



узагальнюючими. Труднощі при комплексній оцінці ефективності, звичайно, виникають при визначенні виду комплексної функції і коефіцієнтів значущості часткових показників в ній.

Призначення цивільної авіації полягає в максимальному задоволенні потреб народного господарства в авіатранспортних перевезеннях та інших видах робіт. Ефективність авіатранспортної системи і ефективність руху повітряного транспорту кількісно може оцінюватися за допомогою критеріїв, які визначають міру задоволення потреб народного господарства або ймовірність виконання заявленого рейсу. Але задоволення цих потреб може розглядатися і за такими показниками, як рівень безпеки, регулярності, економічності руху повітряних суден та ін.

Ефективність СКРПТ повинна оцінюватися за їх абсолютним чи відносним внеском в забезпечення потреб народного господарства або авіапідприємства згідно з переліченими показниками.

Головна мета вдосконалення СКРПТ має два аспекти: соціальний і економічний, які тісно пов'язані між собою, тому що все створюване людиною тією чи іншою мірою стосується інтересів суспільства. Економіко-соціальними результатами використання СКРПТ може бути та чи інша мета: забезпечення запланованих перевезень, необхідного рівня безпеки руху повітряних кораблів, збільшення пропускної спроможності зон повітряного простору, підвищення економічної ефективності авіапідприємства та ін. Провести між ними чітку межу не вдається.

Комплексна оцінка ефективності СКРПТ може бути визначена за допомогою критерія економічної ефективності їх використання. Але при цьому необхідно враховувати економічні аспекти збільшення безпеки, регулярності, економічності польотів, пропускної спроможності зон повітряного простору, покращення ергономічних показників роботи екіпажів повітряних суден і диспетчерів КРПТ та їх наслідків.

Ефективність засобів і систем КРПТ може оцінюватися за допомогою декількох узагальнених і часткових критеріїв. До узагальнюючих критеріїв можна віднести вплив системи на ймовірність виконання авіапідприємством заданих функцій (наприклад, виконання заявленого рейсу, обслуговування руху повітряних суден в зоні), на безпеку польотів (наприклад, у зменшення ризику небезпечних зближень чи зіткнень повітряних суден), на економічність руху завдяки скороченню часу перебування повітряних суден в польоті, на пропускну спроможність контрольованої зони повітряного простору, на ергономічні характеристики діяльності екіпажів і диспетчерів КРПТ.

Особливу роль серед часткових показників відіграють показники надійності системи або засобів, які входять до складу СКРПТ. Вони значною мірою визначають рівні критеріїв соціальної і технічної ефективності.

Безпека руху характеризується різноманітними показниками. Засоби і системи КРПТ дозволяють завчасно передбачити небезпечні зближення і зіткнення повітряних суден одне з другим і з перешкодами, прокладати безпечні маршрути в умовах сильної грозової діяльності і при інших складних метеорологічних умовах, а також найкоротші маршрути для повітряних кораблів з обмеженою кількістю палива у випадках складної ситуації на борту та ін.

Найбільш важлива роль засобів і систем КРПТ полягає саме в завчасному передбаченні можливості небезпечних зближень і зіткнень повітряних кораблів в зоні їх дії.

Впровадження засобів і систем КРПТ здійснюється з метою забезпечення високих рівнів безпеки, регулярності (безперервності) та економічності повітряного руху. Відокремити якийсь з них від інших показників неможливо, всі вони тісно пов'язані між собою, хоча точного аналітичного зв'язку між ними поки що не встановлено. Це й визначає ті складності, які виникають при комплексній оцінці ефективності СКРПТ чи окремих засобів.

Поки що не існує методик, які б дозволяли визначити вплив кожного з засобів чи СКРПТ на забезпечення необхідного рівня безпеки або економічності руху повітряного

транспорту для всіх моделей руху повітряних кораблів і їх оснащення. Задача комплексної чи критеріальної оцінки ефективності засобів чи СКРПТ була б практично вирішена, якби була можливість визначити їх вплив на забезпечення певного рівня безпеки польотів, прибуток авіапідприємства за рахунок скорочення експлуатаційних витрат, на умови роботи диспетчерів і екіпажів повітряних кораблів, на регулярність польотів, пропускну спроможність зон повітряного простору та ін.

Ефективність СКРПТ в конкретних умовах їх використання залежить не тільки від їх експлуатаційно-технічних характеристик, а й від організації руху в повітряному просторі та інтенсивності польотів. Дослідження показують, що одні й ті ж системи в різних зонах мають різні показники ефективності, зокрема і техніко-економічні. В одних випадках їх використання може дати значний економічний ефект, а в інших - ці системи можуть бути збитковими.

