

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний авіаційний університет

КРАВЧУК МИКОЛА ПЕТРОВИЧ

УДК 331.101.1:629.735.072.4:351.814.343.7(042.3)

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ
ЕРГАТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛІТАКОМ ПРИ
ВИКОНАННІ ПОСАДКИ**

05.22.20 - експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Казак Василь Миколайович,
професор кафедри автоматизації та енергоменеджменту,
Національний авіаційний університет

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Запорожець Олександр Іванович,
Директор інституту міського господарства,
Національний авіаційний університет

кандидат технічних наук, доцент
Кузьмін В'ячеслав Павлович,
провідний інженер – конструктор,
Державне Київське конструкторське бюро «Луч»

Захист дисертації відбудеться 22.12. 2009 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.26.062.03 при Національному авіаційному університеті за адресою: 03680, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03680, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розіслано 17.11.2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 26.062.03
доктор технічних наук, доцент,
старший науковий співробітник

Павлова С.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Аналіз статистичних даних про авіаційні події (АП) та причин їх виникнення показує, що найбільш небезпечним етапом польоту є посадка повітряного корабля (ПК). Актуальність питання підвищення безпеки виконання цього етапу підтверджується тим, що не лише авіакомпанії, державні установи та держави в цілому ведуть пошук шляхів зниження кількості небезпечних АП на етапі посадки, але й Міжнародна авіаційна організація цивільної авіації ICAO була змушена створити спеціальний комітет з майбутніх аеронавігаційних систем (FANS), який розробив нову концепцію забезпечення потрібних навігаційних характеристик (Required Navigation Performance – RNP), яку схвалено ICAO.

Концепцією RNP у концептуальному аспекті встановлено для районів повітряного простору групу з чотирьох параметрів: точності, цілісності, неперервності і готовності, які у сукупності визначають умови навігації. Головними причинами зниження безпеки виконання посадки ПК є: невитримання заданих параметрів під час посадки ПК; вплив раптових непередбачених дій зовнішніх дестабілізуювальних факторів та внутрішніх процесів, порушення технології керування ПК і його конфігурацією; помилки екіпажу та служб керування повітряним рухом; неякісне технічне обслуговування; різного роду відмови авіаційної техніки. Тому проблема забезпечення безпеки виконання посадки ПК є основною темою досліджень вітчизняних та закордонних науково-дослідних та дослідно-конструкторських установ.

У зв'язку з цим тема дисертаційної роботи, яка присвячена підвищенню експлуатаційної надійності ергатичних систем управління літаком на етапі посадки в умовах невизначеності, безумовно, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась як складова частина досліджень, що проводиться в Національному авіаційному університеті (НАУ) і спрямована на подальше удосконалення методів та засобів забезпечення безпеки польотів через підвищення експлуатаційної надійності авіаційного транспорту України. Робота виконана на кафедрі автоматизації та енергоменеджменту і відповідає вимогам Державної програми розвитку авіаційного транспорту України на період до 2010 р., розробленої відповідно до Указу Президента України від 18 жовтня 2000 р. №1143/2000 про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 27 вересня 2000 р. «Про стан авіаційного транспорту і авіаційної промисловості України».

Дисертаційна робота виконувалась в рамках наступних держбюджетних науково – дослідних робіт: № 501ДБ08 «Теорія, методи та методики діагностики аеродинамічного стану зовнішнього обводу літального апарата у польоті» номер державної реєстрації 0108U004065; № 8/07.01.04 «Сучасні концепції підвищення ефективності електроенергетичних комплексів та процесу їх автоматизації на транспорті».

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розроблення нового методу забезпечення безпеки виконання посадки ПК за рахунок підвищення характеристик ефективності процесів експлуатації ергатичних систем керування літаком в умовах невизначеності.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

- аналіз причин виникнення невизначених ситуацій у польоті на етапі посадки й обґрунтування вибору для дослідження ПК і типової невизначеності у польоті;

- розроблення концепції й обґрунтування можливості використання інтелектуальних систем у складі ергатичного комплексу ПК для забезпечення безпеки й ефективного керування ПК на етапі посадки в умовах невизначеності;

- обґрунтування поняття системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс» і на його основі розроблення математичної моделі процесу виконання посадки ПК у потрібну точку злітно-посадочної смуги (ЗПС);

- розроблення на основі лінійного програмування методики та моделі прогнозування точності виконання посадки ПК в потрібну точку ЗПС;

- наукове обґрунтування, розроблення та синтез структури інтелектуальної системи підвищення експлуатаційної надійності ергатичної системи керування ПК на етапі посадки в умовах невизначеності;

- на основі аналізу результатів математичного моделювання процесу виконання посадки літака в умовах невизначеності отримати підтвердження можливості підвищення характеристик експлуатаційної надійності ергатичних систем та істотного зниження ризику за умов врахування екіпажем рекомендацій (алгоритму) щодо дій в польотній ситуації, яка виникла.

