

УДК 629.7

Р.К. Мурасов

Національний університет оборони України, Київ

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ІМОВІРНОСТІ УСПІШНОЇ ПОСАДКИ ЛІТАКА

В статті запропонована модель оцінки успішної посадки літака з застосуванням системи інструментальної посадки і без неї. Особлива увага приділена етапу посадки літального апарату без засобів РТЗ на необладнані ділянки. Визначено імовірність успішної посадки літака при застосуванні різних засобів інструментальної посадки. Показано принцип застосування методики автоматизованої обробки інформації для управління перспективним літаком-винищувачем на етапі заходу на посадку.

Ключові слова: посадка, безпека польотів, траєкторія польоту, прогноз, автоматизована обробка інформації.

Вступ

Постановка проблеми. В сучасних умовах постійного зростання парку літальних апаратів та розширення сфери і географії їх застосування безпека польотів є головним пріоритетом. Вона забезпечується на всіх етапах польоту і всіма можливими засобами. При цьому одним з найнебезпечніших етапів є етап заходу на посадку. Однак, при нештатних ситуаціях чи впливі противника, посадка літака може здійснюватись за відсутності штатного радіотехнічного забезпечення на автомобільні ділянки доріг чи інші ділянки місцевості, в тому числі і в складних метеоумовах. Даній проблеми присвячено багато робіт [1, 4, 9]. Основними напрямками є застосування засобів інструментальної посадки та застосування підходів з штучним інтелектом та рішенням задач прогнозу.

Метою даної статті є визначення ймовірності успішної посадки літака з застосуванням систем інструментальної посадки та з використанням методики автоматизованої обробки інформації для управління літаком-винищувачем на етапі заходу на посадку.

Основна частина

Захід літака на посадку по курсоглісадній системі ґрунтується на безперервному вимірюванні величин відхилення літака від рівносигнальних напрямків, тобто від ліній курсу і глісади [1]. Результати цих вимірів, як, втім, і більшості будь-яких інших вимірів, носять випадковий характер, тому достовірність їх повинна бути оцінена імовірнісними методами [7, 9].

Слід зазначити, що співпадіння рівносигнальних ліній курсу і глісади з віссю злітно-посадкової смуги (ЗПС) і заданим кутом до обрїю також носить випадковий характер, оскільки на положення цих ліній у просторі одночасно впливають безліч практично незалежних один від одного факторів, тому, відповідно до теорії вимірів, усі точнісні характеристики систем інструментальної посадки задані з певною довірчою ймовірністю.

У результаті застосування системи інструментальної посадки літак має бути виведений у певну область $Q_{\text{Пос}}$ простору перед ЗПС (рис. 1).

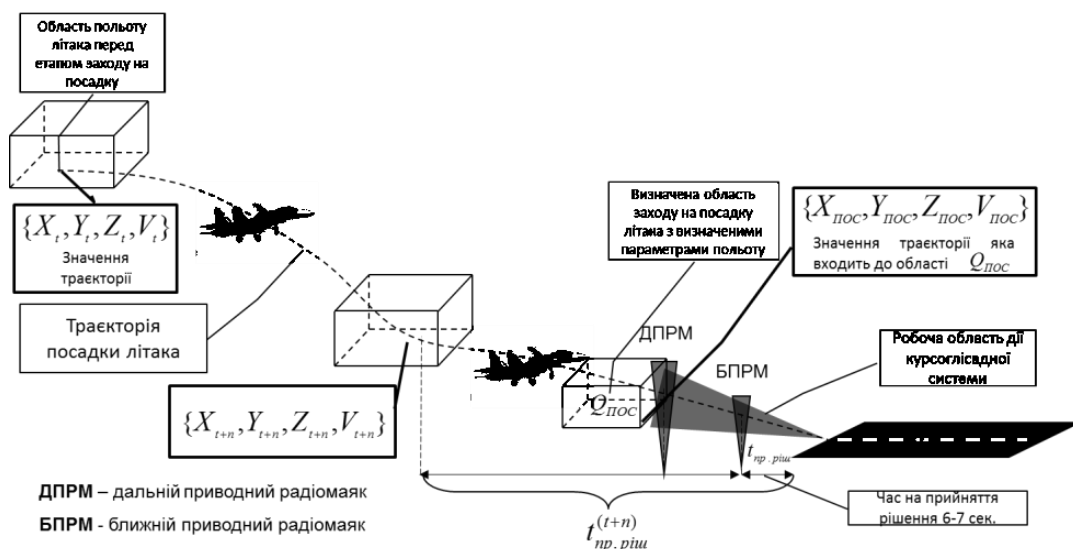


Рис. 1. Область гранично допустимих відхилень при заході на посадку, у якій льотчик візуально оцінює якість заходу на посадку

