

УДК 656.7.01.78.13; 658.012.2.656.7

С.В. НЕДБАЙ

ДП "Головний сертифікаційний та навчальний центр цивільної авіації України", Київ

СИСТЕМОЛОГІЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРОЦЕСІВ ЛЬОТНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

У статті, враховуючи вплив людського чинника на безпеку авіаційної транспортної системи та можливість уявлення професійної діяльності пілота-оператора (льотного екіпажу як колективного оператора) у вигляді безперервного ланцюга рішень, що виробляються в умовах дії багатьох факторів різноманітної природи, а також спираючись на запропоновані класифікаційні ознаки (міри динаміки, складності та невизначеності) польотних ситуацій, системно розглянуті характеристики їх невизначеності як джерела нестохастичного ризику, який у загальному випадку не може бути передбачуваним. Особлива увага привернута до детального розгляду невизначеностей, пов'язаних з діяльністю людини (відсутність знань про явища та закономірності функціонування повітряних суден, як об'єктів керування; взаємодія пілота з об'єктом і (або) явищем навколишнього середовища; визначення мети; отримання та обробка інформації; побудова стратегій вирішення теоретичних і практичних задач), а також інформаційно-лінгвістичній невизначеності опису проблемних ситуацій.

Ключові слова: вплив людського чинника на безпеку польотів; класифікаційні ознаки проблемних ситуацій; невизначеності, пов'язані з діяльністю людини, а також інформаційні як джерела ризику нестохастичного характеру.

Вступ

Постановка проблеми. Професійна діяльність льотного складу (ЛС) цивільної авіації (ЦА) надзвичайно складна й ще більш відповідальна, тому що пов'язана, з одного боку, з забезпеченням безпеки пасажирів, які довірили екіпажу, авіакомпанії в цілому своє життя, та, з іншого боку, зі збереженням надзвичайно дорогої авіаційної техніки (АТ). Однак, зі статистичних даних багаторічних спостережень витікає, що переважна більшість авіаційних пригод (АП) та інцидентів в авіакомпаніях різних держав пов'язана саме з людським чинником (ЛЧ) [1 – 4]. І хоча та теперішній час загальний рівень безпеки польотів (БП) незрівнянно вище, ніж, скажімо, він був 60-70 років тому [5, 6], роль ЛЧ фактично не змінилася, навіть зважаючи на чисельні його дослідження. І все-таки, саме пілот (екіпаж як колективний оператор у цілому) є останнім "рубежем оборони", який згідно ґрунтовних висновків міжнародної організації ЦА ІКАО забезпечує остаточну ефективність функціонування системи "екіпаж – повітряне судно (ПС)" (СЕПС) [7,8], де протікають процеси, характеризовані високою швидкоплинністю.

В зазначеній СЕПС пілот-оператор (П-0) виступає генератором цілей, альтернативних (нестандартних) шляхів її експлуатації особливо в умовах, не передбачуваних нормативними документами, й формує її поведінку та стан у просторі середовища. Очевидно, що саме рівень професійної підготовки

(ПП) ЛС (ППЛС) є головним чинником міцності та стійкості зазначеного ІКАО "рубежу". При цьому оскільки загальновизнано, що діяльність авіаційних операторів, насамперед, пілотів чи льотного екіпажу може розглядатись як безперервний ланцюг одно- і багатокрокових рішень, що виробляються та реалізуються в умовах дії багатьох факторів різноманітної природи та ризиків стохастичного і нестохастичного характеру [3 – 5, 9 – 11], їх виявлення, опис і врахування є перманентно важливим з точки зору забезпечення потрібного рівня БП.

Аналіз досліджень і публікацій. Враховуючи нагальну потребу постійного забезпечення належного рівня БП, вчені і фахівці приділяють постійну увагу дослідженню проблем впливу різноманітних чинників на процеси льотної експлуатації (ЛЕ) ПС і ППЛС. Однак в СНД вирішення питань застосування нових підходів до вимірів якості експлуатації АТ і професійної діяльності екіпажів ПС (ЕПС), що базуються на методах теорії нечітких множин і лінгвістичних змінних, можна знайти, на жаль, лише в обмеженого числа авторів, у т.ч.: В.М. Козака, А.А. Туніка, О.М. Рєви, Л.А. Журавльової, В.А. Шульгіна (Україна), В.А. Горячева, В.А. Боднера, І.Е. Бурдуна, М.І. Плотнікова (Російська Федерація, РФ), Р.М. Джафарзаде (Азербайджан) та деяких ін., що створює певні хибні ланки у безперервному ланцюзі вдосконалювання процесів експлуатації АТ і формуванні надійності ЛС.

У праці [12] зроблена спроба постановки задачі емпіричного нечіткого моделювання процесів функ-

ціонування авіаційної транспортної системи (АТС) у шкалах "простота – складність", "організованість – неорганізованість", однак пропонований підхід не охоплює, з одного боку, усіх класифікаційних ознак проблемних ситуацій, що виникають у процесі ЛЕ ПС і ППЛС, а, з іншого боку, не враховують сучасних математичних методів їх розв'язання, зокрема теорії можливостей [13, 14].

Мета статті полягає у формуванні системоутворюючих ознак проблемних польотних ситуацій, виявленні і системному описі джерел невизначеності у процесах ЛЕ та прийняття рішень (ПР) ЛС.

Класифікаційні ознаки та джерела невизначеності польотних ситуацій

Розв'язуючи відповідні проблеми, автор розглядає діяльність ергатичного елементу в СЕПС як безперервний ланцюг рішень, які виробляються й реалізуються в явній і неявній формах [15]. Дані рішення характеризуються невизначеністю одержуваної інформації й варіативністю керуючих впливів. У такій інтерпретації ЛЕ ПС зручно розглядати як одно- і ба-гатоваріантний процес ПР, заснований на наблизеній стратегії й нечітких спостереженнях фазових станів об'єкту керування, при яких вибір нечітких керуючих впливів спрямований на досягнення ПС "розмиті" кінцевої мети, починаючи з будь-якого початкового стану та з урахуванням нечітких обмежень, які накладаються на спостережені стани й керування ПС [16].

Таким чином, пропонований опис ПР більше відповідає природі формування й реалізації керуючої діяльності пілота, що характеризується нагромадженням у його пам'яті досвіду формування навичок ЛЕ ПС у вигляді пари нечітких образів "спостережений стан – керуючий вплив". На етапі застосування цього досвіду йдеться про асоціацію образу поточного стану об'єкта-ПС у просторі середовища з попередньо накопиченим досвідом (концептуальною моделлю (КМ) польоту) і виробленням у процесі асоціативної обробки польотної інформації образу керуючого впливу для його подальшої реалізації. Такий підхід закономірний і ґрунтується на підтверджені численними дослідженнями твердженні одного з фундаторів нечіткої математики Л.А. Заде про те, що "... елементами мислення людини є не числа, а елементи деяких нечітких множин, або класів об'єктів, для яких перехід від "належності" до "неналежності" не стрибкоподібний, а безперервний" [17].

