

Список літератури

1. Мелкумян В.Г. Некоторые вопросы синтеза и анализа сложных технологических систем обслуживающего типа // Проблемы авіоніки. – К.: КМУЦА, 1997. – С. 258–260.
2. Новиков В.С., Мелкумян В.Г., Соломенцев А.В. Вопросы управления ресурсами в технологическом процессе эксплуатации РЭО ГА // Технологические процессы при эксплуатации радиоэлектронного оборудования гражданской авиации. – К.: КИИГА, 1986. – С. 3–8.
3. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981. – 208 с.

Стаття надійшла до редакції 06.07.01.

УДК 351.814 32/34:519.2

682 0520.02 - 06 - 78861.2

В.М. Васильєв

ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ВИТРИМУВАННЯ ПЛАНІВ ПОЛЬОТІВ ПРИ КОНТРОЛІ ПОВІТРЯНОГО РУХУ

Розглянуто організацію системи прогнозного контролю виконання плану польотів і завантаження підконтрольних елементів повітряного простору. Проаналізовано фактори, що впливають на виконання плану польоту. Визначено математичні моделі для прийняття рішень.

Прогнозний контроль повітряного руху необхідний для своєчасного виявлення потенційно конфліктних ситуацій, а при високій інтенсивності руху для запобігання можливим перевищенням допустимого рівня пропускної здатності як окремих ділянок, так і всієї зони керування повітряним рухом.

Причиною виникнення конфліктних ситуацій є відхилення від розрахункових (планованих) траєкторій руху. До основних факторів, що збурюють і призводять до відхилень від заданої програми польоту, відносять: невідповідність фактичного і планового моментів зльоту, невідповідність значень фактичного вітру і вітру, який використовувався при розрахунку плану польоту, помилки витримування заданої швидкості польоту та невитримування розрахункової траєкторії набору висоти і зниження. На виконання плану польоту істотно впливають метеорологічні умови.

Таким чином, інтенсивність повітряного руху на певних інтервалах часу може істотно відрізнитися від розрахункової інтенсивності, а фактична завантаженість підконтрольних елементів повітряного простору (ПЕПП) значно перевищувати заплановану. Тому велике значення має оцінка можливостей таких подій.

Багато факторів, що впливають на процес польоту, мають стохастичний характер, тому прогноз завантаженості підконтрольного елемента повітряного простору може бути зроблений тільки у ймовірнісному аспекті. При цьому необхідний інтервальний прогноз, що дає область значень прогнозованої величини, в яку із заданою ймовірністю попаде прогнозоване значення в заданий момент часу і при заданих значеннях відомих параметрів.

Вичерпною характеристикою для оцінки завантаженості ПЕПП є функція розподілу відхилень від заданого часу входження літака в ПЕПП і виходу з нього. За відомою функцією розподілу відхилень від запланованих часу входу t_1 і часу виходу t_2 , може бути визначена ймовірність перебування літака всередині ПЕПП у заданому проміжку часу $\Delta T = T_2 - T_1$. Для прийняття остаточного рішення необхідно задатися значенням ймовірності цієї події P_3 .

Для проведення прогнозного контролю проходження контрольної точки (рубежу) при використанні "віконної" технології планування повітряного руху може бути використаний аналогічний підхід. Рішення про витримування із заданою ймовірністю плану польоту приймається, якщо ймовірність того, що літак пролетів контрольну точку після встановленого моменту T_1 і до встановленого моменту T_2 , більша від заданої ймовірності P_3 .

Загальна схема прогнозування завантаженості ПЕПП показана на рисунку. Особливість прогнозування завантаженості ПЕПП полягає в тому, що основою вхідної інформації є попередньо розрахований план польоту. Основною задачею є розрахунок характеристик функцій відхилень, викликаних помилками урахування вітру, витримування заданої швидкості польоту, витримування траєкторії набору висоти і зниження, а також помилками, допущеними при планових змінах режиму польоту. Це робиться на підставі прийнятих математичних моделей відхилень та апріорної інформації. Апріорна інформація визначає статистичні характеристики відхилень. Так, метеорологічна інформація може містити статистичні дані про середній вітер по сезонах та фактичний вітер, що вимірюються і періодично оновлюються. Відомими є статистичні характеристики помилки витримування заданою істиною швидкості польоту. Статистика відхилень часу вильоту від запланованого може бути зібрана по кожному аеропорту.