У цій області відхилення літака від осі ЗПС (бічні відхилення) і від заданої глісади зниження (поздовжні відхилення або відхилення по висоті) не повинні перевищувати припустимих значень. Якщо літак у процесі заходу на посадку потрапляє в область $Q_{\text{ПОС}}$, то його посадка на ЗПС буде забезпечена (звичайно, при достатній підготовленості льотчика). Розміри області гранично припустимих відхилень можуть бути точно розраховані залежно від максимальних величин кута крену, вертикальної швидкості і перевантаження, припустимих для конкретного типу літака при виправленні помилки заходу, а також величини швидкості польоту по траєкторії.

Враховуючи можливість відмови апаратури, що забезпечує режими автоматичного і напівавтоматичного керування, польоти при такому підході планують із розрахунку більш високого метеомінімуму, що призводить до недовикористання можливостей сучасних систем заходу на посадку [4, 9].

Останнім часом вітчизняні та закордонні фахівці прийшли до думки про те, що більш перспективний інший шлях використання можливостей, закладених у системах інструментальної та автоматизованої посадки.

Згідно із цією думкою в якості основного режиму керування при заході на посадку ухвалюється автоматичний [2, 3]. Метеомінімум для нього (віддалення області $Q_{\text{ПОС}}$ від торця ЗПС) вибирається з умови одержання досить високої ймовірності успішної посадки.

За припустимим значенням кута крену розраховується поперечний розмір області $Q_{\text{ПОС}}$, за припустимим значенням вертикальної швидкості — її розмір по вертикалі, за припустимими значеннями горизонтальної швидкості її розмір в горизонтальній площині.

Однак, на практиці ця область не є чітко визначеною, тому що льотчик у відповідності зі своїми навичками візуально оцінює можливість виправлення помилок і виконання посадки. Якщо, за його оцінкою, помилка не може бути виправлена зі збереженням достатнього рівня безпеки, то він приймає рішення про захід на друге коло.

Область $Q_{\text{ПОС}}$ на практиці може виявитися більше ніж теоретична, тому що деякі добре підготовлені льотчики можуть використовувати величини крену і вертикальної швидкості більше прийнятих у розрахунках. Така ситуація особливо ймовірна при малому залишку палива, пошкодженні літака, особливості розташування зони посадки коли захід на друге коло небажаний або неможливий.

Однак, повернемося до розгляду звичайних випадків заходу на посадку, коли область $Q_{\text{ПОС}}$ визначена виходячи з аеродинамічних можливостей літака по усуненню помилок із припустимими

(з умов безпеки польоту на цій висоті) величинами кута крену і вертикальної швидкості.

Керування літаком для зменшення бічних відхилень здійснюється з використанням курсового каналу системи інструментальної посадки, а для зменшення поздовжніх відхилень — з використанням глісадного каналу. Ця система в штатних умовах повністю задовольняє вимоги щодо забезпечення безпеки польотів та посадки. В умовах впливу противника, знищенні засобів радіотехнічного забезпечення (РТЗ), посадки на необладнаний аеродром, посадки на аеродромні ділянки доріг — там де льотчику не буде надаватися інформація з систем РТЗ доцільно буде застосовувати методику автоматизованої обробки інформації для управління літаком-винищувачем на етапі заходу на посадку [6]. Завдяки такому підходу можна забезпечити виведення літака у зону $Q_{\text{ПОС}}$ або дати рекомендацію на здійснення заходу на друге коло, чи попереднє здійснення необхідного маневру. На рис. 2. показано принцип застосування методики автоматизованої обробки інформації для управління літаком-винищувачем на етапі заходу на посадку.

