

УДК 629.735.051:681.323:629.735.067(045)

¹С.В. Павлова, д.т.н., доц.
²Л.В. Благая, асп.

АНАЛІЗ ЛЮДСЬКОГО ФАКТОРА ПІД ЧАС КЕРУВАННЯ СУЧАСНИМ ПОВІТРЯНИМ КОРАБЛЕМ

Національний авіаційний університет,

¹E-mail: psv@nau.edu.ua²E-mail: b_ludmila@ukr.net

Розглянуто особливості функціональної взаємодії людини-оператора зі складною системою керування літаком. Показано необхідність розроблення векторної моделі людини-оператора як невід'ємної частини складної системи.

Ключові слова: диспетчер, ергатична система, людина-оператор, пілот, повітряний корабель.

Постановка проблеми

Причини авіаційних подій, пов'язані з технічним станом літака, у ХХ ст. становили близько 50 %. Решта 50 % припадали на інші причини, які прийнято узагальнено називати людським фактором. На початку ХХІ ст. це співвідношення становило 10 на 90 %.

З часом частка технічних причин поступово скорочується, і авіаційні події частіше зумовлені людським фактором [1].

Отже, традиційний підхід до вирішення проблеми безпеки авіації стає неефективним і подальше підвищення рівня безпеки польотів можливо тільки при кардинально новому врахуванні впливу людського фактора.

Сучасний підхід до врахування людського фактора спрямований на те, що пілоти, диспетчери, інші працівники авіаційно-транспортного комплексу повинні діяти як елементи складної цілісної системи. Це дозволить досягнути принципово нового рівня безпеки польотів.

Аналіз досліджень і публікацій

Проблемі людського фактора в авіаційній системі приділяється достатньо уваги в глобальному плані ІСАО [2; 3] та багатьох документах Євроконтролю [4–9]. Врахування людського фактора як ключового виду діяльності у складі системи CNS/ATM є елементом забезпечення безпеки польотів у цивільній авіації.

Міжнародний характер повітряного руху, його інтенсифікація потребують підвищення рівня обслуговування та підвищення безпеки польотів відповідно до вимог ІСАО, Євроконтролю та концепції CNS/ATM.

З огляду на складність проблеми людського фактора та його ключову роль у глобальній

авіаційно-транспортній системі WW CNS/ATM VGD, ІСАО передбачає збір, аналіз, узагальнення й поширення всіх практичних матеріалів за різних аспектів людського фактора між своїми учасниками [10; 11].

Сучасна авіаційно-транспортна система є складною цілісною системою взаємодіючих підсистем екіпаж – повітряний корабель (ПК) – система управління повітряним рухом (УПР) – служби та засобів підготовки і забезпечення польотів.

Кожна з цих підсистем впливає на ефективність функціонування системи в цілому та рівень забезпечення безпеки польотів.

Важливою характеристикою авіаційно-транспортної системи є велика кількість колективів людей, які взаємодіють між собою та забезпечують безпеку руху ПК.

Авіаційно-транспортна система – складна поліергатична система зі всіма притаманними ергатичним системам властивостями.

Підтримка безпечного функціонування авіаційної поліергатичної системи є однією з науково-технічних проблем. Підтримка безпеки польотів значною мірою залежить від взаємодії екіпажу ПК та диспетчера.

З появою новітніх технологій і загальною комп'ютеризацією всіх галузей промисловості значно зростає складність авіаційної техніки, інтенсивність польотів та збільшується кількість аеродромів і аеропортів.

Завантаженість диспетчера, щільність руху та складність керування ПК є небезпечними факторами, які в сукупності призводять до зростання об'ємів інформації, що обробляється авіаційними операторами, і, як наслідок, до дефіциту часу на прийняття рішення.

Мета роботи – аналіз відповідальності людини-оператора і ролі людського фактора в авіації.

Функціональна взаємодія людини-оператора та складної авіаційної системи

Зростання складності авіаційної техніки призвело до необхідності автоматизації бортових систем літака та процесів, що відбуваються в системі УПР.

