

УДК 629.735:656.71.06:621.31(045)

ОСН. 0-571-02/1 + 0530 ОР2. 03

¹О.Ф. Шишков
²С.С. Дев'яткіна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ЕКІПАЖУ ПОВІТРЯНОГО СУДНА З СВІТЛОСИГНАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ АЕРОДРОМУ

¹Державний міжнародний аеропорт Бориспіль²Національний авіаційний університет, lanasunshine@mail.ru

Розглянуто математичну модель, яка встановлює кількісну залежність між надійністю світлосигнальної системи аеродрому та рівнем безпеки польотів на етапі візуального пілотування. Розроблену математичну модель запропоновано брати за основу для оцінки і нормування показників надійності світлосигнальної системи аеродрому.

Постановка проблеми

Світлосигнальна система аеродрому (ССА) є єдиним джерелом візуальної інформації для екіпажу повітряного судна (ПС) на таких відповідальних етапах польоту, як зліт, захід на посадку, посадка, пробіг по злітно-посадковій смугі (ЗПС) та руління у складних метеорологічних умовах (СМУ).

Отже, рівень безпеки польотів ПС на етапі візуального пілотування в СМУ переважно визначається видом технічного стану ССА за умови правильного функціонування ергатичного комплексу "екіпаж-ПС" та наземних радіотехнічних засобів забезпечення польотів.

З метою гарантування нормованого рівня безпеки польотів на етапі візуального пілотування необхідно провести нормування показників надійності ССА та її елементів, які повинні визначатися, оцінюватися, контролюватися та забезпечуватися в процесі експлуатації.

Вирішення поставлених задач може бути здійснене за умови створення математичної моделі, яка встановлює зв'язок між показниками надійності ССА та рівнем безпеки польотів ПС на етапі візуального пілотування в СМУ.

Аналіз останніх досліджень

Перші спроби розробки такої моделі були здійснені в роботах [1; 2].

Однак, розроблена математична модель етапу візуального пілотування не враховує деякі складові цього етапу, тому не може вважатися повною та закінченою.

Основна мета

Розроблена математична модель процесу взаємодії екіпажу ПС з вогнями ССА на таких етапах, як захід на посадку, посадка, пробіг по ЗПС та руління у СМУ враховує всі складові маневру заходу на посадку і може використовуватися для оцінки впливу показників надійності ССА на рівень безпеки польотів у СМУ.

Виклад основного матеріалу

За даними статистики більшість авіаційних пригод відбувається під час таких етапів польоту ПС, як захід на посадку, посадка та зліт. Етап заходу на посадку є найбільш складним етапом польоту, який супроводжується підвищеним психофізичним навантаженням на пілотів, особливо в СМУ, через високу посадкову швидкість сучасних ПС та коротку тривалість цього етапу. Крім того, наприкінці польоту через вплив зовнішніх факторів екіпаж ПС відчуває втому та зниження реакції, що також може стати передумовою для виникнення авіаційної пригоди.

Політ із використанням наземних візуальних засобів у простих метеорологічних умовах починається від четвертого розвороту, а в СМУ – від висоти прийняття рішення до повної зупинки ПС на місці стоянки. У простих метеорологічних умовах використання ССА здебільшого не потребується – пілотування відбувається за наземними орієнтирами. У складних метеорологічних умовах I та II категорій вдень і вночі ССА є єдиним джерелом візуальної інформації про місцеположення ПС в повітрі. Отже, від правильного функціонування ССА залежить рівень безпеки польотів.

Моделювання процесу зльоту, який у СМУ виконується тільки візуально за допомогою вогнів ССА, є складною науково-дослідною задачею, яка потребує окремого розгляду.

Для здійснення успішного заходу на посадку у СМУ екіпаж ПС повинен застати ССА в працездатному стані щонайменше на висоті прийняття рішення. Працездатний стан ССА повинен зберігатися увесь час, поки ПС не зупиниться на місці паркування. Будь-яка відмова ССА за час візуального контакту з нею пілота ПС – від висоти прийняття рішення до повної зупинки ПС – потенційно може призвести до втрати пілотом візуальної орієнтації. Отже, протягом усього часу взаємодії екіпажу ПС з вогнями ССА її відмова є

причиною виникнення особливої ситуації, тобто чинить вплив на рівень безпеки польотів. Для кількісної оцінки цього впливу необхідно здійснити математичне моделювання процесу взаємодії екіпажу ПС з світлосигнальною системою аеродрому.

Для проведення математичного моделювання необхідно проаналізувати всі ситуації, які можуть виникнути під час взаємодії екіпажу ПС із ССА на етапі візуального пілотування (див. таблицю).