Об'єктом дослідження є процес виконання посадки ПК в умовах невизначеності власних характеристик системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс».

Предметом дослідження є методи підвищення характеристик ефективності процесів експлуатації ергатичних систем керування для виконання посадки ПК в умовах невизначеності власних характеристик системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс».

Методи дослідження, використані для вирішення поставлених завдань: методи системного аналізу, характеристик експлуатаційної надійності, теорії управління і лінійного програмування, математичного моделювання і машинного експерименту, які використані для створення інструментарію дослідження характеристик ефективності процесу експлуатації ергатичної системи ПК в умовах невизначеності; методи теорії нечіткої логіки і нейромереж для створення інтелектуальної ергатичної системи керування ПК на етапі посадки; методи структурного синтезу для синтезу інтелектуальної ергатичної системи підвищення характеристики безпеки виконання посадки ПК в умовах невизначеності.

Наукова новизна отриманих результатів:

– обґрунтовано й доведено можливість забезпечення безпечної посадки за рахунок підвищення ефективності функціонування ергатичної системи керування ПК на етапі посадки в умовах невизначеності;

– уперше визначено та науково обґрунтовано поняття системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс» і на його основі розроблено нову математичну модель процесу керування виконанням посадки ПК у потрібну точку ЗПС з урахуванням умов невизначеності;

– розроблено на основі лінійного програмування нову методику і модель прогнозування точності виконання посадки ПК у потрібну точку ЗПС;

– науково обґрунтовано, розроблено і синтезовано нову структуру інтелектуальної системи підвищення характеристик ефективності процесу експлуатації ергатичної системи керування ПК на етапі посадки в умовах невизначеності;

– на основі аналізу результатів математичного моделювання процесу виконання посадки літака в умовах невизначеності отримано підтвердження можливості підвищення характеристик експлуатаційної надійності ергатичних систем та істотного зниження ризику за умов врахування екіпажем рекомендацій (алгоритму), щодо дій в польотній ситуації, яка виникла.

Практичне значення дисертації Результати дисертаційної роботи використовуються під час виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт АНТК ім. О.К. Антонова та в Державному підприємстві Київському авіаційному заводі «Авіант», а також у навчальному процесі НАУ при підготовці фахівців за напрямом 8.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Особистий внесок здобувача. Усі результати, що становлять основний зміст дисертаційної роботи, отримано автором самостійно.

В опублікованих роботах у співавторстві особистий внесок автора полягає в такому: в роботі [1] автору належить 60% розробки алгоритму керування літальним апаратом в умовах невизначеності та 45% розробки тунельної концепції виконання посадки з використанням еліпсоїда відхилення та інтелектуальної системи керування на основі нейронечіткого регулятора; в роботі [2] – 80% проведення оптимізації умов виконання літаком посадки в задану точку ЗПС із застосуванням методу лінійного програмування на ЕОМ; у роботі [3] – 60% теоретичного обґрунтування створеної моделі та 55% розробки методики врахування дій екіпажу ПК для посадки у складних метеорологічних умовах; в роботі [4] автору належать 50% проведення оптимізації процесу виконання літаком посадки в умовах невизначеності із застосуванням методу лінійного програмування; в роботі [5] – 65% дослідження впливу живучості аеродромного світлосигнального комплексу на точність приземлення ПК; у роботі [6,7] – 50% розроблення математичної моделі руху літака повздовж траєкторії посадки.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати роботи були викладені, обговорені та схвалені на міжнародних науково-технічних конференціях: «Політ-2007» (Київ, 2007 р.); «Політ-2008» – (Київ,

2008 р.); «Авіа-2008» (Київ, 2008 р); «Політ - 2009», а також на кафедральних та інститутських семінарах.

