

УДК 629.7.077(045)

В.П. Харченко¹
 К.М. Тапія²
 О.В. Швець³

ОЦІНЮВАННЯ ДОПУСТИМИХ БОКОВИХ ВІДХИЛЕНЬ ПОВІТРЯНИХ КОРАБЛІВ НА ЕТАПІ ЗАХОДУ НА ПОСАДКУ

^{1,2}Національний авіаційний університет
 просп. Космонавта Комарова, 1, Київ, Україна, 03680

³ПрАТ Авіакомпанія «АероСвіт»
 Міжнародний аеропорт Бориспіль, Київська область, Україна, 08307
 E-mails: ¹kharch@nau.edu.ua; ²tapias@mail.ru; ³box55@yandex.ru

Показано, що виконання успішного заходу на посадку залежить від діапазону допустимих бокових відхилень і точності стабілізації повітряного корабля на траєкторії посадки. Зазначено, що у точці переходу на візуальний політ повітряний корабель може мати відхилення від лінії посадки. Розглянуто бокові відхилення повітряного корабля від траєкторії посадки у горизонтальній площині, коли для приземлення в заданому місці злітно-посадкової смуги виникає необхідність у корегуючому маневрі. Визначено, що для забезпечення безпеки польотів в певних метеорологічних умовах необхідно врахувати дистанцію потрібного корегуючого маневру. Розглянуто величину бокового відхилення повітряного корабля від траєкторії посадки, яка може бути виправлена при маневруванні після прольоту точки мінімуму. Проаналізовано отримані графіки, з яких видно, що менша швидкість повітряного корабля при заході на посадку забезпечує більший резерв часу пілоту, результатом чого є збільшення дистанції маневрування для усунення бокових відхилень повітряного корабля.

Ключові слова: бокові відхилення; коригувальний маневр; посадка.

Постановка проблеми

Аналіз авіаційних подій та інцидентів на світовому авіаційному транспорті свідчить про те, що під час заходу на посадку і посадки відбувається понад 40–50% авіаційних подій. Оскільки тривалість заходу на посадку для магістральних повітряних кораблів (ПК) становить не більше 2–3% від усього часу польоту, то ймовірність виникнення авіаційних подій на цьому етапі польоту в 15–20 разів більша ніж у середньому протягом усього польоту [2].

Сукупність факторів, що впливають на вибір системи посадки ПК (погодні умови в районі аеропорту, частота посадок і зльотів, вартість заходу на посадку і зльоту) є визначальними для висоти прийняття рішення, на якій пілот повинен прийняти рішення про продовження зниження або відхід на повторний захід, якщо злітно-посадкову смугу (ЗПС) аеропорту не видно або не досягнуто стабілізації ПК на траєкторії посадки.

Згідно з Міжнародною організацією цивільної авіації (ICAO) ОСН/А є основним параметром, що враховується під час заходу на посадку шляхом додавання ряду експлуатаційних факторів впливу.

ОСН/А визначається як найменша відносна/абсолютна висота, на якій необхідно почати відхід на друге коло для забезпечення дотримання відповідних критеріїв прольоту перешкод через застосування встановленого мінімального запасу висоти над перешкодами (рис. 1) [5; 6].

Запас висоти ΔH_1 залежить від швидкості заходу на посадку ПК, просадки ПК під час відходу на повторний захід, точності вимірювання висоти і коригується для крутих глісад і аеродромів, розташованих на великій висоті. Запас висоти Δh_1 (нижня межа) ґрунтується на експлуатаційних міркуваннях з урахуванням:

- категорії ПК;
- характеристики наземного/бортового обладнання;



Рис. 1. Взаємозв'язок між ОСН/Н і DA/Н у разі точного заходу на посадку:

- H_n – перевищення порога ЗПС;
 ΔH_{np} – відносна висота найвищої перешкоди зони заходу на посадку або еквівалентної найвищої перешкоди в зоні відходу на повторний захід;
 ΔH_1 – запас висоти;
 Δh_1 – запас висоти

- кваліфікації членів льотного екіпажу;
- льотно-технічних характеристик ПК;
- метеорологічних умов;
- висоти розташування аеродрому;
- рельєфу місцевості в разі використання радіовисотоміра;
- похибки вимірювання тиску в разі використання барометричного висотоміра.