Сучасні автоматизовані системи (АС), що застосовуються в авіації, стали новим етапом розвитку технічних засобів.

Керування польотом сучасного ПК здійснюється пілотом та спеціальними автоматичними системами, які полегшують процес пілотування та покращують якість керування.

Основою автоматизації є автопілот, який дозволяє автоматизувати всі етапи польоту. Більш поглиблений розвиток автоматизації отримали системи автоматичного керування та складні структуровані комплекси.

Пілотажні та навігаційні системи виконують стабілізацію літака в просторі та на маршруті, реалізують програмне керування на різних етапах польоту.

Сьогодні автоматизовані найбільш складні етапи польоту:

- захід на посадку;
- посадка;
- зліт.

Бортові АС керування ПК забезпечують однаковість пілотування на всіх режимах польоту, покращують характеристики стійкості, керованості ПК та суттєво спрощують пілоту процес виконання польоту.

Однак при цьому пілот втрачає практичні навички самостійного розв'язання завдання, що може призвести до тяжких наслідків під час виникнення аварійних чи позаштатних ситуацій.

Отже, стрімке удосконалення бортових АС керування не знизило кількості льотних подій, що виникають унаслідок помилкових дій екіпажу [12; 13].

При виробленні стратегії керування ПК пілот аналізує поточну ситуацію. Для цього пілоту необхідно обробляти значний обсяг інформації про ситуацію, що склалася, та на підставі цього виробляти відповідні керуючі впливи.

У процесі керування ПК між інформацією, яку одержує пілот, і його відповідними діями існує закономірний зв'язок, який може бути охарактеризовано часом реакції пілота і точністю його дій.

Час відповідної реакції чи час виконання однієї логічно закінченої операції керування літаком складається з часу:

- зорового пошуку;
- прийому інформації;
- прийняття рішення;
- моторного акту;
- контролю результату дії.

Приблизна кількісна оцінка часу переходу від сприйняття інформації від одного приладу до дії дорівнює 6–12 с [14–17].

У загальному випадку активність оператора визначена людською природою:

- у процесі роботи оператор обов'язково має на увазі кінцеву мету своїх взаємодій з машиною;
- оператор не просто переробляє інформацію, приймає рішення, але має особисте відношення до виконуваних дій;
- маніпулюючи органами керування, оператор активно прагне до мети.

Відповідно до принципу активного оператора [18] при визначенні ролі людини в ергатичній системі дуже важливо, щоб він не був тільки додатком машини. Це викликано тим, що при пасивній позиції оператора його перехід до активних дій вимагає значної витрати сил, однак ефективність його роботи може виявитися невисокою.

При активній позиції оператора ефективність його діяльності досягає більш високого рівня, а його психофізіологічні витрати виявляються меншими.

Отже, людина повинна бути включена в контур керування для забезпечення функціональної сумісності з ПК.

Урахування принципу активного оператора направлено на компенсацію (зменшення) часу необхідного людині-оператору на виконання дій із вироблення керування. Особливо це важливо під час виникнення нестандартної ситуації в польоті.

Бортова автоматизація сучасних літаків призводить до суттєвого підвищення складності систем керування.

При опануванні нової бортової АС керування екіпажу ПК надаються:

- її загальна структура;
- призначення;
- можливості;
- рекомендації щодо дій при відмовах, які траплялися під час випробування чи експлуатації.

Пілот, як правило, не уявляє, як функціонують різні блоки системи за різних умов польоту, не приймає безпосередньої участі у виробленні керуючих впливів, не слідкує за реальними умовами польоту, а лише контролює правильність роботи та справність автоматики за показниками спеціальних дисплеїв [19]. Через це часто пілот втрачає навички з відбивання складних відхилень, що призводить до негативних наслідків у разі відмови [13; 14].