Публікації. Основні положення дисертації, методики, результати досліджень, висновки та рекомендації опубліковано в 7 друкованих працях, з них 6 статей у фахових наукових журналах і збірниках наукових праць.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та 2 додатків. Обсяг основної частини роботи складає 126 сторінок. У роботі наведено 41 ілюстрація та 10 таблиць. Список використаних джерел містить 127 найменування на 12 сторінках. Обсяг роботи разом з додатками становить 147 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обгрунтовано актуальність вибраної теми роботи, сформульовано мету і визначено основні завдання дослідження, наведено наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів, їх апробацію і практичну реалізацію, а також особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** на базі огляду літературних джерел: наведено аналіз загальних закономірностей повторюваності і часової змінності видимості на ЗПС як одного з факторів невизначеності; розглянуто основні чинники, що впливають на характеристики експлуатаційної надійності ПК і його систем та безпеку польотів, показано, що на безпеку польотів значно впливає ступінь бачення пілотом світлосигнальних вогнів з ПК на етапі посадки в складних метеорологічних умовах (СМУ); проаналізовано запропоновані попередниками шляхи зниження впливу метеорологічних умов на просторову орієнтацію екіпажу та ПК, вимоги ІСАО до світлотехнічних і топологічних характеристик аеродромних світлосигнальних комплексів (АСК).

Проведений змістовий огляд теоретичних і практичних досліджень, а також детальний аналіз нормативних документів та рекомендованих ІСАО стандартів показав, що проблема невідповідності умов видимості на ЗПС, що очікуються, реальним умовам непрямо визнається всіма авторами, але подальшого розвитку не знаходить, тому дотепер не достатньо досліджено. Крім того, стандарти на топологічні схеми та світлотехнічні характеристики АСК застаріли, тому потребують уточнень і доповнень відповідно до сучасних вимог безпеки польотів. Немає науково обгрунтованих національних стандартів і рекомендацій щодо проектування та експлуатації АСК.

З'ясовано, що в разі виникнення у польоті раптової аварійної ситуації велика кількість пілотів розгублюються або запізнюються виконувати відповідні дії, тоді як при використанні екіпажем своєчасної підказки прийняття рішення щодо дій у цій ситуації на етапі посадки максимальні значення дисперсії відхилення літака від потрібної точки (маркера) приземлення знижуються в 1,5 – 2 рази, а ймовірність прийняття помилкового рішення не перевищує 10^{-12} .

Детальний аналіз сучасного стану методів уникнення неадекватної поведінки екіпажів у нештатних ситуаціях у польоті показав, що основним з них є

тренування пілотів на льотних тренажерах, у які вводяться типові нештатні ситуації у польоті. На жаль, такі методи не враховують усього спектра можливих ситуацій та психофізіологічні особливості людини в екстремальних ситуаціях. Запропоновано для таких польотних ситуацій скласти базу підказок щодо дій екіпажу у типових нештатних ситуаціях та внести її в бортову ЕОМ. У разі виникнення аварійної ситуації на етапі посадки ПК інтелектуальна ергатична система висвічує відповідно до ситуації, що виникла, підказку екіпажу.

У **другому розділі** розроблено умови забезпечення безпечної посадки літака у визначену точку ЗПС: наведено вимоги сучасних нормативних документів щодо безпеки польотів; визначено та науково обґрунтовано поняття системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс», а також поняття динамічної живучості системи на етапі посадки; проаналізовано вплив складових динамічних ланок системи: – психофізіологічних характеристик екіпажу, аеродинамічних характеристик літака, зовнішнього середовища, особливої ситуації – на визначену систему під час виконання літаком посадки; визначено перспективні напрями їх системного удосконалення; визначено поняття ефективності функціонування ергатичної системи та її експлуатаційної надійності.

З'ясовано, що з появою непередбаченої нештатної ситуації при виконанні посадки ПК для відображення її розвитку, запобігання або зниження до мінімуму її можливих негативних наслідків необхідно, щоб система «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс» у цій ситуації зберігала у польоті достатні властивості стійкості та керованості за будь-яких умов її розвитку. Тут якраз і виникає проблема виконання наведених умов. Як показник таких властивостей (живучості) пропонується використовувати аналог функції надійності – функцію динамічної живучості $D(T_n)$, що характеризує умовну ймовірність того, що термін функціонування T_p системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс» після виникнення особливої ситуації у польоті буде більший від потрібного T_n для запобігання наслідкам характеру розвитку виниклої ситуації

У роботі розроблено новий концептуальний підхід, згідно з яким процес розвитку особливої ситуації (ОС) у польоті відповідно до характеру її розвитку та наслідків цього можна умовно поділити на три умовні виходи: перший – швидкість розвитку ОС повільна, а потрібний термін її повної нейтралізації достатній. Відповідно до цього вираз (1) набуває вигляду:

Другий вихід – швидкість розвитку ОС стрімко зростає, у процесі її розвитку стан системи погіршується, а потрібний час на її запобігання досягає значення часу, що є у розпорядженні екіпажу, тобто

Третій вихід – за неможливості досягнення екіпажем ПК першого чи другого виходу, тобто коли неможливо так уповільнити деградацію системи, щоб безпечний політ зберігався якомога довше після виникнення ОС, перед ним стає задача зведення негативних наслідків до мінімально можливого у цій ситуації рівня:

де T_{n1}, T_{n2}, T_{n3} , – час, що потрібен для досягнення першого, другого чи третього виходу відповідно; $T_p, T_{\text{гран}}$, – час, який є у розпорядженні екіпажу та граничне його значення.