СЕПС, в якій здійснюється професійна діяльність ЛС, відноситься до так званих гуманістичних систем. За визначенням того самого Л. Заде, "гуманістичні - це такі системи, на поведінку яких

великий вплив здійснюють судження, сприйняття або емоції людини: економічні системи, правові системи, загально-освітні системи і т.ін. Сама людина (індивід) та процеси її мислення також можуть розглядатись як гуманістичні системи". Отже, гуманістичні системи – це будь-які системи, у складі яких є людина.

О.І. Губінським були сформульовані критерії, згідно яких залежно від цілей, що ставляться людиною в гуманістичній системі, можуть формуватися множини їх класів [18]. Зокрема, ерготичні гуманістичні системи – це такі, де метою діяльності людини-оператора (Л-О), колективу або групи операторів є одержання нового продукту праці. Таким чином, авіаційна ерготична гуманістична СЕПС – це така, в якій ерготичний елемент (пілот, екіпаж), маючи таке знаряддя виробництва, як ПС, і предмет виробництва – вантажі та пасажирів, виробляє продукт виробництва, а саме повітряні перевезення.

Велика складність гуманістичних систем дійсно вимагає у їх дослідженні підходу, у корені відмінного від загальноприйнятих кількісно-стохастичних методів аналізу систем. Для реалістичного моделювання поведінки СЕПС необхідно застосовувати лінгвістичний підхід, у відповідності з яким у якості значень змінних допускаються не тільки числа, але й слова або речення природної або штучної мови. Такі змінні становлять основу нечіткої логіки й наближених способів міркувань, які можуть виявитися більше співзвучними зі складностями й неточностями гуманістичних систем, ніж звичайні чисельні методи аналізу. За допомогою лінгвістичних змінних можна приблизно описувати явища, які настільки складні або погано визначені, що не піддаються опису загальноприйнятими методами.

Оскільки сам процес ЛЕ ПС здійснюється у просторі середовища, то, спираючись на рекомендації [19, 20], уявимо це середовище у вигляді трьохмірного простору, в якому вимірюваними величинами є *складність, динаміка й невизначеність* (рис. 1).

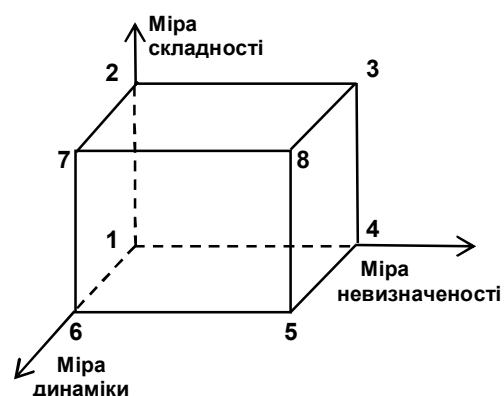


Рис. 1. Простір середовища з розташованими в ньому видами задач прийняття рішень



Рис. 2. Класифікація видів невизначеності, що виникають в процесі функціонування системи "екіпаж – повітряне судно – середовище" (Л.А. Журавльова)

СЕПС є динамічною системою [21] тому, що являє собою сукупність взаємозалежних і взаємодіючих елементів: зовнішнього середовища, ПС і П-О, фазовий і функціональний стан яких у середовищі залежить від попереднього стану, а також є функцією часу.

Задача ПР (ЗПР) вважається складною (векторною, багатоцільовою, багатокритеріальною), якщо кількість цілей, яких прагне досягти ЕПС в процесі виконання польоту, не менше двох, та кою ж за обсягом має бути кількість показників (критеріїв) ефективності (оптимальності), що при цьому використовуються.

Дійсно, всі польотні завдання є багатоцільовими, тому що П-О, ЕПС в цілому доводиться одночасно вирішувати кілька завдань задля реалізації цілей, які можуть мати як односпрямований, так і протилежний характер. При наявності декількох цілей одночасно, вони утворюють "складну мету" [19, 22].

З погляду ж пілотування йдеться про необхідність сформувати простір фазових станів ПС, витримуючи сукупність параметрів польоту у заданих (рекомендованих) межах, здійснюючи одночасно контроль роботи ФС. Зазначимо також, що всі польотні завдання є не тільки багатоцільовими, але ж і багатокритеріальними, тому що їх виконання оцінюється щонайменше за трьома показниками: *регулярність, ефективність, безпека польотів*.

Вісь "визначеність – невизначеність" асоціативно відображає найбільш складні та важливі характеристики і умови польоту, які істотно впливають на його безпеку. Причому до недавнього часу переважною була думка, що будь-яка невизначеність має імовірнісну природу, але дедалі більше поширюєть-

ся визнання нестохастичних типів невизначеності, які стосовно різних галузей діяльності розглядаються в працях [13, 14, 23 - 27 та ін.]. На сьогоднішній день існують певні підходи щодо класифікації типів невизначеності, які, зокрема, викладені в працях [19, 20, 25, 26, 27, 28 - 34]. На основі узагальнення цих підходів можна побудувати класифікаційну схему видів невизначеності, які мають місце в процесі експлуатації системи "екіпаж – ПС – середовище" (СЕПСС), що розглядається (рис. 2) [35].

Як витікає зі схеми на рис. 2, власне проблема невизначеності має сенс переважно на тому етапі, коли процес функціонування будь-якої системи потребує втручання Л-О, бо саме в цьому разі виникає необхідність ПР про подальші дії, яке, в свою чергу, впливатиме на стан усієї системи в наступний момент часу.

Стосовно процесу ПР невизначеність умовно розподіляють на три класи [20, 36]. Перший клас - це так звана "невизначеність природи", - тобто фактори просто невідомі Л-О; другий клас - це "невизначеність супротивника". Це пов'язується з тим, що людина завжди існує за умов, коли результати її рішень не суворо однозначні, а залежать від дій інших осіб (партнерів, супротивників тощо), дії яких вона не може врахувати або передбачити в повній мірі. Третій клас - це невизначеність бажань та цілей, оскільки в дійсності завжди існує кілька цілей, які неможливо описати за допомогою одного показника (критерію) [37].

