

ЗАХІД НА ПОСАДКУ ЗА НЕТОЧНОЮ СИСТЕМОЮ В РУЧНОМУ РЕЖИМІ

ДП «Антонов»
вул. Туполєва, 1, Київ, Україна, 03062
E-mail: master512@ukr.net

Розглянуто методику заходу на посадку за неточною системою в ручному режимі з постійним кутом нахилу траєкторії. Порівняно цю методику з класичною ступеневою методикою. Описано аналіз можливості витримування пілотом постійного кута траєкторії зниження.

Ключові слова: кут нахилу траєкторії; мінімальна висота зниження; неточний захід на посадку.

Постановка проблеми

Під заходом літака на посадку за неточною системою розуміють захід із використанням бічного наведення, але без використання вертикального наведення.

Виконання заходу на посадку за неточною системою – найбільш складна частина польоту, що потребує особливої уваги.

Майже 60% інцидентів і катастроф категорії CFIT трапляються під час виконання заходу на посадку за неточними системами методом ступеневого зниження [1].

Аналіз досліджень і публікацій

Досвід експлуатації та тренувальних польотів показує такі найбільш характерні помилки пілотів під час виконання неточних заходів [1]:

- застосування застарілих карт схем;
- пізня підготовка до зниження з ешелону;
- неповний брифінг;
- неправильне налаштування радіозасобів;
- неправильний вибір режимів роботи системи автоматичного керування;
- задання неправильних параметрів системи автоматичного керування;
- помилка визначення FAF;
- пізня зміна конфігурації повітряного коабля (ПК);
- передчасне зниження;
- при розрахунку потрібної вертикальної швидкості під час зниженні з постійним градієнтом не враховано зустрічну складову вітру.

Аналіз вітчизняної і зарубіжної літератури показав, що питанню неточних заходів на посадку в автоматичному режимі приділено багато уваги, тоді як неточним заходам на посадку в ручному режимі – значно менше.

Мета роботи – дослідження неточного заходу на посадку, оскільки ручний захід на посадку за неточною системою, що зазвичай виконується у випадку відмови автопілота та потребує від пілота певної майстерності.

Постановка завдання

Різні типи неточних заходів мають багато спільного, але відрізняються за технікою виконання залежно від навігаційних засобів або методик, які вибрані для наведення в поздовжній і бічній площинах. Слід зазначити, що в цій роботі описується методика поздовжнього (вертикального) наведення за умови, що бічне відхилення від курсу посадки дорівнює нулю.

Для виконання заходу на посадку за неточною системою застосовують такі навігаційні засоби NDB, VOR, VOR-DME, LOC (лише KPM), LOC-DME, LOC BCR CRS (зворотний промінь KPM).

Побудова заходів на посадку з постійним кутом нахилу траєкторії (КНТ) забезпечує більш стабілізовану траєкторію польоту, усуває ризик помилки під час визначення висоти і віддалення, який виникає за ступеневого зниження, і виведення ПК в горизонтальний політ на мінімальній висоті зниження (MDA). А заходи на посадку методом ступеневого зниження ґрунтуються виключно на забезпеченні безпечного профілю польоту перешкод, вони не оптимізовані для сучасних реактивних комерційних ПК. Профілі польоту за даними методиками показано на рис. 1.

Під час описання методики неточного заходу на посадку з постійним КНТ нами використано концепцію візуальної точки зниження (VDP).

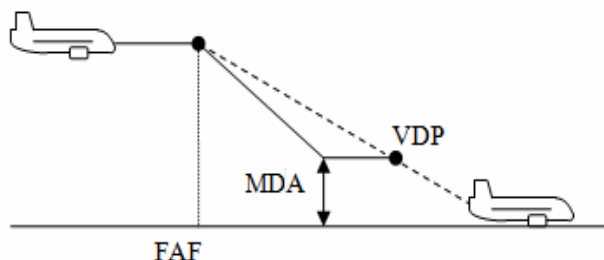


Рис. 1. Захід на посадку з постійним КНТ (пунктирна лінія) і методом ступеневого зниження (суцільна лінія)

Візуальна точка зниження – це точка, розміщена на посадковій прямій, у якій ПК перебуває приблизно на стандартній траєкторії зниження 3° і висоті, що дорівнює мінімальній висоті зниження (рис. 1).