Детальний аналіз наявних методів попередження наслідків ОС, що виникають на етапі посадки (з причин СМУ, помилкових дій екіпажу чи служби управління повітряним рухом, відказ елементів АСК чи систем ПК, порушення контуру зовнішніх обводів літака і ін.) показує, що для цього необхідно організувати на борту літака базу підказок щодо алгоритму правильних дій екіпажу в ситуаціях, що склалися на етапі посадки, розробити метод і алгоритм безперервного прогнозування точки приземлення на основі швидкозмінних поточних параметрів зниження ПК. На підставі порівняння результатів реальних дій екіпажу в польотній ситуації, що склалася, з потрібними (за базою даних) формувати підказку екіпажу. У разі не сприймання екіпажем підказки та подальшого погіршення польотної ситуації до досягнення висоти прийняття рішення й прийнятті ним у цій ситуації рішення на цій висоті щодо продовження виконання посадки, у роботі пропонується відключити екіпаж від керування літаком, зазвичай попередивши його про це, перевести літак через систему автоматичного керування (САК) та автомат тяги у набір висоти.

Для цього на борту літака у складі ергатичної САК потрібно мати інтелектуальну систему спостереження, формування підказки й автоматичного переведення ПК у набір висоти з наступним уходом на друге коло.

У роботі для вирішення цієї проблеми запропоновано концепцію тунельного руху зі спостереженням за параметрами еліпсоїда відхилень (рис.1). Належність параметрів місцеперебування ПК до рівня цілісності й формування підказки у разі порушення межі цілісності визначається таким чином: порівнюються величини прогнозного довірчого інтервалу та рівня цілісності. За відстанню, що залишилась до досягнення заданої межі цілісності і поточної швидкості її зміни, визначається очікуваний час виходу літака за вказані межі.

Сутність завдання оптимізації вибору дій екіпажу під час зниження ПК по глісаді до висоти прийняття рішення полягає в тому, що в разі порушення межі цілісності (коли б один з параметрів еліпсоїда вийшов за межі внутрішнього контуру «тунелю») знайти з множини потенційних підказок A_i , $i = 1, n$ щодо дій екіпажу у ситуації, що склалася, оптимальну для інтервалу T_i часу $A_{\text{опт}}(t)$, яка забезпечила би найбільш ефективне повернення ПК на потрібну траєкторію зниження в умовах обмеженого часу польоту $t_{\text{пол}}$, що не перевищує критичне $t_{\text{крит}}$:

де g_{ij} – величина потенційного збільшення параметрів еліпсоїда відхилення літака від заданої території; p_{ij} – ймовірність виникнення j -го порушення межі цілісності в результаті збільшення i -го параметру еліпсоїда.

Рис. 2. Структура взаємовпливу складових системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс»:

ІСП – інструментальна система посадки;
ІС – інтелектуальна система

Розроблено структурну схему (рис.2) взаємовплив складових системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс», складено модель руху літака на траєкторії посадки:

де $D_x, D_y, D_z, W_x, W_y, W_z$ – проекції векторів відповідно дальності та шляхової швидкості на осі зв'язаної системи координат; $\omega_x, \omega_y, \omega_z, a_x, a_y, a_z$ – виміряні значення проекцій абсолютної кутової швидкості і лінійного прискорення ПК; $\widehat{D}_x, \widehat{D}_y, \widehat{D}_z, \widehat{W}_x, \widehat{W}_y, \widehat{W}_z$ – оцінки відповідних фазових координат контрольованого процесу; $\xi_{\omega_x}, \xi_{\omega_y}, \xi_{\omega_z}, \xi_{a_x}, \xi_{a_y}, \xi_{a_z}$ – похибки вимірювальних датчиків кутових швидкостей і акселерометрів відповідно. Надано аналіз характеристик екіпажу, ПК, світлосигнального комплексу та ергатичної системи як складових системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс».

Третій розділ присвячено розробленню методики й алгоритму прогнозування точки дотику літака ЗПС. Виконано синтез методів прогнозування, зроблено висновок, що для прогнозування багатопараметричного процесу, яким є процес посадки літака в умовах невизначеності, доцільно використати положення теорії лінійного програмування. Наведено обґрунтування поняття прогнозування точки дотику літака ЗПС, вимог до початкових умов і точності вирішення завдання.