Починаючи з моменту часу t здійснюється автоматизована обробка інформації на борту літака. На підставі отриманих даних траєкторії польоту $\{X_{t+n}, Y_{t+n}, Z_{t+n}, V_{t+n}\}$ проводиться прогноз траєкторії літака і на момент часу $t+n$ льотчику видається прогноз його траєкторії посадки

$$f : \{X_{t+n}, Y_{t+n}, Z_{t+n}, V_{t+n}\} \rightarrow \{\hat{X}_{\text{ПОС}}, \hat{Y}_{\text{ПОС}}, \hat{Z}_{\text{ПОС}}, \hat{V}_{\text{ПОС}}\}$$

На підставі отриманого прогнозу льотчик самостійно або за допомогою системи автоматичного управління (САУ) оцінює реалізацію траєкторії $\{\hat{X}_{\text{ПОС}}, \hat{Y}_{\text{ПОС}}, \hat{Z}_{\text{ПОС}}, \hat{V}_{\text{ПОС}}\} \in Q_{\text{ПОС}}$ та вживає необхідні заходи по маневруванню, також, льотчику будуть надані необхідні рекомендації по маневруванню при заході на посадку. На рис. 3 відображена схема роботи системи застосування прогнозу траєкторії літака на етапі заходу на посадку.

Виходячи з [5], час на прийняття рішення льотчиком складає $t_{\text{пр.ріш}} = 6 \sim 10$ сек. (метеомінімум 1-ї категорії висота нижнього краю хмар 60 м, видимість 800 м), при застосуванні прогнозування траєкторії літака буде здійснюватись до входження у зону $Q_{\text{ПОС}}$ що збільшить час прийняття рішення $t_{\text{пр.ріш}}^{(t+n)} \gg t_{\text{пр.ріш}}$. Проведені розрахунки показують збільшення часу прийняття рішення до 50 сек.

Таким чином, виникає задача отримання оцінки ймовірності успішної посадки при застосуванні методики автоматизованої обробки інформації для управління літаком-винищувачем на етапі заходу на посадку.

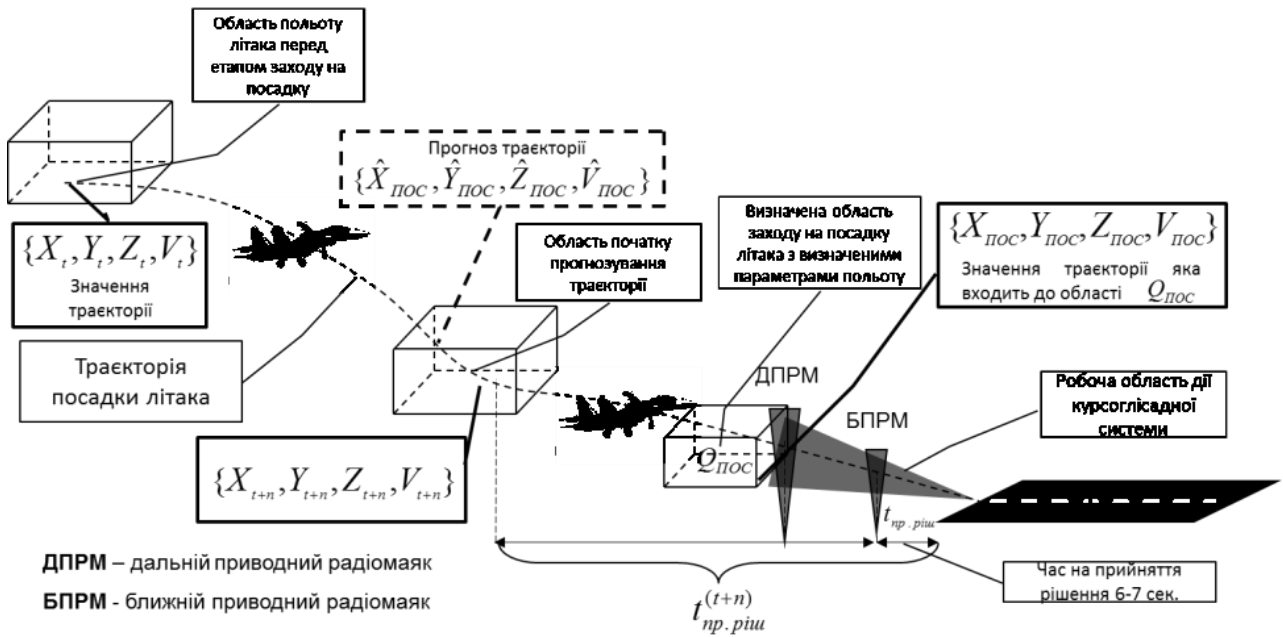


Рис. 2. Застосування методики автоматизованої обробки інформації для управління літаком-винищувачем на етапі заходу на посадку

