

УДК 629.735.05:681.178 (045)

О.І. Малежик, канд. техн. наук  
В.А. Радченко  
М.В. Куклінський

## ТЕХНОЛОГІЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЮ ОКРЕМОГО ЕТАПУ ПОЛЬОТУ ПОВІТРЯНОГО СУДНА ЗА ДАНИМИ БОРТОВИХ ПАРАМЕТРИЧНИХ РЕЄСТРАТОРІВ

Кафедра комп'ютерних інформаційних технологій, НАУ, e-mail: maximum\_inc@ua.fm

*Розглянуто принципи розробки алгоритмічного й програмного забезпечення контролю небезпечних відхилень на окремому етапі польоту повітряного судна за інформацією бортових параметричних реєстраторів.*

### Вступ

Практичне використання польотної інформації (ПІ) припускає переважно такі аспекти, як контроль техніки пілотування повітряних суден (ПС), функціонування бортового устаткування (БУ), інформаційне забезпечення розслідувань авіаційних подій та ін.

Незалежно від розв'язуваних задач технологія використання ПІ заснована на оперативній обробці даних одиночних польотів ПС, нагромадженні первинних оцінок й їх статистичному аналізі з метою подальшого узагальнення на різних ієрархічних рівнях.

Історично практика комп'ютеризованого контролю польотів ПС сформувалася на базі застосування алгоритмів експрес-аналізу (ЕА) інформації бортових параметричних реєстраторів, в основу яких був закладений принцип допускового контролю.

Спочатку цей принцип ґрунтувався на використанні засобів цифрової обчислювальної техніки малої потужності шляхом програмного перегляду миттєвих значень контрольованих сигналів, відтворених безпосередньо з носія польотних даних.

### Аналіз досліджень і публікацій

Теоретичні й прикладні аспекти принципів побудови програмного забезпечення завдань ЕА розглянуто в працях наукового, навчального й технологічного характеру [1–3].

Зміст матеріалів цих джерел відбиває особливості розробки, тестування й технології експертного підтвердження результатів ЕА з урахуванням обмеженого спостереження діагностичної інформації в процесі програмного перегляду відтворених з носія даних.

Сучасне трактування завдань оперативного контролю польотів ПС і вимог до відповідних програмних комплексів поряд з використанням традиційних форм ЕА припускає наявність більш загальних принципів:

- отримання копії ПІ носія в результаті її відтворення й первинного перетворення, що забезпечує повне спостереження даних, які реєструються, у межах контрольованого етапу й польоту в цілому;
- поділ польоту на його окремі етапи як відносно самостійні об'єкти контролю;
- формалізоване подання окремих етапів польоту у вигляді портретів, тобто специфічних баз діагностичної інформації, яка характеризує особливості траєкторії й динаміки польоту та дій екіпажу;
- аналіз функціонування БУ для виявлення відхилень від його нормальної роботи та для подальшої оптимізації роботи як усього БУ, так і окремих його частин [4];
- аналіз досліджуваного етапу польоту за даними його портрета для оцінювання точності пілотування, пошуку ситуацій виходу значень контрольованих сигналів за встановлені межі (допусковий контроль) і визначення можливих причин у випадках зниження якості пілотування.

### Постановка завдання

Наведені принципи характеризують допусковий контроль як складову частину оцінювання окремих етапів і польоту в цілому з необхідністю врахування специфіки структури й змісту відповідних портретів.

Окремі елементи сучасного підходу до проблеми організації оперативного контролю польотів ПС викладено в працях [5; 6], які переважно присвячені технології формування портретів для аналізу точності пілотування на основі частинних показників якості. Операції допускового контролю в цих працях розглянуті у вигляді додаткової ілюстрації використання діагностичної інформації опису етапів польоту, що не дозволяє сформулювати системний підхід до цього питання.

**Мета** цієї роботи – теоретичне дослідження організації допускового контролю окремого етапу польоту на прикладі зльоту ПС з виділенням нормативного, інформаційного та інших аспектів цієї проблеми.

### Алгоритмізація завдань допускового контролю

Розробка сучасних алгоритмів і комп'ютерних програм контролю базується на таких факторах:

- нормативній основі;
- алгоритмічному забезпеченні;
- інформаційному обґрунтуванні;
- програмній реалізації.

Нормативна основа – вимоги керівних документів, що являють собою загальні принципи організації використання ПІ [3] і технології виконання польотів.

