

УДК 656.7.022

А.С. Пальоний

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

РОЗРОБКА МЕТОДУ І МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ ДІЯЛЬНОСТІ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ

Стаття присвячена проблемі підвищення ефективності професійної підготовки авіадиспетчерів за рахунок вдосконалення системи критеріїв оцінки, розробки методу, моделей і алгоритмів оцінки їх дій. Запропонований метод комплексної оцінки дій авіадиспетчерів на основі трьохрівневої ієрархічної моделі діяльності авіадиспетчера, побудований на засадах мультиагентного підходу. Наведені приклади моделей ідентифікації помилок авіадиспетчерів, що складаються з діаграм послідовності подій і дерев помилок за відповідними критеріями оцінки. Подані моделі і алгоритми автоматизованої оцінки дій авіадиспетчерів виступають основою концептуального проектування і програмної реалізації інтелектуальних модулів системи підтримки прийняття рішень інструктора тренажеру управління повітряним рухом.

Ключові слова: авіадиспетчер, методи оцінки діяльності, мультиагентні системи, моделі помилок, система підтримки прийняття рішень.

Вступ

Впровадження сучасних автоматизованих систем керування повітряним рухом (АС КІР) і новітніх технологій в галузі зв'язку, навігації та спостереження (СНС/АТМ), розвитку системи організації повітряного руху, застосування нових методів і технологічних процедур організації повітряного руху на фоні значного зростання інтенсивності польотів, висувають підвищені вимоги до авіадиспетчерів.

На органи управління повітряним рухом (УІР) покладаються завдання із забезпечення безперервного ефективного обслуговування повітряного руху (управління ним) та забезпечення безпеки польотів. Успішне виконання цих завдань авіадиспетчером здебільшого залежить від набутого ним рівня професійних знань, вмінь і навичок (ЗВН) та їх реалізації в реальних умовах на робочих місцях. Тому дуже важливу роль відіграє розробка методу і моделей оцінки дій авіадиспетчерів з метою їх застосування для контролю рівня їх професійної підготовки, як на тренажерах УІР, так і на підприємстві. Одним з найважливіших завдань оцінки рівня компетентності авіадиспетчерів є отримання достовірних та обґрунтованих результатів навчання. Існуюча система оцінювання дій авіадиспетчерів на тренажерах УІР і на робочих місцях, що базується на висновках інструкторів (експертів), не є достатньо об'єктивною, тому, що залежить від рівня їх професіоналізму, досвіду, моральних якостей та психофізіологічних особливостей. Другою проблемою є відсутність чіткої, деталізованої та всебічної системи критеріїв оцінки дій авіадиспетчерів, яка б характеризувала діяльність авіадиспетчерів на різних рівнях технологічної структури їх діяльності (на рівні технологічних процедур, операцій і елементів) в кількісному представленні.

Оцінці впливу людського фактору на надійність (HRA – Human Reliability Assessment) приділялося

багато уваги в 70-80-х рр., коли з'явилась велика кількість різних методів HRA (Stager & Hameluck, Rouse & Rouse, Rasmussen, Reason, Embrey, Norman, Jones & Endsley, Williams & Munley та ін.). У вітчизняній науці питання професійного відбору, моделювання задач і автоматизації оцінки дій авіадиспетчерів розглядалися В.М. Затонським, Г.А. Крижановським, С.М. Неділько, М.М. Сухих, В.П. Харченко та іншими [1-3].

Запропонований Євроконтролем новий HRA-метод включає в себе застосування набору взаємопов'язаних моделей, за допомогою яких можливо ідентифікувати і класифікувати помилки, що припускають авіадиспетчери протягом виконання вправи на тренажері УІР. Ключовою моделлю для ідентифікації та класифікації помилок у їх методі виступає модель вибору оператора (ОСМ – Operator Choice Model). ОСМ послідовно описує, які певні події можуть мати місце протягом реалізації вправи на тренажері. Ця модель охоплює обидва рішення: правильні і «неправильні» для реєстрації того, як помилки виникають, поширюються і корегуються [2].

З аналізу цих методів стає зрозумілим, що більшість з них, або не призначаються саме для моделювання діяльності та помилок авіадиспетчерів, а тому не дозволяють адекватно ідентифікувати помилки під час УІР, або є занадто загальними і не достатньо розробленими на рівні моделей та алгоритмів для реалізації відповідних оцінюючих програм. Більшість з розглянутих методів не дозволяють визначати *причини і закономірності* виникнення помилок під час УІР, встановлювати причинно-наслідкові зв'язки між помилками та відповідними подіями-наслідками. Окрім того, багатьом існуючим методам властива вузькість розгляду сторін і параметрів діяльності авіадиспетчера, тобто відсутнє застосування *комплексного підходу* щодо їх аналізу та оцінки.

Застосування автоматизованих засобів реєстрації, аналізу та оцінки дій авіадиспетчерів та їх ком-

плексна реалізація в якості системи підтримки прийняття рішення (СППР) для інструктора тренажера (експерта регіонального структурного підрозділу Украероруху), дозволило б знизити вплив людського фактору на результати оцінки ЗВН авіадиспетчерів. Це стає можливим завдяки наданню інструктору тренажера (експерта) документованого звіту, який містить результати первинного аналізу дій авіадиспетчерів. Враховуючи сукупність кількісних показників діяльності авіадиспетчера, що надаються автоматизованою системою, та ведучи власні спостереження, інструктор (експерт) виводить підсумкову якісну оцінку діям диспетчера УПР.