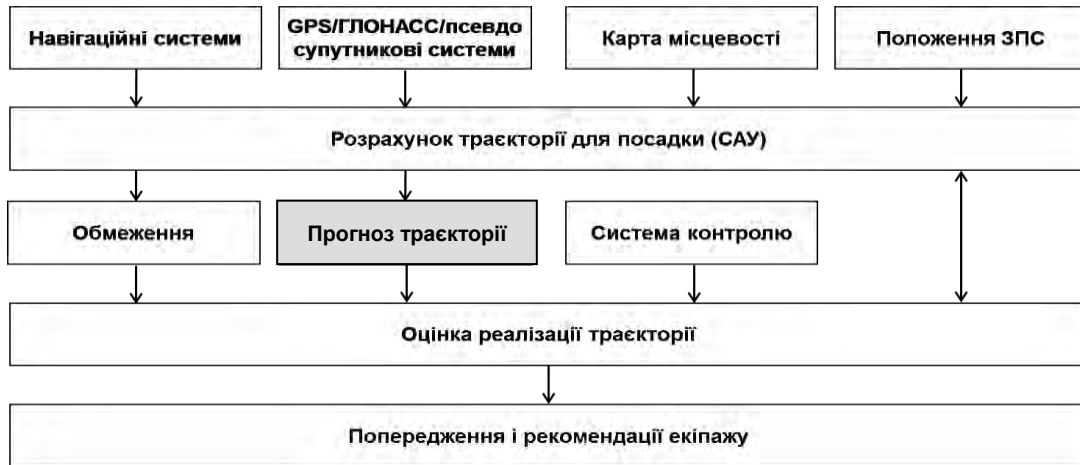


Рис.3. Схема роботи системи застосування прогнозу траєкторії літака на етапі заходу на посадку

Способи кількісного визначення зазначених ймовірностей описані в багатьох спеціальних джерелах, оскільки вони становлять інтерес для інженерів, що займаються оцінкою ефективності і якості пілотажно-навігаційних систем. Нижче буде наведено рішення задачі лише в загальному вигляді для відображенні різних підходів.

Нехай P_X — ймовірність того, що помилки бічного відхилення на заданому віддаленні від ЗПС при заході літака на посадку не перевищать припустимих значень, P_Y — ймовірність помилки поздовжнього відхилення, P_Z ймовірність того, що помилки вертикального відхилення на тому ж віддаленні від ЗПС не перевищать своїх припустимих значень.

Тоді ймовірність потрапляння літака в область $Q_{\text{Пос}}$.

$$P_{Q_{\text{Пос}}} = P_X \times P_Y \times P_Z \quad (1)$$

Якщо при цьому врахувати ще й ймовірність безвідмовної роботи апаратури $P_{\text{б.р.}}$ за час заходу літака на посадку, то ймовірність успішної посадки

$$P_{\text{у.п.}} = P_{Q_{\text{Пос}}} \times P_{\text{б.р.}} = P_X \times P_Y \times P_Z \times P_{\text{б.р.}} \quad (2)$$

При автоматичному заході на посадку з використанням методики автоматизованої обробки інформації для управління літаком-винищувачем на етапі заходу на посадку підвищується точність заходу і, отже, збільшуються значення P_X , P_Y , P_Z , але в той же час дещо зменшується $P_{\text{б.р.}}$ через збільшення кількості послідовно задіяних елементів системи. У режимі позиційного керування точність заходу на посадку найменша.

Отже, ймовірність успішної посадки в режимах автоматичного, директорного і позиційного керування буде різною.

У результаті багатьох льотних експериментів встановлено наступне співвідношення ймовірностей успішної посадки при автоматичному ($P_{у.п.САУ}$), директорному ($P_{у.п.дир}$) і позиційному ($P_{у.п.поз}$) керуванні:

Цей висновок вірний лише в тому випадку, коли область $Q_{ПОС}$ для всіх режимів керування буде однаковою відносно ЗПС.

Іноді виникає завдання забезпечення успішної посадки при будь-якому способі керування із заздалегідь заданою ймовірністю.

Для того, щоб $P_{у.п.САУ} = P_{у.п.дир} = P_{у.п.поз}$, необхідно область $Q_{ПОС}$ просторово віддалити далі від краю ЗПС, тобто збільшити висоту прийняття рішення на посадку для напівавтоматичного способу керування літаком і ще більш віддалити її для позиційного способу керування.