Зі зростанням інтенсивності та щільності повітряного руху, появою високошвидкісних ПК підвищується завантаження диспетчера та збільшується ймовірність прийняття ним хибних рішень чи несвоєчасного виявлення небезпечних випадків. Збільшення кількості диспетчерів не призводить до покращення ситуації через збільшення об'ємів та інтенсивності обміну інформацією між диспетчером та екіпажем.

Автоматизовані системи УПР спрямовані на виконання функцій, а не на виконання окремих операцій [20; 21].

Створення нового покоління АС УПР стало можливим завдяки еволюції цифрових обчислювальних машин та розробці на їх основі нових інформаційних технологій.

Сучасні АС УПР виконують низку дій, замінюючи диспетчера служби УПР, внаслідок чого їм притаманна висока ступінь складності та багатофункціональність. Якість функціонування засобів автоматизації УПР визначається сукупністю їх властивостей, що характеризують здатність цих засобів виконувати окремі функції відповідно до їх призначення.

У зоні керування диспетчера знаходиться звичайно не один ПК, а їх сукупність. При збільшенні кількості ПК складність керування, що пов'язана з виникненням небезпечних ситуацій, зростає не за лінійним, а за експоненціальним законом.

Порівняно з умовами роботи пілота на борту ПК диспетчер має втручатися в процес керування значно частіше ніж пілот.

Наявність в АС УПР потужного обчислювача, що на основі оброблюваної інформації виробляє рішення для типових ситуацій, не звільняє диспетчера від процесу керування в разі виникнення нестандартної ситуації.

Автоматизація функцій УПР спрямована, переважно, на підвищення безпеки польотів, пропускну здатності та ефективності керування ПК на всіх фазах польоту.

Важливим завданням автоматизації процесів УПР є:

- покращення умов роботи диспетчера;
- підвищення його працездатності;
- зменшення робочого навантаження;
- зниження ризиків диспетчерських помилок.

Незважаючи на стрімкий розвиток автоматизації в авіації кількість подій та аварій через неправильні дії людини-оператора (пілота, диспетчера) не знижується. Усе це для вирішення проблеми людського фактора, в першу чергу для адаптації людини-оператора до нових АС, вимагає, з одного боку, розробки нових програм навчання, спрямованих на досягнення екіпажем безпечних і ефективних дій у польоті, а з другого боку, розробки та впровадження нових підходів до розв'язання проблеми людино-машинного інтерфейсу.

Важливим напрямом вирішення проблеми людського фактора в авіації є професійний відбір авіаційних операторів та їх навчання.

У галузі інженерної психології розробляють методи і методики професійної орієнтації та відбору спеціалістів, які зможуть працювати авіаційними операторами, оптимізують процеси навчання авіаційних операторів та використовують більш досконалі тренажери для відпрацювання професійних навичок у авіаційних операторів.

Раніше навчання пілотів льотного складу здійснювали при раціональному поєднанні наземного тренування з залученням авіаційних тренажерів та тренування в польоті на учбово-тренувальних літаках. Авіаційні тренажери сьогодення дозволяють навчати пілотів за програмами, які не потребують тренувань на реальному літаку і відповідно до міжнародних правил для тренажерного обладнання (JAR FSTD) мають вищі рівні сертифікації авіаційних тренажерів («С» і «D») [22].

Сучасні тренажери мають:

- електрогідравлічну систему рухомості;
- нову систему візуалізації з LCOS-проекторами;
- робочу станцію інструктора з покращеною ергономікою.

За основу розробки керівництва ERAU (Enbry – Riddle Aviation University) [1] взята методика поєднання трьох факторів: пілот – літак – оточуюче середовище (метеоумови, рельєф місцевості, робота служб УПР), і комплексний пілотажний тренажер літака Sukhoi Superjet 100 (SSJ 100 – Full Flight Simulator, FFS) [23].

Тренажерна підготовка дає можливість підвищити надійність діагностики процесу прийняття рішення на 40 %. Здобуття професійних навичок має найрішучіше значення під час навчання не тільки пілотів, а й диспетчерів УПР.