У ситуації невідомості (рис. 3) інформація про завдання, явища або закони функціонування об'єктів керування практично відсутня (початкова стадія вивчення завдання). У процесі збору інформації на певному етапі може виявитися, що зібрано ще не всю



Рис. 3. Джерела невизначеності, пов'язані з відсутністю знань про явища та закони функціонування об'єкта керування

можливу інформацію (неповнота). Інший випадок, коли зібрана не вся необхідна інформація (недостатність), наприклад, сигналізація відмови (пожежі) двигуна вимагає підтвердження за дублюючими приладами і реакцією ПС. Для деяких елементів визначені не їхні точні описи, а лише множини, яким ці описи належать (недовизначеність). Деякі елементи польоту, тимчасово описувані лише за аналогією завдань, що вже виконувалися, тому є лише опис, "що заміщує" (неадекватність). Можливо також використання прийомів ЛЕ ПС, відпрацьованих на тренажері з низьким коефіцієнтом подібності літаку, що особливо характерно для процесів початкової ПП пілотів. Наявність таких видів невизначеності (невірогідності) пов'язане або з тим, що процес збору інформації тимчасово припинений, наприклад, внаслідок необхідності негайно вирішувати інше завдання, що раптово виникло, або з недостаттю ресурсів (часу), виділених для збору інформації. Однак, в принципі, можливість результативного продовження вивчення та виконання завдання все ж існує.

Ситуація невизначеності, що пов'язана з відсутністю знань про явища та закономірності функціонування об'єктів виникає також у випадках, коли для прийняття індивідуального або групового рішення людині, яка ПР (ЛПР) встановлюють умовні обмеження з метою спрощення ЗПР, яких в дій-

сності не існує, або коли людина, яка ЛПР (ЛПР) не має можливості врахувати всі зв'язки між елементами поля ПР тощо. Згідно з рис. 3 перший рівень декомпозиції блока відбиває ситуацію, коли ЛПР з метою спрощення процесу ПР вводить обмеження, яких в дійсності може і не існувати.

Аналіз кожної системи, у тому числі і СЕПСС здебільшого потребує розглядання не всієї системи, а виділення певної її частини. Це спричиняється тим, що в дійсності неможливо, як правило, виконати повний формалізований опис складної технічної системи (СТС). При цьому виділення певної частини з всієї системи виконується у відповідності з цілями досліджень та уявою дослідника про систему в цілому. В цьому випадку, виділяючи субсистему з усієї системи, дослідник вводить певні межі, які фактично відсутні, оскільки повна система не є дискретною сукупністю субсистем, а скоріше повинна розглядатися як певне поле, де субсистеми мають ті чи інші взаємозв'язки і в певній мірі "перетинаються" і проникають одна в іншу. Таким чином, перехід від однієї субсистеми до іншої не може здійснюватися стрибкоподібно через чітку межу, а відбувається поступово і безперервно.

Аналізуючи певну субсистему, дослідник не має можливості врахувати всі взаємозв'язки між субсистемами та їх елементами (зовнішні і внутрі-

шні), тому він використовує свої уявлення про ці зв'язки, а також думки фахівців-експертів. Здебільшого ці уявлення подаються в поняттях, які мають нечіткий опис і не можуть бути описані засобами класичної математики. Цю проблему відбиває другий рівень субструктури (рис. 3, блок "Зв'язки, які неможливо виявити і врахувати").

Подальше вивчення проблемної ситуації може привести або до випадку визначеності, коли усі елементи описані однозначно, або до неоднозначності. Тоді передбачається, що вся можлива інформація про завдання зібрана, але повністю певний опис не отриманий і не може бути отриманим.

Задача мінімізації (максимізації) заданої функції на заданій множині допустимих альтернатив звичайно розглядається як стандартна задача математичного програмування [37]. Але при моделюванні в реальних умовах ЛПР може мати в своєму розпорядженні лише нечіткі описи параметрів функції і (або) самої множини. Бінарне відношення переваги на множині альтернатив може бути описане кількома способами, зокрема, так званою функцією корисності [4, 36]. Таким чином, невизначеність при розв'язанні задач математичного програмування може міститися як в описі множини альтернатив, так і в описі функції корисності. Такі задачі називаються задачами нечіткого математичного програмування і саме ці дві задачі відбивають два наступні субрівні "Неможливість здійснення опису за допомогою однієї функції корисності" та "Неможливість здійснення точного опису альтернатив" (рис. 3).

Згідно з рис. 3 розглянемо блок "Невизначеність, що пов'язана з взаємодією людини з об'єктом і (або) явищем навколишнього середовища" (рис. 4).

В різних галузях людської діяльності і, зокрема, в процесі експлуатації ергатичних систем, часто зустрічаються ситуації, в яких досягнення мети в результаті ПР окремою ЛО (або їх групою) залежать не тільки від ЛПР (чи групи ЛПР), але і від рішень (дій) іншої особи (групи осіб), які переслідують свої власні цілі. В цьому випадку необхідно враховувати наявність впливу цих осіб, які можуть бути як партнерами, так і супротивниками. Як приклад можна навести вплив якості професійної діяльності представників служб забезпечення на діяльність ЕПС, а точніше, на БП.

Одним з найбільш зручних підходів до вирішення задач, що породжуються такими ситуаціями, пропонує теорія ігор. Найбільша увага в ній приділяється двом теоретико-ігровим принципам раціональності: принципу найкращого гарантованого результату і принципу, що спирається на поняття рівноваги [37]. Власне гра відбиває процес взаємодії двох осіб (або груп осіб). Побудова стратегії поведінки кожного з гравців пов'язана також з проблемою наявності інших типів невизначеності (рис. 4).

Наступним блоком класифікаційної структури типів та джерел невизначеності, яка наведена на рис. 2, є блок "Невизначеність постановки цілей" (рис. 5). Підхід до розв'язання ЗПР за умов невизначеності постановки цілей був розроблений Л. Заде і Р. Беллманом і отримав назву "підхід Беллмана-Заде". Основою цього підходу є те, що цілі ПР та множина допустимих альтернатив розглядаються як рівноправні нечіткі субмножини деякої універсальної множини альтернатив. У межах цього напрямку звичайно розглядаються відповідні субзадачі, подані на рис. 5 [38].



