподілу наробітку до помилки t

$$\int_0^\infty f(t)dt = 1;$$

2. Перший початковий момент теоретичного розподілу

$$T_0 = \int_0^\infty t \cdot f(t)dt = 1 = \alpha_1' = \sum_{k=1}^{K} \left[Q_1' \cdot t_1 \right]$$

який приймається як середньо статистичне значенням напрацювання до помилки.

3. Другий центральний момент теоретичного розподілу

$$D = \int_0^\infty \left(t - T_0\right)^2 \cdot f(t)dt = D' = \sum_{k=1}^{K} \left[Q_1' \cdot \left(t_1 - \alpha_1'\right) \right]$$

прирівнюваний до дисперсії статистичного розподілу.

Легко бачити, що æ = 2 для одно параметричного експоненціального розподілу æ = 3 для двох параметричних моделей помилок.

В додатку 2 наведена таблиця значень розподілу хі-квадрат. Згідно з нею визначається значення *p* (ймовірність збіжності). Для цього визначається рядок згідно зі ступенями свободи. Слід зазначити, що ймовірність збіжності між теоретичним за статистичним розподілами не повинна бути нижчою ніж *p*=0,01. У цьому випадку вони вважаються розбіжними.

Для розглянутої вище вхідної статистики помилок оператора АНС було знайдено значення критеріїв χ2 для EXP, W, LN, DM, DN моделей. Результати розрахунків у середовищі MathCAD наведено на рис. 4.32-4.35.

Граничні (максимально допустимі) значення χ2
залежно від числа ступенів свободи *r*

$\chi^2_{доп}(r = 3) = 10.64$ $\chi^2_{доп}(r = 2) = 12.02$

Перевірка узгодження теоретичних *fln (t)* , *fdn (t)* , *fdm (t)* і емпіричної *f (Δt , t)* щільностей розподілу помилок оператора АНС за критерієм Пірсона

Аналіз згоди LN- моделі:

Теоретична ймовірність помилки в k -тому інтервалі Δt $Qln_k := \int_{int_k}^{int_k+\Delta t} fln(t)\,dt$

Значення критерія Пірсона: $\chi 2ln := \Sigma n \cdot \sum_{k=0}^{K-1} \left[\frac{\left[(f_k \cdot \Delta t) - (Qln_k) \right]^2}{Qln_k} \right] = 20.51$

Аналіз узгоження **DN**-моделі:

Теоретична ймовірність помилки в k -тому інтервалі Δt $Qdn_k := \int_{int_k}^{int_k+\Delta t} fdn(t)\,dt$

Значення критерія Пірсона: $\chi 2dn := \Sigma n \cdot \sum_{k=0}^{K-1} \left[\frac{\left[(f_k \cdot \Delta t) - (Qdn_k) \right]^2}{Qdn_k} \right] = 17.39$

Аналіз узгоження **DN**-моделі:

Теоретична ймовірність помилки в k -тому інтервалі Δt $Qdm_k := \int_{int_k}^{int_k+\Delta t} fdm(t)\,dt$

Значення критерія Пірсона: $\chi 2dm := \Sigma n \cdot \sum_{k=0}^{K-1} \left[\frac{\left[(f_k \cdot \Delta t) - (Qdm_k) \right]^2}{Qdm_k} \right] = 13.94$

Рис 4.32. Перевірка критерію Пірсона для LN, DN, DM моделей

Вихідні дані:

Число степенів свободи моделі $r := K - 3 = 27$

Сумарне число помилок $\Sigma n = 347$

Значення інтервалу $\Delta t = 40$

Теоретичні щільності розподілу помилок *fln(t)* , *fdn(t)* , *fdm(t)*
на тлі емпіричного розподілу

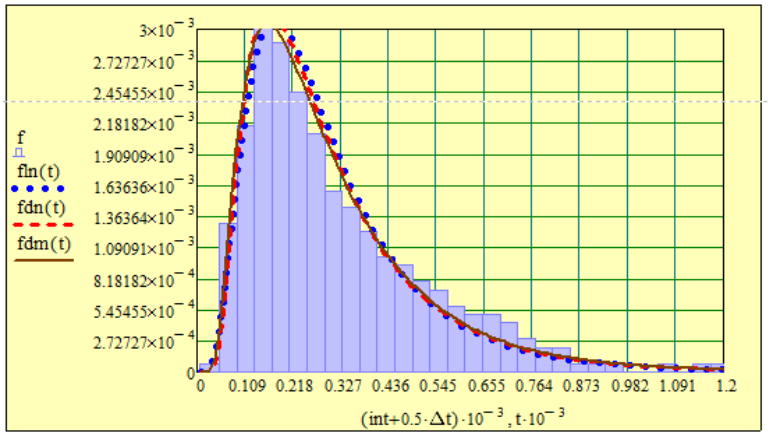


Рис 4.33 Теоретичні щільності розподілу помилок для LN, DN, DM моделей

Аналіз узгоження **EXP**-моделі:

Теоретична ймірність помилки в k-тому інтервалі Δt

$$Qexp_k := \int_{int_k}^{int_k+\Delta t} fexp(t)\,dt$$

Значення крітерію Пірсона:

$$\chi 2exp := \Sigma n \cdot \sum_{k=0}^{K-1} \left[\frac{\left[(f_k \cdot \Delta t) - (Qexp_k) \right]^2}{Qexp_k} \right] = 98.19$$

Аналіз узгодження **W**-моделі:

Теоретична ймірністьпомилкив k-томуінтервалі Δt

$$Qw_k := \int_{int_k}^{int_k+\Delta t} fw(t)\,dt$$

Значення крітерію Пірсона:

$$\chi 2w := \Sigma n \cdot \sum_{k=0}^{K-1} \left[\frac{\left[(f_k \cdot \Delta t) - (Qw_k) \right]^2}{Qw_k} \right] = 41.29$$

Рис 4.34. Перевірка критерію Пірсона для EXP, W моделей

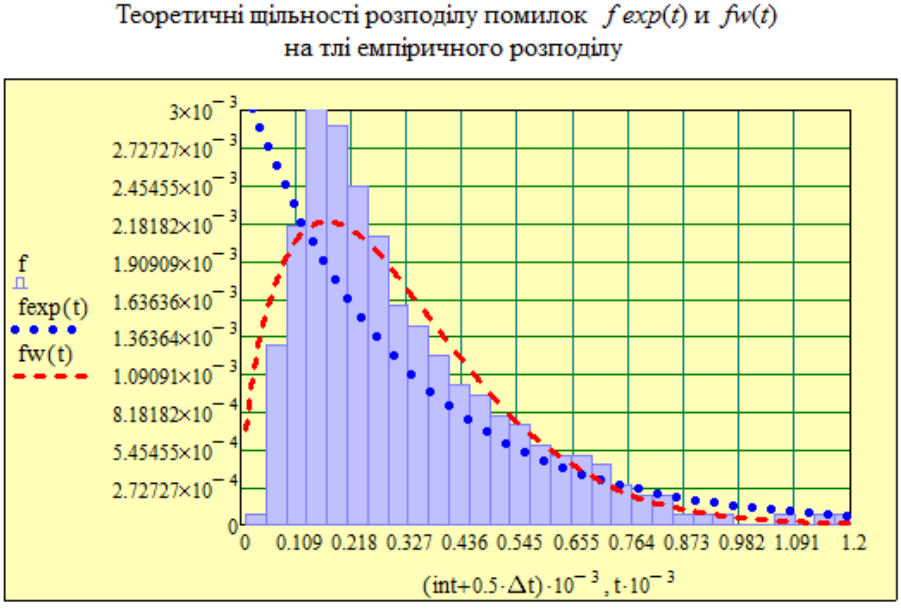


Рис 4.35 Теоретичні щільності розподілу помилок для EXP, W моделей

Таблиця 4.3.

Результати порівняльного розрахунку щодо ймовірностей випадкової розбіжності статистичних даних помилок оператора отриманих завдяки ЦПІ та аналітичних моделей розподілу помилок

Модель розподілу помилок оператора	Значення критерію χ^2	*Ймовірність випадкової розбіжності p*	*Ступінь погоджуваності*
EXP	98.19	< 0.001	Немає пого-
W	41.29	0.05	Немає пого-
LN	20.51	0.81	Задовольняє
DM	13.94	0.98	Дуже добре
DN	17.39	0.921	Добре

У таблиці 4.3 наведено результати порівняльного розрахунку щодо ймовірностей випадкової розбіжності статистичних даних помилок оператора отриманих завдяки ЦПІ та аналітичних моделей розподілу помилок. Було виявлено, що обрана в якості опорної моделі розподілу помилок для ІФМН оператора АНС DN модель задовольняє усім вимогам статистичного вирівнювання і на 92.1% збігається з первинною статистикою. А враховуючи той факт, що вищезазначена модель також враховує таку властивість надійності як відновлення, вона є найбільш придатною для прогнозування помилок операторі операторів АНС.

4.8. Групування операторів АНС, що проходять первинну підготовку

Всіх авіаційних працівників можна розділити на три великі групи: молоді спеціалісти, командний склад (командири повітряних суден, начальники змін, диспетчери, змінні інженери, бригадири і т. ін.) - фахівці з великим практичним досвідом експлуатації авіаційної техніки; авіапрацівники, які мають великий досвід управлінської та експлуатаційної роботи. Науково-обґрунтована процедура формування малих груп (екіпаж, зміна, бригада, переучуватися льотний склад), що включають одночасно представників усіх великих груп, на жаль не розроблена на достатньому рівні. Крім того, якщо завдання керування оптимізацією процесу навчання операторів одночасно ергатичною системою з однією

ланкою «оператор-машина» багато в чому вирішені, то аналогічні завдання для процесів управління в багатоланкових системах «екіпаж-літак-диспетчер ОрПР», «екіпаж-тренажер-інструктор» вирішені тільки для небагатьох приватних випадків [121].

Загальна структура поетапного статистичного групування авіаційних фахівців відрізняється наступній специфічною особливістю. Перший етап (первинне групування) призначено для розділення контингенту фахівців на три (дві однорідні і одну не однорідні) основні групи (рис 4.36).

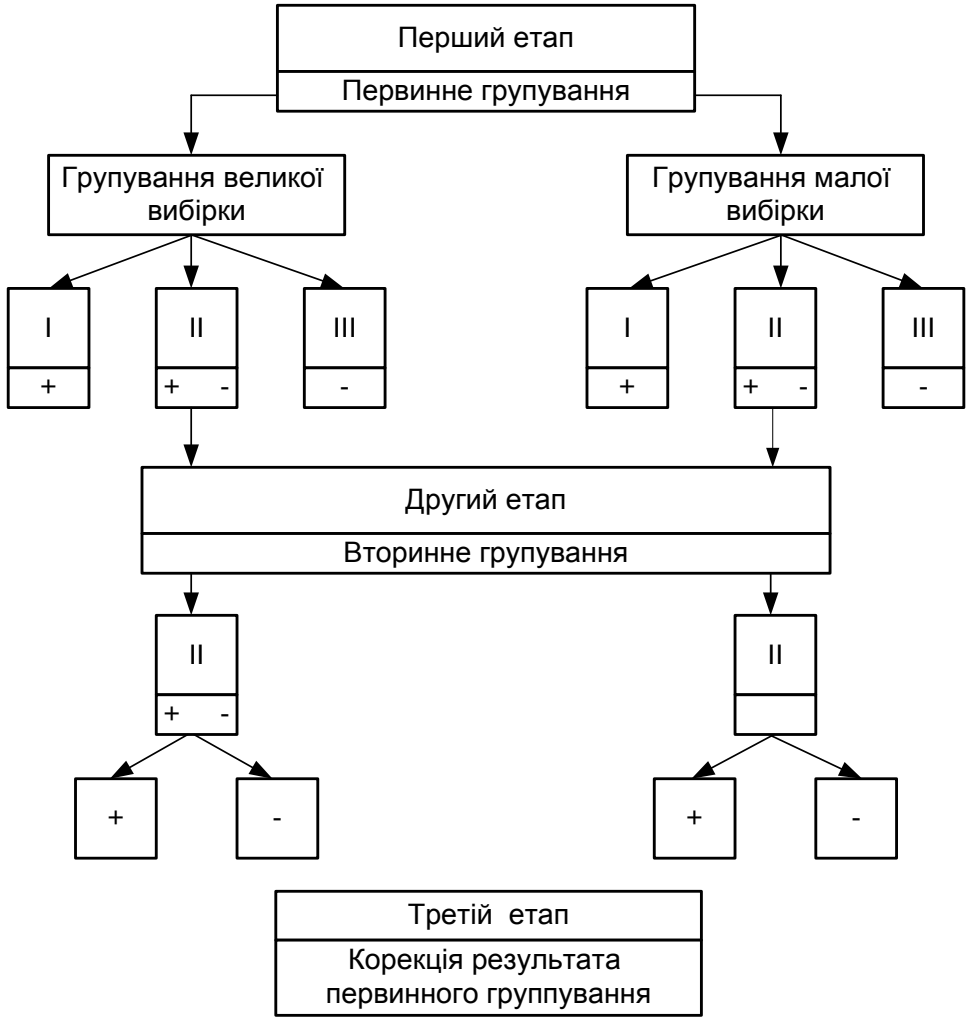


Рис. 4.36. Етапи групування операторів

При цьому крайні групи (однорідні за складом, але різні за професійної придатності) у ряді літературних джерел називають полярними. На рис 4.38 вони позначені як група «+» (позитивна) і група «-» (негативна). Специфічною особливістю первинного групування є наявність середньої (неоднорідною гру-

пи) включає приблизно 50-70% від загального контингенту фахівців-операторів. На ця група позначена через «+ -» (див. рис. 4.38). Цим підкреслюється невизначений характер найчисленнішою по кількістю фахівців групи.