Наприклад, у разі заходу на посадку за 2NDB для витримування траєкторії зниження, крім контролю висоти польоту дальнього і ближнього приводів, необхідно контролювати висоти в проміжних точках заходу на посадку (рис. 2).

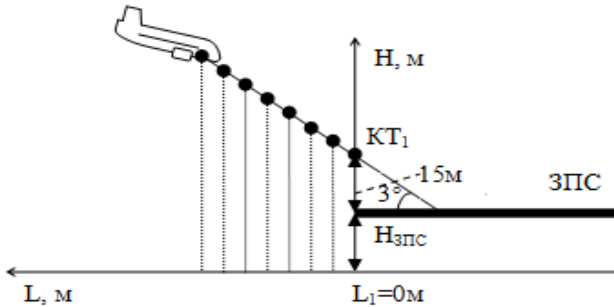


Рис. 2. Побудова заходу на посадку за контрольними точками

Контрольні точки розраховуються заздалегідь за відстанню від проекції літака на вісь злітно-посадкової смуги (ЗПС) до торця ЗПС.

Висоти контрольних точок розраховували так, щоб КНТ літака під час зниження залишався постійним і дорівнював 3° . Оптимальна кількість контрольних точок отримується експериментально з урахуванням індивідуальних здібностей пілота. Для розрахунку розташування контрольних точок застосовують формулу:

$$H_i = L_i \operatorname{tg} 3^\circ + H_{\text{ЗПС}} + 15 \text{ м}, \quad (1)$$

де H_i – розрахункове значення абсолютної висоти польоту в i -й контрольній точці;

L_i – значення відстані від проекції літака на вісь ЗПС до торця ЗПС в i -й контрольній точці;

$H_{\text{ЗПС}}$ – висота ЗПС відносно середнього рівня моря.

Для забезпечення польоту ПС над торцем ЗПС на висоті 15 м у ліву частину формули (1) уведено останній доданок.

Захід на посадку з постійним кутом нахилу траєкторії

Для аналізу можливості виведення ПК у точку VDP нами використовується математичний апарат теорії ймовірності. Оскільки відстань від проекції літака на вісь ЗПС до торця ЗПС із досягненням MDA є випадковою величиною, можна отримати математичні оцінки для таких основних

числових характеристик цієї випадкової величини [2]:

– математичного сподівання відстані від проекції літака на вісь ЗПС до торця ЗПС із досягненням MDA;

– дисперсії відстані від проекції літака на вісь ЗПС до торця ЗПС із досягненням MDA;

– середнього квадратичного відхилення відстані від проекції літака на вісь ЗПС до торця ЗПС із досягненням MDA;

– довірчого інтервалу для визначених оцінок.

Оцінку для математичного сподівання відстані від проекції літака на вісь ЗПС до торця ЗПС розраховують за формулою

$$\tilde{m} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n},$$

де n – кількість посадок;

l_i – відстань від проекції літака на вісь ЗПС до торця ЗПС із досягненням MDA, отримана під час n -ї посадки.

Оцінку для дисперсії відстані від проекції літака на вісь ЗПС до торця ЗПС визначають за формулою

$$\tilde{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \tilde{m})^2}{n - 1}.$$

Довірчий інтервал для розрахованої оцінки математичного сподівання знаходиться за формулою

$$I_\beta = \left(\tilde{m} - \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}} \operatorname{arg} \Phi^* \left(\frac{1+\beta}{2} \right); \tilde{m} + \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}} \operatorname{arg} \Phi^* \left(\frac{1+\beta}{2} \right) \right),$$

де $\operatorname{arg} \Phi^*(x)$ – функція, обернена $\Phi^*(x)$, тобто таке значення аргумента, за якого нормальна функція розподілу дорівнює x ;

β – довірна ймовірність.