Рис. 4. Джерела невизначеності в процесі взаємодії людини з іншою людиною (між групами людей), або людини з об'єктом і / або явищем навколишнього середовища

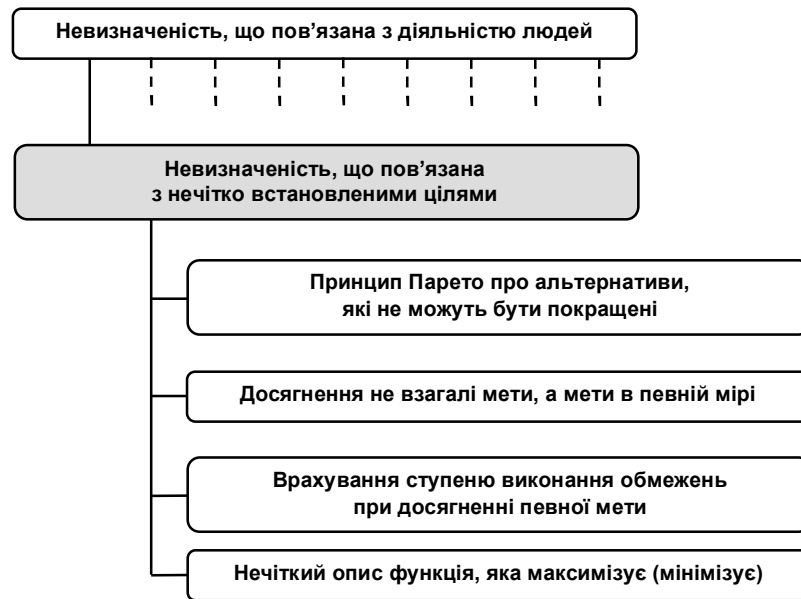


Рис. 5. Невизначеність, що пов'язана з нечітко встановленими цілями

В процесі досліджень законів функціонування СЕПСС виникає необхідність вирішення різноманітних задач, пов'язаних з синтезом стратегій керування системою, розробки заходів з забезпечення безпеки функціонування системи, побудови моделей роботи власне системи та її складових елементів тощо.

В цьому випадку виникає необхідність враховувати невизначеність, яка пов'язана з такими видами діяльності фахівців, як вивчення проблеми, постановка задачі, вибір методів її розв'язання, забезпечення необхідною інформацією тощо. Точніше кажучи, при формулюванні задачі відбувається відображення реальної задачі на деяку формалізовану мову професійну мову фахівця. Внаслідок наведеного виникає ряд таких проблемних ситуацій:

- ситуація невідомості: інформація про задачу практично відсутня;
- в розпорядженні ПО як ЛПР є не вся потрібна інформація;
- зібрана не вся можлива інформація;
- не існує точного опису для всіх елементів, які підлягають дослідженню;
- деякі елементи описані не за фактичними даними, а за аналогією і так ін.

Як видно, проблеми розв'язання ЗПР визначаються процесом ПР. Структуру цього блока складатимуть усі елементи структур розглянутих вище блоків, крім того, сюди слід віднести ще один елемент, який є найважливішим за всяких умов ПР – невизначеність, що пов'язана з інформаційним забезпеченням.

Будьяка інформаційна одиниця може бути характеризується такими ознаками як "Значення" і

"Певність", тобто, отримуючи будь-яку інформацію, ми звертаємо увагу по-перше на її зміст, а, по-друге, на те, наскільки вона відповідає дійсності. При такому підході може мати місце ситуація, коли інформація була передана неточно, тобто ЛПР не може бути впевненим в її істинності. В цьому випадку відрізняють власне неточність, яка пов'язується з характеристикою "Значення", і вірогідність інформації, яка пов'язується з характеристикою "Певність".

Наведене подане на рис. 6.

Неточність інформації породжується її неоднозначністю, яка, в свою чергу може бути фізичною і лінгвістичною.

Фізична невизначеність може бути пов'язана як із наявністю в зовнішньому середовищі декількох можливостей, кожна з яких випадковим чином стає дійсністю (ситуація випадковості, або стохастичної невизначеності), так і з неточністю вимірів цілком певної величини, які виконуються приладами або ПО (ситуація неточності). В умовах ризику (стохастична невизначеність) будь-яке ПР може привести до одного із багатьох можливих наслідків, причому, кожен наслідок має відому ймовірність появи. І саме величина цієї ймовірності формує ступінь впевненості ЕПС у своїх діях. В умовах нестохастичної невизначеності будь-яке ПР може привести до одного із багатьох наслідків, ймовірність появи якого ЧЕ, як ЛПР, невідома.

Лінгвістична невизначеність пов'язана з особливістю інтерфейсу прийому й передачі інформації за допомогою природної або професійної мови ЛПР для опису завдання ПР. Особливо актуальна проблема лінгвістичної невизначеності пов'язана з використанням нерідної мови.

