УДК 629.7.05:629.7.014

О. О. Клімішен, Ю. А. Козловський

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ПОХИБОК СИСТЕМИ ПОВІТРЯНИХ СИГНАЛІВ НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ АЕРОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЛЬОТУ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ЛІТАКА

Анотація. *Оцінено чутливість визначення істинної повітряної швидкості та барометричної висоти до похибок вимірювання повного й статичного тисків. Наведено результати розрахунку для заданого режиму польоту та окреслено можливі наслідки для бортових систем.*

Ключові слова: *система повітряних сигналів, аерометричні параметри, похибка тиску, повітряна швидкість, барометрична висота.*

Abstract*. The sensitivity of true airspeed and barometric altitude estimates to total and static pressure measurement errors is assessed. Numerical results for a selected flight condition are presented, and possible implications for onboard systems are outlined.*

Keywords*: air data system, air data parameters, pressure error, true airspeed, barometric altitude.*

Система повітряних сигналів (СПС) забезпечує бортові системи літака інформацією про повітряну швидкість, число Маха, барометричну висоту та вертикальну швидкість. Відхилення виміряних тисків від фактичних значень спричиняють похибки обчислених параметрів і можуть позначатися на роботі систем автоматичного керування, пілотажної індикації та навігаційного обладнання [1].

Мета дослідження – кількісно оцінити вплив похибок вимірювання повного та статичного тисків на визначення істинної повітряної швидкості й барометричної висоти багатоцільового літака. Розглянуто горизонтальний політ на висоті H = 5000 м за числа Маха M = 0,8 в умовах стандартної атмосфери. Температуру повітря визначено з урахуванням її зміни за висотою, а під час оцінювання впливу похибок тиску на визначення швидкості її значення на заданій висоті прийнято сталим. Для кожного вимірювального каналу прийнято умовну похибку ±100 Па.

Для оцінювання точності визначення аерометричних параметрів використано розрахункові залежності для дозвукового режиму польоту. Число Маха визначається за співвідношенням повного та статичного тисків за умови ізоентропічного гальмування повітряного потоку. Істинна повітряна швидкість розраховується за визначеним числом Маха та місцевою швидкістю звуку з урахуванням статичної температури повітря [2]:

$$M = \sqrt{\frac{2}{\gamma - 1}\left[\left(\frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{ст}}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right]},$$

$$V = M\sqrt{\gamma R T},$$

де $p_{\text{п}}$ і $p_{\text{ст}}$ – повний та статичний тиски; γ = 1,4 – показник адіабати; R = 287,05 Дж/(кг·К) – питома газова стала; T – статична температура повітря.

Барометричну висоту в тропосфері стандартної атмосфери обчислюють за формулою:

$$H = \frac{T_0}{L}\left[1 - \left(\frac{p_{\text{ст}}}{p_0}\right)^{\frac{RL}{g}}\right],$$

де T_0 = 288,15 К; p_0 = 101325 Па; L = 0,0065 К/м – температурний градієнт; g = 9,80665 м/с².

За прийнятою моделлю атмосфери температура на висоті 5000 м становить $T = T_0 - LH$ = 255,65 К, статичний тиск – $p_{\text{ст}} \approx$ 54,02 кПа. За M = 0,8 повний тиск дорівнює $p_{\text{п}} \approx$ 82,34 кПа, а істинна швидкість – V ≈ 256,42 м/с. Ці величини є вихідними значеннями без похибок. Під час

повторних розрахунків змінювали лише виміряні тиски, температуру для заданого режиму вважали відомою, а її похибку не враховували.

Таблиця 1 – Вплив похибок вимірювання тиску на визначення параметрів польоту

Похибки вимірювання тиску	ΔV, м/с	ΔH, м
$\Delta p_п$ = +100 Па	+0,39	0
$\Delta p_{ст}$ = +100 Па	−0,60	−13,84
$\Delta p_п$ = +100 Па; $\Delta p_{ст}$ = −100 Па	+0,99	+13,86
$\Delta p_п$ = −100 Па; $\Delta p_{ст}$ = +100 Па	−0,99	−13,84

Результати показують, що похибка повного тиску +100 Па призводить до завищення швидкості приблизно на 0,39 м/с, тоді як похибка статичного тиску +100 Па – до її заниження приблизно на 0,60 м/с. За протилежних знаків похибок двох каналів відхилення швидкості сягає близько 0,99 м/с. Похибка статичного тиску ±100 Па відповідає зміні визначеної барометричної висоти приблизно на 14 м.

Спотворення аерометричних параметрів може впливати на алгоритми автоматичного витримування висоти, формування швидкісних обмежень і зміну коефіцієнтів законів керування залежно від режиму польоту. Водночас кількісна оцінка реакції конкретної системи автоматичного керування потребує окремої моделі її каналів і законів керування [3]. Для зниження ризику використання недостовірної інформації застосовують резервування каналів та контроль узгодженості сигналів.

Отже, для одного характерного режиму польоту встановлено кількісний зв’язок між похибками вимірювання тиску та точністю визначення швидкості й барометричної висоти. Подальше дослідження доцільно спрямувати на аналіз інших режимів польоту та характерних відмов СПС із урахуванням архітектури конкретного бортового комплексу.

Список використаних джерел:

1. Навігаційні системи авіаційних носіїв апаратури дистанційного зондування Землі : навч. посіб. / С. М. Андрєєв, В. А. Жилін. –Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 88 с.

2. NASA Glenn Research Center. Isentropic Flow Equations. URL: https://www.grc.nasa.gov/www/BGH/isentrop.html (дата звернення: 19.10.2026).

3. Ільїн, О. Ю. Пілотажно-навігаційні системи та комплекси / О. Ю. Ільїн, М. К. Філяшкін, Ю. О. Черних. – Київ : КІВПС, 1998. – 264 с.

Клімішен Олексій Олегович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший викладач кафедри авіаційного обладнання літаків і вертольотів, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: kl_s_kh@ukr.net. ORCID https://orcid.org/0000-0003-3859-1531

Козловський Юрій Андрійович – курсант інженерно-авіаційного факультету, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: urijura454@gmail.com

Klimishen Oleksii O. – Candidate of Technical Science, Senior Researcher, Senior Lecturer of the Department of aviation equipment for airplanes and helicopters, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University, Kharkiv, e-mail: kl_s_kh@ukr.net

Kozlovskyi Yurii A. – cadet, Faculty of Aviation Engineering, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: urijura454@gmail.com