Для характеристики випадкової функції кута нахилу траєкторії посадки $\Theta(t)$ необхідно отримати оцінки для:

– математичного сподівання випадкової функції КНТ;

– дисперсії випадкової функції КНТ;

– середнього квадратичного відхилення випадкової функції КНТ;

– кореляційних моментів.

Для знаходження наведених оцінок розглядається ряд перерізів випадкової функції КНТ для моментів часу t_1, t_2, \dots, t_m і реєструються значення, набуті функцією $\Theta(t)$ у ці моменти часу.

Кожному з моментів часу відповідає n значень випадкової функції. Отриманий таким чином матеріал є результатом n дослідів над системою m випадкових величин $\Theta(t_1), \Theta(t_2), \dots, \Theta(t_m)$.

Оцінка для математичного сподівання випадкової функції КНТ знаходиться за формулою

$$\tilde{m}_\theta(t_k) = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i(t_k)}{n},$$

де $\theta_i(t_k)$ – значення КНТ у момент часу t_k при i -му досліді.

Оцінка для дисперсії випадкової функції КНТ розраховується за формулою

$$\tilde{D}_\theta(t_k) = \frac{\sum_{i=1}^n (\theta_i(t_k) - \tilde{m}_\theta(t_k))^2}{n-1},$$

де $\tilde{m}_\theta(t_k)$ – оцінка для математичного сподівання у момент часу t_k .

Для кореляційних моментів оцінка знаходиться за формулою

$$\tilde{K}_\theta(t_k, t_l) = \frac{\sum_{i=1}^n (\theta_i(t_k) - \tilde{m}_\theta(t_k)) (\theta_i(t_l) - \tilde{m}_\theta(t_l))}{n-1},$$

де $\tilde{m}_\theta(t_l)$ – оцінка для математичного сподівання у момент часу t_l .

Після обчислення цих характеристик, користуючись рядом значень $m_\theta(t_1), m_\theta(t_2), \dots, m_\theta(t_m)$, можна побудувати залежність $m_\theta(t)$ (рис. 3).

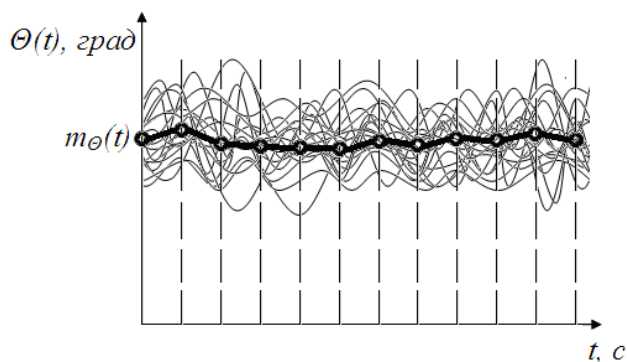


Рис. 3. Побудова залежності $m_\theta(t)$

Перерізи випадкової функції КНТ для моментів часу t_1, t_2, \dots, t_m на рис. 3 показані пунктирними лініями.

Аналогічно будується залежність $D_\theta(t)$.

Функція двох аргументів $K_\theta(t, t')$ відтворюється в прямокутній сітці точок.

Висновки

Результати аналізу проведення тренувань за описаною методикою свідчать про здатність конкретного пілота витримувати постійний КНТ у штурвальному режимі. Проте виконання цього режиму можливе лише після тривалої підготовки і потребує від пілота високої майстерності для заходу на посадку з постійним КНТ за непрямыми даними (дальністю до ЗПС, висотою польоту і вертикальною швидкістю). Складність виконання цього режиму зменшується, якщо пілоту відображається вертикальний профіль зниження і/або вектор напрямку польоту.