Розроблено формалізований опис завдання прогнозування методами лінійного програмування. Показано, що складність керування літаком на етапі посадки визначається великою кількістю внесених негативно діючих факторів й внутрішніх процесів, а також жорсткими вимогами до дотику літака ЗПС заданої точки приземлення. Тому виконувати ці вимоги можна тільки за умов точної стабілізації ПК на потрібній для польотної ситуації, що склалася, траєкторії зниження протягом достатньо тривалого проміжку часу, що є безпосередньо попереджувальним моментом дотику. Задачу лінійного програмування процесу посадки ПК подамо у вигляді системи рівнянь, що містить дев'ять початкових (головних) змінних:

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_9\}, \quad (7)$$

де X_1 – відстань від точки прийняття рішення до точки дотику ЗПС; X_2 – бокове відхилення ПК; X_3 – висота прийняття рішення; X_4 – горизонтальна швидкість ПК; X_5 – вертикальна швидкість ПК; X_6 – кут крену ПК; X_7 –

кут тангажа ПК; X_8 – імовірність того, що на відстані X_1 екіпаж бачить не менше трьох вогнів АСК посадки; X_9 – кут нишпорення ПК відносно середньої лінії (поздовжнього маркера) ЗПС; та чотирьох обмежень (три обмеження типу \geq і одне типу \leq).

Для розв'язання систем рівнянь (7) у роботі використано мультиплікатор Леонтьєва, який у нашому випадку є власною матрицею коефіцієнтів оптимального приземлення ПК у задану точку ЗПС.

Система обмежень множини (7) для типового літака такі:

а) обмеження у заданих умовах:

б) обмеження типу \geq :

в) обмеження типу \leq :

a_{ij} – коефіцієнти оптимального приземлення ПК у задану точку ЗПС, b_k – базисні змінні приземлення ПК.

Розроблено програму розв'язання задачі прогнозування точки дотику ПК в умовах ОС та проведено аналіз результатів машинного експерименту, наприклад:

Оцінювання прогнозованих точнісних характеристик торкання шасі літака маркера ЗПС за умови, що екіпажем враховуються підказки інтелектуального спостерігача, показало (за результатами моделювання), що дисперсія промаху по поздовжній (поздовжньому маркеру) осі ЗПС становить $\sigma_x^2 = 29,7 \text{ м}^2$, а по боковій $\sigma_z^2 \leq 2,6 \text{ м}^2$. За результатами моделювання процесу прогнозування положень точки торкання шасі літака ЗПС для типових польотних ситуацій зроблено висновок про доцільність використання методу лінійного програмування.

У четвертому розділі проведено системний аналіз методів і способів уникнення переходу нештатної ситуації в аварійну чи аварійної у катастрофічну, детальний аналіз технічних властивостей сучасних ПК та психофізичних можливостей пілотів, а також аналіз шляхів підвищення показників безпеки виконання етапу посадки літака на ЗПС в умовах невизначеності власного стану системи «екіпаж – літак – середовище – АСК», що вказують на необхідність розроблення нової концепції забезпечення безпеки зниження і виконання посадки.

На основі теоретичних положень з когнітивного моделювання розроблено методику виявлення типових найбільш небезпечних ситуацій у польоті на етапі посадки та найефективніших і результативних дій екіпажу щодо їх усунення. Запропоновано алгоритм формування на основі таких когнітивних карт бази підказок щодо дій екіпажу у конкретній ситуації що склалася у польоті. Для визначення підказки екіпажу щодо алгоритму дій у ситуації, що склалася на траєкторії посадки ПК розроблено і синтезовано

структуру інтелектуальної системи, яка є складовою частиною ергатичної системи управління. Робиться висновок, що забезпечити безпечне виконання цього етапу польоту можна якщо сукупність параметрів: точність, цілісність, неперервність й готовність, що у сукупності визначають умови навігації, виконуються.

Рис.3. Графіки зміни ймовірності безпечного приземлення ПК в умовах виникнення на етапі посадки ОС:

- 1 – за наявності на борту штатної ергатичної системи управління (СУ);
- 2 – за наявності на борту інтелектуальної ергатичної СУ.

Доведено, що безпечне виконання посадки ПК можна гарантувати, якщо буде забезпечений відповідний рівень характеристик експлуатаційної надійності ергатичної системи керування літаком на етапі його посадки. Оцінено ефективність функціонування інтелектуальної ергатичної системи ПК.

