

УДК 629.7.08:004.052(045)

С.Р. Стефанський

## МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЙМОВІРНОСТІ ЗНАХОДЖЕННЯ ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ НА ЗАДАНОМУ ІНТЕРВАЛІ

Кафедра комп'ютерних інформаційних технологій, НАУ, e-mail: mutniy\_ua@ukr.net

*Наведено методику оцінювання ймовірності знаходження показника якості на заданому інтервалі на етапі зльоту за інформацією бортових параметричних реєстраторів на прикладі показника якості швидкості відриву від злітно-посадкової смуги для літака Ту-154Б.*

### Вступ

Частинні показники якості (ЧПЯ) пілотування як засіб контролю мають дуже важливе значення для поліпшення безпеки польотів у цілому. Так, імовірність і правильність результатів, і як наслідок зроблені висновки, будуть залежати від точності їх обчислень.

Показники якості пілотування на різних етапах польоту розраховуються за існуючими алгоритмами на підставі польотної інформації.

Оскільки польотну інформацію подано в дискретному вигляді, можемо говорити тільки про обчислення значень із визначеною точністю, і чим вища точність, тим достовірнішим буде результат.

Кодові значення параметрів, що реєструються на борту літака, і відповідні їм фізичні значення являють собою градуйовані вузли, а їх сукупність – градуйовану таблицю.

Фізичні значення, що лежать поміж вузлових значень, отримують із використанням числових методів. Отже, постає питання ймовірності попадання параметра і, як наслідок, показника якості на міжвузловий інтервал.

### Аналіз існуючих публікацій

Основні підходи до проблем організації оперативного контролю якості пілотування повітряного судна на етапі зльоту за інформацією бортових параметричних реєстраторів викладено в працях [1–3].

Зміст цих матеріалів відображає методику кількісного обчислення якості пілотування, а також основні вимоги до отриманих результатів та правила їх використання.

Основні похибки протягом проходження польотної інформації від моменту реєстрації до оброблення її за допомогою спеціалізованих алгоритмів описані в праці [4]. Їх необхідно враховувати для оцінювання отриманих результатів. Кількісно це реалізується за допомогою елементів теорії ймовірності. Основні методи та закони теорії ймовірності, що використовуються в інженерній практиці для оцінювання отриманих результатів, наведено в праці [5].

### Постановка завдання

Статистичне оцінювання отриманих показників якості потрібне для системи контролю польотами, оскільки польотна інформація, яка служить основою для їх обчислення, проходить декілька етапів до установаження її кінцевого вигляду.

На кожному з цих етапів вноситься певна похибка обчислення, перетворення тощо.

Крім того, еталонного запису інформації про політ немає, тому можна говорити тільки про шаблон (у вигляді градуйованих точок), а вся інформація, яка міститься між ними, розрахована. Отже, для оцінювання якості виконання керувальних вимог необхідно знати ймовірність отриманих результатів.

**Мета** роботи – створення методики оцінювання ймовірності знаходження показника якості зльоту літака за параметричною інформацією на заданому інтервалі.

У процесі розрахунків використовувалася система обробки польотної інформації “Монстр”, також копії реального зльоту літака Ту-154Б.

### Швидкість відриву від злітно-посадкової смуги

Показник якості зльоту літака “швидкість відриву від злітно-посадкової смуги (ЗПС)” призначено для контролю швидкості літака на відповідність керівним документам в точці відриву його від ЗПС.

Графічна інтерпретація показника якості має вигляд, як на рис. 1 [1].

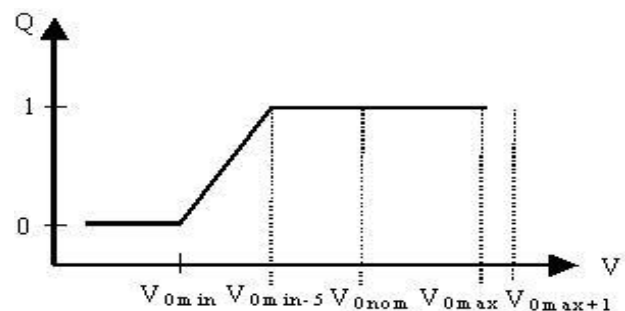


Рис. 1. Оцінка швидкості відриву

Значення показника якості зльоту  $Q_{02}$  обчислюють на підставі співвідношення

$$Q_{02} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } (V_{0f} \geq (V_{0nom} - 5)) \& (V_{0f} \leq V_{0max}); \\ \frac{(V_{0f} - V_{0min})}{(V_{0nom} - V_{0min})}, \text{ якщо } (V_{0f} < (V_{0nom} - 5)) \& (V_{0f} \geq V_{0min}); \\ 0, \text{ якщо } (V_{0f} > V_{0max}) \vee (V_{0f} < V_{0min}), \end{cases}$$