Таким чином, метою даного дослідження є підвищення ефективності професійної підготовки диспетчерів УПР за рахунок вдосконалення системи критеріїв оцінки, розробки моделей, методів і алгоритмів оцінювання їх дій.

Постановка завдань дослідження

Зазначена мета досягається розробкою та застосуванням інтелектуальних модулів у складі СППР та здійснюється вирішенням таких завдань:

- аналіз існуючих підходів щодо оцінки діяльності авіадиспетчерів та методів їх реалізації на тренажерах УПР і виробництві;
- визначення та обґрунтування технологічної структури діяльності авіадиспетчера, за окремими типовими елементами якої здійснюється автоматизований аналіз і оцінка дій диспетчера;
- розробка та обґрунтування системи критеріїв автоматизованого оцінювання дій авіадиспетчерів;
- розробка моделей і алгоритмів оцінювання дій авіадиспетчерів;
- розробка системи підтримки прийняття рішень інструктора тренажеру УПР (експерту РСР).

Предметом дослідження виступають моделі і алгоритми, за допомогою яких здійснюється аналіз і оцінювання дій авіадиспетчерів на тренажерах УПР та виробництві.

Розробка методу і моделей оцінювання дій авіадиспетчерів

У своїй роботі авіадиспетчер керується посадовими і робочими інструкціями, що регламентують умови та послідовність виконання технологічних операцій у складі відповідних технологічних процедур для вирішення різноманітних ситуацій у повітряному русі. При цьому, авіадиспетчер виконує певні професійні завдання, що конкретизують мету його професійної діяльності у вигляді загальних напрямів його роботи: забезпечення відповідних видів обслуговування повітряного руху (ОПР), управління використанням повітряного простору, організація потоків повітряного руху тощо. Проблемна ситуація, що виникає під час ОПР, відповідає певній технологічній

процедурі та виступає «пусковим механізмом» для застосування авіадиспетчером відповідних заходів для її вирішення. *Проблемна ситуація* під час безпосереднього УПР уявляє собою сукупність обставин (умов), які порушують задане функціонування керуваної системи, і потребують від авіадиспетчера прийняття рішення щодо нормалізації ситуації.

Отже, для визначення типових технологічних одиниць діяльності (ТОД), які підлягають реєстрації, аналізу і оцінки, нами вперше була розроблена *трьохрівнева ієрархічна модель діяльності* авіадиспетчера, що будується за принципом меронімії типових технологічних одиниць (рис. 1), а саме:

1. *Технологічні процедури* (ТП) – упорядкована сукупність технологічних операцій, виконанням яких вирішується певна типова ситуація у повітряному русі (у тому числі, ситуація проблемного характеру). ТП виступає структурно-функціональною одиницею професійного завдання певного типу, тобто реалізацією відповідних ТП авіадиспетчером забезпечується вирішення певного професійного завдання.

2. *Технологічні операції* (ТО) – це окремі диспетчерські дозволи, вказівки, блоки інформаційних елементів, координаційні повідомлення, що входять до складу відповідної технологічної процедури.

3. *Технологічні елементи* (ТЕ) – елементарна невідіма складова будь-якої технологічної операції, уявляє собою найнижчий рівень діяльності авіадиспетчера. Саме ТЕ підлягають безпосередній реєстрації. В залежності від способу дії (мовна вказівка чи взаємодія авіадиспетчера з АС КПР), слід розрізняти такі технологічні елементи:

- *інформаційні ТЕ* – фразеологічні елементи, з яких складаються будь-які диспетчерські дозволи і вказівки, консультаційні, інформаційні та координаційні повідомлення;
- *поведінкові ТЕ* – елементарні практичні акти при взаємодії авіадиспетчера з АС КПР, зокрема з підсистемою планової інформації.

Найвище місце у декомпозиції діяльності авіадиспетчера займають технологічні процедури, асоційовані з типовими ситуаціями у повітряному русі, кожна з яких уявляє собою сукупність технологічних операцій, які упорядковані за послідовністю їх виконання. Кожна операція складається з упорядкованої сукупності типових інформаційних елементів повідомлень щодо ОПР і елементарних актів з введення даних до АС КПР. Саме технологічні елементи як невідімі одиниці найнижчого рівня декомпозиції діяльності авіадиспетчера підлягають безпосередній реєстрації. Оцінки виконання ТЕ за відповідними критеріями виступають основою для виводу підсумкової оцінки виконання авіадиспетчером вправи.

Запропонована модель дозволяє здійснювати детальний і всебічний аналіз дій авіадиспетчерів з позиції комплексного підходу з застосуванням удоско-

наленій системи критеріїв оцінки. *Комплексний підхід*, на якому ґрунтується розроблений метод оцінки діяльності авіадиспетчерів, передбачає отримання детальної інформації про помилки та оцінки авіадис-

петчера у відповідності з етапами прийняття рішень щодо вирішення певної проблемної ситуації. Аналіз дій авіадиспетчерів, згідно цього підходу, охоплює собою такі сторони діяльності диспетчера, як:

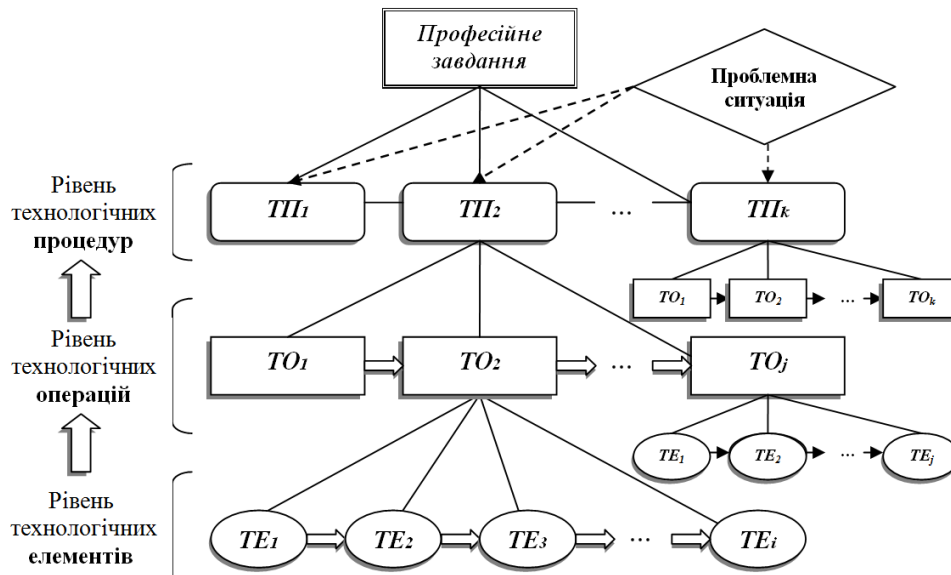


Рис. 1. Рівні діяльності авіадиспетчера

- реакція на проблемну ситуацію;
- розташування за пріоритетами звертання до одночасно існуючих проблем у повітряному русі;
- прийняття рішення щодо вирішення проблемної ситуації;
- виконання дій щодо вирішення проблемної ситуації (аналізується процедурна, технологічна і фразеологічна правильність дій на відповідних рівнях структури діяльності авіадиспетчера);
- реалізація обраної стратегії керування.

Система критеріїв оцінки дій авіадиспетчерів, що була нами розвинута, дозволяє чітко викреслити та відокремити кількісно-якісні показники їх діяльності відповідно до визначеного рівня ієрархії технологічних одиниць. Ґрунтуючись на цій системі критеріїв, забезпечується комплексне оцінювання дій авіадиспетчера завдяки отриманню сукупності кількісних показників на кожному рівні ієрархії технологічних одиниць і виводом комплексної оцінки виконання вправи диспетчером (роботи на протязі зміни) [4]. Отримані дані сприяють виводу достовірної підсумкової оцінки дій авіадиспетчера і дають можливість формувати, на їх основі, більш точний і детальний прогноз щодо динаміки зміни рівня розвитку конкретних груп навичок авіадиспетчера за відповідними технологічними процедурами і операціями. Для представлення критеріїв оцінки в структурованому вигляді та їх зв'язків з відповідними рівнями ТОД авіадиспетчера використовується система взаємопов'язаних фреймів, що утворюють собою логіко-семантичну мережу. На підставі базових критеріїв оцінки формується сукупність часткових критеріїв, що властива відповідній технологічній процедурі,

операції, елементу. У зв'язку з цим розроблена 4-х етапна процедура визначення сукупності часткових критеріїв автоматизованої оцінки. Зазначена процедура складається з таких етапів, як формування сукупності часткових критеріїв з числа базових критеріїв, аналіз цільової сторони ТП, аналіз змістовної частини ТП та аналіз часової складової виконання ТО. Результатом виконання процедури призначення часткових критеріїв оцінки ТОД виступає їх множина у вигляді сукупності:

$$M_{kN} = M_1^{TP} + M_2^{TO} + M_3^{TE} \quad (1)$$

де $M_1^{TP} \equiv \overline{CI} \cup \overline{TI} \cup \overline{CP} \cup \overline{OM} \cup \overline{RS} \cup \overline{RE} \cup \overline{RC}$ - підмножина часткових критеріїв оцінки виконання k-ї ТП; $M_2^{TO} \equiv \overline{CO} \cup \overline{SO} \cup \overline{TP} \cup \overline{EO}$ - підмножина часткових критеріїв оцінки виконання j-х ТО; $M_3^{TE} \equiv \overline{CE} \cup \overline{SE} \cup \overline{AE} \cup \overline{EE}$ - підмножина часткових критеріїв оцінки виконання i-х ТЕ.

В основу запропонованого нами **методу комплексного оцінювання діяльності** авіадиспетчерів покладений алгоритм комплексної оцінки дій авіадиспетчерів, що базується на ідеології мультиагентних систем (МАС) [5]. Застосування МАС дозволяє реалізувати процедуру комплексної оцінки діяльності авіадиспетчерів за рахунок розподіленого управління аналізом і оцінки правильності виконання всіх її складових. Доцільність використання МАС пов'язано з наявністю ієрархічної структури критеріїв оцінки (агентів) та їх послідовною взаємодією в процесі оцінювання в залежності від проміжних результатів оцінки за відповідними критеріями. Іншими словами, кожний з агентів в цій системі – незалежна програмна

сутність, що здійснює оцінку дій авіадиспетчера за певним критерієм, та наділена функцією цілеспрямування, яка знаходить вираз у послідовній активації агентів в залежності від поточного результату оцінки кожним з агентів.