Частина результатів розрахунків за методикою Грішина ймовірностей безпечного приземлення літака в задану область ЗПС в умовах раптового виникнення ОС на етапі його посадки показала (рис.3), що порівняно зі штатним обладнанням, запропоновано структуру інтелектуальної ергатичної системи дає змогу підвищити ймовірність безпечного приземлення ПК, наприклад у разі виникнення складної ситуації на 43 – 44%. Похибка розрахунків за методикою Грішина не перевищує 10%.

Висновки

У дисертаційній роботі на основі узагальнення результатів досліджень вирішено важливе науково-технічне завдання: розвинуто елементи теорії ергатичних систем керування, розроблено нову концепцію, метод та алгоритм підвищення безпеки польотів ПК на етапі їх посадки на ЗПС; методами математичного моделювання підтверджено доцільність створення інтелектуальної системи підтримки рішень екіпажу. При цьому отримано такі основні результати:

1. На основі теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що при візуальному пілотуванні ПК на етапі посадки в умовах невизначеності основними причинами авіаційних подій є помилки екіпажу (70% від загальної кількості авіаційних подій); несправності авіаційної техніки (19%); вплив несприятливої змінності видимості на ЗПС (11%). Обґрунтовано необхідність створення, сформульовано вимоги та запропоновано принцип побудови інтелектуальної експертної системи у складі ергатичної системи керування ПК на етапі посадки.

2. Науково обґрунтовано визначення системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс» і на цій основі розроблено нову математичну модель, в описі якої враховано психофізичні особливості екіпажу, аеродинамічні властивості літака, вплив властивостей

середовища, що змінюється зі зміною висоти, а також вплив функціональної надійності АСК.

3. Розвинуто теорію побудови експлуатаційно надійних ергатичних систем керування ПК на етапі посадки, яка ґрунтується на методи прогнозування координат точки дотику шасі літака ЗПС в умовах, що виникли у польоті, та порівняння їх з координатами потрібного положення то на цій основі контролювати дії екіпажу щодо усунення розузгодження, що виникло; розроблено нові методики, алгоритми і структури когнітивних карт та обробки їх даних; отримано аналітичні вирази оцінки основних характеристик точності приземлення.

4. Розроблено нові методику та алгоритм безперервного прогнозування точки майбутнього торкання шасі літака ЗПС для поточної польотної ситуації, що склалася у повітрі. Методами математичного моделювання підтверджено життєздатність розроблених методики й алгоритму. Достовірність результатів моделювання підтверджується їх збігом з даними досвіду льотної експлуатації ПК у подібних ситуаціях.

5. Запропоновано новий принцип побудови бази підказок екіпажу щодо алгоритму дій в конкретних обставинах, що склалися у польоті (на етапі посадки). Розроблено методику її формування. Достовірність методики і алгоритму формування підтверджено методами когнітивного моделювання. Для його проведення були залучені три групи фахівців: пілоти-студенти, пілоти зі середнім стажем льотної роботи і пілоти з великим нальотом.

6. Розроблено та синтезовано структуру й алгоритм функціонування інтелектуальної ергатичної системи керування ПК на етапі посадки. Запропоновано для підвищення експлуатаційних характеристик системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс» в інтелектуальній ергатичній системі керування ПК на етапі посадки мати три режими роботи: режим спостереження – для випадку, коли дії екіпажу і рух літака по траєкторії посадки здійснюються у штатному режимі; режим підказки – для випадку, коли нештатна ситуація або помилка екіпажу (диспетчера) призвели до виходу літака хоча б за одним параметром за зовнішні межі внутрішнього «тунелю»; активний режим – коли екіпаж до висоти прийняття рішення на виконання посадки не усунув відхилення від потрібної для ситуації, що склалася, траєкторії й не звертає увагу на підказку та попередження про неможливість продовжувати посадку все ж приймає рішення щодо посадки літака в таких умовах.

7. Аналіз результатів моделювання числових варіантів можливих ОС на етапі посадки дозволив зробити висновок, що застосування в ергатичній системі керування інтелектуального спостерігача робить можливим запобігти аварійній ситуації, переростання аварійної ситуації в катастрофічну або суттєво знижувати наслідки останньої (до мінімуму, що можливий у цій ситуації). Оцінювання точнісних характеристик торкання шасі літака маркера ЗПС за умови, що екіпаж враховує підказки інтелектуального спостерігача, за результатами моделювання

показало, що дисперсія промаху по поздовжній (поздовжньому маркеру) осі ЗПС становить $\sigma_x^2 = 29,7 \text{ м}^2$, по боковій $\sigma_z^2 \leq 2,6 \text{ м}^2$.