Аналіз досліджень і публікацій

Згідно з вимогами ІСАО обмеження виконання польотів у певних метеорологічних умовах установлюється для забезпечення необхідного рівня безпеки польотів [3]. Експлуатаційні мінімуми аеродрому виражаються у значеннях видимості або дальності видимості (RVR) на ЗПС та мінімальної абсолютної/відносної висоти зниження (MDA/H) для неточних заходів на посадку, або у значеннях висоти прийняття рішення (DA/H) для точного заходу на посадку та з зазначенням граничного значення горизонтальної видимості та дальності видимості на ЗПС, коли використовується вертикальна навігація (VNAV).

Метеомінімум (якщо не враховувати рівень натренованості пілота) залежить від факторів:

- точності польоту по відповідній траєкторії, яку забезпечують технічні засоби заходу на посадку;
- можливості маневреності для усунення похибки під час заходу після встановлення візуального контакту з земними орієнтирами і ЗПС аеродрому.

Використання елемента видимості визначається завданням, яке пілот повинен виконувати на висоті DA/H або MDA/H і нижче для завершення посадки.

Висота прийняття рішення (DH) є встановленою абсолютною або відносною висотою при точному заходженні на посадку або заході на посадку з вертикальним наведенням, на якій повинен бути розпочатий відхід на друге коло в разі, якщо не встановлено необхідного візуального контакту з орієнтирами для продовження заходу на посадку.

Необхідний візуальний контакт з орієнтирами означає видимість частини візуальних засобів або зони заходження на посадку протягом часу, достатнього для оцінювання пілотом місцеположення ПК та швидкості його зміни відносно номінальної траєкторії польоту [1; 6].

У момент переходу на візуальний політ ПК має відхилення від лінії посадки по висоті від заданої глісади і курсу ЗПС. Тому, необхідно

врахувати величину відхилення від траєкторії посадки, яка може бути виправлена під час маневрування після прольоту точки мінімуму [3; 4].

Мета роботи – оцінити максимально допустимі бокові відхилення ПК від траєкторії посадки, за яких можливе її успішне завершення.

Оцінювання допустимих бокових відхилень повітряних кораблів

Виконання успішного заходу на посадку залежить від діапазону допустимих бокових відхилень і точності стабілізації ПК на траєкторії посадки. У точці переходу на візуальний політ ПК може мати відхилення від лінії посадки і для приземлення в заданому місці ЗПС виникає потреба в коригувальному маневрі. Точка переходу на візуальний політ характеризує початок коригувального маневру для завершення заходу на посадку, яка може розглядатися як операція з виведення ПК у деяку ділянку M , що являє собою простір допустимих відхилень ПК.

$$M = (\pm z_{\max}, \pm H_{\max}).$$

Межі ділянки M визначаються допустимими боковими відхиленнями z_{\max} і відхиленнями по висоті H_{\max} від заданої траєкторії посадки.

У горизонтальній площині відхилення ПК від траєкторії посадки характеризується боковим відхиленням відносно курсової лінії і кутовим відхиленням вектора шляхової швидкості ПК від напрямку посадки.

Вирішальне значення мають бокові відхилення ПК від траєкторії посадки, які потребують більшого часу для виконання коригувального маневру, ніж відхилення по висоті. Бокове маневрування відбувається в процесі зниження ПК за заданою глісадою і закінчується до досягнення мінімально допустимої висоти відходу на друге коло.

Для виправлення бокового відхилення Z від заданої траєкторії виконується маневр, що складається з двох сполучених доворотів.

За час виправлення бокового відхилення Z ПК проходить дистанцію виконання коригувального маневру L , виконавши при цьому два довороти на кут $\Delta\psi$ (рис. 2).