Середню групу в єдиній системі психофізіологічного відбору класифікують як групу з «невизначеним прогнозом» професійної та академічної успішності.

Наявність невизначеності середньої групи є центральною та практичної трудністю всіх існуючих методик професійного та психологічного відбору.

Нажаль, невизначеність «середніх» груп операторів (нестійкість показників діяльності) призводить до переплутування тимчасових і точнісних показників професійної діяльності. Роздільна при первинному групуванні такого вкрай невизначеного контингенту стає далі можливим.

Таким чином, первинне групування має виразні межі свого застосування, обумовлена зоною невизначеності середньої групи. Якщо обмежитися тільки первинним групуванням, то результати групування можна застосувати лише в умовах відбору полярних груп операторів (придатні та непридатні), вкрай нечисленних за складом. При цьому ще відбирається контингент тільки першої групи (+), а решта операторів відсіваються (-). Враховуючи, що складу першої групи становить приблизно 15-20% всього контингенту операторів, такий відбір можна застосовувати тільки за наявності значних контингентів-операторів, у 3-4 рази перевищують потребу у фахівцях; тому первинне групування слід доповнити вторинним групуванням.

Основною метою вторинного групування є поділ середньої групи операторів з метою зняття її граничної невизначеності. Така корекція результату первинного групування забезпечує високу прогностичну цінність, і створення значної частини контингенту фахівців. Недоліки виділення при групуванні лише полярних груп в цьому випадку усуваються, а ефективність процедури поетапного групування різко зростає.

В якості вторинного групування можуть виступати результати прогнозування помилок оператора АНС з застосуванням ІФМН. Порівнюючи отримані

прогнози помилок певного спеціаліста за різних умов можливо виявити тих операторів, які мають найнижчу інтенсивність помилок та найвищу ймовірність безпомилкової роботи.

4.9. Висновки

1. 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.

Завданням комбінованого методу визначення функціональної надійності оператора АНС є підвищення достовірності визначення функціональної придатності оператора безпосередньо перед виконанням службового завдання.

Для підвищення точності та достовірності отримуваних результатів було використане математичне моделювання за засновано не методі Монте-Карло с застосуванням програми Mathcad.

2. В результаті оцінки ролі застосування авіаційних тренажерів для визначення рівня професійної надійності оператора АНС та застосовуючи еталонні моделі роботи диспетчера пункту збору донесень щодо організації повітряного руху аеродромно-диспетчерської вишки було створено тренажер з модулем оцінювання знань.

3. Проведено порівняльний аналіз тренажерів першого та другого поколінь, виявлені основні особливості робочих місці операторів АНС, що можуть вплинути на працездатність операторів.

4. Збір вхідної статистики здійснювався завдяки використанню розроблених автором у співавторстві комплексу «Антипульт», процедурному тренажеру

диспетчера пункту збору повідомлень щодо обслуговування повітряного руху та центральному пульту інструктора.

5. Обробка вхідної статистики виконано використовуючи метод вирівнювання статистичних рядів. Ймовірність збіжності статистики з моделлю розподілу помилок визначалась за допомогою критерію Пірсона хі-квадрат. В результаті було, що використання DN моделі в якості опорної моделі розподілу помилок для ІФМН оператора АНС є обґрунтованим та оптимальним.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

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.

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 відновлювання 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 двократної через малу ефективність (кожен наступний рівень вона зменшується в ≈2 рази) і збільшення обсягів інформації (в ≈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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. European organisation for the safety of air navigation. Technical Review of Human Performance Models and Taxonomies of Human Error in ATM (HERA). – 2002. – 134p.

2. Wagenaar, W.A. and Groeneweg, J. (1987). Accidents at sea: Multiple causes and impossible consequences. Int. J. Man-Machine Studies, 27, 587-98

3. Bainbridge, L. (1987). The ironies of automation. In J. Rasmussen, K. Duncan and J. Leplat (Eds), New Technology and Human Error. London: Wiley.

4. Reason, J. (1998). Managing the Risks of Organisational Accidents. Aldershot, England: Ashgate.

5. Weiner, E.L. (1988). Cockpit automation. In E.L. Wiener and D.C. Nagel (Eds), Human Factors in Aviation (pp. 433-461). San Diego, USA: Academic Press.

6. Ломов, В. 1982. Довідник з інженерної психології. Москва, «Машинобудування». 368 р.

7. Ломов Б.Ф. Человек и техника. –М.: Советское радио, Изд-е 2-е, –1966. – 464с.

8. Stager, P. and Hameluck, D. (1990). Ergonomics in air traffic control. Ergonomics, 33 (4), 493-499.

9. Rouse, W.B. and Rouse, S.H. (1983). Analysis and classification of human error. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-13, 539-549.

10. Rasmussen, J. (1981). Human Errors. A Taxonomy for Describing Human Malfunction in Industrial Installations. Risø National Laboratory, DK- 4000, Roskilde, Denmark.

11. Rasmussen, J. (1982). Human errors: a taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. Journal of Occupational Accidents, 4, 311-335

12. Rasmussen, J. (1987). The definition of human error and a taxonomy for technical change. In J. Rasmussen, K. Duncan, and J. Leplat (Eds.), New Technology and Human Error. London: Wiley.

13. Woods, D.D. and Roth, E.M. (1986). Assessment of Models of Cognitive Behaviour in NPPs. USNRC NUREG/CR-4862. Washington DC 20555.

14. Swain, A.D. (1982). Modelling of response to nuclear power plant transients for probabilistic risk assessment. Proceedings of the 8th Congress of the International Ergonomics Association, Tokyo, August, 1982.

15. Swain, A.D. and Guttmann, H.E. (1983). A handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications. NUREG/CR-1278, USNRC, Washington, DC 20555

16. Lasswell, H.D. (1948). The structure and function of communication in society. In L. Bryson (Ed), The Communication of Ideas. US: Harper and Row

17. Braddock, R. (1958). An extension of the 'Lasswell Formula'. Journal of Communication, 8, 88-93.

18. Shannon, C. and Weaver, W. (1949). The Mathematical Theory of Communication. Urbana, USA: University of Illinois Press

19. Schramm,W. (1954) How communication works. In W. Schramm (Ed) The Process and Effects of Mass Communication. Urbana: The University of Illinois Press

20. Dance, F.E.X. (1967) Human Communication Theory. US: Holt, Rinehart and Winston.

21. Berlo, D.K. (1960). The Process of Communication: An Introduction to Theory and Practice. US: Holt, Rinehart and Winston.

22. Westrum, R. (1995) Organisational dynamics and safety. In N. McDonald, N. Johnston & R. Fuller. Applications of Psychology to the Aviation System. Aldershot: Avebury Aviation.

23. Broadbent, D.E. (1958). Perception and Communications. London: Pergamon

24. Payne,D. and Altman,J. (1962) An index of electronic equipment operability: Report of development. Report no.AIR-C-43-1/62. American Institute of Research, Pittsburgh. Pensylvania

25. Berliner, D.C., Angelo, D. and Shearer, J. (1964). Behaviours, measures and instruments for performance and evaluation in simulated environments. Presented at the Symposium on the Quantification of Human Performance, Albuquerque, New Mexico, August 17-19.

26. Wickens, C. (1992). Engineering Psychology and Human Performance (Second Edition). New York: Harper-Collins.

27. Sanders, M.M. & McCormick, E.J. (1993) Human Factors in Engineering & Design 7th ed., McGraw-Hill, NY.

28. Baddeley, A.D. and Hitch, G. (1974). Working memory. In G. Bower (Ed), Recent Advances in Learning and Motivation (Vol. 8). New York: Academic Press.

29. Newell, A. and Simon, H.A. (1972) Human Problem-solving. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

30. Norman, D.A. (1981). Categorisation of action slips. Psychological Review, 88, 1-15.

31. Reason, J. (1990). Human Error. Cambridge, England: Cambridge University Press.

32. Langan-Fox, C.P. and Empson, J.A.C. (1985). 'Actions not as planned' in military air-traffic control. Ergonomics, 28, 1509-1521.

33. Pew, R.W., Miller, D.C. and Feehrer, C.S. (1982) Evaluation of Proposed Control Room Improvements Through Analysis of Critical Operator Decisions. Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute

34. Rasmussen, J. (1986). Information Processing and Human-Machine Interaction: An Approach to Cognitive Engineering. New York: North Holland.

35. Embrey, D.E. (1986). SHERPA - a systematic human error reduction and prediction approach. Paper presented at the International Topical Meeting on Advances in Human Factors in Nuclear Power Systems, Knoxville, Tennessee

36. Reason, J.T. (1987). Generic Error-modelling System: A cognitive framework for locating common human error forms. In Rasmussen, J., Duncan, K.D. and Leplat, J. (eds). New Technology and Human Error. Chichester, England: Wiley.

37. Hollnagel, E. (1993). Human Reliability Analysis: Context and Control. London: Academic Press.

38. Whalley, S.P. and Kirwan, B. (1989). An evaluation of five human error identification techniques. Paper presented at the 5th International Loss Prevention Symposium, Oslo, June

39. Kirwan, B. (1989). A human factors and reliability programme for the design of a large nuclear chemical plant. Human Factors Annual Conference, Denver, Colorado, October, pp 1009-1013.

40. Whalley, S.P. (1988). Minimising the cause of human error. In 10th Advances in Reliability Technology Symposium. G.P. Libberton (Ed.). London: Elsevier

41. Kirwan, B. (1994). A Guide to Practical Human Reliability Assessment. London: Taylor and Francis.

42. Kirwan, B., Scannali, S. and Robinson, L. (1996). Applied HRA: A case study. Applied Ergonomics, 27 (5), 289 - 302.

43. Kirwan, B., Scannali, S. and Robinson, L. (1995). Practical HRA in PSA - a case study. European Safety and Reliability Conference (pp. 675 - 693), ESREL ‘95, Bournemouth, June 26 - 28. Institute of Quality Assurance.

44. Cacciabue, P.C., Decortis, F., Drozdowicz, B., Masson, M. and Nordvik, J. P. (1992). COSIMO: a cognitive simulation model of human decisionmaking and behaviour in accident management of complex plants. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 22 (5), 1058-1074.

45. Dang, V., Huang, Y., Siu, N. and Carroll, J. (1993). Analysing cognitive errors using a dynamic crew-simulation model. pp. 520-525.

46. Hasegawa, N. and Yoshimura, S. (1996). Emotions and human errors in a control room of a nuclear power plant - for the development of an operator team behaviour model with emotional function. In H. Yoshikawa, and E. Hollnagel, (Eds.), Cognitive Science Engineering in Process Control, Kyoto, November 12 - 15, pp.151 - 158.

47. *Бодров В.А., Орлов В.Я.* Психология и надежность: человек в системах управления техникой. – М.: «Институт психологи РАН» , 1998.– 288с.

48. *Никифоров Г.С.* Надежность профессиональной деятельности. - СПб.: Питер, 1996. - 324 с.

49. *Смирнов Б.А.* Надежность оператора и системы «человек—машина» / Основы инженерной психологии. Под ред. Б.Ф.Ломова. 2-е изд. –М.: Высшая школа, –1986. –С. 324–346.

50. *Котик М.А.* Саморегуляция и надежность человека-оператора. – Таллин.: Валгус, – 1974. – 167 с.

51. Губинский А.И., Кобзев В.В. Оценка надежности деятельности человека оператора в системах управления. М. «Машиностроение» 1974, 52с.

52. Небылицын В.Д. Надежность работы оператора в сложной системе управления / Инженерная психология. Под ред. А.Н.Леонтьева, В.П. Зинченко, Д.Ю.Панова. М.: МГУ, 1964. С. 358–367.

53. *Надійність* техніки. Моделі відмов. Основні положення. ДСТУ 3433-96. – К.: Держстандарт України, 1996. – 42 с.

54. *СалвендиГ.* Человеч. Фактор. Том 1. Эргономика - комплексная научно-техническая дисциплина. – М.: Мир, 1991 – 599 с.

55. Губинский А.И., Половко А.М., Фокин Ю.Г. Принципы количественной оценки надежности системы «человек—техника» / Надежность комплексных систем «человек—техника». Матер. П Всесоюз. симпоз. по надежности. Ч. 1. – Л.: ЛДНТП, –1969. –С. 15–17.

56. Галактионов А.И. Основы инженерно-психологического проектирования АСУ ГП. – М.: Энергия, 1978– 208 с.

57. Никифоров Г.С. Самоконтроль как механизм надежности человека-оператора. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. 112 с.

58. Губинский А.И., Суходольский Г.В. Понятие отказа в применении к человеку-оператору / Инженерная психология в приборостроении. Под ред. Б.Ф.Ломова. М.: 1967. С. 124–170.

59. Горбунов В.В. Психологическое обеспечение надежности операторской деятельности. Дисс. … докт.биол.наук. Киев: Ин-т медицины труда, 1994.

60. Нерсесян А.С., Конопкин О.А. Инженерная психология и проблема надежности машиниста. М.: Транспорт, 1978. 239 с.

61. Зубков Б.В., Минаев Е.Р. Основы безопасности полетов: Учеб. Пособие для сред. спец. учеб. заведений. –М.: Транспорт, 1987 – 143с.

62. Губинский А.И. О некоторых проблемах теоретико-информационного подхода в инженерной психологии / Проблемы инженерной психологии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1966. Вып. 4. С. 79–80.

63. *Палюх Б.В.* Надежность и систем управления химическими производствами библиотек . - -Москва. - «Химия « 1987. – 176С.

64. Пономаренко В.А., Завалова Н.Д. Авиационная психология. М.: НИИИА и КМ, 1992. 200 с.

