

І. А. Жуков, В. І. Дровозов, Ю.П. Карпушин

**ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ СИСТЕМИ  
КЕРУВАННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ**

*Розглянуті особливості функціонування і завантаження обчислювального комплексу системи керування повітряним рухом в процесі поточного планування.*

Рекомендаціями КАО передбачена схема функціонування сучасної автоматизованої системи керування повітряним рухом (СКПР), що показана на рис. 1 [1].

За час  $T_{ar} = 30...10$  хв до входу в зону відповідальності СКПР повітряні кораблі (ПК) проходять процедуру поточного планування, метою якої є підвищення пропускної спроможності секторів КПР. Поставлена мета досягається шляхом планування безконфліктних просторово-часових траєкторій руху ПК у всій зоні відповідальності системи КПР.

У процесі поточного планування вирішуються задачі:  
розрахунку просторових траєкторій поточного плану;  
аналізу на безконфліктність розрахованих траєкторій;  
розрахунку поправок для конфліктного плану, кожна з яких вимагає відповідного часу для рішення  $T_{tr}, T_k, T_r$ .

Особливістю рішення перелічених задач є їх послідовність і суворі черговість для кожного ПК, тому середній час планування одного ПК дорівнює сумі складових  $T_a = T_{tr} + T_k + T_r$ .

На подальших етапах оперативного КПР диспетчерами в секторах керування вирішуються задачі витримування ПК запланованих траєкторій, оцінки і прогнозу розвитку повітряної обстановки, попередження небезпечних зближень між ПК [2].

Перелічені задачі належать до класу обчислювальних задач, які вирішуються в умовах інтенсивного руху повітряного транспорту. Послідовність рішення обчислювальних задач в сучасній СКПР показана на рис. 2.

Крім обчислювальних задач, обчислювальними комплексами (ОК) СКПР виконується великий обсяг додаткових робіт з організації обчислювального процесу, обміну інформацією та інших, що ставить підвищені вимоги до продуктивності ОК. Це необхідно враховувати при обґрунтуванні вимог до ОК СКПР або визначенні можливостей використання наявних обчислювальних засобів, для розширення функціональних можливостей СКПР.

Сучасні СКПР з метою зниження вимог до продуктивності обчислювальних засобів і підвищення надійності ОК будуються за принципами розподілених обчислювальних систем, в яких обчислювальні задачі розподіляються по обчислювачах з урахуванням функціональних і територіальних ознак, тобто окремі обчислювачі вирішують свої оригінальні функціональні задачі, інші дублюють функції, але в своїх секторах керування. Обчислювальний процес при цьому організується за принципом «клієнт-сервер».

Задачі поточного планування вирішуються для всього району КПР на одному обчислювачі-сервері, що насамперед пов'язано із загальною базою даних для конкретної СКПР.

Від продуктивності обчислювальної системи залежить її здатність обслуговувати потік заявок на обчислювальні роботи.

На етапі поточного планування потік заявок залежить, насамперед, від потоку ПК, що входять в зону СКПР, а обсяг обчислювальної роботи пов'язаний з безліччю чинників, основ-



ними з яких є алгоритми, що застосовуються, поточна повітряна обстановка, структура зони керування та ін.