Таблиця 1

Можливі стани елементів ССА
під час посадки

$Q_{ПАВ}(t)$	$Q_{САК}(t)$	$Q_{ПЕАВ}(t)$	$Q_{ССА}(t_{вп})$	$Q_{ССА}(t_p)$	$Q_{ОС}(t)$
Випадок "некритичного" ПС					
-	-	-	-	-	-
+	-	-	""	""	-
+	+	-	+/-	""	+
-	-	+	""	""	-
+	+	+	""	""	-
-	-	-	+	""	+
-	-	-	-	+	+
Випадок "критичного" ПС					
-	+/-	-	-	-	-
+	+/-	-	-	-	+
+/-	+/-	+	-	-	+
-	+/-	-	+	-	+
-	+/-	-	-	+	+

Примітка: + подія відбулася; - подія не відбулася; "" подія неможлива; +/- елемент може знаходитися в будь-якому стані.

Світлосигнальна система аеродрому є складною неоднорідною топологічною системою, що складається з певної кількості функціональних підсистем і системи керування. Кожна підсистема ССА надає свій вклад у загальну світлосигнальну картину, що формується всіма підсистемами. Візуальна інформація, отримана від кожної з підсистем є однаково важливою, тому відмова хоча б одної з підсистем ССА призводить до відмови всієї системи.

Розглянемо два типи відмов підсистем ССА – відмову підсистеми аеродромних вогнів (ПАВ) та відмову підсистеми електропостачання аеродромних вогнів (ПЕАВ).

Відмова ПАВ відбувається при відмові кількості вогнів, яка перевищує задану, або при певному взаємному розташуванні вогнів, що відмовили, наприклад, два вогні поряд. Факт відмови ПАВ фіксується автоматично одразу після відмови у випадку, якщо ССА обладнана системами автоматичного контролю (САК) технічного ста-

ну аеродромних вогнів. У разі їх відсутності факт відмови ССА може бути зафіксований тільки під час планових перевірок її технічного стану, періодичність яких визначається процедурою технічного обслуговування, але звичайно становить 12 год. Тобто протягом 12 год ССА є невідновлюваною системою.

Відмова ПЕАВ відбувається при відмові будь-якого з її елементів – регуляторів яскравості, кабелю або ізолюючих трансформаторів. Факт відмови фіксується автоматично, одразу ж після настання відмови.

Відмова системи керування ССА не розглядається, оскільки зберігається попередній стан усіх вогнів та можливо керування ними з декількох різних пунктів (контрольно-диспетчерського пункту, стояка контрольованого пункту, трансформаторної підстанції).

Наведений у таблиці знак "" означає, що ситуація, в якій опинилося ПС, не впливає на безпеку польотів і не призводить до виникнення особливої ситуації. Знак "+" показує, що ситуація, в якій опинилося ПС, впливає на безпеку польотів і призводить до виникнення особливої ситуації.

"Критичне" ПС – це ПС, що за певних причин (нестачі палива, відмови бортового обладнання та ін.) не може припинити маневр заходу на посадку і здійснює її за будь-яких умов. "Некритичне" ПС має можливість виконати вимогу диспетчера про переривання посадки і відході на друге коло на етапі заходу на посадку.

У разі, якщо не відбулася жодна відмова складових ССА, захід на посадку є успішним.

Якщо відбулася відмова ПАВ за наявності САК технічного стану аеродромних вогнів, факт відмови фіксується одразу, і диспетчер дає команду ПС про відхід на друге коло. Якщо відбулася відмова ПАВ при відмові САК технічного стану аеродромних вогнів, факт відмови залишається невідомим, і ПС здійснює посадку при непрацездатній ССА, що призводить до виникнення особливої ситуації.

Факт відмови ПЕАВ під час заходу на посадку фіксується одразу ж після настання відмови, тому не сприяє виникненню особливої ситуації. Те ж саме відбувається при одночасній появі відмов ПАВ, САК аеродромних вогнів і ПЕАВ.

Відмови ССА за час візуального пілотування та за час руління ПС до місця стоянки однозначно призводить до виникнення особливої ситуації.

Під час здійснення заходу на посадку "критичного" ПС будь-яка відмова ССА, крім одичної відмови САК аеродромних вогнів, призводить до виникнення особливої ситуації в польоті.