Одним із головних джерел даних для розробки алгоритмів контролю є poradnik з літної експлуатації відповідного типу ПС, наприклад, деякі вимоги ПЛЕ літака Ту-134 щодо наземної ділянки зльоту такі [7]:

- зліт виконувати з закрилками, відхиленими на 20° чи на 10°;
- розбіг до підйому колес передньої опори виконувати з повністю відданою від себе штурвальною колонкою;
- по доповіді штурмана “Підйом” плавним відхиленням штурвала на себе почати підйом колес передньої опори, відрив літака при цьому відбувається через 2–3 с після досягнення  $V_R$ .

На основі наведених вимог може бути сформульований перелік таких контрольованих ситуацій:

- закрилки на розбігу не в злітному положенні;
- колонка штурвала на розбігу не віддана від себе;
- швидкість під час підйому передньої опори шасі менше ніж  $V_R - 10$ ;
- швидкість при відриві менше ніж  $V_R$ .

Алгоритмічне забезпечення для даних у загальному випадку й інших контрольованих ситуацій повинно містити не тільки запис відповідних логічних виразів, але й указувати на тимчасові інтервали ймовірної появи цих ситуацій та/або моментів виконання цих контрольованих операцій. Наприклад, запис алгоритму визначення істинності події “Закрилки на розбігу не в злітному положенні”

$$S005 \wedge [(ZL_A > ZL_1 + 2 \wedge ZL_A < ZL_2 - 2) \vee (ZL_A > ZL_2 + 2 \vee ZL_A < ZL_1 - 2)] \quad (1)$$

указує на момент часу виконання контролю – S005, тобто характерної точки зльоту “Досягнення контрольної швидкості”, яка фіксується на розбігу у разі досягнення приборною швидкістю  $V_{пр}$  значення 150 км/год, та на логічний вираз. Ця подія сформується, якщо в момент S005 буде зафіксовано одне з таких значень злітного положення закрилків:

- менше ніж 8°;
- більше ніж 12° і менше ніж 18°;
- більше ніж 22°.

Компонентами запису алгоритму контролю є злітне (фактичне) положення закрилків  $ZL_A$ , дозволені злітні положення закрилків  $ZL_1, ZL_2$ , відповідно 10° і 20°.

Подія “Колонка штурвала на розбігу не віддана від себе”, запис алгоритму якої має такий вигляд:  $S = S007 \wedge [RH_{SR} < RH_R - 2] \wedge V_V < 3$ , (2)

сформується, якщо незафіксований перерваний зліт і середнє значення положення руля висоти  $RH_{SR}$  у процесі розбігу менш припустимого. Компонентами запису даного алгоритму є:

- ідентифікатор характерної точки зльоту “Підйом передньої опори шасі”, яка фіксується у момент початку зміни кута тангажу, S007;
- середнє значення  $RH_{SR}$  положення руля висоти  $RH$  на інтервалі між точками S005 та S007 – 5 с;
- рекомендоване значення кута відхилення руля висоти на розбігу (5°), яке непрямо характеризує положення штурвальної колонки “від себе”,  $RH_R$ ;
- показник виду зльоту  $V_V$  (0 – нормальний, 1 – продовжений у разі відмови двигуна, 2 – зліт в умовах контролю рівня шуму, 3 – перерваний зліт).

Подія “Швидкість під час підйому передньої опори шасі менше ніж  $V_R - 10$ ” має запис алгоритму контролю

$$S007 \wedge V_{07} < V_R - 10 \quad (3)$$

і сформується, якщо в момент початку підйому переднього стояка шасі зафіксоване значення приборної швидкості  $V_{07}$  менше припустимого ( $V_R - 10$  км/год). Розрахункове значення швидкості підйому передньої опори шасі  $V_R$  визначається за виразом:

$$V_R = \begin{cases} 3,3M_V + 104, & \text{якщо } ZL_A = 20^\circ; \\ 3,5M_V + 110, & \text{якщо } ZL_A = 10^\circ; \end{cases} \quad (4)$$

$$V_R = V_R + 10, \text{ якщо } |U_B| > 7 \text{ м/с} \quad (5)$$

з урахуванням умов конкретного зльоту, а саме: злітної маси  $M_V$  і бічної складової швидкості вітру відносно злітно-посадкової смуги (ЗПС)  $U_B$ .