Однак в деяких випадках впровадження СКРПТ може не принести економічного ефекту. Доцільність впровадження системи в цьому випадку може визначатися її впливом на безпеку і регулярність польотів, на створення умов виконання польотів, що має й економічні аспекти, які іноді визначити неможливо.

Задача практичного визначення ефективності СКРПТ достатньо складна, не всі її складові можуть бути розраховані. Але цю задачу все-таки необхідно вирішувати - і чим точніше, тим краще.

Економічний ефект від впровадження СКРПТ може бути отриманий у зв'язку з наявністю декількох пов'язаних між собою факторів: підвищення пропускну спроможності зон повітряного простору і збільшення обсягу перевезень, підвищення безпеки руху, продовження тривалості активної діяльності диспетчерського і льотного персоналів при покращенні умов їх праці, зменшення експлуатаційних витрат при виконанні польотів та ін. Практична оцінка внеску засобів і систем КРПТ в економічну ефективність авіапідприємств, галузі чи народного господарства в цілому являє собою дуже складну задачу і вирішується значною мірою приблизно.

Незважаючи на певну неточність визначення впливу засобів і систем КРПТ на економічні показники, задачу цю вирішувати необхідно, тому що вартість цих систем і засобів досить велика, впровадження їх повинно бути значною мірою економічно обгрунтованим. Наприклад, зараз створюють автоматизовані СКРПТ на базі використання супутникових систем глобальної навігації. Вартість їх впровадження і подальшої експлуатації надзвичайно велика. Тому необхідно всебічно обгрунтовувати їх доцільність з урахуванням як соціальних, так і економічних показників ефективності.

Соціальні показники пов'язані з підвищенням безпеки і регулярності польотів, покращенням умов праці диспетчерського і льотного персоналів; економічні - із збільшенням обсягу перевезень, зменшенням експлуатаційних витрат та ін. Однак соціальні показники мають і економічні аспекти, які точно обчислити важко, але враховувати найбільшою мірою необхідно. Соціальні показники характеризують так звані умовний (народногосподарський) економічний ефект, а чисто економічні - безумовний.

Системи керування повітряного транспорту впроваджуються не тільки заради підвищення безпеки руху, але і з метою збільшення пропускну спроможності зон повітряного простору. Підвищення пропускну спроможності має дві основні особливості. З однієї сторони воно дозволяє збільшити обсяг перевезень, внаслідок чого забезпечується більш висока економічність РПТ; з другої - більш ефективно використовувати повітряний простір при наявності спеціального розкладу функціонування в ньому декількох користувачів.

Збільшення пропускну спроможності зон повітряного простору при впровадженні СКРПТ пов'язане із скороченням мінімумів поздовжнього, вертикального і бокового ешелю-

нування. Розглянемо питання впливу СКРПТ на пропускну спроможність на прикладі скорочення мінімуму поздовжнього ешелонування.

Нехай при наявності СКРПТ забезпечується мінімум поздовжнього ешелонування  $S_{x \min 1}$ , а при її відсутності інший рівень -  $S_{x \min 2}$ , так що  $S_{x \min 1} < S_{x \min 2}$ . Наприклад, згідно з настановою по виконанню польотів в цивільній авіації встановлено, що при наявності безперервного радіолокаційного контролю з боку служби КРПТ мінімуми поздовжнього ешелонування складають:

- на повітряних трасах, місцевих повітряних лініях і на встановлених маршрутах - 30 км;
- в зоні підходу аеродрому - 20 км;
- в зоні підходу при використанні автоматизованих СКРПТ - 10 км;
- в зоні зльоту і посадки - 5 км.

При відсутності безперервного радіолокаційного контролю між повітряними суднами, які слідуєть один за другим на одному вертикальному ешелоні, встановлені мінімуми ешелонування:

- на повітряних трасах, місцевих повітряних лініях, на встановлених маршрутах і в зоні підходу - інтервал 10 хв.;
- при виконанні маневру за схемою заходу на посадку в зоні зльоту і посадки - інтервал 3 хв.

При відсутності безперервного радіолокаційного контролю в зоні аеродрому на одній висоті може знаходитись не більше одного повітряного судна.

Ці показники дають певну уяву про вплив СКРПТ на пропускну спроможність зон повітряного простору.

Якщо в зоні пролягає  $m$  трас і  $n$  вертикальних ешелонів в межах кожної траси, то коефіцієнт ефективності СКРПТ в міру впливу на пропускну спроможність дорівнює:

$$K = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{S_{x \min 2}}{S_{x \min 1}} \right)_{ij} > 1.$$

Доцільно відмітити, що пропускну спроможність певної зони повітряного простору залежить як від організації в ній руху повітряних суден, так і від складу та ефективності програмно-технічних засобів КРПТ. Використання більш ефективних засобів КРПТ дозволяє скоротити інтервали ешелонування ПК при забезпеченні необхідного рівня безпеки руху.

