

Л.М. Сугоняко, В.П. Харченко

**ІНФОРМАЦІЙНИЙ КОНТУР РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИНАМІЧНИХ КОНФЛІКТНИХ СИТУАЦІЙ СИСТЕМИ АЕРОНАВІГАЦІЙНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОЛЬОТІВ**

*Наведено структуру та алгоритм роботи інформаційного контуру розв'язання динамічних конфліктних ситуацій. Показано план розвитку наземної інфраструктури CNS/ATM. Запропоновано алгоритм, який дозволить зменшити вплив людського фактора і оптимізувати розв'язання конфліктних ситуацій.*

Радіоелектронне забезпечення повітряного руху в нинішній час здійснюється за допомогою двох незалежних і взаємно доповнювальних структур: системи навігації і системи керування та контролю. Перша з них дозволяє повітряним кораблям (ПК) рухатися по потрібних траєкторіях із заданою точністю на будь-якому етапі польоту. Друга структура забезпечує перевірку і корегування цих траєкторій з точки зору ефективності при допустимому рівні безпеки польотів та додержання інтервалів ешелонування. На рис.1 показано елементи контуру радіоелектронного забезпечення польотів, що формує динамічний повітряний стан (ДПС), елементи якого тісно пов'язані між собою. В результаті взаємодії окремих із цих підсистем можливий вплив на інші підсистеми, інколи навіть побічно.

Успіхи, які досягаються в регулярності, безпеці й економічності польотів, значною мірою визначено існуванням цієї принципової надлишковості системи керування повітряним рухом (КПР).

У функціонуванні системи КПР необхідно виділити два принципових моменти: контроль (спостереження) і керування. Таким чином, слід виділити практичні задачі, що реалізуються: контроль траєкторій руху ПК, корегування можливих їхніх відхилень від установлених маршрутів, запобігання зіткнень, раціональне упорядкування потоку ПК з метою забезпечення допустимої пропускної спроможності аеропортів і трас. Контроль за повітряним рухом побудовано на знанні місцеположення ПК і наступної його екстраполяції. Визначеність даної операції залежить від точності вхідних даних і темпу поновлення інформації. Вимір координат об'єкта є визначальним чинником для вирішення задачі контролю. Знання ж параметрів руху і їхня екстраполяція дозволяють вирішити задачу керування потоками ПК.

В міру зростання інтенсивності повітряного руху все більшого значення набуває проблема зменшення робочого навантаження на диспетчерів внаслідок звільнення їх від виконання багатьох задач керування і відповідно від деяких задач прийняття рішень завдяки запровадженню автоматизації з використанням ЕОМ. Таким прикладом можуть стати роботи, направлені на створення ефективної підсистеми запобігання небезпечним ситуаціям у процесі польоту. Проблема запобігання небезпечним ситуаціям у повітрі вимагає створення стратегічних засобів, які дозволять зробити малоімовірним зіткнення ПК, та створення тактичних засобів прогнозування можливих зіткнень. Такі засоби повинні виявляти потенційно небезпечні зіткнення ПК і вчасно інформувати про це диспетчера, який в свою чергу у випадку необхідності попереджує екіпаж. Безумовною вимогою тут виступає мінімум хибних тривог щодо конфліктних ситуацій без збільшення навантаження на диспетчера.

На схемі структури контуру оперативного контролю і формування ДПС в аеронавігаційній системі (рис. 1) позначено компоненти, задіяні в роботі підсистеми попередження і запобігання зіткнень, безпосередньо ПК і наземних керуючих та координаційних структур. Повітряний корабель як основну ланку системи попередження зіткнень доцільно показати як сукупність таких структурних елементів:

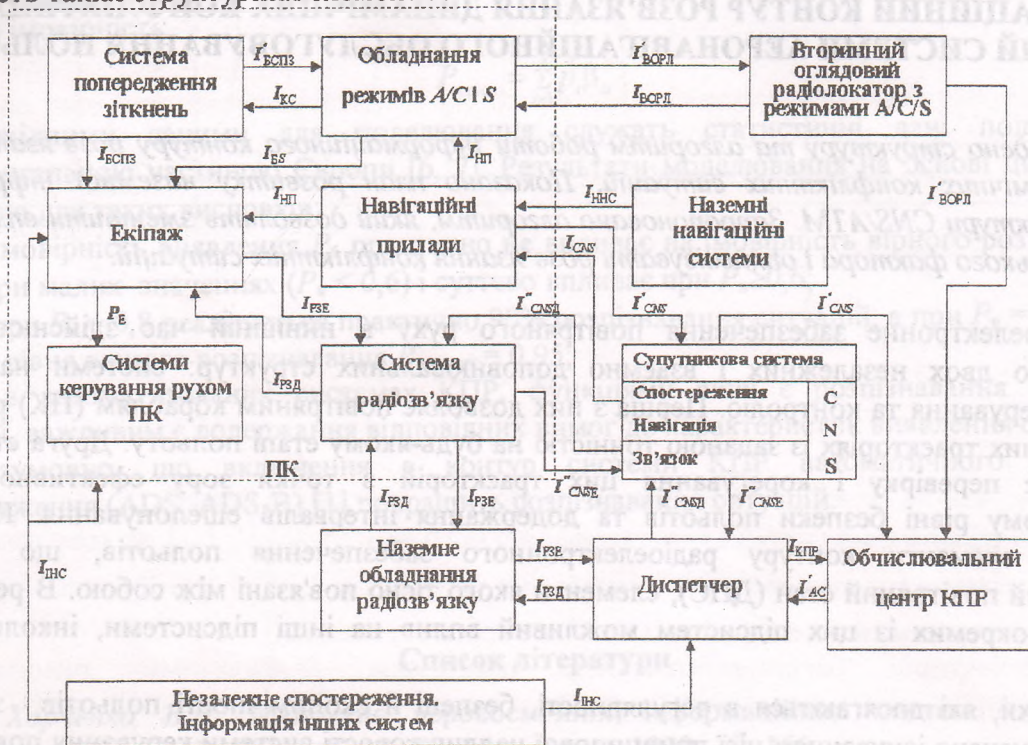


Рис. 1. Структура контуру оперативного контролю і формування ДПС в аеронавігаційній системі:

$I_{БСПЗ}$  – показник інформації бортової системи попередження зіткнень;  $I_{ВОРЛ}$  – показник інформації вторинного оглядового радіолокатора;  $I_{КС}$  – показник інформації калібровочного сигналу;  $P_E$  – рішення екіпажу;  $I_{НП}$  – показник інформації навігаційних приладів;  $I_{БС}$  – показник інформації бортового обладнання режиму S;  $I_{ННС}$  – показник інформації наземних навігаційних систем;  $I_{СНС}$  – показник інформації супутникової системи спостереження та навігації;  $I_{СНСД}$  – показник інформації супутникового зв'язку диспетчера;  $I_{СНСЕ}$  – показник інформації супутникового зв'язку екіпажу ПК;  $I_{РЗД}$  – показник інформації радіозв'язку диспетчера;  $I_{РЗЕ}$  – показник інформації радіозв'язку екіпажу ПК;  $I_{КТР}$  – показник інформації системи КТР;  $I_{АС}$  – показник інформації автоматизованих систем;  $I_{ННС}$  – показник інформації інших систем

**Екіпаж** – основний елемент структури ПК, який об'єднує інформацію від усіх керівних систем контуру оперативного контролю і формування ДПС і виконує єдине оптимальне рішення в даній повітряній ситуації. Слід відзначити, що екіпаж також може приймати те або інше рішення щодо різних конфліктних ситуацій, але основну відповідальність за прийняття правильного рішення в контрольованій зоні несе диспетчер зони КТР. Тому прийняття рішення з конфліктної ситуації здійснюється в процесі інформаційного обміну між екіпажем і диспетчером КТР.