Таким чином, при рівності зазначених ймовірностей з'являються три різні висоти прийняття рішення, причому

$$H_{поз} \gg H_{дир} > H_{САУ} \quad (4)$$

Початкова передумова того, що ймовірність успішної посадки для всіх способів керування має бути однаковою і досить високою, по суті, узаконює підвищення метеомінімуму, зрівнюючи в правах усі три способи керування літаком при заході на посадку.

Далі для цього ж метеомінімуму визначаються ймовірності $P_{у.п.дир}$ і $P_{у.п.поз}$. Директорний режим керування повинен бути застосований тільки у випадку відмови автопілоту, а режим позиційного керування — при відмові обчислювачів.

Легко помітити, що така постановка питання відповідає умовам функціонального резервування і веде до підвищення загальної ймовірності успішної посадки. Теорія ймовірностей має у своєму розпорядженні формулу для підрахунку ймовірності успішної посадки з першого заходу з урахуванням функціонального резерву:

$$P_{у.п.} = P_{у.п.САУ} + (1 - P_{у.п.САУ})P_{у.п.дир} + (1 - P_{у.п.САУ})(1 - P_{у.п.дир})P_{у.п.поз} \quad (5)$$

Такий підхід, більш правильний і перспективний, він припускає більш повне використання можливостей сучасних систем заходу на посадку, істотне зниження метеомінімуму і, отже, розширення бойових можливостей авіації.

Аналіз формули (5) показує, що чим вищою є ймовірність успішної посадки в автоматичному режимі $P_{у.п.САУ}$, тем меншою - ймовірність застосування директорного $(1 - P_{у.п.САУ})$ і тим більшою - позиційного $(1 - P_{у.п.САУ})(1 - P_{у.п.дир})$ режимів.

Формула (5) не враховує позитивного впливу радіолокаційної системи посадки, що здійснює контроль правильності дотримання траєкторії, на ймовірність успішного заходу на посадку.

Визначимо ймовірність успішного заходу на посадку на наступному прикладі. Нехай

$$P_{у.п.САУ} > P_{у.п.дир} \gg P_{у.п.поз} \quad (3)$$

$P_{у.п.САУ} = 0,997$, $P_{у.п.дир} = 0,9$, $P_{у.п.поз} = 0,7$. Тоді за формулою (5) знаходимо

$$P_{у.п.} = 0,997 + (1 - 0,997) \times 0,9 + (1 - 0,997) \times (1 - 0,9) \times 0,7 = 0,99991.$$

Здійснимо розрахунок імовірності потрапляння прогнозу траєкторії в задану область $Q_{ПОС}$. Траєкторія літака розглядається як реалізація нестационарного випадкового процесу.

Так як розподіл реалізації траєкторії описується нормальним законом розподілу, то застосовуючи його визначимо ймовірність потрапляння в задану область $Q_{ПОС}$ [9].

Щільність розподілу визначається за формулою

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$$

Функція розподілу

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx$$

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)$$

Ймовірність потрапляння випадкової величини X на ділянку від α до β визначається як

$$P(\alpha < X < \beta) = F(\beta) - F(\alpha)$$

$$P(\alpha < x < \beta) = \Phi\left(\frac{\beta-m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha-m}{\sigma}\right)$$

При $m = 294.497$, $\sigma = 100$

$$P(100 < x < 400) = \Phi\left(\frac{400-294.497}{100}\right) - \Phi\left(\frac{100-294.497}{100}\right) = 0.8413 - 0.179 = 0.8234;$$

$$P_{у.п.} = P_{у.п.САУ} + (1 - P_{у.п.САУ})P_{у.п.дир} + (1 - P_{у.п.САУ})(1 - P_{у.п.дир})P_{у.п.поз} + (1 - P_{у.п.САУ})(1 - P_{у.п.дир})(1 - P_{у.п.поз})P_{ПРОГ}$$

$$P_{у.п.} = 0.997 + (1 - 0.997) \times 0.9 + (1 - 0.997) \times (1 - 0.9) \times 0.7 + (1 - 0.997) \times (1 - 0.9) \times (1 - 0.7) \times 0.8234 = 0.999984106$$

У випадку неможливості застосування САУ, але застосуванні методики прогнозу траєкторії, імовірність успішної посадки складає

$$P_{y.п.САУ} = 0.8234 + (1 - 0.8234) \cdot 0.9 + (1 - 0.8234)(1 - 0.9) \cdot 0.7 = 0.994702$$

При застосуванні інформації прогнозу

$$P_{y.п.+ПРОГ} = 0.8234 + (1 - 0.8234) \cdot 0.7 = 0.94702$$

Тобто зростає на 25% у порівнянні з позиційним керуванням і на 5% у порівнянні з директорним режимом.