де  $V_{0f}$  – фактичне значення приборної швидкості в момент відриву;  $V_{0nom}$  – розрахункове значення приборної швидкості відриву з урахуванням умов зльоту;  $V_{0min}$  – розрахункове значення мінімально допустимої приборної швидкості відриву;  $V_{0max}$  – максимально допустима приборна швидкість руху літака по ЗПС, обумовлена міцністю коліс і шин.

Швидкість відриву  $V_{0f}$  визначають у момент фіксації точки відриву. Але не можна говорити про те, що це точне значення швидкості, оскільки значення аналогового параметра швидкості – величина дискретна і точні значення відомі тільки в градуйованих вузлах, інші значення отримують обчисленнями.

**Практичне обчислення показника якості**

Для наочного прикладу розглянемо реальну копію зльоту літака Ту-154Б, опрацьовану за допомогою системи обробки польотної інформації «Монстр» [2].

Відповідно до обробленої польотної інформації швидкості для розрахунку показника якості швидкості відриву від ЗПС будуть такими (рис. 2):

- $V_{0f} = 263$  км/год;
- $V_{0nom} = 270$  км/год;
- $V_{0min} = 245$  км/год;
- $V_{0max} = 328$  км/год.

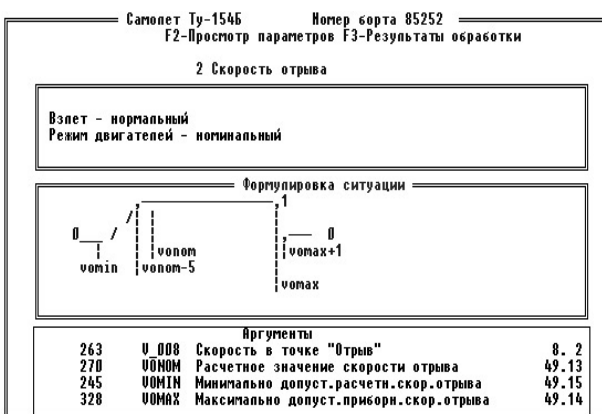


Рис. 2. Значення розрахованого показника якості швидкості відриву від ЗПС за допомогою штатних засобів

Градуйовані значення швидкості літака Ту-154Б зображено на рис. 3.

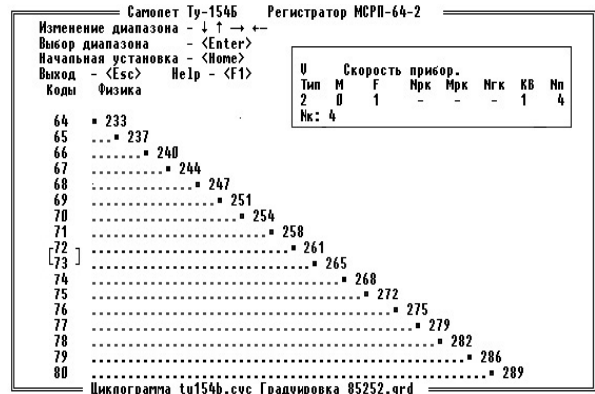


Рис. 3. Градуйовані характеристики для швидкості літака Ту-154Б

Значенню коду 72 відповідає фізичне значення швидкості  $V=261$ , а значенню коду 73 – фізичне значення швидкості  $V=265$ .

Таким чином, не можна стверджувати, що в момент відриву швидкість становила 263 км/год, а можна говорити про те, що значення швидкості знаходиться на проміжку  $V \in (261; 265)$ .

Використовуючи співвідношення (1), знаходимо числове значення показника якості швидкості відриву від ЗПС для граничних значень швидкості:

$$Q_{02}(V = 261) = 0,72 ;$$

$$Q_{02}(V = 265) = 1,00 .$$

Виходячи з цього, значення показника якості буде знаходитися на проміжку  $0,72 < Q_{02} < 1,00$ .