**Системи керування рухом ПК.** Ці системи задіяні екіпажем при керуванні ПК для запобігання конфліктних ситуацій.

**Система радіозв'язку** необхідна при обміні інформацією про параметри польоту і прийнятті рішень в даній повітряній ситуації між диспетчером і екіпажем. Система має два типи обладнання: для радіозв'язку типу «борт – земля – борт» і для супутникового радіозв'язку, що відповідає вимогам ICAO для концепції CNS/ATM.

Навігаційні прилади здійснюють передачу екіпажу навігаційної інформації від бортових та наземних навігаційних систем і систем супутникової навігації (концепція *CNS/ATM*).

Обладнання режиму *A/C* і *S* необхідне як для визначення місцезнаходження ПК, так і для створення цифрового каналу передачі польотних даних спільно з наземним радіолокаційним обладнанням. В цьому режимі можлива передача на наземний радіолокаційний комплекс даних з навігаційних приладів і рекомендацій щодо уникнення загрози зіткнення (*RA*) з бортової системи попередження зіткнень (БСПЗ). На бортовий приймач-відповідач режиму *S* надходять також інформаційні сигнали БСПЗ для створення каналу зв'язку типу «повітря – повітря» з іншими ПК, які знаходяться в конфліктній зоні. Таким чином, здійснюється координація спільного маневрування ПК для запобігання зіткнень.

Бортова система попередження зіткнень одержує від приймача-відповідача режиму *S* команди керування рівнем чутливості, наземними станціями режиму *A/C/S*; всенаправлені повідомлення, які передаються з інших БСПЗ і повідомлення з рекомендаціями щодо уникнення загрози зіткнення, які передаються іншим БСПЗ ПК, що знаходяться в межах захищеного обсягу власного ПК, для здійснення координації «повітря – повітря». Бортова система попередження зіткнень спрямовує інформацію приймачу-відповідачу режиму *S* для передачі її в повідомленні *RA* і в координаційній відповіді, передає поточний рівень чутливості на наземний радіолокаційний комплекс, а також дає інформацію про функціональні можливості для передачі її в повідомленні про можливості стосовно лінії передачі даних. Від БСПЗ надходить консультативна інформація про повітряний рух (*TA*) і рекомендації щодо уникнення загрози зіткнення (*RA*) екіпажу залежно від модифікації системи [3].

Наземну частину контуру оперативного контролю і формування ДПС доцільно представляти як сукупність структур контролю (спостереження), координації і керування.

До структур контролю в контурі слід віднести такі елементи:

- вторинний оглядовий радіолокатор (ВОРЛ) з режимами *A/C/S*, призначений для створення цифрового каналу обміну інформацією з бортом та первинної, вторинної і третинної обробки польотної інформації від ПК з наступною її передачею в обчислювальний центр КПП;

- обчислювальний центр КПП, який здійснює обробку отриманого потоку інформації від ВОРЛ режиму *A/C/S*, систем супутникового спостереження (*CNS*) і диспетчера. (При цьому завдяки використанню програмного забезпечення можливе детальне прогнозування і попередження виникнення конфліктних ситуацій; таким чином, в обчислювальному центрі КПП виконується контроль за даною повітряною обстановкою згідно з можливими корективами і доповненнями диспетчера КПП; можливі варіанти взаємодії диспетчера з обчислювальним обладнанням наведено в літературі [1]).

До наземних структур координації повітряного руху можна віднести такі елементи контуру:

- наземні навігаційні системи, необхідні для передачі інформації про місцезнаходження ПК в заданій системі координат екіпажу. (На сьогоднішній день мінімально необхідний склад обладнання наземних навігаційних систем як підструктури контуру оперативного контролю і формування ДПС повинен включати в себе радіомаячні системи *VOR/DME*, маркерні радіомаяки і системи посадки);

- наземне обладнання радіозв'язку, яке використовується для обміну інформацією між екіпажем і диспетчером, тобто для координації їхніх рішень в конкретній повітряній ситуації.

Керуючим елементом у контурі є диспетчер зони КПП. На нього покладено функції остаточного прийняття рішення з розглядуваної повітряної ситуації. Слід відзначити, що керуюче рішення диспетчера формується в прямій залежності від параметрів інформаційних векторів, які визначаються повідомленнями від екіпажу, і за даними з обчислювального центру КПП. Тому керуючі рішення диспетчера є інформаційно залежними від інших систем контуру і, отже, контур можна охарактеризувати як самостійну взаємопов'язану систему.