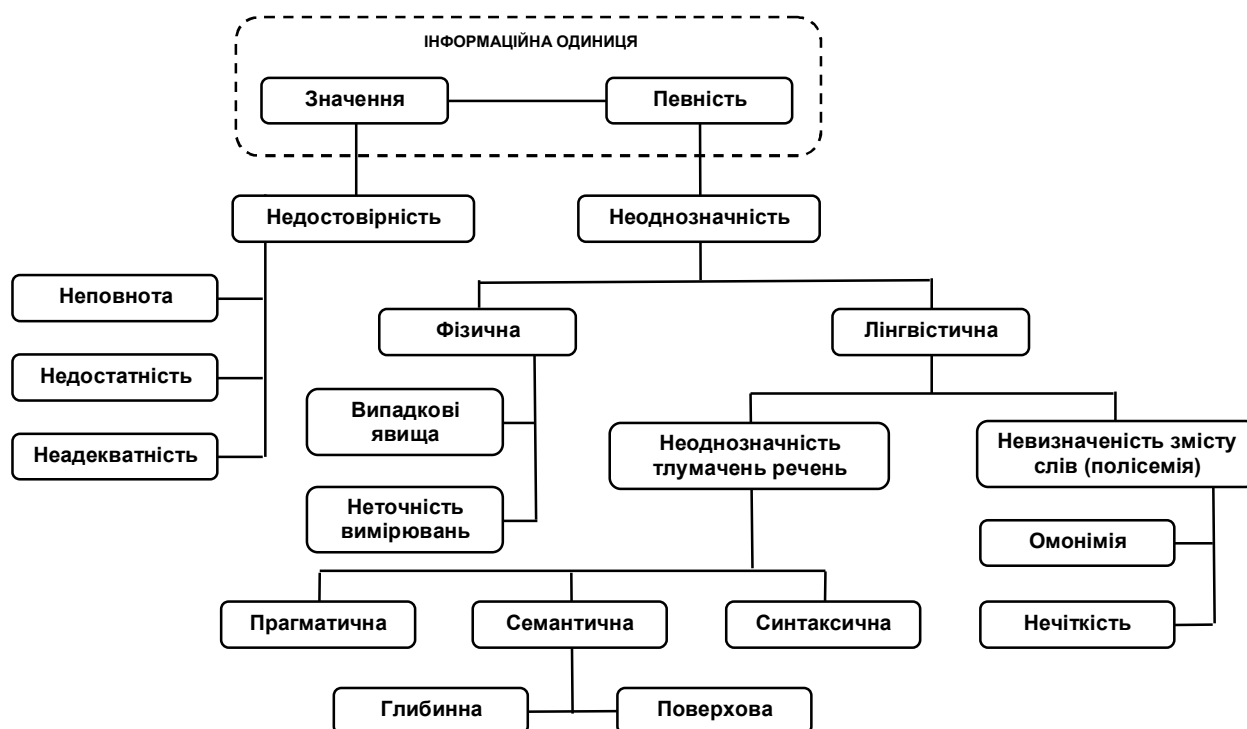


Рис. 6. Джерела та типи інформаційної невизначеності

Результати досліджень подій, пов'язаних з АП й інцидентами, вказують на те, що значна їх частина може бути обумовлена неправильною інтерпретацією команд авіадиспетчера (А/Д) [39]. Катастрофа у Тенерифі, внаслідок якої загинуло 583 осіб яскраво ілюструє наведене. Такого роду невизначеність обумовлюється необхідністю оперувати кінцевим числом слів й обмеженим числом структур фраз (речень, абзаців, текстів) для опису за певний час майже нескінченної множини різноманітних ситуацій, що виникають у процесі ПР в польоті. Лінгвістична невизначеність породжується множинністю значень слів, що називають полісемією, а з іншого боку, неоднозначністю змісту фраз.

Особливо зазначимо, що всі типи невизначеності згідно розглянутої на рис. 6 класифікаційної структури є значними чинниками, що знижують імовірність отримання достовірних результатів досліджень СЕПСС і викликають необхідність застосування спеціальних заходів та методів, які б дозволяли зменшити як загальний вплив, так і вплив окремих типів невизначеності на процес її експлуатації.

При дослідженні проблеми підвищення відмовобезпеки СЕПСС слід зупинитися на тих типах невизначеності і її джерелах, які мають значний вплив на процес побудови нових засобів та методів досліджень і мають бути враховані, зокрема, в процесі побудови моделі цієї системи. При цьому одним з найбільш значних є фактор інформаційної невизначеності, а саме, недостовірність інформації (рис. 6).

Недостовірність інформації є поняттям, яке включає такі характеристики як неповнота, недостатність і неадекватність. Найбільший вплив цей чинник здійснює в таких випадках:

- в польоті, коли засоби сигналізації пілотної кабіни з тих чи інших причин не надають вичерпаної інформації про стан системи в цілому і її елементів окремо;

- при підготовці ПС до польоту екіпажем, коли в ряді випадків до відома екіпажа не доводиться фактичний стан літака, зокрема його особливості, які можуть спричинити виникнення у ЧЕ стресової ситуації і, як наслідок, критичного стану системи в цілому.

Прикладом першого випадку можуть слугувати дослідження, які провадилися стосовно якості сприйняття інформації, що надається пілотам авіагоризонтами “з рухомою землею” [40,41]. За результатами цих досліджень, така конструкція авіагоризонта утруднює сприйняття пілотом інформації, що збільшує час розпізнавання сигналу.

Іншим прикладом можуть бути дослідження засобів сигналізації відмов силових установок (СУ), зокрема пожежів двигунів [42]. Встановлено: звичайно вважається що датчик є ідеальним і спрацьовує миттєво. Проте реальний датчик замість ідеального порога спрацьовування має розмиту область спрацьовування, в результаті чого виникає досить великий процент фальшивих (хибних) спрацьовувань, коли в дійсності пожежа відсутня.

Таке фальшиве спрацьовування вважається помилкою першого роду.

В іншому разі, завдяки саме “розмитості” області спрацьовування, датчик не спрацьовує при виникненні пожежі, в така подія розуміється як помилка другого роду. Цей факт потребує впровадження додаткових заходів, до яких відноситься, зокрема, інформаційне резервування.

Прикладом другого випадку може слугувати відсутність інформації у ЕПС про фактичний стан літака, а саме про його конструктивні зміни, наявність деформацій тощо. Саме цей вид невизначеності виявився причиною катастрофи літака АН-24РВ 10.03.1997 в районі м. Черкеська, коли при виконанні польоту виникло зруйнування конструкції хвостової частини фюзеляжу з подальшим її відділенням разом з хвостовим оперінням, внаслідок чого літак перейшов в енергійне зниження з вертикальними швидкостями 8090 м/с і зіткнувся з землею. Причиною зруйнування панелі було зниження її несучої здатності внаслідок великого за площею і значного за глибиною корозійного враження обшивки і силових елементів з боку підпольної частини фюзеляжа.

Таким чином, при побудові моделі СЕПСС важливим є врахування недостовірності інформації про стан елементів системи, а саме – її недостатності і неадекватності. Методами уникнення впливу цього фактора є:

- накопичення інформації про стан ПС в електронній базі даних;
- визначення показників стану за результатами обробки статистичної інформації про “старіння” конструкції;
- експертне оцінювання.

Слід особливо зупинитися на формуванні експертних оцінок стану системи. Отримання експертних оцінок може здійснюватися шляхом анкетування групи експертів фахівців, до складу якої входять як представники технічної служби, так і екіпажі, які виконували польоти на тому літаку, стан якого підлягає оцінюванню. Слід зазначити, що експертні оцінки здебільшого мають характер вербального опису або інтервальної числової оцінки, тобто не можуть тлумачитися як конкретне чітке число. В цьому разі доцільним є застосування методів лінгвістичних змінних і нечіткої математики, зокрема, в процесі побудови групового рішення.

Отже, ще одним типом невизначеності, яка має значний вплив на рівень відмовобезпеки досліджуваної системи є невизначеність, що безпосередньо пов'язана з діяльністю людей, зокрема, невизначеність, яка пов'язана з взаємодією людини з об'єктом керування (ПС) (див. рис. 4). В свою чергу цей тип невизначеності має три складові частини:

- нечіткі умови розв'язання задачі керування (випадок, коли множина дій, номованих регламен-

туючими документами у відповідній польотній ситуації, не відповідає реальним можливостям як об'єкта керування, так і керуючої ланки);

- нечітке завдання параметрів функцій (внаслідок змін, які відбулися в конструкції ПС змінилися і його характеристики керованості і стійкості, а, значить, функції, що їх описують, не є адекватними фактичним);

- нечітке завдання (фактичний стан системи не є сумісним з тими обмеженнями, які відповідають “ідеальній” системі).

Ще одним типом невизначеності, яка має місце в процесі дослідження СЕПСС є неможливість виявлення і/або врахування усіх зв'язків між елементами системи. Зупинимося детальніше на цьому факторі.