**Імовірність знаходження показника якості в існуючому інтервалі**

Неперервний сигнал, що характеризує параметр після аналого-цифрового перетворення, подано в дискретному вигляді. Залежність значення параметра від цифрового коду для цього випадку зображено на рис. 4 [3].

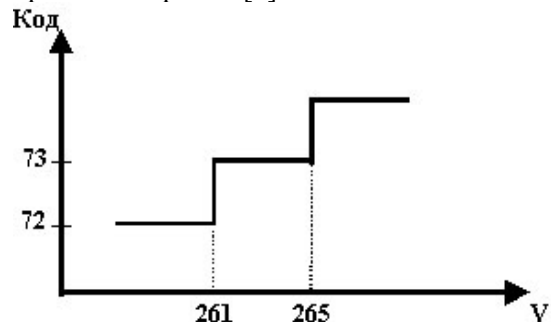


Рис. 4. Залежність значень коду від фізичних значень параметра швидкості

На перший погляд, значення параметра розподілено рівномірно й імовірність попадання значення на проміжок становить 100 %.

Проте на значення параметра впливають такі похибки:

- похибка градування;
- похибка аналого-цифрового перетворення;
- похибка цифро-аналогового перетворення.

Тому в інженерній практиці часто вважають, що ці параметри розподілено нормально (за законом Гаусса). Ця властивість параметрів є наслідком центральної граничної теореми теорії ймовірностей (рис. 5).

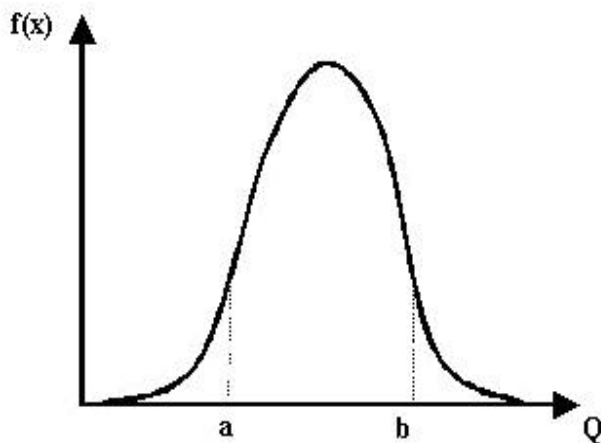


Рис. 5. Графік густини ймовірності для показника якості, розподіленого за законом Гаусса:  $x=Q$

Розглянемо ймовірність попадання показника якості в заданий проміжок

$$P \in (a; b),$$

де  $a = 0,72$ ,  $b = 1,00$ .

Для цього скористаємося формулою густини ймовірності:

$$P\{a < x < b\} = \int_a^b f(x) dx,$$

де  $f(x)$  – густина ймовірності показника якості  $Q_{02}$ .

Для величини, розподіленої за законом Гаусса, густина ймовірності буде дорівнювати [6]:

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

де  $M = M(x)$  – математичне сподівання;  $\sigma = \sigma(x)$  – середньоквадратичне відхилення;  $\sigma^2 = D(x)$  – дисперсія.

Математичне сподівання визначаємо зі співвідношення

$$M(x) = \int_a^b xf(x) dx. \quad (2)$$

Спростуючи та обчислюючи інтеграл (2), отримуємо:

$$M = 0,86.$$

Дисперсію знаходимо зі співвідношення:

$$D(x) = \int_a^b X^2(x) dx - M^2(x). \quad (3)$$

Спростуючи та обчислюючи інтеграл (3), маємо:

$$D = 0,0064.$$

Середньоквадратичне відхилення визначаємо зі співвідношення:

$$\sigma(x) = \sqrt{D(x)}.$$

Обчисливши, дістаємо

$$\sigma = 0,08.$$

Перепишемо рівняння (1) у вигляді:

$$P\{a < x < b\} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-M}{\sigma}\right)^2} dx. \quad (4)$$

Використовуючи заміну змінних, зводимо рівняння (4) до вигляду:

$$P\{a < x < b\} = \Phi\left(\frac{b-M}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-M}{\sigma}\right),$$

де  $\Phi(x)$  – функція Лапласа.

Підставляючи наявні значення, та використовуючи табличні дані для функції Лапласа, отримуємо значення ймовірності попадання показника якості за даний інтервал:

$$P(a < x < b) = 0,92.$$

За цією методикою було розраховано значення ймовірності знаходження показника якості в заданий інтервал для чотирьох копій польоту літака Ту-154Б. Результати розрахунків наведено в таблиці.

