

АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ

Розглядаються недостатньо вивчені питання моделювання процесу обслуговування повітряного руху

Повітряний простір України умовно розподілений на простір, який використовується авіацією, та на простір, який не може бути використаний авіацією за об'єктивними причинами.

Диспетчерське обслуговування повітряного руху (ОПР) організується за умов, якщо надання польотно-інформаційного обслуговування не достатнє. При диспетчерському обслуговуванні повітряного руху авіадиспетчер грає ключову роль у забезпеченні безпечного виконання польоту та вирішує потенціально-конфліктні ситуації за допомогою встановлених технологічних процедур та алгоритмів, технічних засобів та доповідей екіпажів повітряних суден. Диспетчерське обслуговування повітряного руху надається в диспетчерських районах (УТА, СТА, ТМА) та диспетчерських зонах (СТР) у межах усього диспетчерського району чи зони, або тільки у межах маршрутів ОПР, які проходять через диспетчерські райони чи зони.

При наданні диспетчерського обслуговування авіадиспетчер одночасно обробляє необхідну аеронавігаційну та метеорологічну інформацію, на підставі аеронавігаційної інформації та польотних даних прогнозує розвиток повітряної обстановки, проводить координацію польоту ПС із суміжними авіадиспетчерами та в результаті цього процесу видає екіпажу ПС диспетчерські дозволи та вказівки, які забезпечують безпечне виконання польоту ПС за встановленим маршрутом та встановлення оптимального профілю польоту з урахуванням можливостей ПС, економічності та виключення створення потенціально-конфліктних ситуацій за маршрутом польоту ПС. Оптимальні безконфліктні профілі польотів ПС забезпечуються шляхом надання диспетчером відповідних команд пілоту. Кількість таких команд залежить від рівня професійної підготовки авіадиспетчера, розуміння екіпажем ПС встановлених процедур та наявності необхідної інформації, що дає можливість авіадиспетчеру визначити оптимальний профіль польоту ПС у районі його відповідальності.

При спостереженні, обробці інформації та прийнятті рішень авіадиспетчером використовуються можливості зору, нервової системи та мозку. Оскільки ці операції стосуються всієї сукупності ПС, що одночасно знаходяться під контролем авіадиспетчера, і швидкість оброблення інформації мозком дуже велика, то умовно можна вважати, що виконання цих операцій здійснюється багатоканальною (за кількістю ПС) системою.

Для передачі диспетчерських дозволів, вказівок та інформації екіпажам ПС використовується одна робоча частота радіозв'язку, яка за встановленими правилами використовується одним диспетчером в районі його відповідальності. Кожна команда авіадиспетчера передається кожному ПС послідовно з обов'язковим підтвердженням основної частини змісту команди і тому можна вважати, що диспетчерське обслуговування повітряного руху здійснюється одноканальною системою.

Таким чином, оператор (авіадиспетчер) з урахуванням технічних засобів, які ним використовуються, може розглядатися як система з послідовно з'єднаних елементів моніторингу та прийняття рішень, а також елементів передачі необхідної в процесі обслуговування інформації – тобто як послідовне з'єднання багатоканальної системи спостереження і аналізу та одноканальної системи передачі інформації.

Імовірність обслуговування ПС $P_{\text{обсл.}}$ дорівнює добутку ймовірності отримання

необхідної інформації і прийняття правильного рішення $P_{\text{сопр}}$ та ймовірності правильної передачі інформації екіпажу ПС $P_{\text{п.і}}$:

$$P_{\text{обсл.}} = P_{\text{сопр}} \cdot P_{\text{п.і}} \quad (1)$$

На принцип багатоканальності приходиться звертати увагу у зв'язку з можливістю авіадиспетчера обслуговувати одночасно всю сукупність ПС в зоні та при практичному визначенні тривалості обслуговування кожного з ПС при використанні апарату теорії масового обслуговування.

В роботі такої системи ОПР можливі декілька варіантів, а саме:

- при великій завантаженості сектора управління може виникнути ситуація, коли авіадиспетчер не зможе фізично справитись зі збиранням, обробкою інформації та прийняттям рішень;
- авіадиспетчер успішно справляється з переліченими вище функціями, але канал зв'язку не забезпечує необхідної пропускної спроможності;
- авіадиспетчер у зв'язку з перевантаженням не справляється з функціями моніторингу і прийняття рішень, а канал зв'язку не забезпечує необхідної пропускної спроможності.