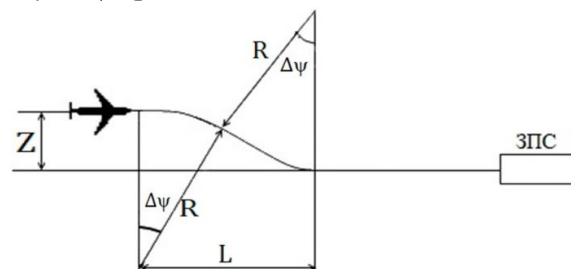


Рис. 2. Лінійне бокове відхилення ПК від траєкторії посадки

При цьому

$$Z = 2R(1 - \cos \Delta\psi);$$

$$L = 2R \sin \Delta\psi \approx 2R\Delta\psi,$$

де R – радіус віражу при координованому розвороті:

$$R = \frac{V^2}{g\gamma}.$$

Кутове відхилення $\Delta\psi$ становить

$$\Delta\psi = \frac{L}{2R}.$$

Тоді

$$Z = 2R \left(1 - \cos \frac{L}{2R}\right);$$

$$Z = \frac{2V^2}{g\gamma} \left(1 - \cos \frac{Lg\gamma}{2V^2}\right).$$

Основним завданням є визначення допустимого бокового відхилення в точці мінімуму, яка може бути виправлена до моменту прольоту точки завершення бокового маневру. Очевидно, що гіршим буде випадок, коли ПК має кутове відхилення і відхиляється від траєкторії посадки, збільшуючи вже наявне бокове відхилення. У цьому випадку траєкторію польоту ПК можна подати у вигляді ділянки розвороту на кут $\Delta\psi$ і подвійного розвороту (рис. 3).

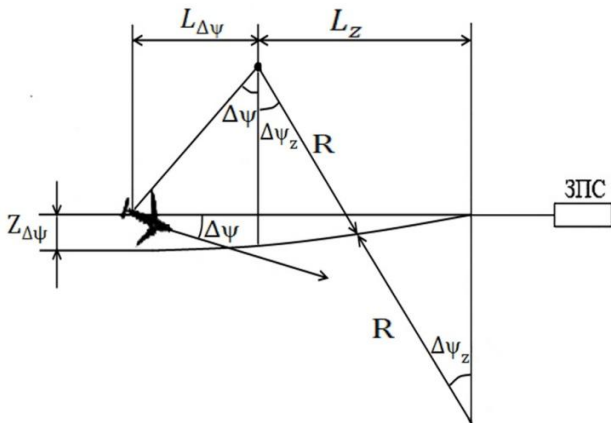


Рис. 3. Кутове відхилення ПК від траєкторії посадки

Для розрахунку допустимих відхилень ПК від траєкторії посадки припустимо, що бокове маневрування відбувається в процесі зниження ПК за заданою глісадою. Маневрування має бути закінчено до моменту прольоту порога ЗПС.

У точці завершення бокового маневру по можливості не повинно бути відхилень вектора шляхової швидкості від напрямку посадки. Для виходу на вісь ЗПС з посадковим курсом, коли

$$\Delta\psi = 0, Z = 0$$

ПК повинен зробити маневр, який складається з двох частин: розвороту на кут $\Delta\psi$, після якого $\Delta\psi = 0, Z = Z_{\Delta\psi}$ а подвійного довороту.

При цьому ПК пройде в напрямку посадки відстань $L_{ман}$:

$$L_{ман} = L_{\Delta\psi} + L_z;$$

$$L_{\Delta\psi} = R \Delta\psi;$$

$$L_z = 2R \Delta\psi_z.$$

Отже, дистанція виконання коригувального маневру для виправлення кутового відхилення визначається за формулою

$$L_{ман} = \frac{V^2}{g\gamma} \left[\Delta\psi + 2 \arccos \cos \left(\frac{1 + \cos \Delta\psi}{2} \right) \right],$$

де V – середня швидкість на ділянці маневрування;
 γ – середній крен маневрування.

Для більшості реактивних ПК максимальний крен для маневру не повинен перевищувати 15° .

Відхилення ПК від заданого курсу призводить до такого ж маневрування, як і «чисте» бокове відхилення, тоді кожному кутовому відхиленню буде відповідати бокове відхилення.