Для запобігання ускладненню моделі введемо такі обмеження:

– після висоти прийняття рішення відхід ПС на друге коло неможливий, тобто пілот не може перервати захід на посадку;

– відновлення працездатного стану ССА за час візуального пілотування неможливо, тому що час візуального пілотування набагато менше часу відновлення працездатного стану ССА;

– система автоматичного контролю технічного стану відновлювальних елементів (регуляторів яскравості, ізолюючих трансформаторів, кабелю) є абсолютно надійною;

– відмова САК технічного стану аеродромних вогнів без відмови ПАВ не впливає на вид технічного стану ССА;

– події, які відбуваються через появу одночасно двох і більше видів відмов (крім відмови САК і ПАВ) не розглядаються, оскільки є малоімовірними.

Математична модель етапу взаємодії екіпажу ПС з вогнями ССА має такий вигляд:

$$Q_{OC}(t) = [(1 - P_{PC_{CP}}) Q_{PAV}(t) Q_{CAK}(t) + K_{ГССА}(t) Q_{ССА}(t_{вп}) + K_{ГССА}(t) Q_{ССА}(t_{вп}) Q_{ССА}(t_p) + Q_{PEAB}(t) P_{PC_{CP}} + Q_{PAV}(t) P_{PC_{CP}}] K_{СМУ}$$

де $Q_{OC}(t)$ – імовірність виникнення особливої ситуації на борту ПС через відмову ССА за час t ; $P_{PC_{CP}}$ – імовірність заходу на посадку “критичного” ПС; $Q_{PAV}(t)$ – імовірність відмови ПАВ за час t ; $Q_{CAK}(t)$ – імовірність відмови САК технічного стану аеродромних вогнів за час t ; $K_{ГССА}(t)$ – нестационарний коефіцієнт готовності ССА; $Q_{ССА}(t_{вп})$, $Q_{ССА}(t_p)$ – імовірності відмови ССА за час візуального пілотування та за час руління відповідно; $Q_{PEAB}(t)$ – імовірність відмови ПЕАВ за час t ; $K_{СМУ}$ – коефіцієнт, який враховує захід на посадку ПС у СМУ.

Розглянемо більш докладно можливі стани ССА, які сприяють появі особливої ситуації.

1. Відмова ПАВ $Q_{PAV}(t)$ на момент прильоту ПС, якщо немає САК технічного стану аеродромних вогнів, або відмова ПАВ, яка відбулася разом із відмовою САК технічного стану аеродромних вогнів $Q_{CAK}(t)$, переводять ССА до стану “відмова, немає інформації про відмову” і сприяють виникненню особливої ситуації. Імовірність відмови $Q_{CAK}(t)$ враховується за наявності систем контролю, при відсутності таких – дорівнює одиниці.

2. Відмова ПЕАВ $Q_{PEAB}(t)$ на момент прильоту ПС у загальному випадку не впливає на рівень безпеки польотів, адже інформація про відмову є. Польоти припиняються, ССА переходить у стан аварійного відновлення, а ПС відходять на друге

коло або на інший аеродром. У цьому випадку відмова ССА за час візуального пілотування та за час руління не розглядається, оскільки захід на посадку переривається. Відмова ПЕАВ сприяє виникненню особливої ситуації тільки у випадку, коли посадку здійснює “критичне” ПС.

3. Відмова ССА за час візуального пілотування $Q_{ССА}(t_{вп})$ може призвести до втрати візуального контакту та дезорієнтації пілота, що, у свою чергу, сприяє виникненню особливої ситуації в польоті.

4. Відмова ССА за час руління $Q_{ССА}(t_p)$ призводить до виникнення особливої ситуації (розглядаються підсистеми руліжних доріжок).

5. Під час заходу на посадку “критичного” ПС будь-яка відмова ССА сприяє виникненню особливої ситуації.

Отже, зазначена формула являє собою закінчену математичну модель процесу взаємодії екіпажу ПС із ССА під час посадки у СМУ. Вона встановлює кількісний зв'язок між показниками надійності ССА і рівнем безпеки польотів. Усі необхідні показники надійності ССА можуть бути визначені з застосуванням методик, розроблених у роботі [1].

У світовій практиці головним показником, що характеризує рівень безпеки польотів, є ймовірність виникнення однієї з форм особливої ситуації протягом одного польоту. Для різних форм особливих ситуацій задають різні значення ймовірностей їх виникнення. Ці значення нормуються для ПС і їхніх функціональних підсистем у документі [3].

Нормованих значень ймовірностей виникнення форм особливих ситуацій, пов'язаних із відмовами аеродромного електрифікованого обладнання, що забезпечує зліт і посадку ПС, не існує. За результатами досліджень аеродромне обладнання, яке безпосередньо бере участь у процесі забезпечення польотів ПС, впливає на рівень безпеки польотів, так само, як і бортове. Відмова ССА на етапі візуального пілотування за ступенем впливу на частоту пульсу пілота порівняна з відмовою двигуна. Отже, нормовані документом [3] значення ймовірностей виникнення форм особливих ситуацій у польоті для ПС можна і необхідно використовувати також і для аеродромного електрифікованого обладнання, що забезпечує польоти ПС.