**Розрахунок показників для різних копій польоту літака Ту-154Б**

Номер копії	Інтервал $V$	Інтервал $a < Q_{02} < b$	$P(a < x < b)$
1	261 < 263 < 265	0,72 < $Q_{02}$ < 1,00	0,92
2	282 < 285 < 286	0,63 < $Q_{02}$ < 0,78	0,93
3	279 < 280 < 282	0,92 < $Q_{02}$ < 1,00	0,95
4	268 < 271 < 272	0,46 < $Q_{02}$ < 0,62	0,91

Середнє значення ймовірності для цього випадку можна розрахувати за формулою

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i;$$

$n = 4$ ;

де  $p_i$  – значення ймовірності для кожної копії польоту згідно з таблицею.

Підставляючи числові значення, отримуємо  $P = 93\%$ .

Значення 93% дозволяє стверджувати про високу ймовірність знаходження значення показника якості на заданому інтервалі і, як наслідок, про можливість застосування розрахункового значення як достовірного. Так само можна виконати розрахунок імовірності знаходження на інтервалі будь-якого показника якості, використовуваний як засіб контролю польотів за інформацією бортових параметричних реєстраторів. Причому чим більше буде опрацьованих копій польотів, тим достовірнішим буде отриманий результат.

### Висновки

1. Наведений приклад показує технологію комп'ютерного знаходження значень ЧПЯ "оцінка швидкості відриву від ЗПС" на підставі реєстрованих параметрів польоту, даних про умови виконання зльоту і деяких розрахункових параметрів, заданих вимогами нормативної документації.
2. Точність обчислення показників якості залежить від знаходження реєстрованих параметрів польоту відносно вузлів градувань.
3. Показник якості – це величина, розподілена за законом Гаусса згідно з центральною граничною теоремою теорії ймовірності.
4. Імовірність знаходження значення показника якості на заданому інтервалі досить велика, і, виходячи з цього, значення в заданому інтервалі, може бути прийнято як достовірне.
5. Використовуючи цю методику, можна отримати ймовірність попадання будь-якого показника якості в заданий інтервал.

### Література

1. *Малежик А.И.* Основы компьютерных технологий оперативного контроля полетов воздушных судов по полетной информации: Монография. – К.: КМУГА, 1996. – 124 с.
2. *Дмитриев В.Ю., Малежик А.И., Остапенко А.С.* Некоторые вопросы оценки надежности и качества программного обеспечения обработки полетной информации // Теоретические и прикладные вопросы эксплуатации программного обеспечения АС УВД. – К.: КИИГА, 1988. – С. 75–78.
3. *Малежик О.І., Стефанський С.Р.* Технологія оперативного контролю якості зльоту літака за інформацією бортових параметричних реєстраторів // Наука і молодь: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2003. – №3. – С. 166.
4. *Яцков Н.О.* Основы построения автоматизированных систем контроля полетов воздушных судов: Учеб. для вузов гражданской авиации. – К.: КИИГА, 1989. – 344 с.
5. *Пугачов В.С.* Теория вероятности и математическая статистика. – М.: Наука, 1979. – 496 с.
6. *Малежик О.І., Стефанський С.Р., Остапенко О.І.* Принципи організації комп'ютерного контролю окремих етапів польотів повітряних суден за інформацією бортових реєстраторів // Вісн. НАУ. – 2004. – №1. – С. 102–105.
7. *Руководство по летной эксплуатации самолета Ту-154Б.* – М.: Воздуш. трансп., 1981. – 543 с.
8. *Порядок збирання і практичного використання інформації бортових систем реєстрації на підприємствах цивільної авіації України. Звід авіаційних правил України.* – К., 1996. – 109 с.

Стаття надійшла до редакції 24.05.05.

С.Р. Стефанский

Методика оценивания вероятности нахождения показателя качества на заданном интервале

Приведена методика оценивания вероятности нахождения показателей качества на заданном интервале на этапе взлета по информации бортовых параметрических реєстраторов на примере показателя качества скорости отрыва от взлетно-посадочной полосы для самолета Ту-154Б.

S.R. Stefansky

Principles of evaluation the probability of finding the quality index on a specified interval

This article deals with the principles of evaluation the probability of the getting index of quality into the real interval based on the information of the onboard parametrical recorder on the example of the quality index "Speed of take-off from the runway" for the plane Tu-154B.