Відзначимо особливу роль у створенні контуру елементів, що відносяться до *CNS* [2]. Концепція розвитку глобальних систем зв'язку, навігації і спостереження (*CNS*)/ організації повітряного руху (*ATM*), яка схвалена десятою аеронавігаційною конференцією *ICAO* і 29-ю сесією асамблеї *ICAO*, включає в себе три основних аспекти: зв'язок, навігацію і спостереження.

**Зв'язок.** При використанні систем *CNS* зв'язок з ПК для передачі мовної інформації і даних буде здійснюватися по прямій лінії зв'язку «супутник–ПК» в смузі частот, виділеній винятково для рухомої супутникової служби. В районах аеродромів і там, де є обмеження, пов'язані із функціонуванням системи в межах прямої видимості, будуть також використовуватися зв'язок дуже великої частоти і режим *S* вторинного радіолокатора. Режим *S* ВОРЛ разом з незалежним спостереженням забезпечують високошвидкісну лінію передачі даних «повітря – земля» для цілей КПП. Різноманітні підмережі зв'язку будуть синтезовані мережею автоматичного електрозв'язку (*ATN*).

**Навігація.** Розроблена *ICAO* концепція навігаційних характеристик, які визначають технічні характеристики, необхідні для польотів в конкретному повітряному просторі або на етапі польота. Їх можна забезпечувати за допомогою того або іншого навігаційного обладнання. Однак стосовно вибору системи для цілей навігації концепція *ICAO* віддає явну перевагу глобальній навігаційній супутниковій системі (*GNSS*), яка розглядається як система, що забезпечує незалежне визначення екіпажем місцеположення ПК і є ключовим елементом майбутньої концепції. Припускається, що ця система стане єдиним засобом забезпечення навігації і замінить такі навігаційні системи дальнього і ближнього радіусів дії як «*OMEGA*», ненаправлений радіомаяк і всенаправлений ДВЧ-радіомаяк *VOR*. В майбутньому припускається використання цієї системи для категоризованої посадки.

**Спостереження.** В районах з високою щільністю руху буде як і раніше широко застосовуватися ВОРЛ, доповнений режимом *S*, але тільки там, де це виправдано інтенсивністю повітряного руху. В інших районах, особливо в океанському повітряному просторі і віддалених районах суші, спостереження буде здійснюватися автоматичним залежним спостереженням (*ADS*). При використанні такої системи ПК автоматично передають інформацію про своє місцеположення, яке визначається за допомогою бортового навігаційного обладнання, центру КПП через супутникову або іншу лінію зв'язку. Дана система забезпечує повний обсяг інформації, необхідний для спостереження в районах, де в нинішній час служби спостереження відсутні.

Згідно з навігаційною стратегією держав європейської конференції цивільної авіації (*ECAC*) наземна інфраструктура буде розвиватися якісно і в терміни, які вказано на рис.2. Для ефективної роботи контуру і прийняття оптимального рішення в певній конфліктній ситуації необхідно також використати інформацію інших систем. До таких систем відносяться різноманітні датчики і індикатори, радіолокаційні станції і супутнє обладнання метеорологічних служб, системи обміну інформацією з компетентними військовими службами, служба аеронавігаційної інформації.

Розглянемо алгоритм запобігання конфліктним ситуаціям на підставі необхідних процесів обміну інформацією між елементами структури контуру. Використовуючи функціональні залежності і особливості елементів контуру, розроблено алгоритм автоматичного прийняття рішень в аеронавігаційній системі, який можна реалізовувати в інтелектуальній системі.

Розглянемо покрокове виконання розробленого алгоритму і основні співвідношення для інформаційних потоків між елементами контуру, які використовуються в ньому.