Оцінююча кооперативна мультиагентна система має делегативну архітектуру простих рефлексивних агентів з децентралізованим управлінням. Склад агентів, що оцінюють дії авіадиспетчера, диференційований за рівнем ієрархії технологічних одиниць діяльності, та відповідає сукупності базових критеріїв оцінки, що застосовуються на певному рівні. Кожний з агентів оцінює дії авіадиспетчера за відповідним критерієм тільки на підставі поточного акту сприйняття, та використовує тільки точне представлення про предметну область в символічному вигляді. Формально всі логічні схеми оцінки зводяться до формування висновків щодо правильності (безпомилковості) дій авіадиспетчера як результату зіставлення цих дій з моделлю помилок за відповідним критерієм.

Узагальнений алгоритм аналізу дій авіадиспетчерів реалізує «контрактну систему» керування процесом оцінки, передбачає розподіл вирішення завдань комплексної оцінки діяльності авіадиспетчерів між агентами відповідного рівня. Для визначення помилок і проведення оцінювання за відповідними критеріями оцінки на всіх рівнях структури діяльності застосовується принцип «паралелізму».

Виявлення помилок авіадиспетчерів здійснюється зіставленням моделі «фактичних дій авіадиспетчера» зі сформованою моделлю «помилки» або моделлю «оптимальних дій» (в залежності від типу критерію оцінки). При виявленні невідповідності між цими моделями фіксується припущення авіадиспетчером помилки певного типу. При цьому результат виконання оцінюючих правил за певним частковим критерієм оцінки визначається згідно бінарної шкали 0-1 («1» – у випадку припущення помилки за відповідним критерієм оцінки; «0» – навпаки).

На кожному рівні оцінки верхівкою мережі агентів виступають оцінюючі агенти, які аналізують безпомилковість реагування на проблемну ситуацію авіадиспетчером та виконання ним відповідних дій щодо її вирішення: CI_k , CO_{jk} і CE_{ij} . За результатами аналізу, що здійснюють ключові агенти, визначаються можливість і доцільність подальшого оцінювання за іншими критеріями, тобто умови застосування того чи іншого алгоритму при вирішенні задачі комплексного оцінювання дій авіадиспетчера. Так, при відсутності реакції диспетчера на проблемну ситуацію, а також при невиконанні ним необхідних або виконанні зайвих дій (ТО) та їх складових (ТЕ), аналіз дій авіадиспетчера завершуються фіксацією помилок і виводом оцінок за критеріями безпомилковості, які властиві відповідному рівню структури діяльності авіадиспетчера. Критерій оперативності виконання

ТО (EO_{jk}) відноситься до групи критеріїв умовного застосування: призначається для оцінки таких ключових ТО, від швидкості виконання яких залежить успіх реалізації відповідної процедури в умовах дефіциту часу на прийняття рішення. У випадку не своєчасного виконання диспетчером необхідних ТО, аналіз оперативності їх виконання не проводиться, оскільки втрачає сенс. Аналогічно, у випадку негативних наслідків вирішення (не вирішення) проблемної ситуації авіадиспетчером з точки зору безпеки польотів, оцінка результатів дій за критеріями ефективності взаємодії та забезпечення економічності польотів не виконується. При виконанні зайвої ТО чи ТЕ, аналіз послідовності їх виконання не проводиться, оскільки такі технологічні одиниці не є частиною нормативної структури діяльності авіадиспетчера.

В рамках запропонованого методу оцінки розроблені *моделі оцінки діяльності* авіадиспетчерів за трьома критеріями оцінки. Для ідентифікації помилок авіадиспетчерів застосовуються «моделі помилок», за допомогою яких визначаються *безпомилковість* виявлення проблемних ситуацій, *своєчасність* реагування на них авіадиспетчером та результати їх вирішення з позиції забезпечення безпеки польотів [6, 7].

Удосконалені моделі оцінки дій авіадиспетчерів ґрунтуються на загальній причинно-наслідковій моделі ризику. Її використання дозволяє визначати причинно-наслідкові зв'язки між помилкою (ланцюжком помилок), припущених авіадиспетчером під час УПР і авіаційною подією. На відміну від існуючих, що застосовуються з метою аналізу можливостей зниження рівня ризику в авіаційній транспортній системі, запропоновані моделі застосовуються саме для ідентифікації припущених авіадиспетчером помилок під час УПР. Розроблені моделі виявлення помилок авіадиспетчерів складаються з діаграм послідовності подій (ДПП) і дерев помилок за відповідними критеріями оцінки. ДПП являють собою різні сценарії авіаційних подій на найзагальнішому рівні моделей, а дерева помилок пов'язують помилки авіадиспетчера з ключовими авіаційними подіями, які були ними викликані [8, 9]. Дерев помилок охоплюють собою дві загальні групи помилок: помилки виконання/не виконання необхідних дій у певній проблемній ситуації та помилки виконання непотрібних (зайвих) дій. Спільне застосування ДПП і дерев помилок дозволяє визначати причинно-наслідкові зв'язки між помилкою (ланцюжком помилок) та відповідною авіаційною подією, і таким чином враховувати закономірності припущення помилок авіадиспетчером під час вирішення проблемних ситуацій певного типу (рис. 2). За допомогою дерев помилок здійснюється декомпозиція помилок авіадиспетчерів з чітким визначенням умов їх ідентифікації та забезпечується можливість відстеження шляхів припущення помилок. В основі дерев помилок лежить ряд базових подій, спільне

виконання яких дозволяє ідентифікувати типові помилки авіадиспетчера за відповідним критерієм оцінки. До таких ключових подій відносяться:

- помилки авіадиспетчера з виконання ним окремих дій в рамках критерію оцінки, що моделюється за допомогою дерев помилок: наприклад, «авіадиспетчер не надав вказівки для забезпечення (відновлення) ешелонування», «диспетчер надав вказівку для забезпечення ешелонування несвоєчасно» тощо;
- зовнішні події або ситуації: «два повітряних судна (ПС) знаходяться на конфліктних курсах», «диспетчеру надано сповіщення STCA», «спрацювала TCAS RA (рекомендація з вирішення загрози зіткнення ПС на борту)» тощо.