Подія “Швидкість при відриві менше ніж  $V_R$ ”  $S008 \wedge V_{08} < V_R$  (6)

сформується, якщо при досягненні характерної точки зльоту “Відрив від ЗПС” (S008) значення приборної швидкості  $V_{08}$  буде менше ніж  $V_R$ .

### Інформаційний аналіз алгоритмів допускового контролю

Інформаційний аналіз алгоритмів контролю (1)–(3), (6) і розрахункових співвідношень (4), (5) показує, що їхніми компонентами є такі елементи:

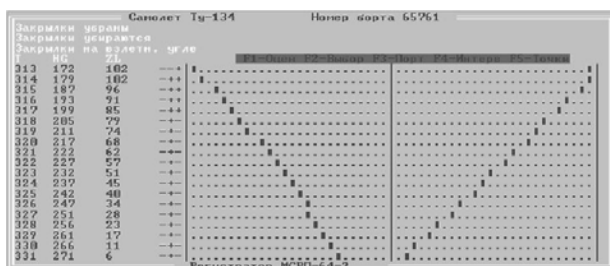
- дані про умови виконання зльоту  $V_V$  (якщо  $V_V=2$ ),  $M_V$ ,  $U_B$  джерелом яких є паспорт до носія ПІ, що заповнюється екіпажем ПС;

– сигнали, які реєструються,  $V$ ,  $RH$ ;  
 – розрахункові параметри-константи  $RH_{SR}$ ,  $V_V$  (для  $V_V=0, 1, 3$ ), які визначають у процесі обробки ПІ;  
 – нормативні параметри  $ZL_1$ ,  $ZL_2$ ,  $RH_R$ ,  $V_R$ , що задають припустимі значення або межі змін контрольованих сигналів, які визначають як константи  $ZL_1$ ,  $ZL_2$ ,  $RH_R$  або розраховують на основі інших даних  $V_R$ , але обов'язково на основі нормативної документації;  
 – розрахункові аналогові параметри (АП) для випадків їхньої відсутності в переліку сигналів, які реєструються на даному типі ПС.

Прикладом використання АП є алгоритм контролю (1) і розрахункове співвідношення (4), які містять елемент  $ZL_A$  (злітне положення закрилків), обумовлене в точці S005. При цьому поточні значення положення закрилків  $ZL$  як штучного АП попередньо обчислюють на основі значень трьох разових команд (ПК), які реєструються:

- ZVU “Закрилки на злітному куті” (одиничне значення даної ПК реєструється при положенні закрилків у межах  $8,5^\circ$ – $22,5^\circ$ );
- ZIN “Закрилки прибрані”;
- ZU “Закрилки прибираються”.

Результат утворення розрахункового АП  $ZL$  показано на рисунку.



Часова діаграма змін АП  $HG$  розрахункового АП  $ZL$  та ПК ZVU, ZIN, ZU у процесі прибирання закрилків

Для фіксації контрольних точок S007, S008 використовують АП геометричної висоти  $HG$ , кутів тангажу  $TG$  й кутів атаки  $UA$ .

### Програмна реалізація алгоритмів допускового контролю

Програмна реалізація розглянутих алгоритмів контролю припускає комп'ютерне подання таких етапів обчислень:

- визначення контрольних точок S005, S007, S008 шляхом перегляду значень АП  $V$ ,  $TG$ ,  $UA$ ,  $HG$ ;
- обчислення значень розрахункового АП  $ZL$  з використанням значень ПК ZVU, ZIN, ZU і визначення значення  $ZL_A$ ;
- обчислення значення розрахункового параметра-константи  $RH_{SR}$ ;

- обчислення значення нормативного параметра  $V_R$ ;
- перевірка істинності логічних виразів (1)–(3), (6).

Кожний із наведених етапів або їхніх окремих елементів може мати свою внутрішню структуру, наприклад, контрольна точка S008 фіксується з першою появою однієї з двох ситуацій:

- досягненні максимуму значень кута атаки  $UA$  на інтервалі  $[S007 - Thg10]$ ;
- перевищенні геометричною висотою значення  $HG_A+1$  м на цьому самому інтервалі.

Геометричну висоту аеродрому зльоту, що враховує можливі помилки реєстрації відтворення ПІ,  $HGA$  обчислюють як середнє значення параметра  $HG$  протягом перших 15 с етапу “Зліт”.

Точка етапу “Зліт”, в якій параметр  $HG$  досягає значення, що дорівнює більше ніж 10 м  $Thg10$  відносно  $HG_A$ , визначається в перший момент виконання нерівності

$$HG \geq HG_A + 10$$

у процесі прямого перегляду значень  $HG$  від точки S007.