Відстань, пройдену в напрямку посадки, з усуненням «чистого» бокового відхилення розраховують за формулою

$$L_{ман} = \frac{2V^2}{g\gamma} \left[\arccos \left(\frac{1 - Zg\gamma}{2V^2} \right) \right].$$

Граничнодопустимі відхилення ПК у точці переходу на візуальний політ за різних $\Delta\psi$ будуть визначатися залежністю

$$z = f(L, \Delta\psi);$$

$$Z_{max} = \frac{2V^2}{g \tan \gamma} \left[\frac{1 + \cos \Delta\psi}{2} - \sqrt{1 - \left(\frac{L_{ман} g \tan \gamma}{2V^2} - \frac{\sin \Delta\psi}{2} \right)^2} \right] + z_0,$$

де ψ – кут між напрямком вектора шляхової швидкості ПК і напрямком посадки;

z_0 – допустиме лінійне бокове відхилення ПК від осі ЗПС у момент приземлення.

Виконавши розрахунок для

$$Z_{\max} = f(L_{\text{ман}}, \Delta\psi),$$

можна побудувати графік допустимих бокових відхилень та симетричний йому, виділити область допустимих відхилень ПК (рис. 4).

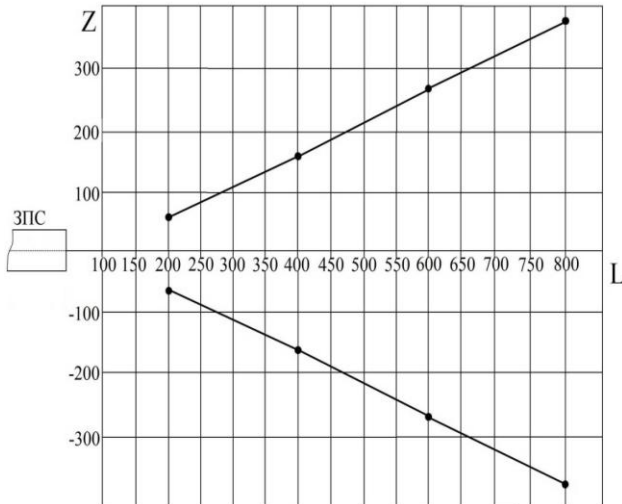


Рис. 4. Область допустимих бокових відхилень ПК

Згідно зі стандартами ІКАО ПК поділено на п'ять категорій за швидкістю (рис. 5).

На основі цього розмежування визначається посадковий мінімум ПК і параметрів заходу на посадку (див. таблицю).

Класифікація ПК для розрахунку схем заходу на посадку

Категорія ПК	$V_{\text{ат}}$, км/год	Швидкість V		$V_{\text{мах}}$, для візуального маневрування
		початковий етап	кінцевий етап	
A	< 169	165/280	130/185	185
B	169/223	220/280	155/240	250
C	224/260	295/445	215/295	335
D	261/306	345/465	240/345	380
E	307/390	345/465	285/425	445

Примітка. Категорія E лише для військових ПК

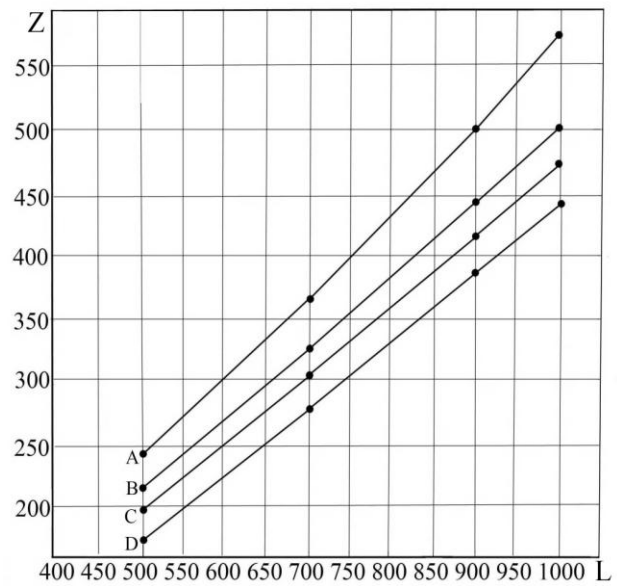


Рис. 5. Залежність величини граничнодопустимих бокових відхилень від швидкості ПК у точці мінімуму

Чим менша швидкість ПК під час заходу на посадку, тим (у загальному випадку) точніша маневреність, тобто менший радіус розвороту і, отже, за інших однакових умов нижчий допустимий метеомінімум. Менша швидкість забезпечує також більший резерв часу пілота після виходу із хмар, результатом чого є зменшення дистанції маневрування, на якій можуть бути усунені відхилення ПК.