Моделювання помилок авіадиспетчерів проводиться у сфері їх діяльності з попередження зіткнень ПС у повітряному просторі. Успішність вирішення потенційно-конфліктних ситуацій (ПКС) насамперед залежить від адекватного і своєчасного реагування на них авіадиспетчером, тому був зроблений акцент на розробці моделей помилок авіадиспетчера за критеріями «безпомилковості виявлення проблемної ситуації», «своєчасності реагування на проблемну ситуацію» та «результативності застосування обраної стратегії керування з позиції безпеки польотів». На рис. 3 наведений приклад подання ДПП при наявності ПКС, що застосовується для аналізу помилок за вище згаданими критеріями оцінки.

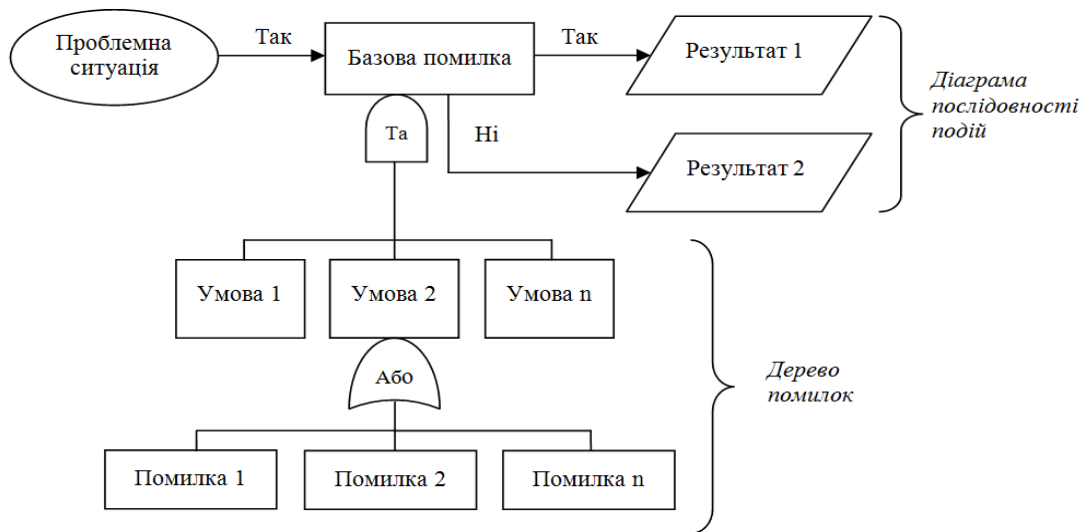


Рис. 2. Узагальнена модель помилок авіадиспетчера

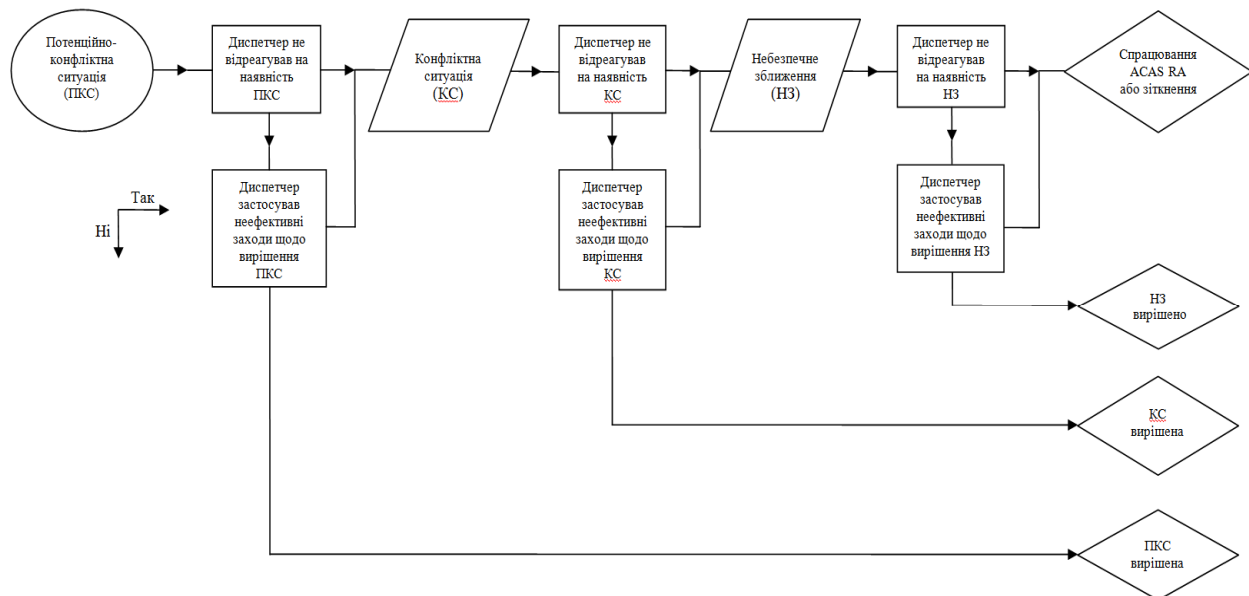


Рис. 3. Діаграма послідовності подій, які можуть мати місце при наявності ПКС

Розвиток проблемної ситуації в моделях розглядається послідовно в рамках різних «буферів безпеки», що створюються сучасними наземними і бортовими засобами автоматизації – функцією короткострокового попередження про конфліктну ситуацію