Невизначеність майбутньої ситуації можна значно зменшити при надходженні фактичної інформації про прогнозований об'єкт, тобто якщо система прогнозування є замкнутою відносно результатів прогнозування. На теперішній час повітряний рух організований таким чином, що інформація про хід виконання польоту літаків, що знаходяться поза зоною дії системи спостереження, може надходити зі значними затримками. Тому система прогнозування завантаженості ПЕПП не спроможна гнучко реагувати на всі зміни, що відбуваються в контрольованому повітряному русі.

Велике значення має організація замкнутої системи прогнозування хоча б на рівні апріорної інформації. Наприклад, реальна метеорологічна інформація, якщо вона надходить, може істотно підвищувати точність прогнозування. Ця інформація і інформація про фактичний час вильоту літака може піддаватися статистичній обробці для подальшого уточнення апріорної статистики. При відомому фактичному часі вильоту різко зменшується невизначеність майбутнього положення літака. Знання вітрових збурень дозволяє більш точно оцінити відхилення на етапах набору висоти і зниження.

Найбільшу невизначеність в оцінку майбутнього положення літака вносять оперативні зміни маршруту польоту (наприклад, обліт грозового фронту або випрямлення маршрутів польоту). Може виникнути певна ймовірність того, що в ПЕПП увійде літак, який за планом повинен проходити через сусідній ПЕПП. При наявності достовірної метеорологічної інформації така можливість може бути передбачена.

Відхилення від розрахункової траєкторії польоту через помилки витримування заданої швидкості має наростаючий характер, однак слід враховувати той факт, що в реальному польоті екіпаж уточнює і коректує своє місцезнаходження. Одним з можливих способів урахування корекції місцезнаходження є визначення середнього значення періоду корекції і прогнозування наростання помилки з урахуванням цієї періодичності.

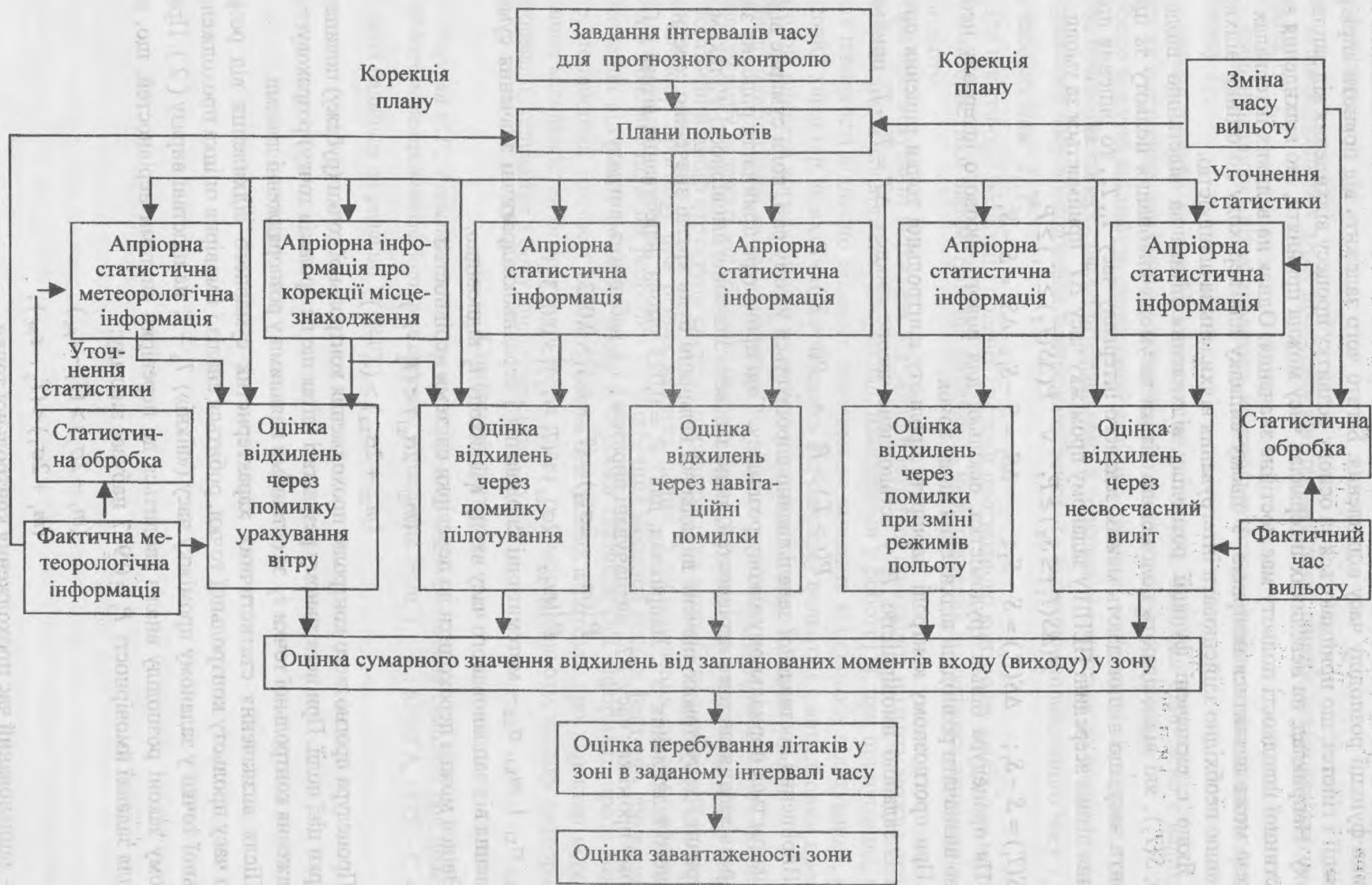
На наступному етапі прогнозування визначається функція розподілу сумарного відхилення, викликаного дією всіх факторів. При вирішенні цієї задачі можуть бути використані властивості композиції декількох випадкових величин.