Висновки

Виконання успішного заходу на посадку залежить від діапазону допустимих бокових відхилень ПК і точності стабілізації на траєкторії посадки. Для забезпечення безпеки польотів за певних метеорологічних умов необхідно врахувати дистанцію потрібного коригувального маневру за максимально допустимих відхилень ПК від траєкторії посадки.

Від дистанції потрібного коригувального маневру для усунення відхилення ПК від траєкторії посадки залежить висота точки мінімуму. На цій висоті пілот повинен почати коригувальний маневр у тому випадку, якщо відхилення ПК не перевищують допустимих меж, або почати відхід на друге коло, якщо відхилення ПК перевищують допустиму величину.

Література

1. Белгородский С.Л. Автоматизация управления посадкой самолета: учебное пособие / С.Л. Белгородский. – Москва: Транспорт, 1972. – 352 с.
2. Пятин А.И. Динамика полета и пилотирования самолета Ту-154: учебное пособие / А.И. Пятин. – Москва: Воздушный транспорт, 1994. – 192 с.
3. ICAO Annex N 6 Operation of Aircraft. 2010. Montreal. 270 p.
4. ICAO Doc. 8168 OPS/611 Flight Procedures, Aircraft Operations Volume I. 2006. Montreal. 386 p.
5. ICAO Doc. 9365 AN/910 Manual of All Weather Operation. 2006. Montreal. 86 p.
6. Official Journal of the European Union. 2008. All weather operations. Subpart E OPS 1.430. 238 p.

References

1. Belogorodskiy, S. 1972. *Automating the management of Aircraft landing*. Tutorial. Moscow, Transport. 352 p. (in Russian).
2. Pyatin, A. 1994. *Flight Dynamics and piloting of the Aircraft TU-154*. Tutorial. Moscow, Air Transport. 192 p. (in Russian).
3. ICAO Annex N 6 Operation of Aircraft. 2010. Montreal. 270 p.
4. ICAO Doc. 8168 OPS/611 Flight Procedures, Aircraft Operations Volume I. 2006. Montreal. 386 p.
5. ICAO Doc. 9365 AN/910 Manual of All Weather Operation. 2006. Montreal. 86 p.
6. Official Journal of the European Union. 2008. All weather operations. Subpart E OPS 1.430. 238 p.

Стаття надійшла до редакції 03.04.2013.

Харченко Володимир Петрович (1946). Доктор технічних наук. Професор. Заслужений діяч науки і техніки України. Лауреат Державної премії України. Проректор з наукової роботи, Національний авіаційний університет, Київ, Україна. Завідувач кафедри аеронавігаційних систем, Національний авіаційний університет, Київ, Україна. Освіта: Київський інститут інженерів цивільної авіації, Київ, Україна (1967). Напрямок наукової діяльності: ефективність соціотехнічних систем, зв'язок, навігація, спостереження за повітряним рухом. Кількість публікацій: 400.

E-mail: kharch@nau.edu.ua

Таріа Катерина Миколаївна. Аспірант.

Кафедра аеронавігаційних систем, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Старший диспетчер. Відділ навігаційного забезпечення, ЗАТ Авіакомпанія «Міжнародні авіалінії України», Київська область, Україна.

Освіта: Державна льотна академія України, Кіровоград, Україна (2011).

Напрямок наукової діяльності: навігація та керування повітряним рухом.

Кількість публікацій: 3.

E-mail: tapiae@mail.ru

Швец Олександр Вікторович. Кандидат технічних наук. Командир повітряного корабля Boeing 767-300ER.

ПрАТ Авіакомпанія «АероСвіт», Міжнародний аеропорт Бориспіль, Київська область, Україна.

Освіта: Кіровоградське вище льотне училище цивільної авіації, Кіровоград, Україна (1993).

Напрямок наукової діяльності: безпека польотів.

Кількість публікацій: 20.