Вихід із цих ситуацій може бути знайдений шляхом автоматизації процесів збирання та обробки інформації, розвантаження каналу повітряного зв'язку шляхом зменшення обсягу інформації при частковій автоматичній передачі деякої інформації по іншому каналу. Інший шлях полягає у зменшенні кількості ПС, що одночасно знаходяться в зоні управління.

Найчастіше в аеропортах та на маршрутах ОПР польоти ПС здійснюються нерівномірно впродовж доби. Протягом декількох нічних годин у великих аеропортах кількість польотів різко зменшується, доходючи в багатьох випадках до нуля. Це дає можливість при моделюванні використовувати імпульсну, гармонічну та іншу апроксимацію інтенсивності повітряного руху. Ці питання розглядалися в науковій літературі [1,2], але залишаються недостатньо дослідженими.

Розглядаючи систему ОПР як одноканальну систему масового обслуговування, можна відзначити два стани її роботи:

- 0 – система вільна від обслуговування ПС;
- 1 – система зайнята обслуговуванням ПС.

Будемо надалі вважати, що потік ПС, що надходить для обслуговування, нестационарний пуассонівський з параметром $q(t)$, а тривалість часу їх обслуговування розподілена показниково з параметром $\gamma(t)$.

Тоді поведінка системи описується такими диференціальними рівняннями:

$$\begin{aligned} p'_0(t) &= -q(t)p_0(t) + \gamma(t)p_1(t) \\ p'_1(t) &= q(t)p_0(t) - \gamma(t)p_1(t) \end{aligned} \quad (2)$$

Нормуюча умова має вигляд:

$$p_0(t) + p_1(t) = 1 \quad (3)$$

Тут $p_i(t), i = 0;1$ - ймовірність перебування системи в i -тому стані.

Вирішення системи рівнянь (2) з урахуванням (3) при початкових умовах ($t = 0$), $p_0(0) = \eta$, $p_1(0) = 1 - \eta$ має вигляд:

$$p_0(t) = e^{-F(t)} \left\{ \eta + \int_0^t \gamma(u) e^{F(u)} du \right\};$$

$$p_1(t) = 1 - p_0(t); \quad (4)$$

$$F(t) = \int_0^t [q(u) + \gamma(u)] du,$$

де η - імовірність того, що запит на обслуговування ПС надходить в момент, коли система вільна.

У випадках, коли в зоні дії системи одночасно існує деяка кількість n повітряних суден і нема обмежень для обміну інформацією по каналу повітряного радіозв'язку, тому що ця кількість ПС не перевищує максимально допустимого значення, система їх обслуговування може перебувати у таких станах:

- 0 - система вільна від обслуговування ПС;
- 1 - у системі обслуговується одне ПС;
- 2 - у системі одночасно обслуговуються два ПС;
- 3 - у системі одночасно обслуговуються три ПС;

.....

n - у системі одночасно обслуговуються n ПС.

У такому випадку поведінка системи описується диференціальними рівняннями:

$$p'_0(t) - q(t)p_0(t) + \gamma(t)p_1(t)$$

$$p'_1(t) = q(t)p_0(t) - [q(t) + \gamma(t)]p_1(t) + 2\gamma(t)p_2(t)$$

$$p'_2(t) = q(t)p_1(t) - [q(t) + 2\gamma(t)]p_2(t) + 3\gamma(t)p_3(t) \quad (5)$$

$$p'_n(t) = q(t)p_{n-1}(t) - [q(t) + n\gamma(t)]p_n(t)$$

Нормуюча умова виглядає так:

$$\sum_{i=0}^n p_i(t) = 1 \quad (6)$$

При нестационарному пуассонівському потоці ПС при $\gamma(t) = \gamma$ або особливо при інших залежностях $\gamma(t)$ визначення ймовірностей $p_0(t)$ та $p_1(t)$ ускладнюється. Ще більш ускладнені розрахунки при розгляді багатоканальних систем, які обслуговують нестационарний потік запитів (ПС). Для n - канальної системи

$$p_{\text{обсл.}} = 1 - p_n(t)$$

При розробці моделі одноканальної системи, а особливо моделей багатоканальних систем, можливі випадки, коли тривалість часу обслуговування ПС залежить від їх інтенсивності, тобто від міри завантаженості авіадиспетчера. Коли авіадиспетчер не дуже завантажений, середній час обслуговування ПС менший, ніж середній час обслуговування в разі великої його завантаженості, тому що тривалість часу прийняття рішення збільшується. У більш завантаженому режимі роботи зменшується продуктивність і збільшується кількість можливих помилок в роботі авіадиспетчера.