Алгоритм роботи контуру формування ДПС розглядаємо стосовно вибраного обсягу зони КПП  $V_{\text{КПП}i}$ . Припускаємо, що в вибраному обсязі виконують рейси ПК, які утворюють кінцеву множину  $\text{ПК}_1, \dots, \text{ПК}_n, \dots, \text{ПК}_n$ , де  $n$  – ціле число.

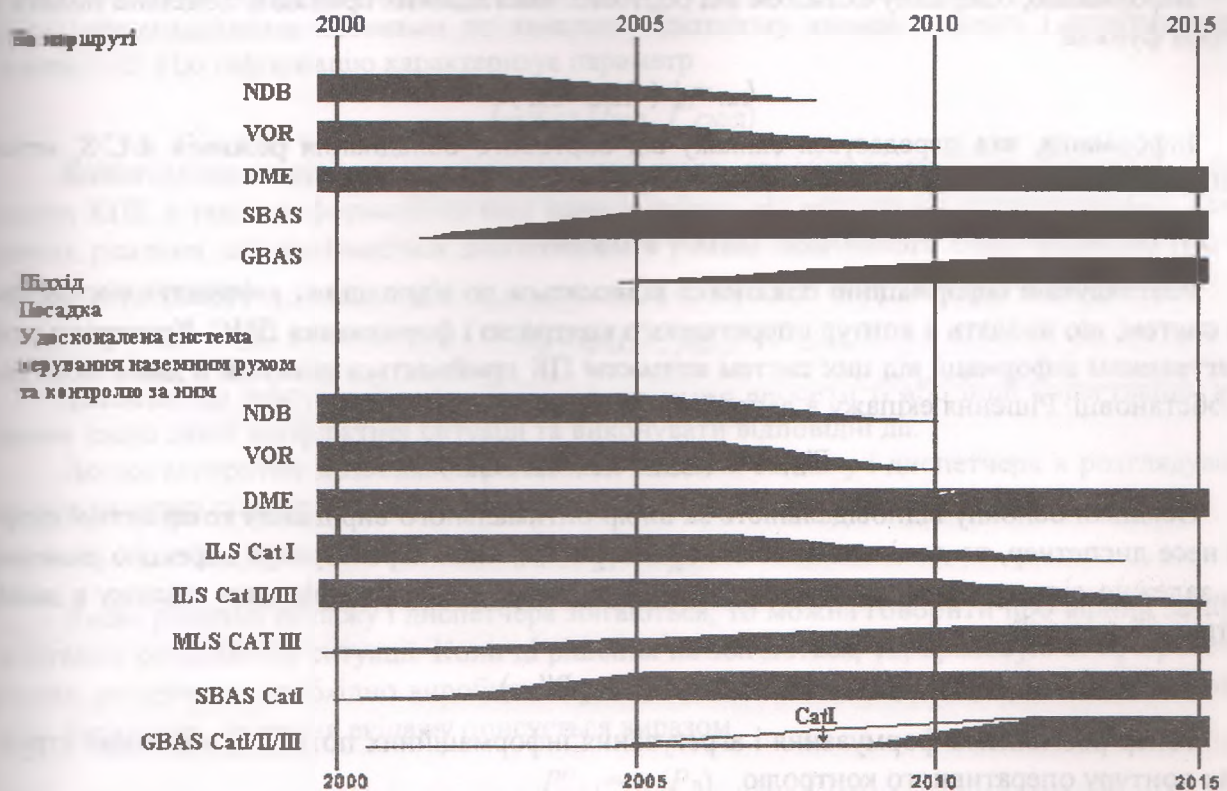


Рис. 2. Графік розвитку наземної інфраструктури згідно з навігаційною стратегією держав європейської конференції цивільної авіації: *NDB* – ненаправлений ДВЧ-радіомаяк; *VOR* – всенаправлений ДВЧ-радіомаяк; *DME* – дальномірний ДВЧ-радіомаяк; *SBAS* – супутникове функціональне доповнення; *GBAS* – наземні функціональні доповнення; *ILS* – система посадки за приладами; *MLS* – мікрохвильова система посадки за приладами

Покажемо, що розроблений алгоритм роботи контуру виконується для будь-якого ПК, із заданої множини ПК ( $i \in n$ ).