65. Губинский А.И., Евграфов В.Г. Эргономическое проектирование судовых систем управления. Л.: Судостроение, 1977. 224 с.

66. Фокин Ю.Г. Надежность при эксплуатации технических средств. М.: Воениздат, 1970. 224 с.

67. Зараковский Г.М. Психофизиологический анализ трудовой деятельности. М.: Наука, 1966. 138 с.

68. Маньшин Г.Г. Управление режимами профилактики сложных систем. Минск, 1976. 256 с

69. Щебланов В.Ю., Бобров А.Ф. Надежность деятельности человека в автоматизированных системах и ее количественная оценка // Психологический журнал. 1990. № 3. С. 60–69.

70. Брусенцов В. Г. Повышение эффективности контроля функциональной надежности железнодорожных операторов / В. Г. Брусенцов, М. И. Ворожбиян, О. В. Брусенцов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. - 2012. - Вып. 59. - С. 174-177.

71. Кожохіна О.В. Модель надійності оператора аеронавігаційної системи. Електроніка та системи управління №4(42) / О.В.Кожохіна, В.М.Грібов, С.І. Рудас– К.: 2014. – С.128-135.

72. European organisation for the safety of air navigation. The Human Error in ATM Technique (HERA-JANUS) 2003. - 88p

73. Душков Б.А., Королев А.В., Смирнов Б.А. Энциклопедический словарь: Психология труда, управления, инженерная психология и эргономика, - Академический проект, Деловая книга. - 2005 г. – 848с.

74. 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.

75. *Грібов В.М.* Оценивание и прогнозирование надёжности бортового аэрокосмического оборудования / В.М. Грибов, Ю.Н. Кофанов, В.П. Стрельников; под отв. редакцией проф. НИУ ВШЭ Ю.Н. Кофанова. – М.: НИУ ВШЭ, 2013. – 496 с.

76. *Погребинский С.Б., Стрельников В.П.* Проектирование и надёжность многопроцессорных ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 168 с.

77. 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. – c.59-65.

78. Кожохіна О.В. Оцінка надійності роботи операторів ОрПР /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.

79. 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. –p. 170-174

80. Рева О.М., Дмитрієв С.О., Селезньов Г.М. Чинники прийняття рішень авіадиспетчером у процесі керування повітряним рухом //Вісник НАУ. –2009. –№1. –С.13-19

81. Береговой Г.Т., Завалова Н.Д., Ломов Б.Ф., Пономаренко В.А. Экспериментально-психологические исследования в авиации и космонавтике. – М.: Наука, 1– 978. – 303 с.

82. Джума Л. Н., Пилипёнок О. Н., Тимошенко А. В. Анализ структуры рабочего места диспетчера Tower и особенности его моделирования / Л. Н. Джума, О. Н. Пилипёнок, А. В. Тимошенко // Матеріали І Міжнар. наук.-практ. конф. «Управління високошвидкісними рухомими об’єктами і професійна підготовка операторів складних систем». – Кіровоград: 15-16 листопада 2012 р.

83. Пилипёнок О. Н. Особенности моделирования условий функционирования диспетчера Tower / О. Н. Пилипёнок // Матеріали XXXII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та курсантів «Авіація та космонавтика: стан, досягнення і перспективи». – Кіровоград: 12 квітня 2012 р.

84. Почепцов Г.Г. «Информационно-политические технологии» – М.: Центр, 2003, - 384 с

85. Кожохина Е. В. Обработка рабочих инструкций органов ОВД Украviаруха 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.

86. 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.

87. Екстремальна та авіаційна психологія у контексті технолонічних досягнень інформаційної доби: Матеріали VII науково-практичної конференції 28-29 березня 2012р. –К.:НАУ, 2012. – 128с.

88. Курлін В.І. «Інформаційні пастки - основа формування складних аварійних ситуацій». – К.: 2012. – с 12-14.

89. Бодров В.А. Информационный стресс. – М.: ПЕР СЭ. 2000. – 352с.

90. Положевець Г.А. Моделювання авіапригод з урахуванням факторного резонансу на основі обробки польотної інформації. Політ. Сучасні проблеми науки: XIV МНПК молодих учених та студентів, 2-3 квітня 2014 р.: тези доп/– К.: 2014. – р.111.

91. Хохолов Е.М., Аль-Аммори Али. Авторский процесный подход (Авторский взгляд на десятилетие внедрения процесного подхода в глобальном масштабе 1995-2005. – К.: «Издательский дом «Компьютерпресс», 2010. – 176с.

92. Комплексний автоматичний екстраполятор з функціями вимірювання градієнта вертикальної швидкості повітряного судна та крутизни схилу гір на скануючому радіовисотомірі. Патент на корисну модель № 51343 від 12.07.2010. Біл. №13. Скрипець А. В., Пономарьова А. Ю., Тимошенко Т. М., Грищенко Ю.В., Хохлов Є. М.

93. Гріщенко Ю.В. Аналіз осцилограм польотів із застосуванням трендових алгоритмів. Електроніка та системи управління №3(31) – К.: 2009. – С.67-73.

94. 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. – К.: 2014. – р.18.

95. Ткаченко В.А. Летный риск. Испытания, аварии, авиакатастрофы. – М.: Аэро Хобби, 2012. – 303с.

96. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, 1959 – 2008, Boeing.

97. 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.

98. Н.А.Калиновская, Д.Ю.Устимов. Информационно-психологическая безопасность личности как качественная характеристика информационной культуры человека: Монография.– Казань.:2006. – 355.

99. М.И. Дьяченко. О подходах к изучению эмоциональной устойчивости / М.И. Дьяченко, В.А. Пономаренко // Вопросы психологии. - 1990. -N1 - С.106-116.

100. Л.А. Китаев-Смык. Психология стресса. - М.: Наука, 1983. - 368с.

101. Р. Лазарус. Теория стресса и психофизиологические исследования // Эмоциональный стресс / Под ред. Л. Леви. - Л.: Медицина, 1970. - С. 178-208

102. Спосіб визначення концентрації цукру, що знаходиться в крові 34954. Україна, А.В. Скрипець, В.Д. Тронько, В.М. Краснов, Й.Р. Левіт, О.В. Кожохіна – u200804615. Заявлено 10 04 2008. Опубл 26 08 2008 Бюл №16 - 2с , іл..

103. 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.

104. Теория надежности систем УВД. Методические указания по изучению дисциплины и контрольные задания/ СПб ГУГА. –С.-Петербург.: 2011. – 38с.

105. Пишнов Г.Ю., Ластовченко В.Б. Професіографічний аналіз праці авіадиспетчера та інженера радіонавігації, радіолокації і зв'язку // Актуальные проблемы транспортной медицины – 2008. № 2(12). – С. 44–50.

106. Широков А.М. Основы надежности и эксплуатации электронной аппаратуры. Минск, Наука и техника, 1965. Широков А.М. Основы надежности и эксплуатации электронной аппаратуры. – Минск, Наука и техника, 1965.

107. Фрайнман І. Критерії готовності майбутніх авіадиспетчерів допрофесійної самореалізації // Наукові записки. Серія педагогічні науки. Випуск 97, /, 310с.

108. Організаційно-методична робота керівника польотів./ - М.: Повітряний транспорт, 1984.

109. Боднер В.А. Оператор і літальний апарат. / - М., Машинобудування, 1976.

110. Денисов В.Г. Авіаційна інженерна психологія./ Денисов В.Г., Онищенко В.Ф., Скрипец А.В. - М.: Машинобудування, 1983.

111. Бурдаев В.П. Експертно-навчальна система «ПАТФИЗ»// Медицина сьогодні й завтра. - 1999.-№2.

112. Балясників В.В. Забезпечення безпеки польотів у цивільній авіації./ Балясників В.В., Кальченко А.Г. - Ленінград.1988.

113. Боднер В.А. Авіаційні тренажери./ Боднер В.А., Закіров Р.А., Смирнова И.М.- М.: Машинобудування, 1978.

114. Дарымов Ю.П. Автоматизация процессов управления воздушным движением/ Дарымов Ю.П., Крыжановский Г.А., Солодухин В.А. /Под ред. Г.А. Крыжановского. – М.: Транспорт, 1981.

115. 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.

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

117. Скрипец А.В., Грищенко Ю. В., Волков А.Е., Волошенюк Д.А., Хохлов Е.М. Антистрессовая подготовка пилотов и авиадиспетчеров // Кибернетика и вычислительная техника: Межведомственный сборник научных трудов. – К.: Вид. дім «Академперіодика» НАН України, 2011. – Вып. 163. – С. 54-64.

118. Процессная концепция производства полётов и её фундаментальное значение для развития авиации СНГ // ISSN 0235-5000. Проблемы безопасности полётов / Е. М. Хохлов,Аль-Аммори Али, Ю. В. Грищенко, Е. П. Шкурко // Науч.-техн. журн. – М.: ВИНИТИ. – 2008. – № 1. – С. 16 – 26.

119. 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

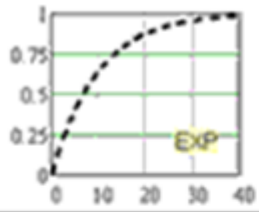
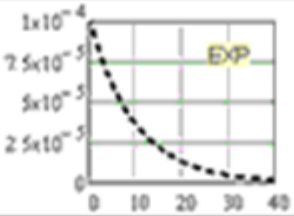
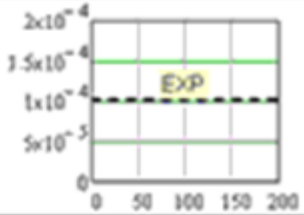
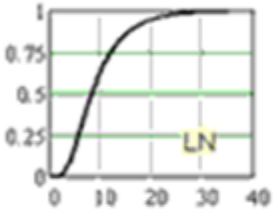
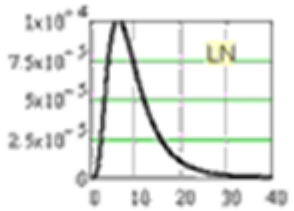
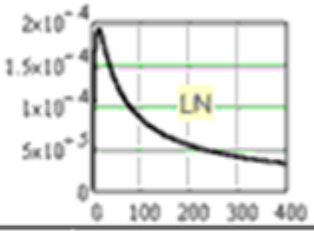
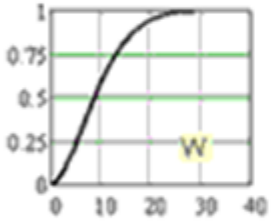
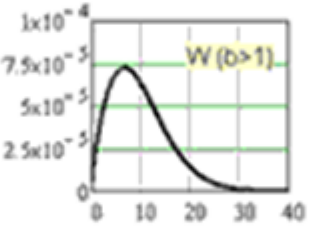
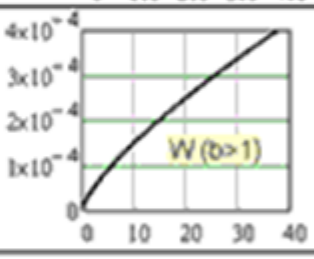
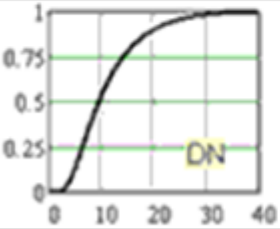
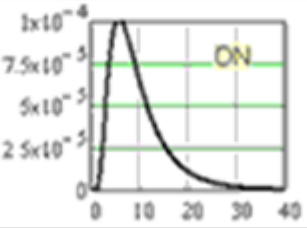
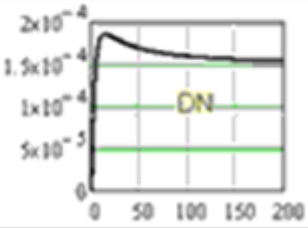
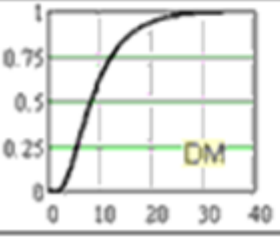
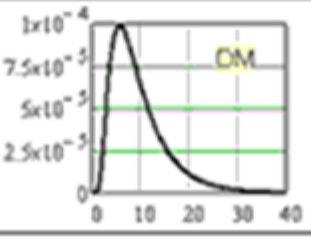
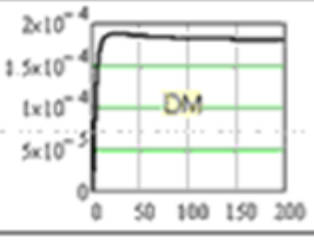
120. Харченко В. П., Луппо О. Є., Алєксєєв О. М. Інтеграція засобів діагностики, прогнозування і керування рівнем безпеки польотів//Вісник НАУ. –2007. – №2. –С.43-49

121. Методы эргономической эксплуатации и обслуживания авиационной техники: Сборник научных трудов. – Киев: КИИГА, 1986, - 140с.

122. НПАОП 0.00-1.31-99 — Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин.