Для набуття практичних навичок операторів служби УПР використовують тренажери, які мають у своєму складі:

- найсучасніші ЕВМ;
- периферійні пристрої;
- робочі пульти диспетчерів кола, підходу (району), пілотів-операторів, технічного контролю, керівника зміни.

У тренажері TERCAS (Росія) передбачена можливість імітації найпоширеніших подій під час УПР, відмов радіолокаційних станцій, каналів зв'язку.

Основними технічними засобами формування інформаційної моделі режиму польоту є бортові системи відображення інформації (СВІ).

Системи відображення інформації сучасних комп'ютеризованих літаків відносяться до категорії систем скляної кабіни. Поняття «скляна кабіна» сполучається з поняттям пілотажної кабіни високої технології. Однак аналіз подій та аварійних ситуацій показує, що пілот не завжди є добре адаптованим до кабіни високої технології. Це характерно для ПК нового покоління.

Найбільш радикальним кроком в удосконаленні СВІ є інтеграція інформації, що стало можливим після появи індикаторів на електронно-променевих трубах (ЕПТ) і рідинно-кристалічних дисплеях (РКД) та дозволило поєднати наочну форму подання інформації з кількісними характеристиками різних параметрів польоту.

Прилади на ЕПТ і РКД отримали назву багатofункціональних індикаторів (БФІ) [15].

Інтеграція інформації від бортових систем і подання її у формі образних зображень полегшує її сприйняття, підвищує проінформованість пілота про стан ПК і тактичну обстановку, забезпечує швидке та правильне реагування на їх зміну.

Індикатори з образним зображенням є основним засобом комплексування інформації від бортових датчиків та інформації, яка міститься в базі даних.

Під час контролю пілотом позакабінного простору виникає завдання з'єднання в одному полі зору приладової та візуальної інформації. Для вирішення цього завдання застосовують індикатори на лобовому склі (ЛІС).

Індикація на лобовому склі використовується для забезпечення пілота інформацією на тих режимах польоту, де увага відвертається на огляд позакабінного простору, що створює передумови для пропуску важливої пілотажної інформації, втрати просторового орієнтування й орієнтування на місцевості.

Однією з переваг індикації на лобовому склі, з погляду людського фактора, є те, що вона дозволяє застосовувати варіанти кодування інформації:

- символи;
- кольори;
- форму;
- розміри індексів.

При цьому є можливість виключати з лицьової частини приладу непотрібні на даному етапі польоту символи, які полегшують концентрацію уваги на найбільш важливих об'єктах. Однак такий тип індикаторів має й недоліки.

З'єднання в одному полі зору природної та інструментальної інформації вимагає обмеження кількості параметрів, які виводяться на ЛІС.

Надмірне насичення інформативними одиницями (більше п'яти) впливає на надійність сприйняття, оскільки збільшуються час сприйняття та кількість помилок [15–17; 19].

Використання БФІ та ЛІС призвело до проблеми кодування інформації, що вирішується у двох основних напрямках:

- візуалізація польоту;
- символічне кодування.

Лазерну систему посадки використовують для візуалізації польоту, а саме, візуалізації обмеженої області простору, в якій пілот пілотує ПК у режимі заходу на посадку. У лазерній системі посадки, призначеній для пілотування ПК на глісادی планування в сутінках і вночі, положення ПК відносно глісади відображається трьома видимими в просторі орієнтирами (лазерними променями), один із яких позначає курс посадки, а два інших – задану траєкторію зниження (глісаду).

Промені, проектуючись на площину, перпендикулярну напрямку погляду пілота, створюють символ, форма якого визначає місцезнаходження ПК щодо заданої траєкторії посадки.

Символьне кодування застосовується як у БФІ, так і в ЛІС. Прикладом використання символічного кодування інформації на посадці може слугувати індикатор HUD-2020 фірми Honeywell (США).

Аналіз систем відображення інформації сучасних ПК показав, що в СБІ форма відображення інформації визначається характеристиками систем або вимогами пілота, якому доводиться проводити інтегральну обробку всієї інформації, що надходить, і вибирати найбільш важливу інформацію для даного режиму польоту.