В процесі довгострокової експлуатації ефективність будь-яких систем з часом зменшується внаслідок впливу навантажень, зносу, старіння елементів, впливу оточуючого середовища та ін. Задача служби технічної експлуатації полягає в забезпеченні якомога більшого рівня ефективності системи і збереженні його протягом тривалого використання.

Збереження необхідного рівня ефективності СКРПТ забезпечується шляхом створення належних умов їх використання, систематичного контролю режимів роботи і роботоздатності, проведення кваліфікованого поточного ремонту і технічного обслуговування. Для кожного засобу, комплексу і СКРПТ в цілому існують конкретні шляхи збереження рівня ефективності.

Від конструктивних особливостей, умов використання і технічної експлуатації залежить коефіцієнт збереження ефективності, який характеризується відношенням ефективності реальної системи за вибраним критерієм до ефективності абсолютно надійної системи за тим же критерієм.

Коефіцієнт збереження ймовірності виконання заданих функцій оцінюється таким чином:

$$K_{зб.БФ} = \frac{1}{\gamma_0} \sum_{i=0}^n \gamma_i P_i,$$

де  $\gamma_i$  - ймовірність виконання заданих функцій системою в  $i$ -му стані функціонування;  $P_i$  - ймовірність перебування системи в  $i$ -му стані з  $n$  можливих.

При  $i=0$  ймовірність виконання заданих функцій  $\gamma_0$  відповідає стану абсолютно надійної системи.

При виникненні пошкоджень СКРПТ може частково втратити здатність виконувати задані функції але може й використовуватися за призначенням, що практично дуже важливо. Виникнення відказу системи повністю припиняє її здатність виконувати поставлені задачі.

Відказ автоматизованої СКРПТ - явище, яке виникає відносно рідко. Напрацювання на відказ складає тисячі годин, середній час відновлення при пошкодженнях і відказах не перевищує декількох годин. Це дозволяє віднести автоматизовану СКРПТ до категорії відносно надійних систем, які швидко відновлюються.

Наявність радіолокаційного контролю стану повітряного простору дозволяє встановити мінімум поздовжнього ешелонування  $S_{x\min 1}$ . Якщо внаслідок відказу автоматизованої СКРПТ цей контроль виявляється неможливим, то мінімум ешелонування зростає до  $S_{x\min 2} > S_{x\min 1}$ .

Час простою системи КРПТ на відновленні за рік складає  $8760 \cdot K_{\Pi}$  год. При максимально "щільній упаковці" трас повітряними суднами в першому і другому випадках за одну годину переріз траси проходять відповідно  $V/S_{x\min 1}$  і  $V/S_{x\min 2}$  повітряних суден, де  $V$  - путьова швидкість польоту. Тоді за рік роботи системи через цей переріз траси пролетять  $[(1 - K_{\Pi}) V / S_{x\min 1}] \cdot 8760$  і  $[K_{\Pi} V / S_{x\min 1}] \cdot 8760$  повітряних суден, де  $K_{\Pi}$  - коефіцієнт простою системи.

При абсолютній надійній системі через цей переріз траси пролетить  $(V/S_{x\min 1}) \cdot 8760$  повітряних кораблів. Тоді коефіцієнт збереження пропускної спроможності траси, яка контролюється за допомогою автоматизованої СКРПТ, дорівнює:

$$\bar{K}_{зб.пс} = 1 - K_{\Pi} \left( 1 - \frac{S_{x\min 1}}{S_{x\min 2}} \right)$$

Розглядаючи, наприклад, трасу, по якій літають повітряні судна типу ТУ-154, можна вважати  $S_{x\min 1} = 30$  км,  $S_{x\min 2} = 150$  км, що відповідає інтервалу 10 хв. Тоді при  $K_{\Pi} = 10^{-3}$   $\bar{K}_{зб.пс} = 0.9992$ .

Коефіцієнт збереження економічної ефективності за своїм змістом близький до коефіцієнта збереження пропускної спроможності, тому що із зростанням пропускної спроможності зони КРПТ зростає економічна ефективність. Однак вплив автоматизованої СКРПТ проявляється не тільки в тому, що вона дозволяє зменшити інтервали поздовжнього і вертикального ешелонування, а й дозволяє також зменшити час перебування повітряних суден в польоті за рахунок зменшення на величину  $\Delta t_{оч}$  тривалості перебування в зонах очікування, зменшення на величину  $\Delta t_{пол}$  тривалості часу на обхід грозових зон і областей з підвищеною турбулентністю атмосфери, скорочення на  $\Delta t_{обм}$  тривалості польотів при наявності різноманітних обмежень, наприклад, відомчого характеру.