Додаток 1

Критерії виробу теоретичної моделі розподілу помилок

Функція розподілу	Щільність розподілу, час$^{-1}$	Інтенсивність, час$^{-1}$
		
		
		
		
		

Часові параметри статистики: t_1=2589, τs_1=4225, Δt=3271

Моменти вхідної статистики: T_o=9795, υ=0.592

Абсциса графіків – напрацювання, годин

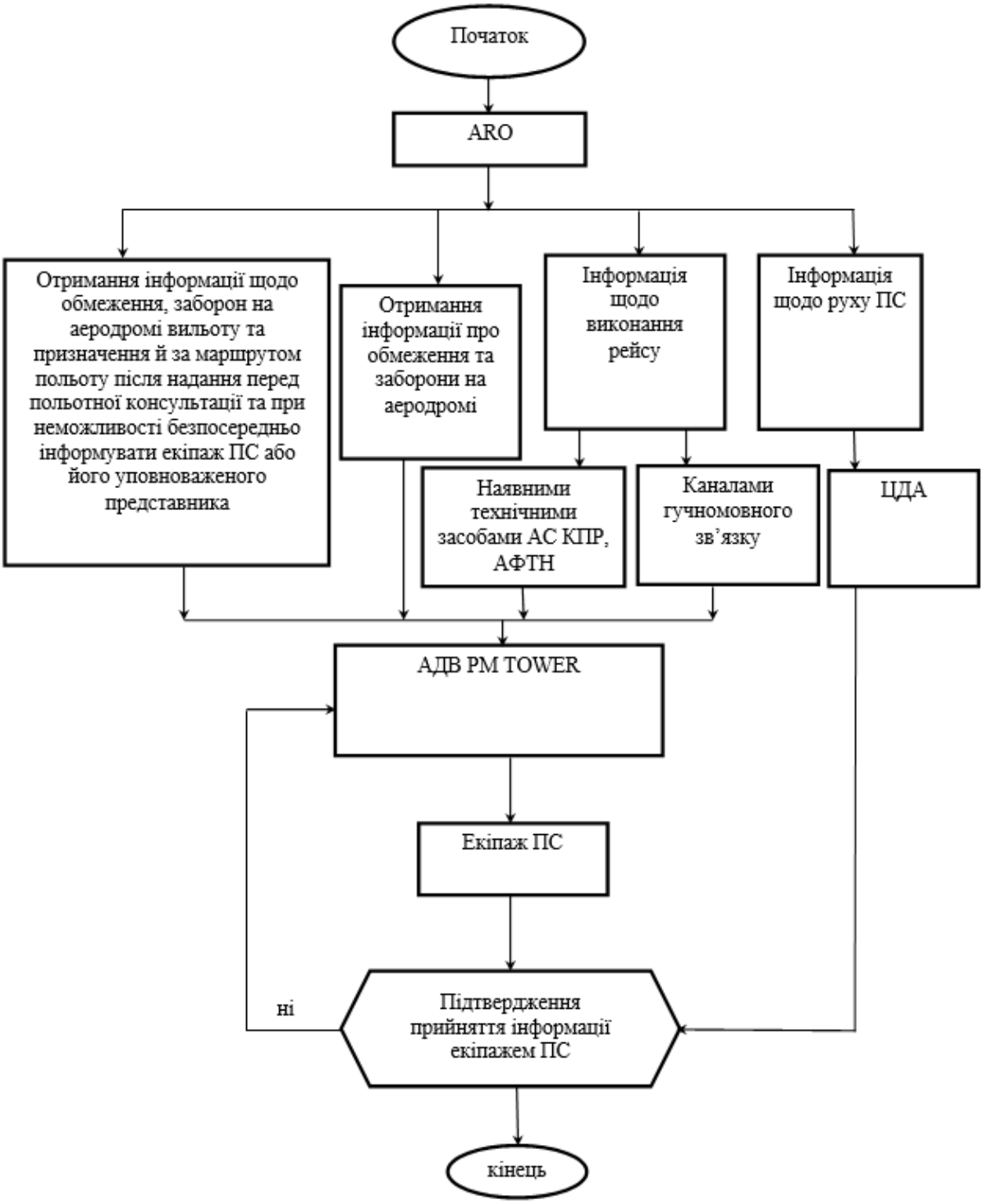
Додаток 2

Таблиця розподілу хі-квадрат Пірсона

Число степеней свободы k	Уровень значимости α					
	0,01	0,025	0,05	0,95	0,975	0,99
1	6,6	5,0	3,8	0,0039	0,00098	0,00016
2	9,2	7,4	6,0	0,103	0,051	0,020
3	11,3	9,4	7,8	0,352	0,216	0,115
4	13,3	11,1	9,5	0,711	0,484	0,297
5	15,1	12,8	11,1	1,15	0,831	0,554
6	16,8	14,4	12,6	1,64	1,24	0,872
7	18,5	16,0	14,1	2,17	1,69	1,24
8	20,1	17,5	15,5	2,73	2,18	1,65
9	21,7	19,0	16,9	3,33	2,70	2,09
10	23,2	20,5	18,3	3,94	3,25	2,56
11	24,7	21,9	19,7	4,57	3,82	3,05
12	26,2	23,3	21,0	5,23	4,40	3,57
13	27,7	24,7	22,4	5,89	5,01	4,11
14	29,1	26,1	23,7	6,57	5,63	4,66
15	30,6	27,5	25,0	7,26	6,26	5,23
16	32,0	28,8	26,3	7,96	6,91	5,81
17	33,4	30,2	27,6	8,67	7,56	6,41
18	34,8	31,5	28,9	9,39	8,23	7,01
19	36,2	32,9	30,1	10,1	8,91	7,63
20	37,6	34,2	31,4	10,9	9,59	8,26
21	38,9	35,5	32,7	11,6	10,3	8,90
22	40,3	36,8	33,9	12,3	11,0	9,54
23	41,6	38,1	35,2	13,1	11,7	10,2
24	43,0	39,4	36,4	13,8	12,4	10,9
25	44,3	40,6	37,7	14,6	13,1	11,5
26	45,6	41,9	38,9	15,4	13,8	12,2
27	47,0	43,2	40,1	16,2	14,6	12,9
28	48,3	44,5	41,3	16,9	15,3	13,6
29	49,6	45,7	42,6	17,7	16,0	14,3
30	50,9	47,0	43,8	18,5	16,8	15,0

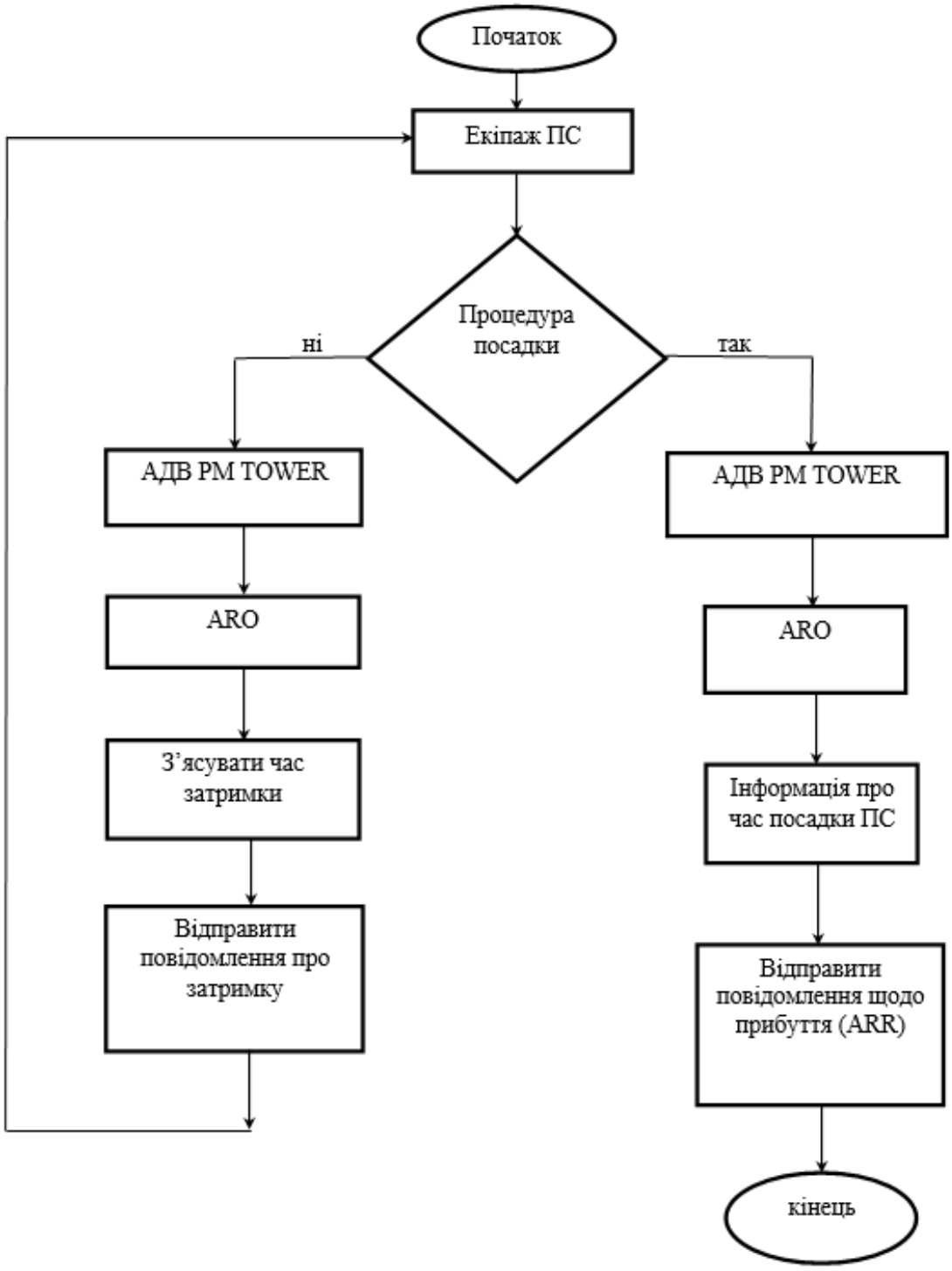
Додаток 3

Алгоритм взаємодії диспетчера ARO з ОрПР та аеропортом



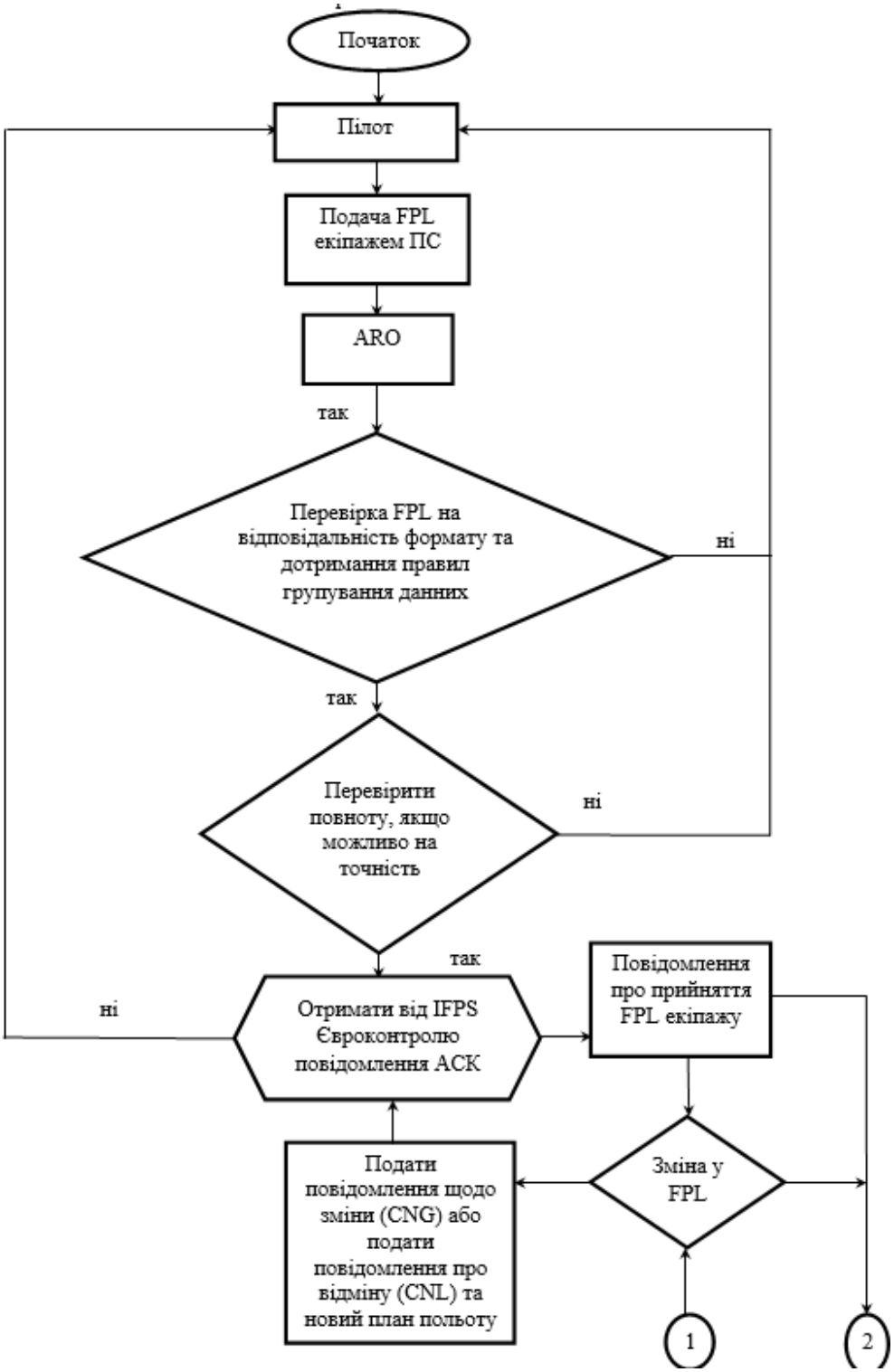
Додаток 4

Алгоритм «Приліт»