Висновок

Існуючі системи посадки не враховують прогноз траєкторії літака на етапі заходу на посадку, а враховують тільки застосування інструментальних засобів посадки.

Запропонована методика оцінює та враховує прогноз траєкторії літака на етапі заходу на посадку, що розширює можливості по застосуванню різних засобів забезпечення посадки та оцінці імовірності успішної посадки літака.

Здійснена оцінка імовірності успішної посадки літального апарату з врахуванням сучасних засобів забезпечення польотів та з врахуванням застосування методики автоматизованої обробки інформації для управління перспективним літаком-винищувачем на етапі заходу на посадку.

Показано, що в умовах відсутності радіотехнічного забезпечення польотів, посадки на необладнані ділянки в складних метеоумовах, нештатних ситуаціях система прогнозу траєкторії ЛА на етапі заходу на посадку допоможе льотчику більш ефективно приймати рішення по керуванню літальним апаратом та підвищити імовірність успішної посадки літака.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ УСПЕШНОЙ ПОСАДКИ САМОЛЕТА

Р.К. Мурасов

В статье предложена модель оценки успешной посадки самолета с применением системы инструментальной посадки и без нее. Особое внимание уделено этапу посадки летательного аппарата без средств РТЗ на необорудованные участки. Определена вероятность успешной посадки самолета при применении различных средств инструментальной посадки. Показан принцип применения методики автоматизированной обработки информации для управления перспективным самолетом-истребителем на этапе мероприятия на посадку.

Ключевые слова: посадка, безопасность полетов, траектория полета, прогноз, автоматизированная обработка информации.

METHOD OF PROBABILITY CALCULATION OF AIRPLANE SUCCESSFUL LANDING

R.K. Murasov

In the article the offered model of estimation of the successful landing of airplane with the use of the system of the instrumental landing and without it. The special attention is spared the stage of landing of aircraft without facilities of RTZ on the unequipped areas. Probability of the successful landing of airplane is certain at application of different facilities of the instrumental landing. Principle of application of method of the automated treatment of information is rotined for a management by perspective air-destroyer on the stage of measure on landing.

Keywords: landing, safety of flights, trajectory of flight, prognosis, automated treatment of information.

Список літератури

1. Бабич О.А. Авиационные приборы и навигационные системы / О.А. Бабич. – М.: Изд. ВВИА им. проф. Жуковского Н.Е., 1981. – 647 с.
2. Белгородский Л. Автоматизация управления посадкой самолета / Л. Белгородский – М.: Транспорт, 1972. – 350 с.
3. Буков В.Н. Пилотажные и навигационные системы. Часть 2. Пилотажные системы, (мат. лекций) / Буков В.Н. – М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1986. – 233 с.
4. Микоян С.А., Заход на посадку по приборам / С.А. Микоян, А.Г. Корбут. – М.: Воениздат, 1979. – 71 с.
5. Мурасов Р.К. Аналіз існуючих методик прогнозу траєкторії літальних апаратів та застосування їх в сучасних літальних апаратах / Р.К. Мурасов, Ю.В. Кравченко // Сучасні інформаційні технології в управлінні і професійній підготовці операторів складних систем: матеріали шостої Міжнар. наук.-практ. конф., 27-28 жовтня 2011 р. / ДЛАУ. – Кіровоград: ДЛАУ, 2010. – С. 12-15.
6. Остославский И.В. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов / И.В. Остославский, И.В. Стражева. – М. Машиностроение, 1969. – 499 с.
7. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика / В.С. Пугачев – М.: Наука, 2002. – 496 с.
8. Сосновский А.А. Радиотехнические средства ближней навигации и посадки летательных аппаратов / А.А. Сосновский, И.А. Хаймович. – М.: Машиностроение, 1975. – 199 с.
9. Шишкин В.Г. Безопасность полетов и бортовые информационные системы / В.Г. Шишкин. – М.: Наука, 2005. – 163 с.

Надійшла до редколегії 26.10.2012

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.В. Барабаш, Національний університет оборони України, Київ.