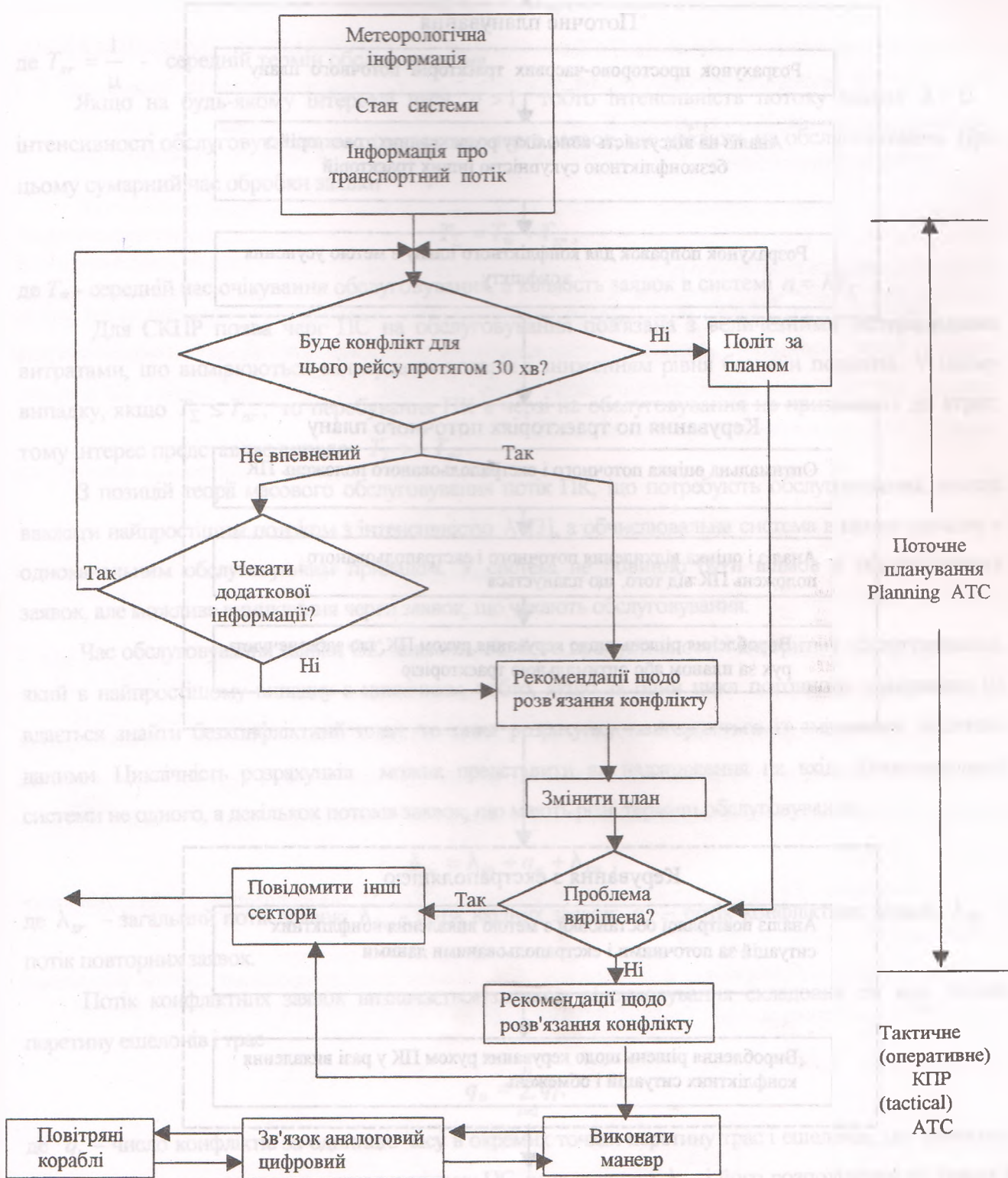


Рис. 1. Функціонування СКІР

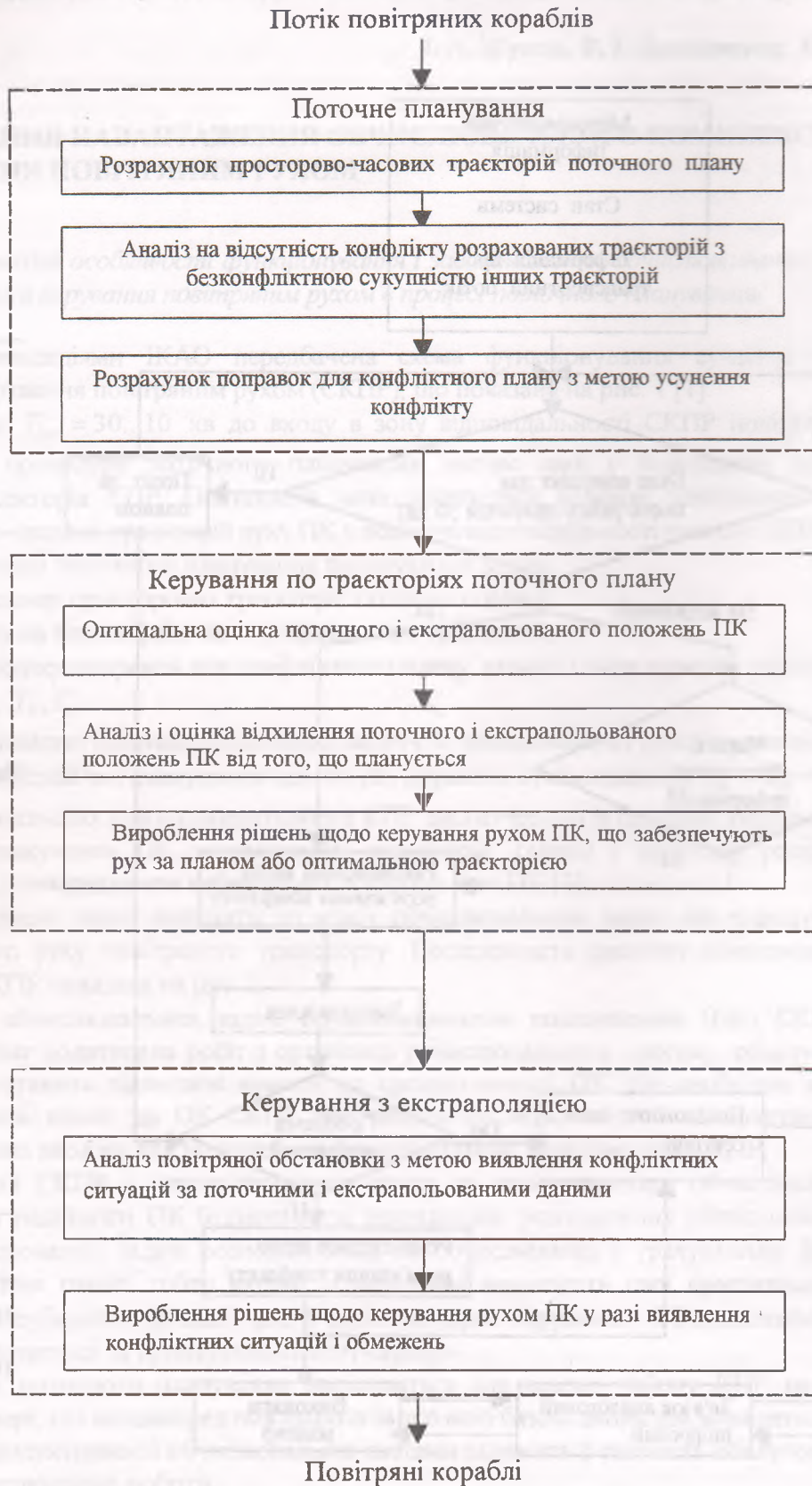


Рис. 2. Послідовність рішення обчислювальних задач в СКПР



При інтенсивності потоку заявок і інтенсивності обслуговування завантаження обчислювального комплексу

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \lambda T_{sr},$$

де  $T_{sr} = \frac{1}{\mu}$  - середній термін обслуговування.

Якщо на будь-якому інтервалі часу  $\rho > 1$ , тобто інтенсивність потоку заявок  $\lambda > \mu$  - інтенсивності обслуговування, то створюється черга заявок, що чекають на обслуговування. При цьому сумарний час обробки заявки

$$T_{\Sigma} = T_w + T_{sr},$$

де  $T_w$  - середній час очікування обслуговування, а кількість заявок в системі  $n = \lambda T_{\Sigma}$ .