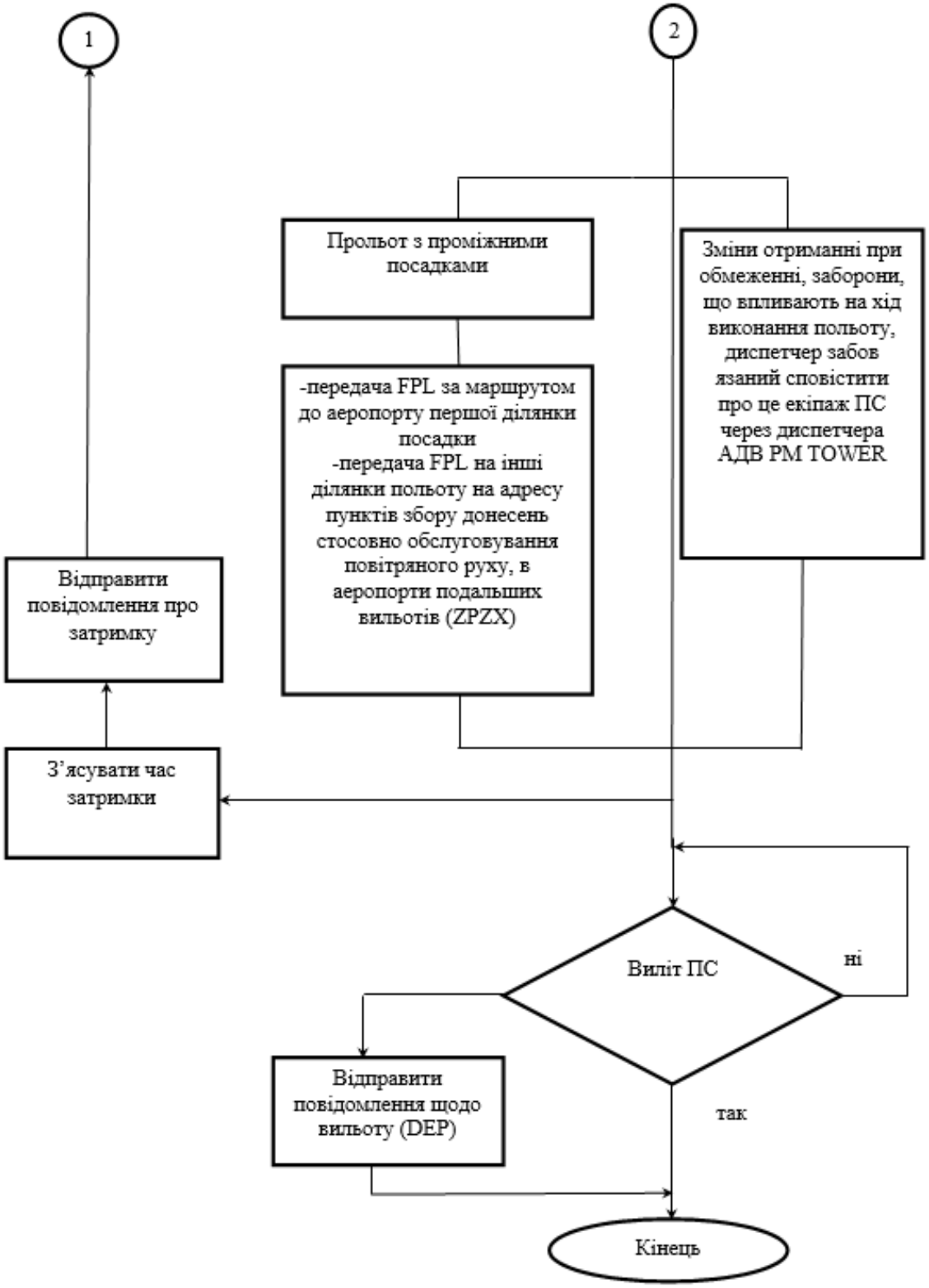
Додаток 5

Алгоритм «Виліт»



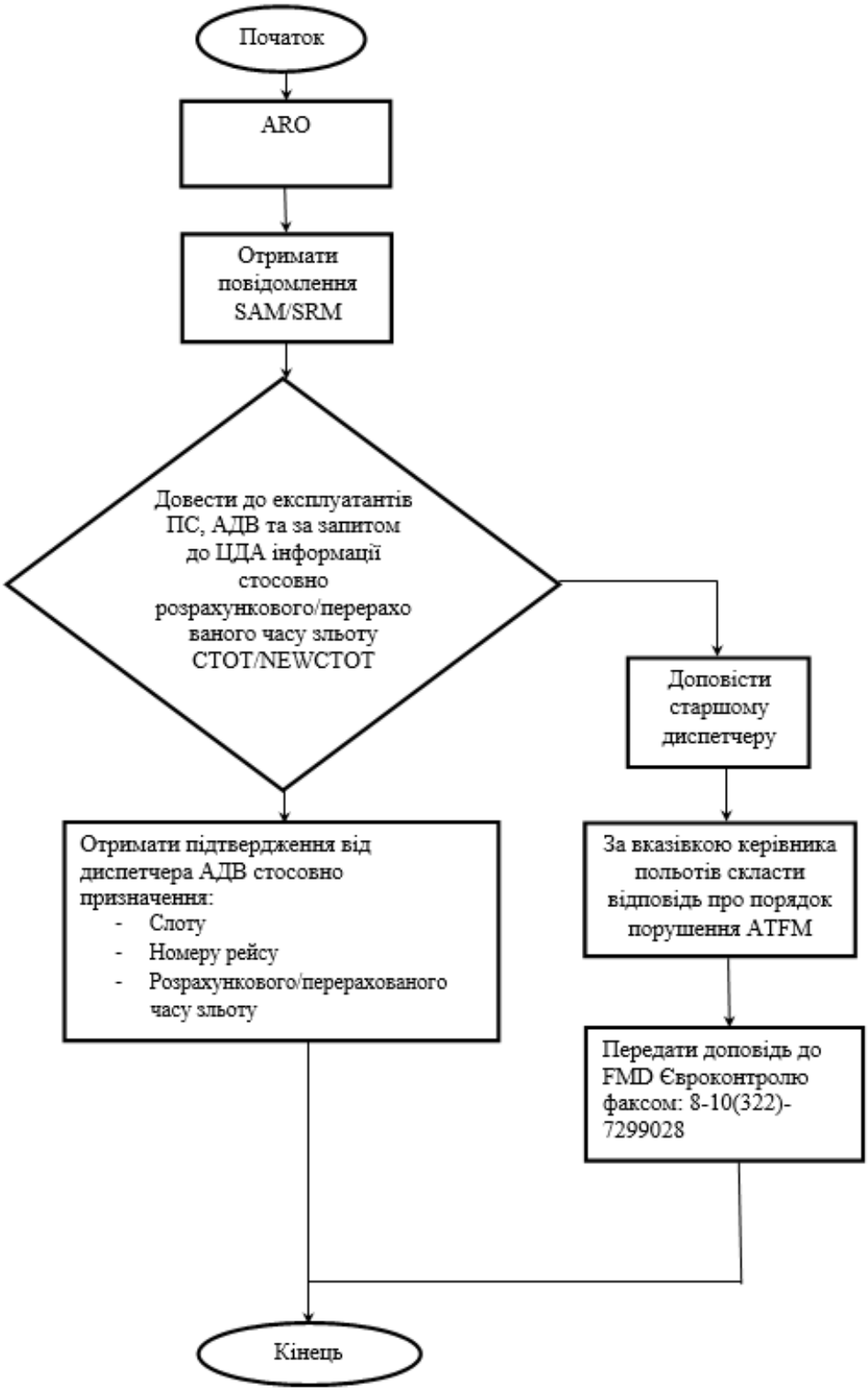
Додаток 5

Алгоритм «Виліт»



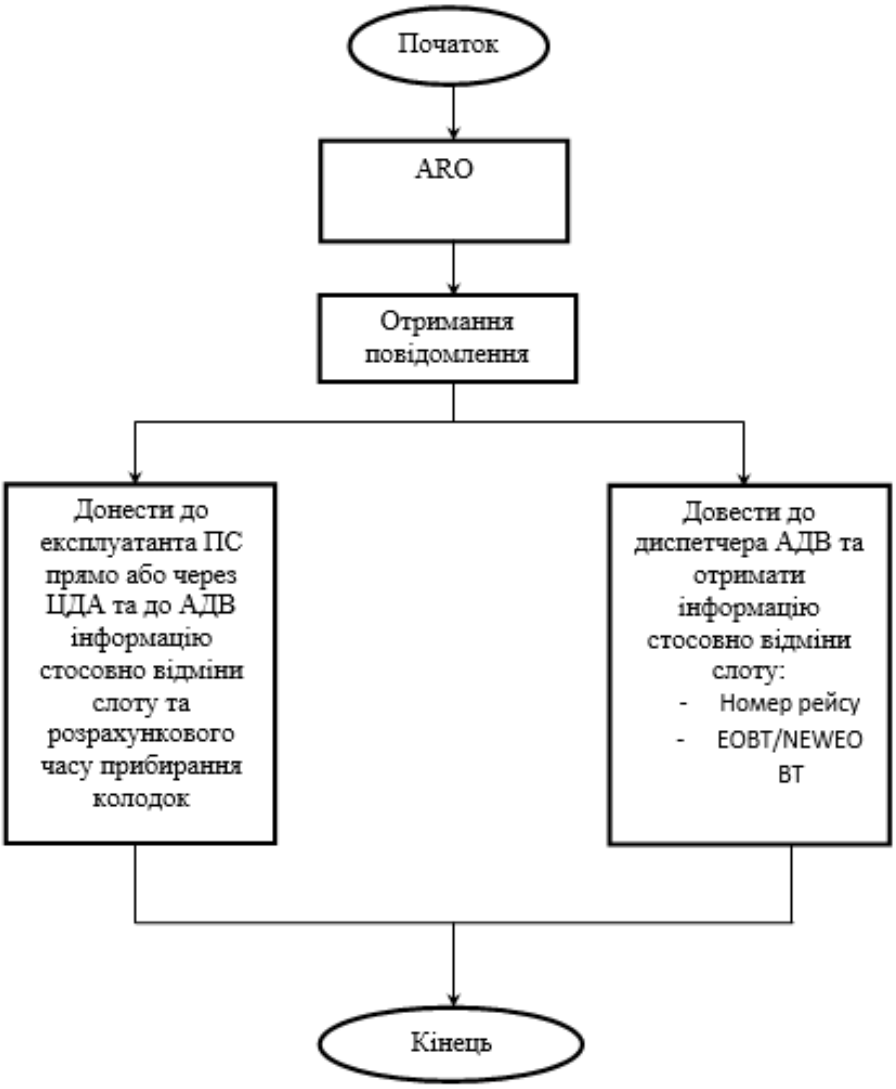
Додаток 6

Алгоритм «Операційні процедури»



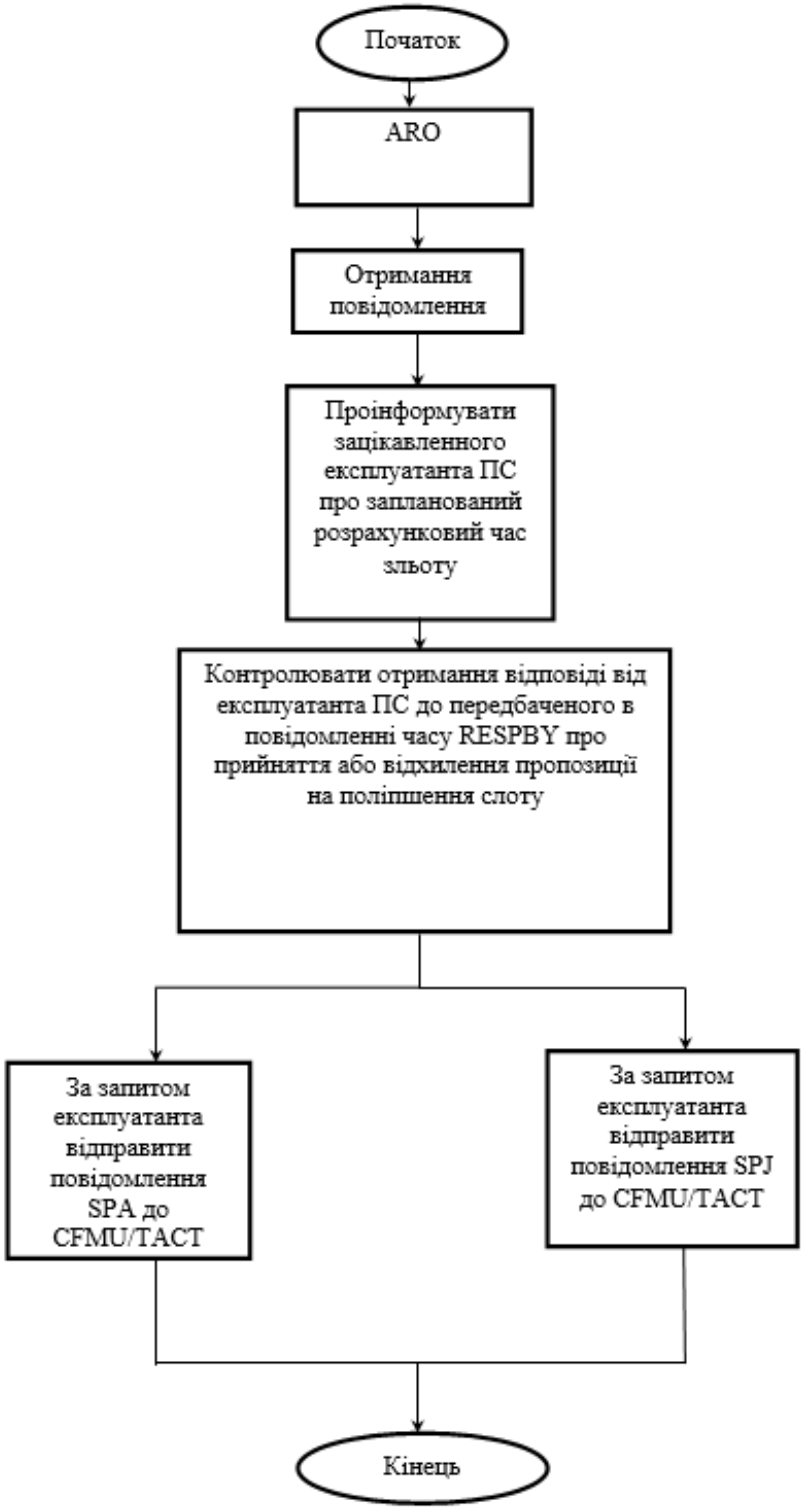
Додаток 7

Алгоритм «Операційні процедури»