Обов'язковим етапом програмної реалізації алгоритмів допускового контролю є оцінювання її якості, основні принципи якого викладені в праці [1] і припускають цілеспрямоване викривлення ПІ з метою внесення контрольованих подій і ситуацій у реальні дані.

### Висновки

1. Технологія організації допускового контролю польотів ПС містить такі основні компоненти:

- перелік обов'язкових завдань;
- інформаційне забезпечення;
- оцінювання достовірності результатів контролю;
- вимоги до програмного забезпечення.

2. До складу обов'язкових завдань належать:

- відтворення параметричної інформації, яка реєструється;
- подання параметричної інформації у вигляді графіків і таблиць;
- по алгоритмах розробника ПС або по алгоритмах, складених на підставі технічної документації на ПС, затвердженої розробником;
- виявлення небезпечних відхилень (допусковий контроль), які виникли протягом польоту;
- документування й накопичування результатів обробки з метою подальшого використання.

3. До обов'язкового інформаційного забезпечення належать дані по польоту у вигляді запису на носії або у файлі-копії запису бортового реєстратора:

- описувач конкретного екземпляра ПС;
- описувач аеропортів.

Описувач конкретного екземпляра ПС містить:

- циклограму параметрів, які реєструються;

– градувальні таблиці або аналітичні вирази, використовувані для обчислення фізичних значень параметрів, які реєструються;

– паспорт до носія інформації, який містить значення параметрів, відсутніх у записі бортового реєстратора;

– опис алгоритмів виявлення небезпечних відхилень. Описувач аеропортів містить характеристики аеропортів (геометричні, навігаційні, екологічні та ін.).

4. Усі повідомлення про небезпечні відхилення підлягають експертному аналізу з метою підтвердження їхньої достовірності. Фактори, які знижують достовірність результатів автоматизованого контролю, можна розділити на три групи:

– недосконалість діагностичних моделей та алгоритмів контролю;

– незадовільна якість роботи апаратури або програмне забезпечення;

– відхилення в діях операторів, які виражаються в невиконанні правил експлуатації апаратури і програмного забезпечення, у помилках при виконанні операторської діяльності та при підтвердженні повідомлень.

5. Спеціальне програмне забезпечення контролю польотів складається із сукупності програм оцінки дій екіпажу та контролю працездатності бортового устаткування для різних типів ПС. Програмна реалізація алгоритмів допускового контролю допускає наявність не одного, а декілька переглядів діагностичної інформації, які визначають або уточнюють усі використовувані компоненти алгоритмів контролю.

## Література

1. *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.
2. *Яцков Н.А.* Основы построения автоматизированных систем контроля полетов воздушных судов: Учеб. для вузов гражданской авиации. – К.: КИИГА, 1989. – 344 с.
3. *Порядок збирання і практичного використання інформації бортових систем реєстрації на підприємствах цивільної авіації України: Звід авіаційних правил України. АПУ 3. Експлуатація повітряних суден.* – К.: КМУЦА, 1996. – 109 с.
4. *Воронин А.Н., Зиатдинов Ю.К., Козлов А.И., Чабанюк В.С.* Векторная оптимизация динамических систем. – К.: Техніка, 1996. – 284 с.
5. *Малежик А.И.* Основы компьютерных технологий оперативного контроля полетов воздушных судов по полетной информации: Монография. – К.: КМУГА, 1996. – 124 с.
6. *Малежик О.І., Остапенко О.С., Стефанський С.Р.* 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-134.* – М.: Воздуш. трансп., 1989. – 542 с.

Стаття надійшла до редакції 12.04.05.

А.И. Малежик, В.А. Радченко, М.В. Куклинский

Технология организации допускового контроля отдельного этапа полета воздушного судна по данным бортовых параметрических регистраторов

Рассмотрены принципы разработки алгоритмического и программного обеспечения контроля опасных отклонений на отдельном этапе полета воздушного судна по информации бортовых параметрических регистраторов.

O.I. Malezhik, V.A. Radchenko, M.V. Kuklinsky

The technology of organization of admittance controls of a single stage of flight of aircraft owing to the data of onboard parametrical registers

The article includes the researches on main principles of design of algorithmics and software for control of unsafe deviations on a single stage of flight of aircraft owing to the data of onboard parametrical registers.