Для СКПР поява черг ПС на обслуговування пов'язана з величезними матеріальними витратами, що вимірюються мільярдами доларів і зниженням рівня безпеки польотів. У цьому випадку, якщо  $T_{\Sigma} \leq T_{ar}$ , то перебування ПК в черзі на обслуговування не призводить до втрат, тому інтерес представляє випадок  $T_{\Sigma} \gg T_{ar}$ .

З позицій теорії масового обслуговування потік ПК, що потребують обслуговування, можна вважати найпростішим потоком з інтенсивністю  $\lambda$  [3], а обчислювальна система в цьому випадку є одноканальним обслуговуючим приладом. У системі не повинно бути відмов в обслуговуванні заявок, але можливе виникнення черги заявок, що чекають обслуговування.

Час обслуговування заявки ОК залежить від його продуктивності і алгоритму обслуговування, який в найпростішому випадку є циклічним, тобто, якщо за один цикл поточного планування не вдається знайти безконфліктний план, то цикл розрахунку повторюється із зміненими вхідними даними. Циклічність розрахунків можна представити як надходження на вхід обчислювальної системи не одного, а декількох потоків заявок, що мають різні терміни обслуговування:

$$\lambda_{sr} = \lambda_{in} + q_n + \lambda_{kn},$$

де  $\lambda_{sr}$  - загальний потік заявок;  $\lambda_{in}$  - потік вхідних заявок;  $q_n$  - потік конфліктних заявок;  $\lambda_{kn}$  - потік повторних заявок.

Потік конфліктних заявок визначається шляхом підсумовування складових по всіх точках перетину ешелонів і трас

$$q_n = \sum_{i=1}^n q_i,$$

де  $q_i$  - число конфліктів за одиницю часу в окремих точках перетину трас і ешелонів, що залежить від структури зони керування, швидкості руху ПС, інтенсивності  $\lambda_{in}$  і його розподілення по трасах і ешелонах [4].

Імовірність виникнення конфліктів для двох потоків, які перетинаються

$$q_i = \lambda_2 (1 - e^{-\lambda_1 \tau_b}),$$

$$\tau_b = LV,$$

де  $\lambda_1, \lambda_2$  – інтенсивність потоків ПК, які перетинаються;  $\tau_b$  – часовий інтервал блокування;  $L$  – норма ешелонування;  $V$  – швидкість ПС.

Потік повторних заявок

$$\lambda_{kn} = \lambda_{k1} P_n,$$

де  $P_n$  – імовірність повторного розрахунку конфліктуючого плану польоту.

Визначення необхідних обсягів обчислювальних робіт аналітичними методами являє собою нелегку задачу, оскільки не задані алгоритми вирішення обчислювальних задач і не відомі витрати ресурсів ОК на вирішення додаткових задач. Тому необхідно застосовувати методи імітаційного моделювання для визначення критичних обсягів обчислювальних робіт.

#### Список літератури

1. *Правила полетов и обслуживание воздушного движения*. Док 4444 – АС/501/13. 13-е изд. – Монреаль, Канада, ИКАО, 1995.
2. Жуков І.А., Дровозов В.І., Гузій М.М. Підвищення ефективності системи керування рухом повітряних суден із застосуваннями комплексних систем навігації зв'язку і керуванням повітряним рухом // Збірник наукових праць КІВПС (Літальні апарати та авіаційні двигуни). К.: КІВПС, 1999. – Вип. 6. – С. 34-40.
3. Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1969. – 324 с.
4. Унгурян С.Г., Маркович Е.Д., Волевач А.И. Анализ и моделирование систем управления воздушным движением. – М.: Транспорт, 1980. – 205 с.

Стаття надійшла до редакції 17 травня 2000 року.