(STCA – Short-term conflict alert) та бортовою системою попередження зіткнень ПС у повітрі (TCAS – Traffic alert and Collision Avoidance System). На рис. 4 наведений приклад (фрагмент) дерев помилок диспетчера районного диспетчерського центру (РДЦ) за

критерієм «своєчасності реагування на проблемну ситуацію», де використовуються наступні позначення параметрів ідентифікації помилок: t_{LOS} – прогнозований час, що залишився до порушення мінімумів ешелонування ПС; t_{CPA}^{man} – час до точки максимального зближення ПС в момент завершення виконання

маневру для розходження екіпажем ПС за вказівкою авіадиспетчера; ΔH_c^{man} – вертикальний інтервал між ПС в момент завершення виконання маневру для розходження екіпажем ПС; ΔH_{RA} і t_{RA} - вертикальні та часові пороги спрацювання TCAS RA на борту ПС відповідно.

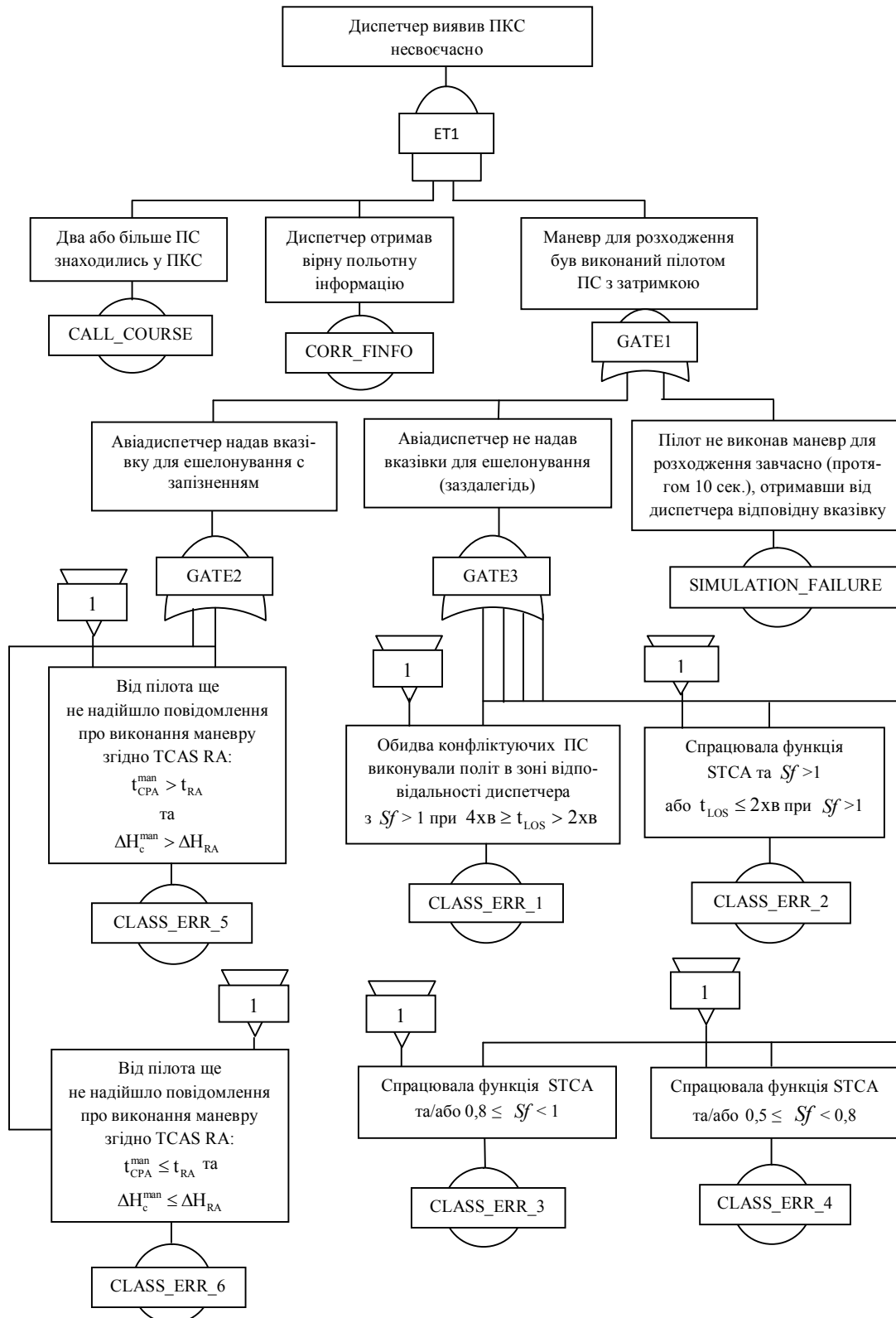


Рис. 4. Дерево помилок диспетчера РДЦ за критерієм своєчасності виявлення ПКК

Визначення ступеню серйозності (небезпечності) конфлікту здійснюється за нормативами Євроконтролю, що базуються на максимальному коефіцієнті пропорційності горизонтальних та вертикальних дистанцій між ПС (S_f - «Separation factor») [10]. Таким чином, помилки за ступенем небезпечності враховують шість фаз розвитку ПКС, які відповідають шістьом класам помилок авіадиспетчерів з несвоєчасного реагування на конфлікт у повітряному русі.