На останньому етапі прогнозування оцінюється перебування літака в середині ПЕПП із заданою ймовірністю P_3 на заданому проміжку часу $\Delta T = T_2 - T_1$. Рішення про перебування літака всередині ПЕПП приймається при виконанні умови

$$P(\Delta t_1 \leq \Delta T_2) \geq P_3 \quad \vee \quad P(\Delta t_2 \geq \Delta T_1) \geq P_3, \quad (1)$$

де $\Delta t_1 = t - t_1$; $\Delta t_2 = t - t_2$; $\Delta T_2 = T_2 - t_1$; $\Delta T_1 = T_1 - t_2$.

Ймовірність перебування літака в заданому просторі може оцінюватися не тільки за часом входу і виходу, але і за місцем розташування літака щодо координат точок входження в ПЕПП і виходу з нього. Для кожного маршруту, що проходить через ПЕПП, координати точок входження і виходу задаються відстанями вздовж маршруту польоту (S_1^i ; S_2^i ; i – номер маршруту), що проходить через ці точки.



Організація системи прогностичного контролю повітряного руху

Необхідність переходу від аналізу відхилення за часом до аналізу відхилень за відстанню виникає в тому випадку, коли не можна записати в явному вигляді і визначити характеристики функції розподілу часу відхилення. Багато чого залежить від повноти апріорної інформації і гіпотез, що приймаються за основу розвитку процесу відхилення від запланованого руху. Наприклад, на невеликих інтервалах часу можна прийняти, що відхилення від заданої істинної швидкості польоту має постійне значення. Однак на великих інтервалах часу ця гіпотеза може виявитися невірною. У цьому випадку для переходу до оцінки відхилень за відстанню необхідно здійснювати інтегрування відхилень за швидкістю.

Якщо є визначені функції розподілу відхилення літака за відстанню щодо точок $S(T_1); S(T_2)$, які відповідають положенню літака за умови виконання польоту за планом у моменти часу, що відповідають межах заданого інтервалу часу T_1, T_2 , то рішення про перебування літака всередині ПЕПП у заданому проміжку часу ΔT приймається за умови

$$P(\Delta S(T_1) < S_2) > P_3 \quad \vee \quad P(\Delta S(T_2) > S_1) > P_3,$$

де $\Delta S(T_1) = S - S_1$; $\Delta S(T_2) = S - S_2$; $\Delta S_1 = S - S_1$; $\Delta S_2 = S - S_2$.

Ця процедура більш трудомістка, оскільки для нового часового інтервалу необхідно наново визначати розподіли відхилення щодо точок.