Додаток 8

Алгоритм «Операційні процедури»

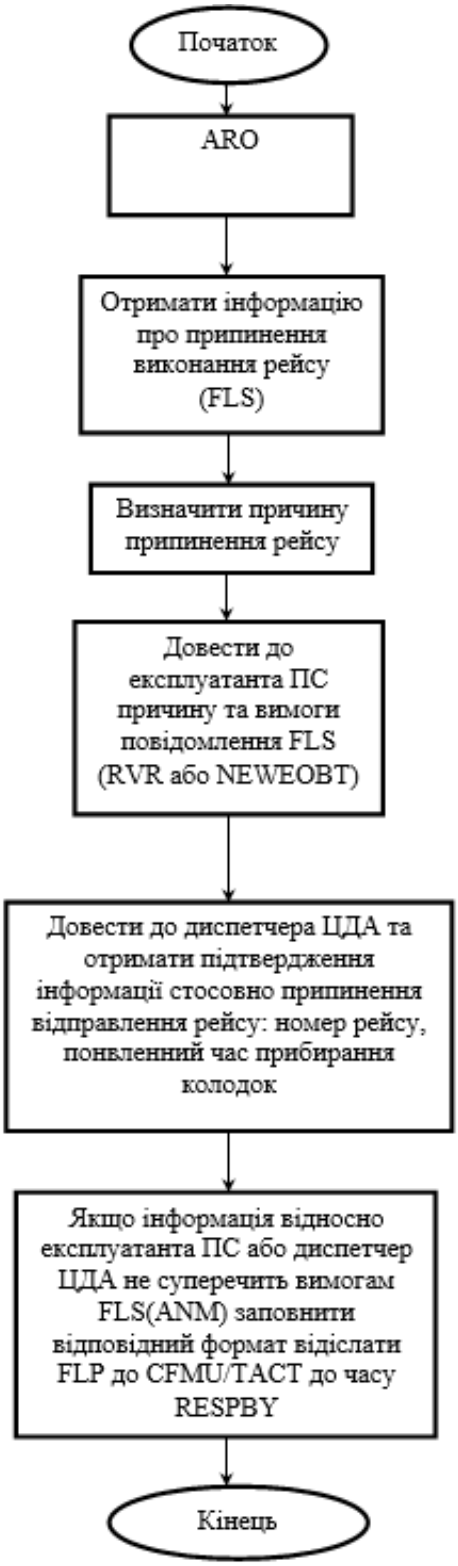


Додаток 9

Алгоритм «Операційні процедури»

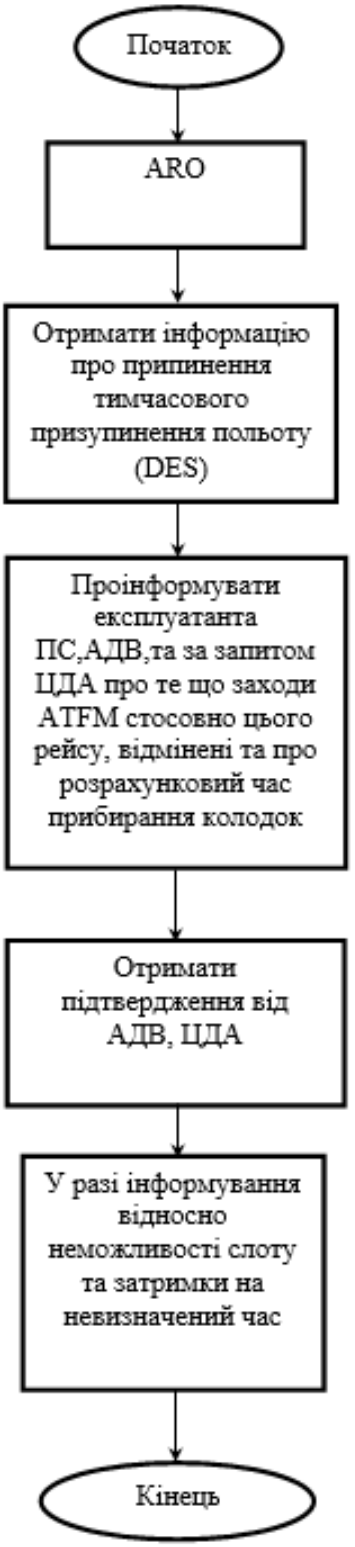
Додаток 10

Алгоритм «Операційні процедури»



Додаток 11

Алгоритм «Операційні процедури»



Додаток 12

Алгоритм «Операційні процедури»

Додаток 13

Розрахунок безпомилкової ймовірності збору інформації

Згідно рис 2.11. та використовуючи методи структурної декомпозиції розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи оператора АНС в нормальних умовах. Першим кроком буде розрахунок **ймовірності безпомилкового збору інформації**. Для цього розрахуймо ймовірності безпомилкового отримання:

1. Норми ешелювання
2. Метеоінформація
3. Повідомлення екіпажів
6. Планової інформації
7. Повідомлення інших служб з забезпечення польотів
8. Повідомлення суміжних органів ОрПР
9. Планів польотів
10. Радіолокаційного моніторінгу

$$Rinf1(t) := cnorm\left(\frac{\mu1 - t}{\nu1\sqrt{\mu1 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu1^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu1 + t)}{\nu1 \cdot \sqrt{\mu1 \cdot t}}\right]$$

$$Rinf2(t) := cnorm\left(\frac{\mu2 - t}{\nu2\sqrt{\mu2 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu2^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu2 + t)}{\nu2 \cdot \sqrt{\mu2 \cdot t}}\right]$$

$$Rinf3(t) := cnorm\left(\frac{\mu3 - t}{\nu3\sqrt{\mu3 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu3^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu3 + t)}{\nu3 \cdot \sqrt{\mu3 \cdot t}}\right]$$

$$Rinf6(t) := cnorm\left(\frac{\mu6 - t}{\nu6\sqrt{\mu6 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu6^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu6 + t)}{\nu6 \cdot \sqrt{\mu6 \cdot t}}\right]$$

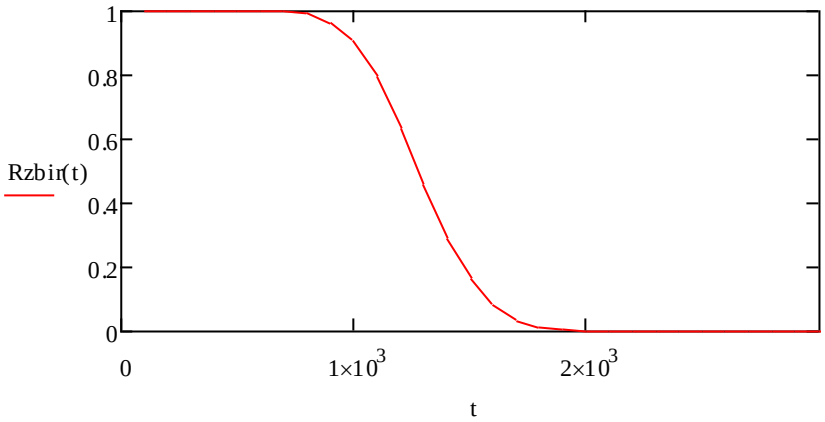
$$Rinf7(t) := cnorm\left(\frac{\mu7 - t}{\nu7\sqrt{\mu7 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu7^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu7 + t)}{\nu7 \cdot \sqrt{\mu7 \cdot t}}\right]$$

$$Rinf8(t) := cnorm\left(\frac{\mu8 - t}{\nu8\sqrt{\mu8 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu8^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu8 + t)}{\nu8 \cdot \sqrt{\mu8 \cdot t}}\right]$$

$$Rinf9(t) := cnorm\left(\frac{\mu9 - t}{\nu9\sqrt{\mu9 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu9^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu9 + t)}{\nu9 \cdot \sqrt{\mu9 \cdot t}}\right]$$

$$Rinf10(t) := cnorm\left(\frac{\mu10 - t}{\nu10\sqrt{\mu10 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu10^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu10 + t)}{\nu10 \cdot \sqrt{\mu10 \cdot t}}\right]$$

$$Rzbir(t) := Rinf1(t) \cdot Rinf2(t) \cdot Rinf3(t) \cdot Rinf6(t) \cdot Rinf7(t) \cdot Rinf8(t) \cdot Rinf9(t) \cdot Rinf10(t)$$



Додаток 14

Розрахунок безпомилкової ймовірності попередньої оброки інформації та аналізу повітряної обстановки

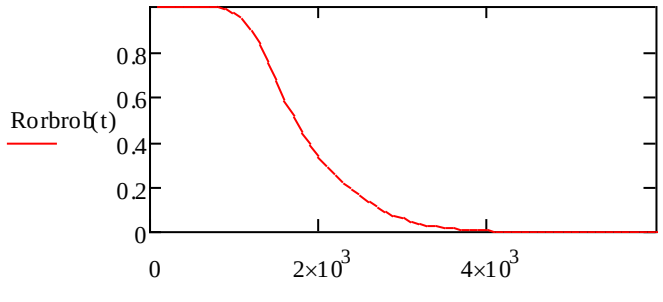
Наступним кроком є розрахунок безпомилкової ймовірності попередньої обробки інформації. Для цього слід розрахувати

$$Rinf11(t) := cnorm\left(\frac{\mu11 - t}{\nu11\sqrt{\mu11 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu11^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu11 + t)}{\nu1 \cdot \sqrt{\mu11 \cdot t}}\right]$$

$$Rinf13(t) := cnorm\left(\frac{\mu13 - t}{\nu13\sqrt{\mu13 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu13^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu13 + t)}{\nu13 \cdot \sqrt{\mu13 \cdot t}}\right]$$

$$Rinf14(t) := cnorm\left(\frac{\mu14 - t}{\nu14\sqrt{\mu14 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu14^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu14 + t)}{\nu14 \cdot \sqrt{\mu14 \cdot t}}\right]$$

$$Rorbrob(t) := Rinf11(t) \cdot [1 - (1 - Rinf13(t)) \cdot Rinf14(t)]$$



ймовірність безпомилкової:

11. Попередньої обробки інформації
13. Інформації про інші повітряні судна
14. Ідентифікації інформації

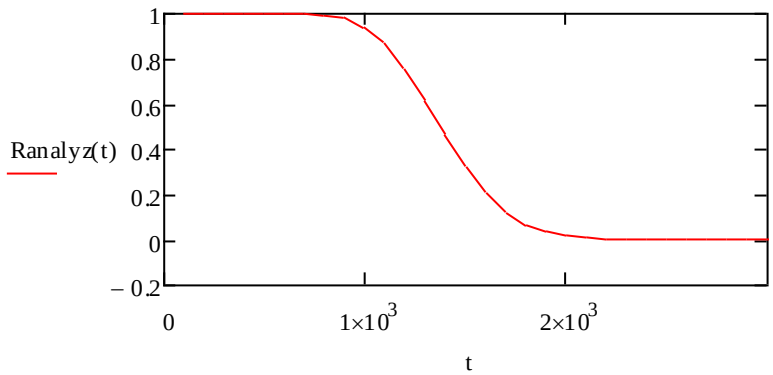
$$Rinf5(t) := cnorm\left(\frac{\mu5 - t}{\nu5\sqrt{\mu5 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu5^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu5 + t)}{\nu5 \cdot \sqrt{\mu5 \cdot t}}\right]$$

$$Rinf12(t) := cnorm\left(\frac{\mu12 - t}{\nu12\sqrt{\mu12 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu12^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu12 + t)}{\nu12 \cdot \sqrt{\mu12 \cdot t}}\right]$$

$$Rinf18(t) := cnorm\left(\frac{\mu18 - t}{\nu18\sqrt{\mu18 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu18^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu18 + t)}{\nu18 \cdot \sqrt{\mu18 \cdot t}}\right]$$

$$Rinf19(t) := cnorm\left(\frac{\mu19 - t}{\nu19\sqrt{\mu19 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu19^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu19 + t)}{\nu19 \cdot \sqrt{\mu19 \cdot t}}\right]$$

$$Ranalyz(t) := Rinf5(t) \cdot Rinf12(t) \cdot Rinf3(t) \cdot Rinf18(t) \cdot Rinf19(t)$$



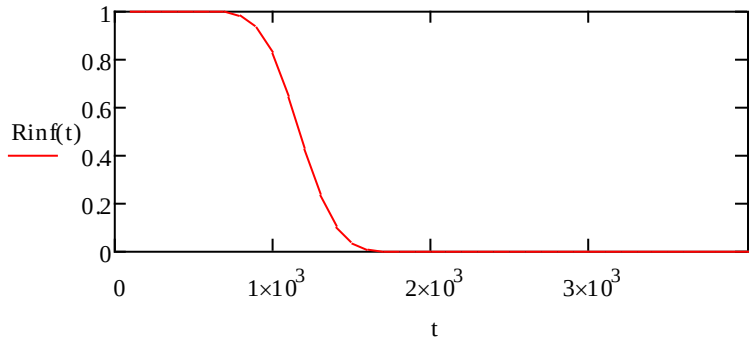
Ймовірність безпомилкового аналізу повітряної обстановки розраховується враховуючи ймовірності безпомилкової:

5. Норми ешелонування
12. Інформації про інші повітряні судна
18. Вимоги щодо економічності
19. Обмеження на польоти

Додаток 15

Розрахунок інформаційної безпомилковості оператора та ймовірності безпомилкового прийняття рішення

$$Rinf(t) := Ranalyz(t) \cdot Rorbrob(t) \cdot Rzbir(t)$$



Наступним кроком є розрахунок безпомилкової ймовірності прийняття рішення. Для цього розрахуймо ймовірність безпомилкової:

4. Координація рішення

$$Rprof4(t) := cnorm\left(\frac{\mu4 - t}{\nu4\sqrt{\mu4 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu4^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu4 + t)}{\nu4 \cdot \sqrt{\mu4 \cdot t}}\right]$$

$$Rprof15(t) := cnorm\left(\frac{\mu15 - t}{\nu15\sqrt{\mu15 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu15^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu15 + t)}{\nu15 \cdot \sqrt{\mu15 \cdot t}}\right]$$

$$Rprof16(t) := cnorm\left(\frac{\mu16 - t}{\nu16\sqrt{\mu16 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu16^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu16 + t)}{\nu16 \cdot \sqrt{\mu16 \cdot t}}\right]$$

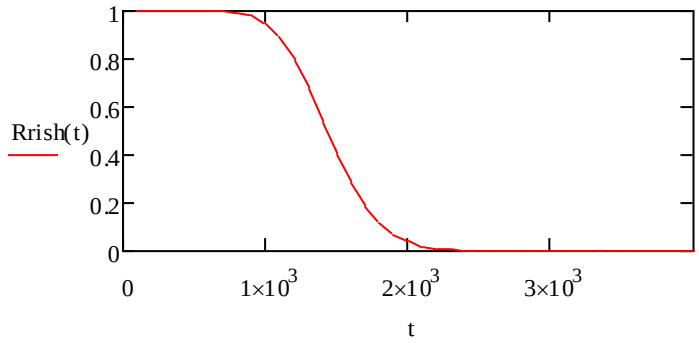
$$Rprof17(t) := cnorm\left(\frac{\mu17 - t}{\nu17\sqrt{\mu17 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu17^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu17 + t)}{\nu17 \cdot \sqrt{\mu17 \cdot t}}\right]$$

15. Вироблення попереднього рішення

16. Прийняття рішення

17. Аналіз повітряної обстановки

$$Rrish(t) := Rprof15(t) \cdot Rprof17(t) \cdot Rprof16(t) \cdot [1 - (1 - Rprof4(t))]$$



Додаток 16

Розрахунок професійної безпомилковості оператора та ймовірності безпомилкової реалізації рішення

Наступним кроком є розрахунок ймовірності безпомилкового реалізації рішення. Для цього розрахуймо ймовірність безпомилкової:

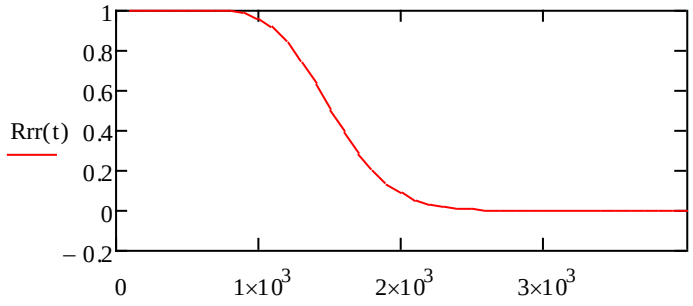
20. Інформації організаторам повітряного руху
21. Повідомлення суміжним органам ОрПР
22. Команди та інформація екіпажам повітряних суден

$$Rprof20(t) := cnorm\left(\frac{\mu 20 - t}{\nu 20\sqrt{\mu 20 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu 20^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu 20 + t)}{\nu 20 \cdot \sqrt{\mu 20 \cdot t}}\right]$$

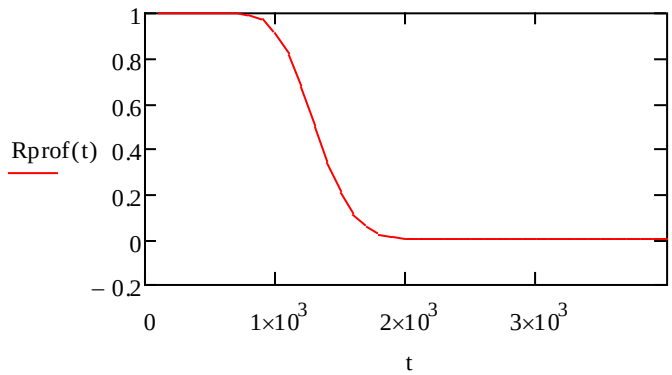
$$Rprof21(t) := cnorm\left(\frac{\mu 21 - t}{\nu 21\sqrt{\mu 21 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu 21^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu 21 + t)}{\nu 21 \cdot \sqrt{\mu 21 \cdot t}}\right]$$

$$Rprof22(t) := cnorm\left(\frac{\mu 22 - t}{\nu 22\sqrt{\mu 22 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu 22^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu 22 + t)}{\nu 22 \cdot \sqrt{\mu 22 \cdot t}}\right]$$

$$Rп(t) := Rprof20(t) \cdot Rprof21(t) \cdot Rprof22(t)$$



$$Rprof(t) := Rп(t) \cdot Rrish(t)$$



Додаток 17

Розрахунок експлуатаційної безпомилковості оператора

Для розрахунку експлуатаційної безпомилковості оператора АНС потрібно розрахувати:

23. Трудомісткість введення даних;
24. Складність роботи з інтерфейсом користувача;
25. Швидкодія техніки;
26. Якість освітлення;
27. Маркування даних (шрифт, його розмір і колір);
28. Обсяг одержуваної і оброблюваної інформації протягом зміни;
29. Доступність до апарату;
30. Якість зв'язку і звуку;
31. Нічні зміни;
32. Дуже велика або дуже маленька завантаження (кількість рейсів, що обслуговуються оператором АНС).

$$Rexp23(t) := cnorm\left(\frac{\mu23 - t}{\nu23\sqrt{\mu23 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu23^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu23 + t)}{\nu23 \cdot \sqrt{\mu23 \cdot t}}\right]$$

$$Rexp24(t) := cnorm\left(\frac{\mu24 - t}{\nu24\sqrt{\mu24 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu24^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu24 + t)}{\nu24 \cdot \sqrt{\mu24 \cdot t}}\right]$$

$$Rexp25(t) := cnorm\left(\frac{\mu25 - t}{\nu25\sqrt{\mu25 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu25^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu25 + t)}{\nu25 \cdot \sqrt{\mu25 \cdot t}}\right]$$

$$Rexp26(t) := cnorm\left(\frac{\mu26 - t}{\nu26\sqrt{\mu26 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu26^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu26 + t)}{\nu26 \cdot \sqrt{\mu26 \cdot t}}\right]$$

$$Rexp27(t) := cnorm\left(\frac{\mu27 - t}{\nu27\sqrt{\mu27 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu27^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu27 + t)}{\nu27 \cdot \sqrt{\mu27 \cdot t}}\right]$$

$$Rexp28(t) := cnorm\left(\frac{\mu28 - t}{\nu28\sqrt{\mu28 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu28^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu28 + t)}{\nu28 \cdot \sqrt{\mu28 \cdot t}}\right]$$

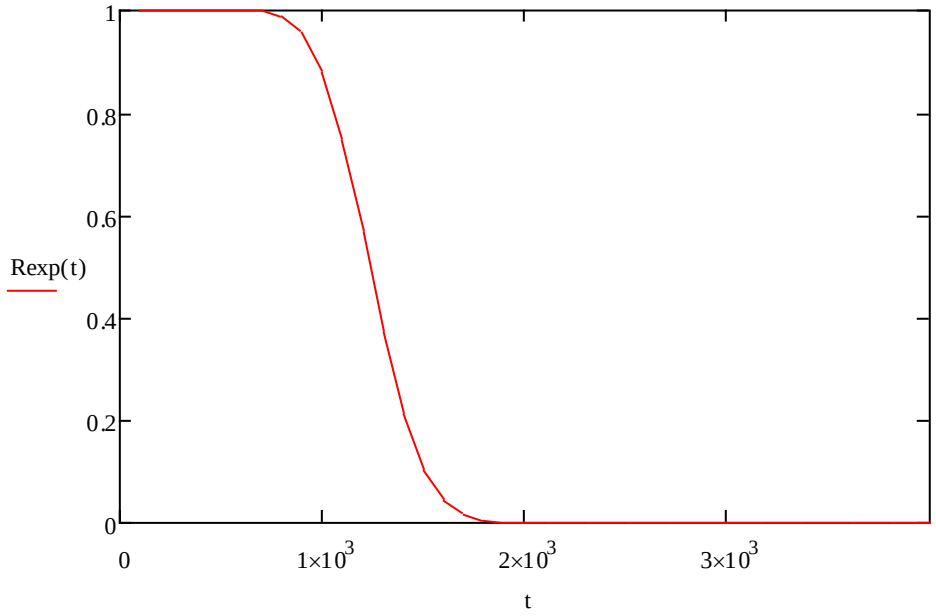
$$Rexp29(t) := cnorm\left(\frac{\mu29 - t}{\nu29\sqrt{\mu29 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu29^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu29 + t)}{\nu29 \cdot \sqrt{\mu29 \cdot t}}\right]$$

$$Rexp30(t) := cnorm\left(\frac{\mu30 - t}{\nu30\sqrt{\mu30 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu30^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu30 + t)}{\nu30 \cdot \sqrt{\mu30 \cdot t}}\right]$$

$$Rexp31(t) := cnorm\left(\frac{\mu31 - t}{\nu31\sqrt{\mu9 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu31^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu31 + t)}{\nu31 \cdot \sqrt{\mu31 \cdot t}}\right]$$

$$Rexp32(t) := cnorm\left(\frac{\mu32 - t}{\nu32\sqrt{\mu32 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu32^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu32 + t)}{\nu32 \cdot \sqrt{\mu32 \cdot t}}\right]$$

$$Rexp(t) := Rexp23(t) \cdot Rexp24(t) \cdot Rexp25(t) \cdot Rexp26(t) \cdot Rexp27(t) \cdot Rexp28(t) \cdot Rexp29(t) \cdot Rexp30(t) \cdot Rexp31(t) \cdot Rexp32(t)$$



Додаток 18

Розрахунок функціональної безпомилковості оператора

$$Rf33(t) := cnorm\left(\frac{\mu33 - t}{\nu33\sqrt{\mu33 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu33^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu33 + t)}{\nu33 \cdot \sqrt{\mu33 \cdot t}}\right]$$

$$Rf34(t) := cnorm\left(\frac{\mu34 - t}{\nu34\sqrt{\mu34 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu34^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu34 + t)}{\nu34 \cdot \sqrt{\mu34 \cdot t}}\right]$$

$$Rf35(t) := cnorm\left(\frac{\mu35 - t}{\nu35\sqrt{\mu35 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu35^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu35 + t)}{\nu35 \cdot \sqrt{\mu35 \cdot t}}\right]$$

$$Rf36(t) := cnorm\left(\frac{\mu36 - t}{\nu36\sqrt{\mu36 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu36^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu36 + t)}{\nu36 \cdot \sqrt{\mu36 \cdot t}}\right]$$

$$Rf37(t) := cnorm\left(\frac{\mu37 - t}{\nu37\sqrt{\mu37 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu37^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu37 + t)}{\nu37 \cdot \sqrt{\mu37 \cdot t}}\right]$$

$$Rf38(t) := cnorm\left(\frac{\mu38 - t}{\nu38\sqrt{\mu38 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu38^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu38 + t)}{\nu38 \cdot \sqrt{\mu38 \cdot t}}\right]$$

$$Rf39(t) := cnorm\left(\frac{\mu39 - t}{\nu39\sqrt{\mu29 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu39^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu39 + t)}{\nu39 \cdot \sqrt{\mu39 \cdot t}}\right]$$

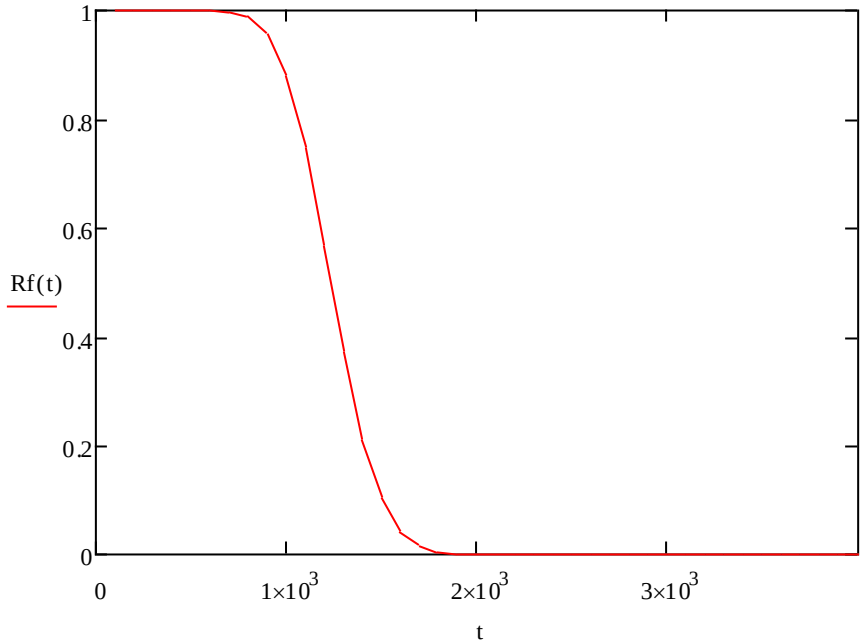
$$Rf40(t) := cnorm\left(\frac{\mu40 - t}{\nu40\sqrt{\mu30 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu40^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu40 + t)}{\nu40 \cdot \sqrt{\mu40 \cdot t}}\right]$$

$$Rf41(t) := cnorm\left(\frac{\mu41 - t}{\nu31\sqrt{\mu9 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu31^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu31 + t)}{\nu31 \cdot \sqrt{\mu31 \cdot t}}\right]$$

$$Rf42(t) := cnorm\left(\frac{\mu42 - t}{\nu42\sqrt{\mu42 \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu42^2}\right) \cdot cnorm\left[\frac{-(\mu42 + t)}{\nu42 \cdot \sqrt{\mu42 \cdot t}}\right]$$

$$Rf(t) := Rf33(t) \cdot Rf34(t) \cdot Rf35(t) \cdot Rf36(t) \cdot Rf37(t) \cdot Rf38(t) \cdot Rf39(t) \cdot Rf40(t) \cdot Rf41(t) \cdot Rf42(t)$$