Імовірності виникнення складної та аварійної ситуації, викликані відмовами ССА і системи електропостачання аеропорту, дорівнюють 10^{-3} і 10^{-5} на одну посадку або зліт [3].

У випадку, якщо значення ймовірності виникнення особливої ситуації з вини ССА, розрахо-

ване на підставі даних експлуатаційної статистики відмов за певний проміжок часу, менше нормованого значення, можна стверджувати, що рівень надійності ССА аеропорту забезпечує необхідний рівень безпеки польотів і відповідає нормованим вимогам. Якщо отримане значення ймовірності виникнення особливої ситуації перевищує нормоване значення, подальша експлуатація ССА неможлива і необхідно вжити заходів щодо підвищення показників надійності ССА.

Висновки

Розроблена математична модель взаємодії екіпажу ПС із ССА встановлює кількісне співвідношення між показниками надійності ССА і рівнем безпеки польотів ПС на етапі візуального пілотування.

Практичне застосування цієї моделі дозволяє проводити оцінку потенційної здатності певної ССА забезпечувати нормований рівень безпеки польотів, тобто проводити об'єктивну оцінку рівня її надійності за певний проміжок часу під час забезпечення посадки.

У загальній проблемі надійності ССА, яку детально розглянуто в дисертації [1], виділено проблему нормування показників надійності ССА, яка потребує вирішення. На теперішній час у нормативно-технічних документах цивільної авіації України, Міждержавного авіаційного комітету, рекомендаціях і стандартах Міжнародної організації цивільної авіації подано норми тільки до технічних характеристик елементів ССА (наприклад, сила світла аеродромних вогнів, номінальна потужність регуляторів яскравості тощо) і не вказано нормовані значення показників їх надійності, які повинні забезпечуватися та контролюватися в процесі експлуатації.

А.Ф. Шишков, С.С. Девяткина

Математическое моделирование процесса взаимодействия экипажа воздушного судна со светосигнальной системой аэродрома

Рассмотрена математическая модель, устанавливающая количественную зависимость между надежностью светосигнальной системы аэродрома и уровнем безопасности полетов на этапе визуального пилотирования. Предложено для оценки и нормирования показателей надежности светосигнальной системы аэродрома принять за основу разработанную математическую модель.

A.F. Shishkov, S.S. Devyatkina

The mathematical simulation of the process of interaction the aircraft's crew with airfield lighting system
The suggested mathematical model sets the quantitative connection between the airfield lighting system reliability and flight safety level during visual piloting stage. The designed model is suggested to be the base for normalizing and assessment of airfield lighting systems reliability measures.

Розроблена математична модель може бути взята за основу для нормування показників надійності ССА та її підсистем. За основні критерії нормування повинні бути обрані, як мінімум, два критерії – забезпечення ССА нормованого рівня безпеки польотів на етапі візуального пілотування в СМУ та економічна доцільність матеріальних витрат на забезпечення певного рівня надійності ССА.

Розглянута математична модель взаємодії екіпажу ПС з ССА не може, однак, розглядатися як повна та закінчена модель етапу візуального пілотування, оскільки не враховує такого важливого етапу, як зліт. У складних метеорологічних умовах зліт ПС виконується тільки візуально, тому цей етап потребує окремого детального розгляду. Математична модель зльоту ПС у СМУ надасть можливість проводити оцінку показників надійності ССА при забезпеченні зльоту.

Обидві розроблені моделі складуть повну і закінчену математичну модель процесу взаємодії екіпажу ПС з ССА під час забезпечення посадки та зльоту і знайдуть використання при вирішенні проблем нормування, оцінки та забезпечення необхідного рівня надійності ССА та її елементів під час експлуатації.

Список літератури

1. Дев'яткина С.С. Визначення надійності світлосигнальних систем аеродромів на етапах проектування, сертифікації та експлуатації: Дис... канд. техн. наук: 05.22.20. – К., 2003. – 146 с.
2. Азарсков В.М., Дев'яткина С.С. Кількісний аналіз впливу надійності світлосигнальної системи аеродрому на безпеку польотів // Вісн. Північного наук. центру ТАУ. – 2000. – №5. – С. 48–50.
3. Нормы летной годности гражданских самолетов СССР. – М.: Воздуш. трансп., 1974. – 343 с.

Стаття надійшла до редакції 19.06.03.