Оскільки СЕПСС відноситься до класу технічних ергатичних систем, процес її дослідження має виконуватися у відповідності з вимогами до проведення таких досліджень. Зокрема, опис цієї системи має включати не тільки основні, але й додаткові процеси (субпроцеси), які також – посередньо чи безпосередньо, пов'язані з діяльністю людей. В цьому випадку мається на увазі те, що опис процесу функціонування ергатичної СЕПСС повинен включати опис діяльності другорядних ергатичних елементів, до яких відносяться діяльність представників служб:

- технічного забезпечення;
- керування повітряним рухом;
- метеорологічного забезпечення тощо.

Зв'язки керуючого елемента та об'єкта керування з цими елементами можуть бути описані тільки умовно, таким чином, цей опис не матиме чіткої числової формалізації і може розглядатися як інформаційний простір складної структури, до якого входять такі види інформації як числова, лінгвістична, графічна, змішана тощо. Врахування цих зв'язків може бути здійснене за результатом виникнення чи відсутності певної події, яка може бути ідентифікована лише за переліком певних ознак. Саме множина цих ознак у сукупності з множиною ознак стану ПС та екіпажу дозволить уникнути повної втрати відомостей про ці зв'язки. Ознаки в цьому випадку будемо розуміти як числові, графічні чи лінгвістичні характеристики події, яка посередньо чи безпосередньо слугує причиною переходу системи з одного стану в інший.

Всі наведені міркування приводять до необхідності розв'язання задачі формування простору ознак досліджуваної системи з подальшою розробкою технології оцінювання рівня відмовобезпеки СЕПСС.

Розглядаючи лінгвістичну невизначеність значимо також, що звичайно виділяють два види полісемії: омонімію й нечіткість.

Якщо відображені тим самим словом об'єкти завдання ПР істотно різні, то відповідну ситуацію відносять до омонімії. Наприклад, курс (магнітний, істинний, ортодромічний). Якщо ж ці об'єкти подібні, то ситуацію відносять до нечіткості. Наприклад, гірська місцевість: будь-яка підстилаюча поверхня з висотою височин більше 2000 метрів [43].

Розглядаючи джерела неоднозначності змісту фраз, можна виділити синтаксичну, семантичну й прагматичну неоднозначність. Прикладом синтаксичної неоднозначності може служити такий гіпотетичний діалог в ЕПС:

Інженер-механік бортовий (ІМБ):

– тиск масла лівого двигуна нижче припустимої межі;

КПС:

– флюгер правому номінал.

У випадку надмірної актуалізації у свідомості ІМБ слова "правий", він може виключити справний двигун. Очевидно, що КПС у цьому випадку припускається помилки, що може привести до катастрофічних наслідків. Знаки пунктуації у мовних повідомленнях сприймаються на слух, і не можуть бути підтверджені візуально.

Тому пропуск слів, що конкретизують, або порядок слів у реченні, що допускає неправильну інтерпретацію, неприпустимий, особливо в нестандартних ситуаціях.

Семантична невизначеність виникає тоді, коли незрозумілий зміст фрази (команди). У практиці ЛЕ семантична невизначеність практично не зустрічається, виключенням може бути використання жаргонних виразів, що замінюють поняття професійної мови.

Однак, внаслідок незнання деяких професійних термінів вирази, в яких вони зустрічаються, будуть мати незрозумілий сенс.

Прагматична невизначеність пов'язана з неоднозначністю використання синтаксично й семантично зрозумілої інформації для досягнення цілей діяльності, або внаслідок втрати одного із ЧЕ працездатності.

У загальній формі проблема ПР в СЕПСП може бути охарактеризована сукупністю елементів, що утворюють кортеж [20,33,36,44]:

$$\langle S, P, Q, \Phi, D, I, F_0 \rangle,$$

де S – середовище ЗПР;

P – мета пілота як ЛПР;

Q – критерії, що характеризують вимоги до бажаного стану;

Φ – альтернативні рішення, які можуть бути прийняті;

D – правила вибору рішення, які можуть бути використані;

I – необхідна для даного класу завдань інформація;

F_0 – специфічні особливості (оціночна функція чи домінанта) діяльності ЛПР.

У випадку, коли S як середовище ЗПР характеризується наявністю невизначеності, то ПР, не знаючи, в якій ситуації воно буде реалізовано. Тоді для ПО будуть характерні нечіткість і приблизність розумових висновків при описі й оцінці ситуацій, при формулюванні цілей і обмежень, при оперуванні вихідними даними [45]. Тому, при формалізації польотного завдання виникає необхідність використати нечіткі поняття й нечіткі процедури.

Залежно від переваг ПО може скористатися принципами, застосовуваними для ПР в умовах невизначеності [47, 48]. При цьому з метою запобігання ризику й забезпечення гарантійного підходу до БП рекомендується, насамперед, критерій Вальда [48 – 50]. Однак оптимальність даного підходу не завжди безперечна.

Розглянемо у зв'язку з наведеним такий приклад. Нехай на літаку Ан-24 відмовив один з двигунів. При цьому довжина злітно-посадочної смуги (ЗПС) аеродрому посадки така, що зупинка ПС у її межах можлива тільки із закрилками, відхиленими на кут $\delta=38^\circ$.

Будемо вважати також цілком можливою ситуацію, що на ЗПС з'явиться перешкода в момент, коли висота польоту літака буде меншою 60 метрів. Відповідно до нормативних вимог [51] відхід на друге коло на одному двигуні можливий з висоти не менше 60 м із закрилками, відхиленими на кут $\delta=15^\circ$.

Завдання для ПО формулюється так: на який кут випускати закрилки при заході на посадку? Для даної ситуації маємо матрицю рішень із нечітко заданими наслідками подій (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця рішень при здійсненні посадки літака Ан-24 з одним двигуном

Закрил-ки	Перешкода на ЗПС		Найгірші наслідки
	"Є", $p \rightarrow 0$	"Немає", $p \rightarrow 1$	
1	2	3	4
$\delta=38^\circ$	Зіткнення з землею	Благополучна посадка	Зіткнення з землею
$\delta=15^\circ$	Відхід ПС на друге коло	Викочування за ЗПС	Викочування за ЗПС

Використовуючи критерій Вальда, одержимо рішення: посадка із закрилками $\delta=15^\circ$.

Отже, з наведеного прикладу виходить, що крім невизначеності середовища ЗПР може виникнути невизначеність вибору критерію для досягнення мети.