Виділяємо екіпаж  $i$ -го ПК як основну виконавчу ланку в структурі вибору і прийнятті оптимального рішення в конфліктній ситуації, що виникла.

Поділимо потоки інформації зв'язку, які надходять від екіпажу до диспетчера, на потік по каналу радіозв'язку «борт – земля» і по каналу супутникового зв'язку:  $I_{PZE i}$  і  $I_{CNSE i}$  відповідно. Тоді вираз для інформаційної міри, відповідній обом каналам зв'язку, можна записати у вигляді:

$$I_{ZE i} = f(I_{PZE i}, I_{CNSE i}).$$

Від бортового обладнання режиму  $S$  на систему БСПЗ надходить команда керування рівнем чутливості, яка передається наземними станціями режиму  $S$ . Тому залежність калібровочного каналу від інформації наземного ВОРЛ можна подати у вигляді:

$$I_{kc} = f(I_{BORL}).$$

Інформаційний параметр БСПЗ, що характеризує відповідну інформацію, одержувану екіпажем, логічно представити у вигляді функціонала від безпосередньо інформаційного сигналу БСПЗ і калібровочного параметра:

$$I_{БСПЗ} = \Phi(I_{БСПЗ}, I_{kc}).$$

Інформацію, одержану екіпажем від бортових навігаційних приладів, доцільно подати у вигляді функції

$$I_{\text{НП}} = \Phi ( I_{\text{ННС}}, I_{\text{СНС}} ).$$

Інформація, яка передається екіпажу від бортового обладнання режимів *A/C/S*, може бути подана таким співвідношенням:

$$I_{\text{БС}} = \Psi ( I_{\text{ВОРЛ}} ).$$

Розглядувані інформаційні показники відносяться до відповідних автоматичних бортових систем, що входять в контур оперативного контролю і формування ДПС. Критеріальним агрегуванням інформації від цих систем екіпажем ПК приймається рішення в даній повітряній обстановці. Рішення екіпажу в даному випадку можна подати як

$$P'_{\text{Еі}} = \Phi ( I_{\text{БСПЗ}}, I_{\text{БС}}, I_{\text{НП}}, I_{\text{НС}} ).$$

Оскільки основну відповідальність за вибір оптимального вирішення конфліктної ситуації несе диспетчер, то доцільно ввести параметр  $P''_{\text{Еі}}$ , який характеризує корекцію рішення  $P'_{\text{Еі}}$  залежно від переданих екіпажу вказівок диспетчера КПП. Тоді рішення екіпажу в даній повітряній ситуації:

$$P_{\text{Еі}} = \Phi' ( P'_{\text{Еі}}, P''_{\text{Еі}} ).$$

Тепер розглянемо формування і агрегування інформаційних потоків в наземних структурах контуру оперативного контролю.

Сигнал бортового відповідача режимів *A/C/S* залежить від інформаційних параметрів БСПЗ і бортових навігаційних приладів:

$$I'_{\text{ВОРЛ}} = \Phi' ( I'_{\text{БСПЗ}}, I_{\text{НП}} ).$$

Інформацію, яка надходить в обчислювальний центр КПП від систем спостереження, поділимо на інформаційний потік від ВОРЛ ( $I'_{\text{ВОРЛ}}$ ) і інформаційний потік супутникового спостереження *CNS* ( $I_{\text{СНС}}$ ).

В обчислювальному центрі КПП агрегується інформація, отримана від автоматизованих систем (ВОРЛ з режимами *A/C/S* і супутникове спостереження). Узагальнений інформаційний показник автоматизованих систем можна описати виразом

$$I_{\text{АС}} = \xi ( I'_{\text{ВОРЛ}}, I_{\text{СНС}} ).$$

При розробці контуру оперативного контролю і формування ДПС була передбачена можливість звернення диспетчера в керуючі структури обчислювального центру КПП з доповненнями або корегувальною інформацією. Тоді інформація від обчислювального центру КПП з урахуванням вказівок або доповнень диспетчера