Якщо ставити вимогу, щоб незалежно від інтенсивності потоку запитів середня інтенсивність їх обслуговування була постійною величиною, то це може призвести до збільшення помилок в роботі авіадиспетчера, що не припустимо. Тому для зняття цього

питання максимальна інтенсивність потоку ПС на обслуговуванні авіадиспетчера не повинна перевищувати встановлену норму.

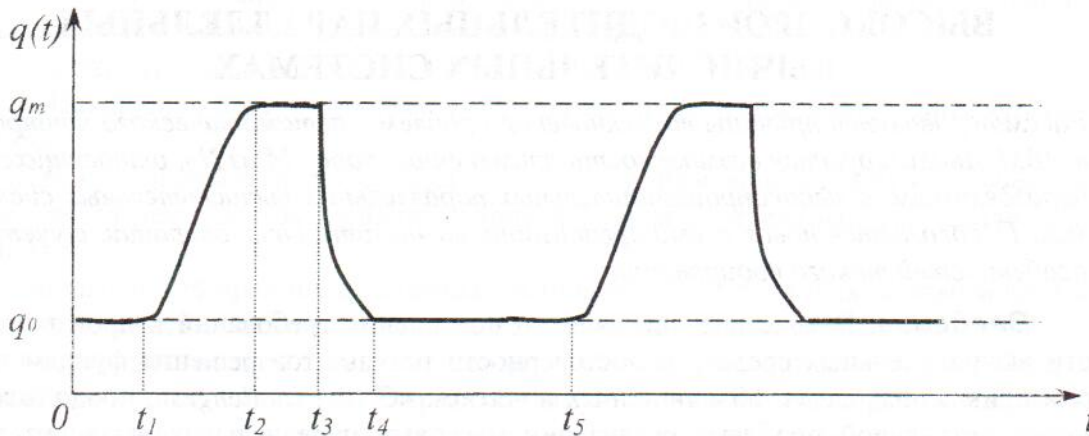


Рис.1 Характер залежності інтенсивності потоку повітряного руху впродовж доби

На рис.1 зображена можлива залежність інтенсивності польотів ПС від часу доби, якій відповідають такі значення:

$$q(t) = \begin{cases} q_0 & \text{при } 0 \leq t \leq t_1 \\ q_0 + q_m (1 - e^{-S_1 t}) & \text{при } t_1 < t < t_2 \\ q_0 + q_m & \text{при } t_2 < t < t_3 \\ q_0 + q_m e^{-S_2 t} & \text{при } t_3 < t < t_4 \\ q_0 & \text{при } t_4 < t < t_5 \end{cases}, \quad (7)$$

де: S_1, S_2 - коефіцієнти, які характеризують перехідний процес зміни $q(t)$ в часі.

В разі, коли має місце стаціонарний режим роботи авіадиспетчера ($q(t) = q, \gamma(t) = \gamma$), з (4) отримуюмо прості вирази:

$$P_0 = P_{\text{обсл.}} = \frac{\gamma}{q_0 + \gamma}; P_1 = \frac{q_0}{q_0 + \gamma} \quad (8)$$

У роботі авіадиспетчерів спостерігаються різні періоди часу, коли завантаженість може змінюватись у великих межах. Вивчення такого перехідного процесу у роботі авіадиспетчера має важливе значення у зв'язку з його впливом не тільки на продуктивність, але і на безпеку повітряного руху.

Список літератури

1. Дем'янюк В.С. Надежность систем управления воздушным движением. – К.: Вища школа, 1997. – 150 с.
2. Дем'янюк В.С., Фисенко В.М. и др. Эксплуатационные методы повышения эффективности АС УВД. – М.: Транспорт, 1988. – 212 с.