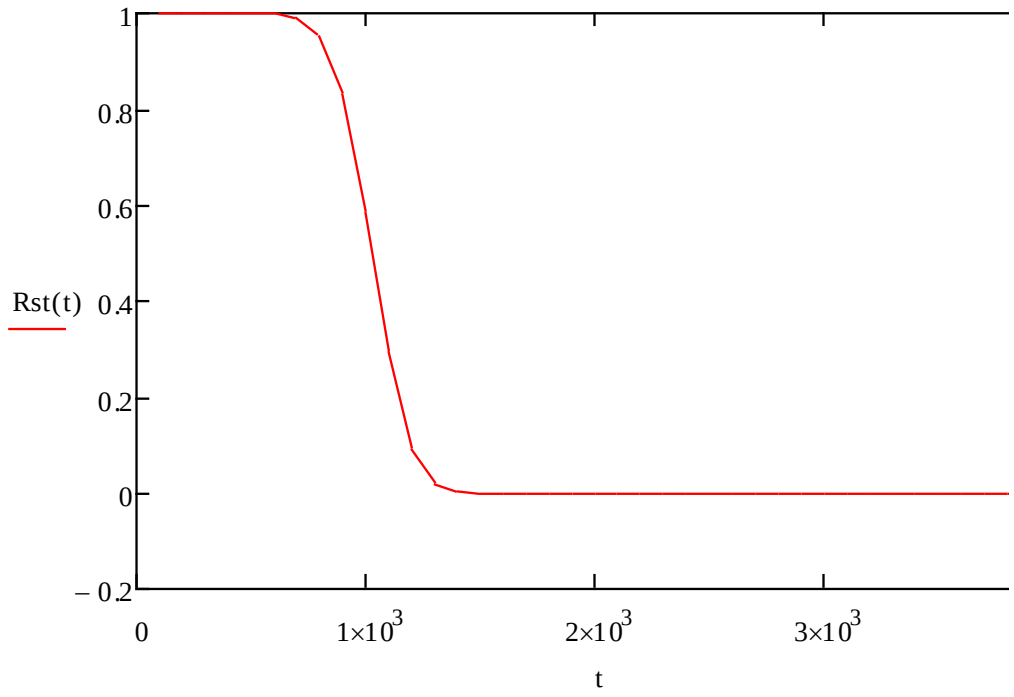
11.	Рівень гемоглобіну
12.	Рівень глюкози
13.	Артеріальний тиск
14.	Таблиці Шульте
15.	Методика Мюнстерберга
16.	Температура тіла
17.	Методика «Компаси»
18.	Тремтіння рук
19.	Пульс
20.	Ілюзії Акіоші Кітаока



Додаток 19

Розрахунок повної структурної безпомилковості оператора

$$Rst(t) := Rf(t) \cdot Rexp(t) \cdot Rinf(t) \cdot Rprof(t)$$



Акти та довідки впровадження результатів дисертаційної роботи

АЭРОФЛОТ Российские авиалинии	АКТ о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы **Кожохиной Елены Владимировны**	Специальность 05.22.13 – Навигация и управление воздушным движением
Департамент планирования и координации операционной деятельности Отдел полетного диспетчерского обслуживания экипажей ВС Группа диспетчерского обслуживания экипажей ВС		Стр. 1 из1

УТВЕРЖДАЮ

Начальник отдела полетного диспетчерского обслуживания экипажей ВС

В.Н.Казанцев

«___» _____ 2014 г.

АКТ
о внедрении результатов
кандидатской диссертационной работы
Кожохиной Елены Владимировны

Комиссия в составе:
председатель Томашевич Артем Игоревич,
члены комиссии: Кузин Петр Дмитриевич,
Бурмистров Владимир Анатольевич,

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы по проблеме информационно-функциональной надежности оператора аэронавигационных систем представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в деятельности отдела полетного диспетчерского обслуживания экипажей воздушных судов ОАО Аэрофлот-российские авиалинии в части оптимизации деятельности операторов аэронавигационных систем при исследовании их информационно-аналитической функции. Внедрение показало, что результаты диссертационной работы можно использовать при анализе основных рабочих инструкций авиационных диспетчеров, выяснив при этом наиболее критичные операции и моменты возникновения при этом перегрузок по потоку информации, а так же определить степень их эмоционального напряжения и стресса с помощью комбинированного анализатора ГБГ-1.

Использование указанных результатов позволяет: повысить показатели надежности эргатической аэронавигационной системы, эффективность диспетчерского обслуживания и уровень безопасности полетов.

Председатель комиссии Томашевич Артем Игоревич
Члены комиссии: Кузин Петр Дмитриевич
Бурмистров Владимир Анатольевич

Исполнитель: Бурмистров В.А.
Тел. 7-499-500-69-34

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
_____ В.П. Харченко
“ ” _____ 2015 р.

АКТ
про впровадження результатів дисертаційного дослідження Кожохіної Олени Володимирівни «Інформаційно-функціональна модель надійності оператора аеронавігаційних систем» у навчальний процес кафедри авіоніки Навчально-наукового інституту аеронавігації Національного авіаційного університету, м. Київ

Комісія в складі:
голови – директора Навчально-наукового інституту аеронавігації Чепіженка В.І., д.т.н., с.н.с.;
членів: заступника директора ННІАН з науково-методичної роботи Креденцар С.М., к.т.н., доцента, завідувача кафедри авіоніки Скрипця А.В., к.т.н., професора, доцента кафедри авіоніки Грищенка Ю.В., к.т.н., доцента склали чинний акт про те, що результати дисертаційного дослідження Кожохіної Олени Володимирівни впроваджені у навчальний процес кафедри авіоніки:

Назва впровадженого результату дисертаційного дослідження	**Форма впровадження**	**Досягнутий ефект**
Комплекс «Антипульт»	Лабораторна робота з дисципліни «Інженерна психологія, ергономіка та людський чинник в авіації»	За допомогою комплексу можливо не тільки отримувати статистику помилок студентів як операторів, що проходять первинне навчання, але й проводити їх антистресову підготовку
Прогнозування помилок операторів, що експлуатують системи авіоніки	Лабораторна робота з дисципліни «Надійність систем авіоніки»	Підвищено рівень сприйняття значення впливу надійності оператора на надійність авіаційної ергатичної системи

Голова комісії:
директор ННІАН, д.т.н., с.н.с. _____ В. І. Чепіженко
Члени комісії:
заступник директора ННІАН з науково-методичної роботи, к.т.н., доцент _____ С.М. Креденцар
завідувач кафедри авіоніки, к.т.н., професор _____ А. В. Скрипець
доцент кафедри авіоніки, к.т.н., доцент _____ Ю.В. Грищенко

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
_____ В.П. Харченко
“ ” _____ 2015 р.

АКТ
про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Кожохіної Олени Володимирівни «Інформаційно-функціональна модель надійності оператора аеронавігаційних систем»
у науково-дослідну роботу

Комісія в складі:
голови – директора Навчально-наукового інституту аеронавігації Чепіженка В.І., д.т.н., с.н.с.;
членів: заступника директора ННІАН з науково-методичної роботи Креденцар С.М., к.т.н., доцента, завідувача кафедри авіоніки Скрипця А.В., к.т.н., професора, доцента кафедри авіоніки Бєлінського В.М., к.т.н., доцента склали чинний акт про те, що результати дисертаційного дослідження Кожохіної Олени Володимирівни впроваджені в кафедральну НДР № 93/22.01.05 «Дослідження, обґрунтування та створення науково-методичного забезпечення підготовки магістрів з комплексів пілотажно-навігаційного обладнання та удосконалення підготовки бакалаврів з авіоніки» (№ 93/22.01.05):

Назва впровадженого результату дисертаційного дослідження	**Форма впровадження**	**Досягнутий ефект**
Надійність оператора в процесі керування повітряним рухом	Розділ 6.5 звіту з науково-дослідної роботи № 93/22.01.05 «Дослідження, обґрунтування та створення науково-методичного забезпечення підготовки магістрів з комплексів пілотажно-навігаційного обладнання та удосконалення підготовки бакалаврів з авіоніки» (від 01.01.2012 по 31.12.2012 року)	Підвищення освітньо-кваліфікаційного рівня студентів та рівня сприйняття значення впливу надійності оператора на надійність авіаційної ергатичної системи

Голова комісії:
директор ННІАН, д.т.н.,
с.н.с. _____ В. І. Чепіженко
Члени комісії:
заступник директора ННІАН з
науково-методичної роботи,
к.т.н., доцент _____ С.М. Креденцар
завідувач кафедри авіоніки,
к.т.н., професор _____ А. В. Скрипець
Відповідальний виконавець НДР,
к.т.н., доцент _____ В. М. Бєлінський

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
_____ В.П. Харченко
“ ____ ” _____ 2015 р.

АКТ
про впровадження результатів дисертаційного дослідження Кожохіної Олени Володимирівни «Інформаційно-функціональна модель надійності оператора аеронавігаційних систем» у навчальний процес кафедри авіоніки Навчально-наукового інституту аеронавігації Національного авіаційного університету, м. Київ

Комісія в складі:
голови – директора Навчально-наукового інституту аеронавігації Чепіженка В.І., д.т.н., с.н.с.;
членів: заступника директора ННІАН з науково-методичної роботи Креденцар С.М., к.т.н., доцента, завідувача кафедри авіоніки Скрипця А.В., к.т.н., професора, доцента кафедри авіоніки Грищенка Ю.В., к.т.н., доцента склали чинний акт про те, що результати дисертаційного дослідження Кожохіної Олени Володимирівни впроваджені у навчальний процес кафедри авіоніки:

Назва впровадженого результату дисертаційного дослідження	**Форма впровадження**	**Досягнутий ефект**
Комплекс «Антипульт»	Лабораторна робота з дисципліни «Інженерна психологія, ергономіка та людський чинник в авіації»	За допомогою комплексу можливо не тільки отримувати статистику помилок студентів як операторів, що проходять первинне навчання, але й проводити їх антистресову підготовку
Прогнозування помилок операторів, що експлуатують системи авіоніки	Лабораторна робота з дисципліни «Надійність систем авіоніки»	Підвищено рівень сприйняття значення впливу надійності оператора на надійність авіаційної ергатичної системи

Голова комісії:
директор ННІАН, д.т.н., с.н.с. _____ В. І. Чепіженко
Члени комісії:
заступник директора ННІАН з науково-методичної роботи, к.т.н., доцент _____ С.М. Креденцар
завідувач кафедри авіоніки, к.т.н., професор _____ А. В. Скрипець
доцент кафедри авіоніки, к.т.н., доцент _____ Ю.В. Грищенко

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
_____ В.П. Харченко
“ ” _____ 2015 р.

АКТ
про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Кожохіної Олени Володимирівни «Інформаційно-функціональна модель надійності оператора аеронавігаційних систем»
у науково-дослідну роботу

Комісія в складі:
голови – директора Навчально-наукового інституту аеронавігації Чепіженка В.І., д.т.н., с.н.с.;
членів: заступника директора ННІАН з науково-методичної роботи Креденцар С.М., к.т.н., доцента, завідувача кафедри авіоніки Скрипця А.В., к.т.н., професора, доцента кафедри авіоніки Бєлінського В.М., к.т.н., доцента склали чинний акт про те, що результати дисертаційного дослідження Кожохіної Олени Володимирівни впроваджені в кафедральну НДР № 93/22.01.05 «Дослідження, обґрунтування та створення науково-методичного забезпечення підготовки магістрів з комплексів пілотажно-навігаційного обладнання та удосконалення підготовки бакалаврів з авіоніки» (№ 93/22.01.05):

Назва впровадженого результату дисертаційного дослідження	**Форма впровадження**	**Досягнутий ефект**
Надійність оператора в процесі керування повітряним рухом	Розділ 6.5 звіту з науково-дослідної роботи № 93/22.01.05 «Дослідження, обґрунтування та створення науково-методичного забезпечення підготовки магістрів з комплексів пілотажно-навігаційного обладнання та удосконалення підготовки бакалаврів з авіоніки» (від 01.01.2012 по 31.12.2012 року)	Підвищення освітньо-кваліфікаційного рівня студентів та рівня сприйняття значення впливу надійності оператора на надійність авіаційної ергатичної системи

Голова комісії:
директор ННІАН, д.т.н.,
с.н.с. _____ В. І. Чепіженко
Члени комісії:
заступник директора ННІАН з
науково-методичної роботи,
к.т.н., доцент _____ С.М. Креденцар
завідувач кафедри авіоніки,
к.т.н., професор _____ А. В. Скрипець
Відповідальний виконавець НДР,
к.т.н., доцент _____ В. М. Бєлінський