8. Уперше отримано ергатичну систему керування рухом літака під час виконання посадки на базі інтелектуального спостерігача, який забезпечує підвищення експлуатаційної надійності системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс» як єдиного цілого під час процесу керування посадкою ПК в умовах раптового виникнення ОС у польоті. Проведені розрахункові оцінки ймовірності безпечного приземлення ПС в умовах виникнення у польоті ОС показали, що залежно від ОС ймовірність підвищується: при УУП – на 22%, при СС – на 43,99 %, при авірійній і катастрофічній ситуації – майже на 100%. У випадку аварійної чи катастрофічної ситуації для типових зовнішніх збурених факторів (крім випадків, коли ПК не може піти на друге коло) прийнято 100% підвищення експлуатаційної надійності системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс» на етапі посадки завдяки тому, що інтелектуальна ергатична система керування ПС не допустить продовження посадки в цих ситуаціях, а переведе літак в набір висоти з наступним виходом на друге коло.

Список опублікованих праць

1. Кравчук М.П. Способи підвищення безпеки виконання посадки літака в умовах невизначеності/ В.М. Казак., М.П.Кравчук, Т.В.Будзинська, В.Ю. Міщеракова // Вісник НАУ. – 2008. – № 4. – С. 37 – 41.

2. Кравчук М.П. Оптимізація процесу виконання літаком посадки в умовах невизначеності із застосуванням методу лінійного програмування. / В.М. Казак, М.П. Кравчук, Д.О. Шевчук // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка». – 2008. – №616. – С.73–78.

3. Кравчук М.П. Методика врахування дій екіпажу повітряного судна при посадці у складних метеорологічних умовах / М.П. Кравчук, П.В. Попов, О.М. Тачинина // Вісн. північного наук. центру ТАУ. – 2007 – №10. – С.94–97.

4. Кравчук М.П. Оптимізація умов виконання літаком посадки в заданій точці злітно-посадкової смуги з застосуванням методу лінійного програмування / В.М. Казак, М.П. Кравчук, С.О. Завгородній // Вісн. північного наук. центру ТАУ. – 2006. – №9. – С.145–148.

5. Кравчук М.П. Дослідження впливу живучості аеродромного світлосигнального комплексу на точність приземлення повітряного судна / В.М. Казак, М.П. Кравчук, А.О. Неклеса, А.В. Чельник, А.О. Щербінін // Проблеми інформатизації та управління –2005. – №3(14). – С.75 – 79.

6. Кравчук М.П. Математична модель руху літака по траєкторії посадки. / М.П. Кравчук, О.Ю. Яковицька // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конф. студ. та молодих вчених „Політ – 2008”. – К.: НАУ, 2008. – С. 45.

7. Кравчук М.П. Синтез методів прогнозування точки приземлення повітряного судна./ В.М. Казак, М.П. Кравчук // Міжнародна науково-технічна конф. студ. та молодих вчених „Політ – 2006”. Наука і молодь: зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2006. – №3. – С. 105.

АНОТАЦІЯ

Кравчук М.П. Підвищення ефективності функціонування ергатичної системи управління літаком при виконанні посадки. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Національний авіаційний університет Міністерства освіти і науки України, Київ, 2009.

Питання підвищення ефективності функціонування ергатичних комплексів на етапі посадки в роботі розглядається з погляду більш широкого завдання підвищення безпеки польотів ПК. Для цього на основі проведеного аналізу досвіду експлуатації ПК в умовах України та за кордоном зроблено висновок про необхідність розроблення нової концепції забезпечення безпеки виконання етапу посадки ПК. У роботі пропонується системно враховувати динаміку всіх складових процесу посадки ПК, уперше методично обґрунтовується поняття системи «екіпаж – літак – середовище – аеродромний світлосигнальний комплекс» і на цій основі складена математична модель процесу приземлення ПК у задану точку ЗПС.

Для підвищення експлуатаційної надійності функціонування ергатичної системи управління літаком на етапі посадки запропоновано на основі когнітивного моделювання сформувати базу підказок екіпажу і алгоритм дій в умовах нештатної ситуації. Для формування бази у роботі як експертів пропонується залучати фахівців трьох вікових груп: молодих пілотів, пілотів зі стажем, пілотів з великим стажем льотної роботи. Підказка алгоритму дій екіпажу вибирається на підставі порівняння прогнозованих параметрів руху ПК по траєкторії посадки з параметрами, необхідними для безпечного приземлення. Виконано синтез методів прогнозування, розроблено методику і алгоритм прогнозування. На прикладі реальних умов підтверджено правильність вибору методу прогнозування.