Висновки

1. Вплив ЛЧ на безпеку АТС вимагає реалізації різноманітних підходів з його різнобічного вивчення, одним з яких є уявлення професійної діяльності П-О (льотного екіпажу як колективного оператора) у вигляді безперервного ланцюга рішень, що виробляються в умовах дії багатьох факторів різноманітної природи.

2. Запропоновані класифікаційні ознаки (міри динаміки, складності та невизначеності) польотних ситуацій, що дозволяє системно розглянути характеристики їх невизначеності як джерела нестохастичного ризику, який у загальному випадку не може бути передбачуваним.

3. Детального розглянуті невизначеності, пов'язані з діяльністю людини (відсутність знань про явища та закономірності функціонування ПС як об'єктів керування; взаємодія пілота з об'єктом і (або) явищем навколишнього середовища; визначення мети; отримання та обробка інформації; побудова стратегій вирішення теоретичних і практичних задач), а також інформаційно-лінгвістичній невизначеності опису проблемних ситуацій.

4. Отримані результати є підставою для подальших досліджень і моделювання процесів ЛЕ ПС і ПП ЧЕ з використанням методів лінгвістичних змінних і нечітких множин.

Література

1. Изучение роли человеческого фактора при авиационных происшествиях и инцидентах // Человеческий фактор: Сб. м-лов № 7.- Циркуляр ИКАО 240-AN/144.- Монреаль, Канада, 1993. – 76 с.
2. Ключев А.В. Психологические аспекты проблемы человеческого фактора в авиационной аварийности: анализ и стратегия профилактики / А.В. Ключев, А.Н. Качалкин, Э.Б. Диденко и др. – М.: НТЦ МАК, 1996.- 85 с.
3. Бабак В.П. Безпека авіації / В.П. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін.; За ред. В.П. Бабака. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.
4. Рева А.Н. Человеческий фактор и безопасность полетов: Проактивное исследование влияния: монография / А.Н. Рева, К.М. Тумышев, А.А. Бекмухамбетов; Науч. ред. А.Н. Рева, К.М. Тумышев. – Алматы, 2006. – 242 с.
5. Горячев В.А. Новый подход к подготовке летного состава за рубежом / В.А. Горячев, Н.Н. Коростелева // Проблемы безопасности полетов: Ежемес. бюл. - М.: ВИНТИ, 1988. – №7. – С. 3-12.
6. Пономаренко В.А. Безопасность полетов – боль авиации / В.А. Пономаренко. – М.: ФЛИНТА, 2007. – 416 с.
7. Фундаментальные концепции человеческого фактора // Человеческий фактор: Сб. м-лов № 1. -

Cir. ICAO 216-AN/131. – Монреаль, Канада, 1989.- 34 с.

8. Рева А.Н. Последний рубеж обороны (Человеческий фактор: фундаментальные концепции ИКАО) / М.Ф. Давиденко, А.Н. Рева // Авиакомпания. – М., 1995 (пробный номер). – С. 23-28
9. Jensen R.S., Andrien J., Lawton R. Aeronautical Decision Making for Instrumental Pilot. DOT / FAA / PM-86/42.
10. Плотников Н.И. Зарубежная практика профессиональной подготовки летного персонала / Н.И. Плотников. – М.: ЦНТИГА, 1989. – 42 с.
11. Рева О.М. Эргономичные основы начатковой профессиональной подготовки пилотов: Автореф. дис. ... д.т.н. зі спеціальності 05.22.14. "Експлуатація повітряного транспорту" / О.М. Рева. – К.: КМУЦА, 1996.
12. Плотников Н.И. Методы нечеткого наблюдения деятельности воздушного транспорта / Н.И. Плотников // Проблемы безопасности полетов. – М.: ВИНТИ, 2009. – Вып. 8. – С. 15-20
13. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
14. Дюбуа Д. Теория возможностей. Приложение к представлению знаний по информатике / Д. Дюбуа, А. Прад. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
15. Руководство по предотвращению авиационных происшествий: Док. ICAO 9422 – AN / 923.- Монреаль, Канада, 1984. – 144 с.
16. Бурдун И.Е. Некоторые свойства и применение модели нечеткого управления самолетом / И.Е. Бурдун // Проблемы полета самолета гражданской авиации при заходе на посадку в сложных метеословиях: Сб. науч. тр. – К.: КНИГА, 1984. – С. 26-30.
17. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: Пер. с англ. Н.И. Ринго / Л. Заде; под ред. Н.Н. Моисеева, С.А. Орловского. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
18. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем / А.И. Губинский. – Л.: Наука, 1982. – 270 с.
19. Козелецкий Ю. Психологическая теория решений / Ю. Козелецкий: Пер. с польск. Г.Е. Минца, В.Н. Поруса / Под ред. Б.В. Бирюкова. – М.: Мир, 1979. – 504 с.
20. Рева О.М. Загальна характеристика процесів прийняття рішень в гуманістичних системах: Тексти лекцій з курсу "Основи теорії прийняття рішень" для студентів денної форми навчання спеціальності 7.050108 "Маркетинг" / О.М. Рева. - Кіровоград: КІК, 2001. – 32 с.
21. Казаков И.Е. Анализ стохастических систем в пространстве состояний / И.Е. Казаков, С.В. Мальчиков. – М.: Наука, 1983. – 384 с.
22. Акоф Р. О целеустремленных системах: Пер. с англ. Г.В. Рубальского / Р. Акоф, Ф. Эмери; под ред. И.А. Ушакова. – М.: Сов. радио, 1974. – 272 с.