$$I_{\text{АС}} = \xi' ( I_{\text{АС}}, I_{\text{КПП}} ).$$

Тут параметр  $I_{\text{КПП}}$  характеризує інформаційний потік, що надходить в обчислювальний центр КПП від диспетчера залежно від особливостей повітряного стану. Цей інформаційний потік доцільно показати як функцію інформаційних параметрів інших систем і зв'язку з екіпажем, тобто

$$I_{\text{КПП}} = \Phi' ( I_{\text{ЗЕі}}, I_{\text{НС}} ).$$

У логічній побудові алгоритму автоматичного прийняття рішень в аеронавігаційній системі враховується наявність інформації про доповнення і уточнення повітряного стану  $I_{\text{КПП}}$  як одного з визначальних параметрів в рішенні диспетчера з даної конфліктної ситуації.

Інформація від диспетчера, що надходить на борт ПК посередництвом зв'язку, визначається інформаційними потоками по каналах радіозв'язку «земля – борт» і супутникового зв'язку *CNS*. Цю інформацію характеризує параметр

$$I_{зд} = \psi' (I_{Рзд}, I''_{CNSD}).$$

Визначальним параметром рішення диспетчера, крім інформації від обчислювального центру КІР, є також інформаційна міра каналів зв'язку від екіпажу до диспетчера  $I_{зеi}$ . Таким чином, рішення, що приймається диспетчером в умовах повітряного стану відносно ПК, визначається виразом

$$P_{д} = \phi (I_{ас}, I_{зеi}).$$

Залежно від інформації диспетчера екіпаж може вносити ті або інші корегування в рішення щодо даної конфліктної ситуації та виконувати відповідні дії.

Логіка алгоритму дозволяє порівнювати рішення екіпажу і диспетчера в розглядуваному повітряному стані, тобто перевіряти умову

$$P'_{еi} = P_{д}.$$

Якщо рішення екіпажу і диспетчера збігаються, то можна говорити про вірний засіб запобігання конфліктній ситуації. Коли ці рішення не збігаються, то, враховуючи пріоритет рішення диспетчера, необхідно виробити корекцію рішення екіпажу. Формування корегувального параметра, рішення екіпажу описується виразом

$$P''_{еi} = \eta (P_{д}).$$

Слід зазначити, що вказівки, які корегують рух ПК, формуються диспетчером з використанням інформації обчислювального центру КІР. Коли такі вказівки сформовані, їх необхідно передати екіпажу на борт ПК. Ця передача реалізується за допомогою каналів зв'язку диспетчера з екіпажем і її можна виразити залежністю

$$I_{зд} = \eta (P''_{еi}).$$

Циклічність процесу циркуляції інформаційних потоків у контурі оперативного контролю і формування ДПС зумовлюють знаходження єдиного оптимального (квазіоптимального) рішення створеної конфліктної ситуації, а також дозволяють в режимі реального часу прогнозувати і попереджувати саме створення конфліктних ситуацій.

Оскільки більшість елементів контуру автоматичного прийняття рішення по суті дублюють і доповнюють один одного, що видно із співвідношень в розробленому алгоритмі, то при використанні такої структури контуру в системі КІР значно підвищиться рівень безпеки польотів і їхня економічність. При цьому робоче навантаження диспетчера буде знижене, що зменшить вплив людського чинника і дозволить оптимізувати розв'язання конфліктної ситуації.

#### Список літератури

1. *Беляевский Л.С., Крыжановский Г.А., Харченко В.П., Ткаченко В.П.* Радиоконтроль траекторий движения летательных аппаратов. –М.: Воздушн. трансп., 1996. – 312 с.
2. *Документ 9524, FANS/4, ИКАО, доклад специального комитета по будущим авиационным системам, четвертое совещание.* –Монреаль, 1988. – 152 с.
3. *Международные стандарты и рекомендуемая практика. Авиационная электросвязь. Приложение 10 к конвенции о Международной организации гражданской авиации. Т.4. Бортовая система предупреждения столкновений.* –Монреаль, 1996. – 254 с.

Стаття надійшла до редакції 16 жовтня 1999 року.