Сукупність умов ідентифікації помилок в деревах помилок відображаються двома видами «гейтів»: «AND» («Та») – коли всі вхідні умови повинні бути виконанні для констатації припущення диспетчером типової помилки; «OR» («Або») – коли будь-яка умова повинна бути виконана для того, щоб зафіксувати помилку певного типу.

Крім наведеного вище прикладу верхівки дерев помилок, на нижньому їх рівні конкретизуються обставини, у яких авіадиспетчер може припустити помилку певного типу (в залежності від контексту та умов повітряної обстановки).

Оскільки будь-які події у повітряному русі та відповідні дії з боку авіадиспетчера відбуваються у часі і мають місце в конкретні упорядковані інтервали часу, то моделі визначення помилок авіадиспетчерів формалізовані з застосуванням математичного апарату *темпоральної логіки*. В залежності від критеріїв, за якими будуються моделі оцінки, застосовуються дві структурні моделі часу: лінійна та розгалужена.

В результаті аналізу своєчасності реагування диспетчером на проблемну ситуацію, формуються бінарні функції $F(TI_{kN}^p)$ часткових критеріїв своєчасності, що характеризують кількісні показники реагування на проблемну ситуацію виконанням j -х ТО у складі k -ї ТП по відношенню до p -ї проблемної ситуації:

$$F(TI_{kN}^p) = \begin{cases} 1 - \text{при несвоєчасному реагуванні} \\ \text{на проблемну ситуацію } (TI_{kN}^{p(F)}); \\ 0 - \text{при своєчасному реагуванні} \\ \text{на проблемну ситуацію } (TI_{kN}^{p(T)}), \end{cases} \quad (2)$$

де TI_{kN}^p – результат виконання оцінюючих правил за частковим критерієм своєчасності реагування на проблемну ситуацію $TI_{kN}^{p(F)} \vee TI_{kN}^{p(T)}$.

Кількісний показник за частковим критерієм своєчасності реагування на p -у проблемну ситуацію диспетчером TI_{kN}^p визначається за формулою:

$$TI_{kN}^p = 1 - TI_{kN}^{p(F)} \cdot r_j^{TI^{max}} \cdot f(h_s) \quad (3)$$

де $TI_{kN}^{p(F)}$ – значення кількісного показника за критерієм своєчасності реагування на p -ту проблемну ситуацію, що відповідає помилковим (несвоєчас-

ним) діям авіадиспетчера, тобто $F(TI_{kN}^p) = 1$;

$r_j^{TI^{max}}$ – максимальне значення вагового інтегрального коефіцієнту важливості помилки j -го типу за критерієм своєчасності реагування на проблемну ситуацію диспетчером, що відповідає етапу її розвитку, на якому диспетчер відреагував на проблему наданням відповідної вказівки екіпажу ПС, $0 \leq r_j^{TI^{max}} \leq 1$.

Значення даного кількісного показника відбиває здатність авіадиспетчера адекватно реагувати на розвиток проблемної ситуації своєчасною реалізацією j -х ТО за k -ї ТП. За кожним класом і типом помилок визначені кількісні значення коефіцієнтів, що характеризують ступінь небезпечності помилок та коефіцієнти відносної важливості типових помилок відповідно. На їх підставі розраховані інтегральні вагові коефіцієнти важливості помилки за критерієм своєчасності реагування. Такий комплексний підхід дозволяє врахувати при оцінці рівень та характер загроз, викликані несвоєчасними діями авіадиспетчера, що визначаються, *по-перше*, етапом розвитку проблемної ситуації, *по-друге*, контекстом, у якому відбулася подія. Коефіцієнти важливості помилок були отримані шляхом експертного опитування інструкторського складу ТЦ ОПР Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету (КЛІА НАУ) з застосуванням методу попарних порівнянь.

Таким чином, оцінка дій авіадиспетчера здійснюється на 3-х рівнях ієрархії технологічних одиниць діяльності у відповідності з критеріями оцінки, що відбивають властиві певному рівню характеристики. На кожному рівні діяльності застосовується відповідна група критеріїв оцінки; кожен з нижчих рівнів розкриває собою змістовні елементи (поняття) верхнього рівня діяльності. Тому розроблена чотирьох рівнева модель оцінки базується на підході стратифікованих ієрархічних систем. Модель відповідає чотирьом етапам згортки сукупності кількісних значень показників часткових критеріїв оцінки. Запропонована процедура дозволяє формувати комплексні оцінки виконання авіадиспетчером технологічних процедур та підсумкові оцінки вирішення технологічних задач.

Висновки

Розроблені моделі і алгоритм оцінки дій авіадиспетчерів виступають основою концептуального проектування і програмної реалізації інтелектуальних модулів СППР інструктора (експерта). СППР складається з сукупності незалежно працюючих інтелектуальних модулів: модулю реєстрації, розпізнання, аналізу та оцінювання. СППР забезпечує інструктора тренажеру УПР (експерта від РСП) де-

тальною інформацію про помилки та кількісні показники діяльності авіадиспетчера [11]. Результати експериментальних досліджень підтверджують вірність наукових положень запропонованого методу. Основні результати дослідження знайшли застосування в КЛІА НАУ на тренажерному центрі УПР і в Кіровоградській службі обслуговування повітряного руху. Запропоновані моделі і алгоритм автоматизованої оцінки дій диспетчерів УПР можуть бути використані в інших службах ОПР та регіональних структурних підрозділах Украероуху.