23. Кунцевич В.М. О неопределенности в современном естествознании и информатике / В.М. Кунцевич // Методологические проблемы кибернетики и информатики. – К.: Наук. думка, 1986. – С.138-144.
24. Колмогоров А.Н. К логическим основам теории информации и теории вероятностей / А.Н. Колмогоров // Теория информации и теория алгоритмов. – М.: Наука, 1987. – С. 232-237
25. Иваненко В.И. Проблема неопределенности в задачах принятия решений / В.И. Иваненко, В.А. Лабковский. – К.: Наук. думка, 1990. – 134 с.
26. Дидук Н.Н. Теория неопределенности: назначение, первые результаты и перспективы. Ч.1 / Н.Н. Дидук // Кибернетика и системный анализ, 1993. – №4. – С. 160-168.
27. Дидук Н.Н. Теория неопределенности: назначение, первые результаты и перспективы. Ч.2 / Н.Н. Дидук // Кибернетика и системный анализ. – 1993. – № 5. – С. 165-173.
28. Дидук Н.Н. Пространства неопределенности. Энтропия и теорема кодирования / Н.Н. Дидук // Кибернетика. – 1984. – № 2. – С. 69-73.
29. Дидук Н.Н. Информационные пространства. Понятия собственной информации и неопределенности / Н.Н. Дидук // Кибернетика. – 1986. – № 4. – С.74-84.
30. Дидук Н.Н. Нечеткость с точки зрения теории информации / Н.Н. Дидук // Кибернетика. – 1987. – № 2. – С. 80-86.
31. Дидук Н.Н. Теоретико-информационное сравнение нечеткости с вероятностной неопределенностью. Ч.1 / Н.Н. Дидук // Кибернетика. – 1988. – № 1. – С. 84-90.
32. Дидук Н.Н. Теоретико-информационное сравнение нечеткости с вероятностной неопределенностью. Ч.2 / Н.Н. Дидук // Кибернетика. – 1988. – № 2. – С. 77-83.
33. Борисов А.К. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.К. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
34. Рева О.М. Основні джерела невизначеності та помилок операторів авіаційних ергатичних систем: Конспект лекцій з курсу “Основи теорії прийняття рішень” / О.М. Рева, Л.А. Журавльова. – Кіровоград: ДЛАУ, 1998. – 40 с.
35. Журавлева Л.А. Концепція системної безпеки як основа дослідження відмовобезпеки системи “повітряне судно - екіпаж – середовище” / Л.А. Журавлева // Проблеми аеронавігації: Тематич. зб. наук. пр. - Вип. III. - Ч.II. – Кіровоград, 1997. – С. 91-100
36. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т.т. Т.3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
37. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981. – 208 с.
38. Кузьмин В.Б. Построение групповых решений в пространствах четких и нечетких бинарных отношений / В.Б. Кузьмин. – М.: Наука, 1982. – 168 с.
39. Цифровая связь “воздух-земля” для УВД // Проблемы безопасности полетов: Ежемесяч. бюл. - М.: ВИНТИ, 1994. – № 11. – С.43-46
40. Доброленский Ю.П. Методы инженерно-психологических исследований в авиации / Ю.П. Доброленский, Н.Д. Завалова, В.А. Пономаренко, В.А. Туваев; Под ред. Ю.П. Доброленского. – М.: Машиностроение, 1975. – 280 с.
41. Овчаров В. Человеческий фактор: вечные проблемы / В. Овчаров // Гражданская авиация, 1996. – №11. – С.18-21
42. Воробьев В.М. Механизм процессов образования информационных потоков систем пожарной сигнализации ЛА / Дис Аль-Аммори, В.М. Воробьев, А.Н. Аль-Аммори, О.М. Аль-Аммори // Проблемы управления технической эксплуатацией АТ: Сб. науч. тр., К.: КМУГА, 1996. – С.127-132
43. Наставление по производству полетов в гражданской авиации СССР (НПП ГА - 85). – М.: Воздушный транспорт, 1985. – 254 с.
44. Шапиро Д.И. Принятие решений в системах организационного управления: Использование расплывчатых категорий / Д.И. Шапиро. - М.: Энергоиздат, 1983. – 184 с.
45. Новиков П.П. Принятие решений человеком в авиационных системах управления / П.П. Новиков. – М.: Воздушный транспорт, 1980. – 354 с.
46. Вилкас Э.Й. Оптимальность в играх и решениях / Э.Й. Вилкас. - М.: Наука, 1990. – 256 с.
47. Ланге О. Оптимальные решения (основы программирования): Пер. с польск. В.Д. Меникера / О. Ланге. - М., 1967. – 285 с.
48. Крыжановский Г.А. Введение в прикладную теорию управления воздушным движением: учеб. пособ. для вузов граждан. авиации / Г.А. Крыжановский. - М.: Машиностроение, 1984. – 368 с.
49. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер; Пер. с нем. В.М. Ивановой. – М.: Мир, 1990. – 208 с.
50. Рева О.М. Прийняття рішень в умовах небезпеки і ризику: Конспект лекцій з курсу “Основи теорії прийняття рішень” / О.М. Рева, Т.Ф. Шмельова. - Кіровоград: ДЛАУ, 1998. – 52 с.
51. Руководство по летной эксплуатации самолета Ан-24 (Ан-24РВ). - М.: Воздушный транспорт, 1995.

Надійшла до редакції 21.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри проектування авіаційних двигунів С.В. Єпіфанов, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", Харків.

СИСТЕМОЛОГИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ЛЕТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

С.В. Недбай

В статье, учитывая влияние человеческого фактора на безопасность авиационной транспортной системы и возможность представления профессиональной деятельности пилота-оператора (летного экипажа как коллективного оператора) в виде непрерывной цепи решений, вырабатываемых в условиях действия многих факторов разнообразной природы, а также опираясь на предложенные классификационные признаки (меры динамики, сложности и неопределенности) полетных ситуаций, системно рассмотрены характеристики их неопределенности как источника нестохастического риска, который в общем случае не может быть предвиденным. Особое внимание уделено детальному рассмотрению неопределенностей, связанных с деятельностью человека (отсутствие знаний об явлениях и закономерностях функционирования воздушных судов, как объектов управления; взаимодействие пилота с объектом и (или) явлением окружающей среды; определения цели; получения и обработки информации; построение стратегий решения теоретических и практических задач), а также информационно-лингвистической неопределенности описания проблемных ситуаций.

Ключевые слова: влияние человеческого фактора на безопасность полетов; классификационные признаки проблемных ситуаций; неопределенности, связанные с деятельностью человека, а также информационные как источники риска нестохастического характера.

SYSTEMOLOGY OF THE UCERTAINTIES OF THE AIRCRAFT FLIGHT OPERATION

S.V. Nedbay

Influence of the human factor on safety of aviation transport system and possibility of representation of professional work of the pilot-operator (flight crew as collective operator) in the form of a continuous chain of the decisions being made in the conditions of action of plural factors of the various natures are considered in the present Article, and also leaning upon the offered classification signs (measures of dynamics, complexity and uncertainty) of the flight situations, characteristics of their uncertainty are considered using the system approach, as a source of the nonstochastic risks which generally cannot be predicted. The special attention is given to detailed consideration of uncertainties connected to activity of the person (absence of knowledge of the phenomena and laws of functioning of aircraft, as objects of handling; interaction of the pilot with object and (or) the environment phenomenon; definitions of the target; receptions and information processings; construction of strategy of the decision of theoretical and practical problems), and also information-linguistic uncertainty of the description of problem situations.

Keywords: influence of the human factor to the Flight Safety; classification signs of the problem situations; the uncertainty connected to the activity of the person, and also information uncertainty, as a risk sources having nonstochastic character.

Недбай Сергій Валерійович – генеральний директор державного підприємства "Головний сертифікаційний та навчальний центр цивільної авіації України", e-mail: s.nedbay@rambler.ru.