Запропоновано й синтезовано структуру інтелектуальної системи у складі ергатичного комплексу. Методами математичного моделювання підтверджено доцільність включення до складу ергатичного комплексу інтелектуальної системи, що працює в трьох режимах: спостерігача, підказки й активному. Оцінено ефективність функціонування інтелектуальної ергатичної системи ПК на етапі посадки. Аналіз отриманих результатів підтвердив істотне підвищення безпеки приземлення ПК в умовах різних типів ОС в польоті.

Ключові слова: літак, посадка, ергатична система, експлуатаційна надійність.

АННОТАЦИЯ

Кравчук Н.П. Повышение эффективности функционирования эргатической системы управления самолетом при выполнении посадки. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Национальный авиационный университет Министерства образования и науки Украины, Киев 2009.

Вопрос повышения эффективности функционирования эргатических комплексов на этапе посадки в работе рассматривается с точки зрения более обширной задачи повышения безопасности полетов ВС. Для этого на основе проведенного анализа опыта эксплуатации ВС в условиях Украины и за рубежом сделан вывод о необходимости разработки новой концепции обеспечения безопасности выполнения этапа посадки ВС. В работе предлагается системно учитывать динамику всех составляющих процесса посадки ВС, впервые методически обосновывается понятие системы «экипаж – самолет – среда – аэродромный светосигнальный комплекс» и на этой основе составлена математическая модель процесса приземления ВС в заданную точку ВПП.

Для повышения эксплуатационной надежности функционирования эргатической системы управления самолетом на этапе посадки предложено на основе когнитивного моделирования сформировать базу подсказок экипажу и алгоритм действий в условиях нештатной ситуации. При формировании базы в работе в качестве экспертов предлагается привлекать специалистов трех возрастных групп: молодых пилотов, пилотов со стажем, пилотов с большим стажем летной работы. Выработка (выбор) подсказки алгоритма действий экипажа производится на основании сравнения прогнозируемых параметров движения ВС по траектории посадки с параметрами, требуемыми для безопасного приземления. Выполнен синтез методов прогнозирования, разработана методика и алгоритм прогнозирования. На примере реальных условий подтверждена правильность выбора метода прогнозирования.

Предложена и синтезирована структура интеллектуальной системы в составе эргатического комплекса. Методами математического моделирования подтверждена целесообразность включения в состав эргатического комплекса интеллектуальной системы, работающей в трех режимах: наблюдателя, подсказки и активном. Произведена оценка эффективности функционирования интеллектуальной эргатической системы ВС на этапе посадки. Анализ полученных результатов подтвердил существенное повышение безопасности приземления ВС в условиях различных типов ОС в полете.

Ключевые слова: самолет, посадка, эргатическая система, эксплуатационная надежность.

ABSTRACT

M. Kravchuk. Improving the efficiency of functioning of the ergatic control system of airplane in the performance of landing.. – Manuscript.

Thesis for a Ph.D. degree in technical sciences of specialty 05.22.20 - maintenance and repair of vehicles. - National Aviation University, Kiev, 2009.

In the thesis the question of improving the functioning airplane ergatic control system in the performance of landing is considered from the perspective of larger task of improving the safety of flight of the airplane. According the analysis of operating experience concluded the need to develop a new concept of safety assurance in the performance of landing of airplane. We propose a systematic consider the dynamics of all components of the process of landing, the first time methodically substantiated the concept of "crew - aircraft - environment - airfield lighting system" and on this basis, formulated a mathematical model of the landing of airplane in the set point runway.

To increase the operational reliability of the ergatic control system of the aircraft during landing proposed to form the base of help text to the crew and the algorithm of action in the emergencies based on the cognitive modeling. When forming the base as an expert is invited to draw upon the expertise of three age groups: young pilots, experienced pilots, pilots with more experience of flight operations. Formulation (selection) help text algorithm the crew made on the basis of comparison of prediction movement parameters of the aircraft on a trajectory of landing with the parameters which required for safe landing. There are completed synthesis of prediction methods, developed algorithm and procedure of prediction. Confirmed the correct selection of the method of prediction based on real conditions.

Proposed and synthesized structure of the intellectual system of ergatic complex. On the basis of mathematical modeling confirmed the feasibility of including in the intellectual system the ergatic complex that works in three modes: the observer, help text and active mode. An assessment of the effectiveness of the intellectual ergatic system of the aircraft in the performance of landing. Analysis of the results confirmed a significant increase landing safety of the aircraft in terms of different types of emergencies in flight.

Keywords: airplane, landing, ergatic system, operational reliability.