Описану методику заходу на посадку можна застосовувати під час підготовки пілотів для вироблення в них навичок ручного пілотування по заданій траєкторії польоту за відсутності прямої індикації цієї траєкторії. Ці навички допоможуть пілоту керувати положенням і енергією літака під час заходу на посадку в ручному режимі як за точними, так і неточними системами посадки, а також контролювати параметри польоту в разі автоматичної посадки.

Тренувальні польоти за цією методикою допоможуть зменшити кількість інцидентів і катастроф категорії СФІТ.

Література

1. *Материалы международного семинара по сокращению количества авиационных происшествий при заходе на посадку и посадке // Проблемы безопасности полетов.* – Москва: ВИНТИ, 2006. – № 4. – С. 3–28.
2. *Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов / Е.С. Вентцель.* – Москва: Высшая школа, 2001. – 575 с.
3. *Заракровский С.М. Закономерности функционирования эргатических систем / С.М. Заракровский, В.В. Павлов.* – Москва: Наука, 1987. – 231 с.

References

1. *Materials of the international seminar on reduction of number of aviation incidents during approach and landing. Problems of flight safety.* Moscow, VINITI, 2006. N 4: 3–28 (in Russian).
2. *Wentzel, E.S. 2001. Probability theory: Studies for high schools.* Moscow, Vysshaya shkola. 575 p. (in Russian).
3. *Zarakovsky, S.M.; Pavlov, V.V. 1987. Functional laws of ergatic systems.* Moscow, Nauka. 231 p. (in Russian).

Коршунов Микола В'ячеславович. Аспірант.

Кафедра авіоніки, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Інженер-конструктор, ДП «Антонов», Київ, Україна.

Освіта: Національний авіаційний університет, Київ, Україна (2011).

Напрямок наукової діяльності: авіаційна ергономіка, системи автоматичного керування літальними апаратами.

Кількість публікацій: 1.

E-mail: master512@ukr.net

N. Korshunov. Non-precision approach in manual mode

ANTONOV Company, Tupoleva street, 1, Kyiv, Ukraine, 03062

E-mail: master512@ukr.net

Considered is the method of non-precision approach of an aircraft in the manual mode with a constant angle of path. Advantage of this method consists in the fact that the construction of approach with a constant angle of path provides the stable path of flight. It is also considered a detailed analysis of the possibility of the approach by the above-mentioned method. Conclusions contain recommendations regarding the use of the described method of non-precision approach during training flights.

Keywords: angle of path; minimum descent altitude; non-precision approach procedure.

Korshunov Nikolay. Postgraduate student.

Avionics Department, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Engineer-constructor ANTONOV Company, Kyiv, Ukraine.

Education: National Aviation University, Kyiv, Ukraine (2011).

Research area: aviation ergonomics, the automatic control system of aircraft.

Publications: 1.

E-mail: master512@ukr.net

Н.В. Коршунов. Заход на посадку по неточной системе в ручном режиме

ГП «Антонов», ул. Туполева, 1, Киев, Украина, 03062

E-mail: master512@ukr.net

Рассмотрена методика неточного захода самолёта на посадку в ручном режиме с постоянным углом наклона траектории. Показано преимущество данной методики, заключающееся в том, что построение захода на посадку с постоянным углом наклона траектории обеспечивает стабильную траекторию полёта. Выполнен детальный анализ возможности захода на посадку по этой методике. Приведены рекомендации относительно использования описанной методики неточного захода на посадку во время тренировочных полётов.

Ключевые слова: минимальная высота снижения; неточный заход на посадку; угол наклона траектории.

Коршунов Николай Вячеславович. Аспірант.

Кафедра авіоніки, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Інженер-конструктор на ГП «Антонов», Київ, Україна.

Образование: Национальный авиационный университет, Киев, Украина (2011).

Направление научной деятельности: авиационная эргономика, системы автоматического управления летательными аппаратами.

Количество публикаций: 1.

E-mail: master512@ukr.net