Розвиток сучасних СБІ йде по напрямках:

- використання БФІ й ІЛС;
- об'єднання інформації про параметри польоту в більш узагальнені одиниці;
- оптимальне кодування інформаційних одиниць;
- створення єдиної методології формування інформаційних інтерфейсів.

Крім того, сучасний ПК є багатофункціональною системою. Зростання кількості приладів у кабіні літака ускладнює взаємодію пілота з сучасними системами керування [24].

Для авіаційного диспетчера також розроблюються системи та засоби відображення інформації [20; 21].

Розробники автоматизованих диспетчерських пунктів при обладнанні робочого місця диспетчера йдуть шляхом впровадження «дружнього» графічного (візуального) інтерфейсу, що забезпечує вимоги ергономічності та спрямований на підвищення продуктивності праці диспетчера та вірогідності інформації за рахунок зниження рівня похибок.

В автоматизованих системах УПР головний кінцевий пристрій – це відеомонітор, а основний користувач – авіадиспетчер. Як критерій припустимого часу затримки використовується прийнятний ступінь перекручування картини повітряної обстановки, яка змінюється доволі динамічно. Адекватність зображення на екрані дисплея повинна забезпечувати безпомилкове та своєчасне сприйняття диспетчером змін у контрольованому повітряному просторі.

Висновки

Зростання об'ємів повітряного руху, підвищення ступеня використання засобів автоматизації та початок застосування нових технічних засобів і концепцій є джерелами нових проблем для льотного та наземного персоналу, що пов'язано з використанням:

- інформаційних технологій CNS (супутникові системи, Internet);
- нових концепцій ATM вільного польоту, інструментального (IFF – Instrumental Free Flight)

та ергатичного (HMFF – Human Free Flight), А³ (Autonomous Aircraft Advanced) зональної навігації, відкритого неба (OSky – Open Sky) та мікрохвильової посадки (MWL – Microwave Landing);

- новітніх конструктивних концепцій ПК (CCV – Configuration Controlled Vehicle);
- новітніх технологій запобігання зіткнень справних ПК із землею (CFIT) та іншими ПК (TCAS – Traffic Collision Avoidance System);
- новітніх концепцій організації інтерфейсу льотного екіпажу (скляна кабіна);
- новітніх концепцій боротьби з тероризмом на борту ПК;
- новітніх концепцій позаштатного польоту.

Вирішення виникаючих складних проблем можливо лише комплексним урахуванням усіх аспектів людського фактора та сприятливих йому інформаційних, технічних, ергономічних, організаційних і функціонально-системних факторів в єдиній цілісній поліергатичній авіаційно-транспортній системі на засадах загальносистемних організаційних принципів теорії ергатичних систем.

Сучасні підходи до проблеми людського фактора не вирішують проблеми оптимальної взаємодії людини-оператора зі складною системою керування. Теоретичні дослідження зосереджують свою увагу лише на одноканальній взаємодії людини-оператора з системою, залишаючи поза увагою багатоканальну та векторну взаємодії. Розгляд цієї функціональної взаємодії як багатоканальної потребує розроблення векторної моделі людини оператора як невід'ємної частини складної системи.

Література

1. *Енциклопедія безпеки авіації* / Н.С. Кулик, В.П. Харченко, М.Г. Луцкий и др.; под ред. Н.С. Кулика. – К.: Техніка, 2008. – 1000 с.
2. *DOC 2750*. Глобальний аэронавигационный план применительно к системам CNS/ATM // ИКАО 9750 – AN/963. Международная организация гражданской авиации. – 3-е изд. – Монреаль: ICAO, 2007. – 142 с.
3. *DOC 4444*. Организация воздушного движения // ИКАО 4444 – ATM/501. Международная организация гражданской авиации. – 15-е изд. – Монреаль: ICAO, 2007. – 468 с.
4. *ESSAR 1*. Safety oversight in ATM. – Brussels: Eurocontrol, 2004. – 24 p.