При прогнозному контролі маршруту прольоту контрольної точки рішення про попадання із заданою ймовірністю P_3 у встановлене часове «вікно» $\Delta T = T_2 - T_1$ приймається, якщо

$$P(t > T_1) > P_3 \quad \wedge \quad P(t < T_2) > P_3. \quad (2)$$

Вирішення поставленої задачі значно спрощується у тому разі, коли сумарне відхилення підкоряється нормальному закону розподілу. Тоді процедура прийняття рішення зводиться до розв'язання системи нерівностей, якщо задавати значення ймовірності P_3 таким чином, щоб границі допустимих значень випадкової величини були кратні значенню середньоквадратичного відхилення σ . Наприклад, для $P_3 = 0,023$ умови перебування літака в ПЕПП у заданому проміжку часу ΔT , визначувані виразом (1), набувають вигляду:

$$\begin{aligned} P\{(m_{\Sigma 1} - 2\sigma_{\Sigma 1}) < (T_2 - t_1)\} &> 0,023; \\ P\{(m_{\Sigma 2} + 2\sigma_{\Sigma 2}) > (T_1 - t_2)\} &> 0,023, \end{aligned}$$

де $m_{\Sigma 1}, \sigma_{\Sigma 1}$ і $m_{\Sigma 2}, \sigma_{\Sigma 2}$ – математичні сподівання і середньоквадратичні значення сумарного відхилення від запланованого часу входу t_1 і виходу t_2 відповідно.

Звідси можна переходити до перевірки системи нерівностей

$$\begin{aligned} (m_{\Sigma 1} - 2\sigma_{\Sigma 1}) &< (T_2 - t_1); \\ (m_{\Sigma 2} &> (T_1 - t_2). \end{aligned}$$

Процедура прогнозного контролю проходження контрольної точки (рубежу) починається з перевірки цієї події. При негативному результаті (літак ще не пролетів точку) розраховується час проходження контрольної точки t_p за останніми наявними у розпорядженні даними.

Після визначення статистичних характеристик сумарного відхилення від розрахункового часу прольоту контрольної точки, робиться аналіз і ймовірна оцінка проходження контрольної точки у заданому проміжку часу («вікні») $T_2 - T_1$ на підставі виразу (2). При нормальному законі розподілу аналіз зводиться до перевірки системи нерівностей, що, наприклад, для заданої ймовірності $P_3 = 0,977$ набуває вигляду:

$$\begin{aligned} (m_t - 2\sigma_t) &> (T_1 - t_{PL}); \\ (m_t + 2\sigma_t) &< (T_2 - t_{PL}), \end{aligned}$$

де t_{PL} – запланований час проходження контрольної точки.

У результаті можливі такі рішення:

- «норма» - літак із заданою ймовірністю пролетить контрольну точку в заданому часовому проміжку;
- «випередження» - літак пролетить контрольну точку раніше встановленого допустимого моменту T_1 ;
- «запізнювання» - літак пролетить контрольну точку пізніше встановленого граничного моменту T_2 ;
- «немає оцінки» - оцінка абсолютно недостовірна, оскільки одночасно є велика ймовірність як запізнення, так і випередження проходження контрольної точки.

Якщо відсутні які-небудь статистичні дані про причини відхилення від заданої траєкторії польоту, прогнозна оцінка стає не інтервальною, а точковою і зводиться до аналізу положення розрахункового часу проходження контрольної точки t_p відносно запланованого часу t_{pl} і заданих часових меж T_1, T_2 .

Для практичної реалізації поданої системи прогнозного контролю необхідно мати кількісні характеристики параметрів, що впливають на відхилення від заданих параметрів траєкторії польоту.

При прогнозуванні відхилень від заданої істинної швидкості польоту можна скористатися результатами досліджень, наприклад, наведеними у роботі [1], при припущенні, що коливання швидкості відносно заданого значення не залежить від способу пілотування, носить випадковий характер, практично не залежить від ешелону польоту і є випадковим процесом, який можна описати кореляційною функцією у вигляді загасаючої косинусоїди.

Вибір математичної моделі відхилень від заданої програми руху, викликаних помилковим урахуванням вітру, залежить від обраного способу його урахування при визначенні плану польоту.

Остаточний вибір структури системи прогнозування може бути зроблений тільки після оцінки точності прогнозу при різних вхідних даних. Удосконалення системи прогнозного контролю можливе шляхом розробки математичних моделей різних факторів, що впливають на відхилення від плану польоту, збору й обробки статистичної інформації про повітряний простір, порівняння точності прогнозування при різних гіпотезах про характер відхилень, урахування можливостей оперативної зміни плану та режиму польоту, впливу метеорологічної інформації, керування з боку диспетчерської служби.

Список літератури

1. Унгурия С.Г., Васильев В.Н. Прогнозирование местоположения самолета при полетах по трассам//Автоматизированные бортовые системы управления. Вып. 1. – К.: КИИГА, 1975. – С. 40-41.

Стаття надійшла до редакції 14.09.01.