Нехай, наприклад, середній час польоту повітряних суден при наявності автоматизованої СКРПТ складає  $t_{пол1}$ , а при її відсутності  $t_{пол2} = t_{пол1} + \Delta t$ , де  $\Delta t = \Delta t_{оч} + \Delta t_{пол} + \Delta t_{обм}$ . При цьому коефіцієнт збереження економічної ефективності дорівнює відношенню економії часу польоту всім масивам ПК при використанні автоматизованої СКРПТ з реальним рівнем надійності до економії часу польоту того ж масиву повітряних суден при абсолютно надійній автоматизованій СКРПТ:

$$K_{зб.е.} = \frac{N_1(1-K_{п})t_{пол1} + N_2K_{п}t_{пол2}}{Nt_{пол1}} =$$

$$= \frac{N_1}{N}(1-K_{п}) + \frac{N_2}{N} \frac{t_{пол1}}{t_{пол2}} K_{п} \approx \frac{N_1}{N}(1-K_{п}),$$

де  $N_1, N_2$  - кількість польотів повітряних суден за рік в зоні КРПТ відповідно при справній і несправній роботі СКРПТ;  $N_1 + N_2 = N$ .

При  $K_{п} = 10^{-2}$ ,  $t_{пол1} = 0.3$  год,  $t_{пол2} = 0.45$  год,  $N_1 = 1.9 \cdot 10^4$ ,  $N_2 = 10^3$  одержуємо  $K_{зб.е.} = 0.941$ .

При оцінці техніко-економічної ефективності впровадження автоматизованих СКРПТ необхідно враховувати економічні аспекти не тільки збільшення пропускної спроможності, але й безпеки руху.

В режимі максимальної щільності повітряних суден на маршруті при абсолютно надійній автоматизованій СКРПТ економічний ефект від її впровадження становить:

$$E_1 = \left( C_2 \frac{V}{S_{x \min 1}} + C_3 n_1 \right) t - \frac{C_1}{t_p} t,$$

де  $C_2$  - погодинний прибуток від одного прибуваючого приведеного рейсу;  $V$  - путьова швидкість польоту повітряного судна;  $C_3$  - економічні збитки від однієї авіаційної пригоди, яку вдається запобігти;  $n_1$  - число авіаційних пригод, які вдається запобігти в одиницю часу за допомогою абсолютно надійної автоматизованої СКРПТ;  $t$  - тривалість часу експлуатації системи;  $t_p$  - технічний ресурс автоматизованої СКРПТ;  $C_1$  - вартість СКРПТ і її експлуатації.

Враховуючи реальний рівень надійності СКРПТ, економічний ефект визначається так:

$$E_2 = \left[ (1-K_{п})C_2 \frac{V}{S_{x \min 1}} + K_{п}C_2 \frac{V}{S_{x \min 2}} + C_3 n_1 (1-K_{п}) + C_3 n_2 K_{п} \right] t - C_1 \frac{t}{t_p},$$

де  $n_2$  - кількість авіаційних пригод, які вдається запобігти в одиницю часу за допомогою засобів КРПТ, які використовувались до впровадження автоматизованої СКРПТ;  $S_{x \min 2}$  - мінімум поздовжнього ешелонування повітряних суден до впровадження автоматизованої СКРПТ.

При цьому коефіцієнт збереження економічної ефективності автоматизованої СКРПТ:

$$K_{зб.е.с.} = \frac{E_2}{E_1}.$$

При значеннях параметрів:  $K_{п} = 10^{-2}$ ,  $V = 900$  км/год,  $S_{x \min 1} = 30$  км,  $S_{x \min 2} = 150$  км,  $n_2 = 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>,  $n_1 = 2 \cdot 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>,  $C_1 = 109$  грн,  $C_2 = 10^4$  грн,  $C_3 = 5 \cdot 10^8$  грн,  $t = 8800$  год маємо  $E_1 = 2.54$  млрд.грн.,  $E_2 = 2.52$  млрд.грн.,  $K_{зб.е.с.} = 0.992$ .

В деяких випадках техніко-економічну ефективність автоматизованої СКРПТ доцільно визначати як відносне перевищення економічного ефекту від впровадження нової автоматизованої СКРПТ над витратами:

$$\bar{E}_{видн} = \frac{\Delta C}{\Delta C} = \frac{E_2 - E_2'}{\Delta C},$$