5. *ESSAR 2. Reporting and assessment of safety occurrences in ATM.* – Brussels: Eurocontrol, 2000. – 17 p.
6. *ESSAR 3. Use of safety management systems by ATM service providers.* – Brussels: Eurocontrol, 2000. – 17 p.
7. *ESSAR 4. Risk assessment and migration in ATM.* – Brussels: Eurocontrol, 2001. – 22 p.
8. *ESSAR 5. ATM services' personnel.* – Brussels: Eurocontrol, 2002. – 24 p.
9. *Национальный план для систем CNS/ATM: инструкт. матеріал // Циркуляр 278-AN164.* – Монреаль, 2000. – 174 с.
10. *Технические эргатические системы (синтез эргаматов) / под ред. В.В. Павлова.* – К.: Вища школа, 1977. – 344 с.
11. *Павлов В.В. Эргономические вопросы создания и эксплуатации авиационных электрифицированных и пилотажно-навигационных комплексов воздушных судов: учеб. пособие / В.В. Павлов, А.В. Скрипец.* – К.: КМУГА, 2000. – 460 с.
12. *Циркуляр ИКАО №234-AN/142. Человеческий фактор // Эксплуатационные последствия автоматизации в оборудованных передовой техникой кабинах экипажа: сб.* – Монреаль, 1992. – № 5. – 54 с.
13. *Бюшгенс Г.С. Полная автоматизация управления самолётами к XXI веку / Г.С. Бюшгенс // Техника воздушного флота.* – 1993. – № 1 (608). – С. 1.
14. *Циркуляр ИКАО №238-AN/143. Человеческий фактор // Эргономика: сб.* – Монреаль, 1992. – № 6. – 56 с.
15. *Венда В.Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации / В.Ф. Венда.* – М.: Наука, 1970. – 320 с.
16. *Венда В.Ф. Видеотерминалы в информационном взаимодействии (инженерно-психологические аспекты) / В.Ф. Венда.* – М.: Наука, 1980. – 200 с.
17. *Пономаренко В.А. Некоторые эргономические аспекты построения интегральных автоматизированных систем индикации и управления в современной авиации / В.А. Пономаренко, И.Д. Малинин // Проблемы безопасности полетов.* – 1985. – № 12. – С. 35–38.
18. *Завалова Н.Д. Принцип активного оператора в инженерной психологии / Н.Д. Завалова, В.А. Пономаренко, Б.Ф. Ломов // Инженерная психология.* – М.: Наука, 1977. – С. 119–133.
19. *Пономаренко В.А. Профессия – летчик: Психологические аспекты / В.А. Пономаренко, В.В. Лапа; под ред. Ю.П. Доброленского.* – М.: Воениздат, 1985. – 136 с.
20. *Давидсон Б.Х. Управление самолётом в перспективной системе аэронавигации / Б.Х. Давидсон, В.Л. Суханов, С.А. Трофимов // Российско-европейский семинар ASTEC'07 «Концепции и технологии OpВД».* – М.: ЦАГИ, 2007. – С. 6.
21. *Perr T.S. In Search of the Future of Air Traffic Control / T.S. Perr // IEEE Spectrum.* – 1997. – Vol. 34, N 8. – P. 18–35.
22. *Серегин Г.Н. Авиационные тренажеры – реальный путь к повышению безопасности полетов / Г.Н. Серегин // Право и безопасность: журн.* – 2006. – № 3–4 (20–21), дек. – С. 94–98.
23. www.ato.ru/content/pilotazhnyy-trenazher-samoleta-ssj-100-gotov-k-obucheniyu-rossiyskih-pilotov
24. *Павлова С.В. Аналіз сучасного рівня розвитку систем керування літальними апаратами / С.В. Павлова, А.В. Скрипец, В.І. Чепіженко // Автошляховик України.* – 2001. – № 4. – С. 58–60.