E-mail: box55@yandex.ru

V. Kharchenko¹, K. Tapia², O. Shvets³. Assessment of the acceptable range of aircraft lateral deviations on the approach phase

^{1,2}National Aviation University, Kosmonavta Komarova avenue, 1, Kyiv, Ukraine, 03680

³AeroSvit Ukrainian Airlines, International Airport "Borispol", Kyiv region, Ukraine, 08307

E-mails: ¹kharch@nau.edu.ua; ²tapiae@mail.ru; ³box55@yandex.ru

The dependence of the acceptable range of aircraft lateral deviations from landing trajectory by appropriate aircraft approach category, at which it is possible its successful completion, is considered.

Keywords: correcting maneuver; landing; lateral deviations.

Kharchenko Volodymyr (1946). Doctor of Engineering. Professor.

Holder of a State Award in Science and Engineering of Ukraine. Winner of a State Prize of Ukraine in Science and Engineering.

Vice-Rector for Scientific-Research Work, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Head of the Department of Air Navigation Systems, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Education: Kyiv Civil Aviation Engineers Institute, Kyiv, Ukraine (1967).

Research area: communication, navigation, surveillance, effectiveness of sociotechnical systems.

Publication: 400.

E-mail: kharch@nau.edu.ua

Таріа Катерина. Postgraduate student.

Department of Air Navigation Systems, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Senior Dispatcher, Navigation Department in Ukraine International Airlines, Kyiv region, Ukraine.

Education: State Flight Academy of Ukraine, Kirovograd, Ukraine (2011).

Research area: navigation and air traffic control.

Publication: 3.

E-mail: tapiae@mail.ru

Шветс Александер. Candidate of Engineering.

Aircraft Commander of Boeing 767-300ER. AeroSvit Ukrainian Airlines, International Airport "Borispol", Kyiv region, Ukraine.

Education: Kirovograd Higher Flight School of Civil Aviation, Kirovograd, Ukraine (1993).

Research area: flight safety.

Publications: 20

E-mail: box55@yandex.ru

В.П. Харченко¹, Е.Н. Таріа², А.В. Швець³. Оценки допустимых боковых отклонений воздушных судов на этапе захода на посадку

^{1,2}Національний авіаційний університет, просп. Космонавта Комарова, 1, Київ, Україна, 03680

³ЗАТ Авіакомпанія «АероСвіт», Міжнародний аеропорт Бориспіль, Київська область, Україна, 08307

E-mails: ¹kharch@nau.edu.ua; ²tapiae@mail.ru; ³box55@yandex.ru

Рассмотрена зависимость диапазона допустимых боковых отклонений воздушного судна от траектории посадки при соответствующей классификационной скорости, при которых возможно ее успешное завершение.

Ключевые слова: боковые отклонения; корректирующий маневр; посадка.

Харченко Владимир Петрович. Доктор технических наук. Профессор.

Заслуженный деятель науки и техники Украины. Лауреат Государственной премии Украины.

Проректор по научной работе Национального авиационного университета, Киев, Украина.

Заведующий кафедрой аэронавигационных систем, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Образование: Киевский институт инженеров гражданской авиации, Киев, Украина (1967).

Направление научной деятельности: эффективность социотехнических систем, связь, навигация, наблюдение за воздушным движением.

Количество публикаций: 400.

E-mail: kharch@nau.edu.ua

Таріа Екатерина Николаевна. Аспирант.

Кафедра аэронавигационных систем, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Старший диспетчер. Отдел навигационного обеспечения, ЗАО Авиакомпания «Международные авиалинии Украины», Киевская область, Украина.

Образование: Государственная летная академия Украины, Кировоград, Украина (2011).

Направление научной деятельности: навигация и управление воздушным движением.

Количество публикаций: 3.

E-mail: tapiae@mail.ru

Швец Александр Викторович. Кандидат технических наук.

Командир воздушного судна Boeing 767-300ER. ЧАО Авиакомпания «АероСвіт», Міжнародний аеропорт Бориспіль, Київська область, Україна.

Образование: Кировоградское высшее летное училище гражданской авиации, Кировоград, Украина (1993).

Направление научной деятельности: безопасность полетов.

Количество публикаций: 20.

E-mail: box55@yandex.ru