Список літератури

1. Isaac, A. *Technical Review of Human Performance Models and Taxonomies of Human Error in ATM (HERA)* [Text] / A. Isaac, S.T. Shorrock, R. Kennedy, B. Kirwan, H. Anderson, T. Bove. – EUROCONTROL EATMP Report HRS/HSP-002-REP-03 Edition 1. Brussels: EUROCONTROL. 26 April 2002, - 134 p.
2. Kirwan, B. *Technical Basis for a Human Reliability Assessment Capability for Air Traffic Safety Management* [Text] / B. Kirwan. – Brussels: Eurocontrol, 2007. – 51 p.
3. Чинченко, Ю.В. *Подходи к автоматизации процесса управления уровнем готовности авиадиспетчеров к действиям в кризисных ситуациях* [Текст] / Ю.В. Чинченко. – Наукові праці академії, вип. 7, частина 1. – Кіровоград: Вид-во ДЛАУ. - 2003. С. 132-138.
4. Неделько, С.Н. *Разработка системы критериев оценки для автоматизированного анализа действий авиадиспетчеров на тренажерах обслуживания воздушного движения* [Текст] / С. Н. Неделько, В. А. Григорецкий, А.С. Паленный. // Наукові праці академії. – Кіровоград: Вид-во ДЛАУ. – 2005. – Вип. 5. – С. 260-266.
5. Паленный, А.С. *Применение мультиагентного подхода для реализации автоматизированного анализа действий авиадиспетчеров на комплексных тренажерах обслуживания воздушного движения* [Текст] / А.С. Паленный. // Наукові праці академії. – Кіровоград: Вид-во ДЛАУ. – 2007. – Вип. 7. – С. 145-156.
6. Григорецкий, В.О. *Моделі оцінки діяльності авіадиспетчерів в реагуванні на проблемні ситуації на диспетчерських тренажерах* [Текст] / В.О. Григорецький, В.М. Неділько, А.С. Пальоний // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2015. – № 33 (1142). – С. 30-39.
7. Пальоний, А.С. *Розробка моделей оцінки ефективності вирішення авіадиспетчерами конфліктів між повітряними суднами з позиції забезпечення безпеки польотів* [Текст] / А.С. Пальоний, А.А. Пірозерський // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – 2015. – №6 – С. 150-158.
8. Roelen, A. *A generic air traffic controller performance model for application in a causal model of air transport* [Text] / A. Roelen, GB van Baren, PH Lin, O. Morales-Napoles, D. Kurowicka, R. Cooke. – NLR-CR-2007-593. Amsterdam: Nationaal Lucht-en Ruimtevaartlaboratorium (NLR), 2008. – 62 p.
9. Episode 3 - SESAR Top-Down Systemic Risk Assessment [Text] – D2.4.3-02-240, EUROCONTROL Experimental Centre. - 240 p.
10. *Model-based performance evaluation of STCA operations – Interim report (Phase 2)* [Text] – PASS/WA2/WP9/137/D, version 1.1, February 2010. - 79 p.
11. Неділько, С.М. *Система підтримки прийняття рішень для інструктора процедурного тренажеру управління повітряним рухом* [Текст] / С.М. Неділько, А.С. Пальоний // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. - 2010. - № 6. - С. 336–342.

Надійшла до редколегії 24.07.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.І. Осадчий, Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВИДИСПЕТЧЕРОВ

А.С. Пальоний

Статья посвящена проблеме повышения эффективности профессиональной подготовки авиадиспетчеров за счет совершенствования системы критериев оценки, разработки метода, моделей и алгоритмов оценки их действий. Предложен метод комплексной оценки действий авиадиспетчеров на основе трехуровневой иерархической модели деятельности авиадиспетчера, использующий идеологию многоагентных систем. Приведены примеры моделей идентификации ошибок авиадиспетчеров, состоящие из диаграмм последовательности событий и деревьев ошибок по соответствующим критериям оценки. Представленные модели и алгоритмы оценки действий авиадиспетчеров выступают основой концептуального проектирования и программной реализации интеллектуальных модулей системы поддержки принятия решений инструктора тренажера управления воздушным движением.

Ключевые слова: авиадиспетчер, методы оценки деятельности, мультиагентные системы, модели ошибок, система поддержки принятия решений

DEVELOPMENT OF ASSESSMENT METHOD AND MODELS OF AIR TRAFFIC CONTROLLER PERFORMANCE

A.S. Palennyi

The article is devoted to the problem of increase efficiency of the professional competence of air traffic controllers by improving the system of measurement criteria, development of assessment method, models and algorithm of air traffic controller performance. The method of complex assessment based on a three-level hierarchical performance model and a multi-agent systems approach is represented. Examples of models for identification of errors consist of event sequence diagrams and fault trees have shown. The presented assessment models and algorithms of air traffic controller performance are the basis of the conceptual design and software implementation of intelligent modules of the decision support system for the instructor.

Keywords: air traffic controller, performance assessment method, multi-agent systems, models of errors, decision support system.