

---

УДК 004.932.75

*М.І. ВАСЮХІН, А.М. КАСІМ, В.Д. ГУЛЕВЕЦЬ, О.Л. БОЙКО,  
Н.М. ЧУКАРІНА*

## **МЕТОДИ СТВОРЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ГРАФІЧНИХ ОБРАЗІВ ПРИ ВИРШЕННІ ЗАДАЧ ВІДОБРАЖЕННЯ ПОТОЧНОЇ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРИТОРІЇ АЕРОПОРТУ ТА ПРИЛЕГЛИХ ДО НЬОГО ЗОН**

---

Розглядаються питання вирішення задач відображення поточної обстановки на території аеропорту та прилеглих до нього зон за допомогою її подання у вигляді динамічних графічних образів. Наводиться опис програмних методів представлення повітряної та наземної обстановки в районі руху спостережуваних повітряних об'єктів, які дозволяють поліпшити роботу управління повітряним рухом для кожного класу диспетчерів.

### **1. Вступ**

Основним шляхом удосконалення процесів управління повітряним рухом (УПР) стало створення і впровадження автоматизованих систем і засобів автоматизації, що здійснюють обробку даних і забезпечують їх адекватне представлення диспетчерам [1-3]. Необхідність поліпшення УПР і автоматизації обробки даних була продиктована тим, що традиційні засоби УПР перестали забезпечувати належну якість управління, диспетчери не отримували повного уявлення про динаміку повітряної обстановки і витрачали неприпустимо багато часу на заповнення та обробку даних, необхідних для прийняття рішень по управлінню рухом повітряного судна (ПС). Тимчасова завантаженість диспетчерів за відсутності автоматизованої обробки та представлення даних у реальному часі значно збільшується під час пікових навантажень, при виникненні особливих умов польоту або особливих випадків, коли екіпажу ПС потрібна термінова і ефективна допомога з боку органів УПР.

## 2. Основна частина

Процес автоматизації сфери УПР можна представити такими етапами.

Перший етап автоматизації процесів УПР ставив за свою мету створення і впровадження засобів малої автоматизації збору, обробки і відображення даних первинного та вторинного радіолокаторів (ВРЛ) для невеликих районних центрів (РЦ) із середньою і низькою інтенсивністю польотів, що забезпечують аналогове відображення відміток ПС разом з додатковою інформацією від відповідачів ВРЛ.

Другий етап автоматизації характеризується реалізацією додаткових функцій планування повітряного руху та ототожнення радіолокаційної і планової інформації. Це дозволило здійснювати кореляцію трека ПС з планом польоту, розрахунок поточного плану польоту по маршруту в зоні відповідальності і, як наслідок, підвищити ефективність представлення даних про прогнозований і поточний повітряний рух.

Третій етап автоматизації характеризується розробкою інтегрованих аеродромно-районних засобів обробки даних, що виконують функції системи безпеки, пов'язані з пошуком і запобіганням конфліктних ситуацій: попередження про небезпечні зближення між рухомими повітряними об'єктами, сигналізація про зниження ПС нижче мінімально безпечної висоти, сигналізація про порушення порядку використання повітряного простору, повідомлення про перебування на літаку терориста тощо. У системах і засобах третього етапу автоматизації повинна реалізуватися нова концепція людино-машинної взаємодії на базі графічного інтерфейсу користувача.

Сучасні геоінформаційні аеронавігаційні комплекси реального часу (ГАК РЧ) являють собою складні ергатичні системи, в яких містяться: засоби збору інформації від об'єкта управління, тобто ПС; обчислювальні засоби, об'єднані в апаратно-програмний комплекс, що проводять обробку інформації в цілях підготовки альтернативних варіантів управлінських рішень та забезпечення показу динаміки керованих аерооб'єктів в режимі реального часу; системи відображення інформації, що сприяють візуалізації динамічних сцен (ДС) на картографічній основі; управлінський персонал (оперативний склад ГАК РЧ), що здійснює процес приймання рішень та передачі їх на керований об'єкт. ГАК РЧ є складовою системою захисту території аеропорту та прилеглих до нього зон. В результаті застосування таких комплексів змінюється зміст і психологічна структура праці управлінського персоналу при вирішенні задач УПР. При цьому все більш важливу роль відіграють процеси сприйняття і переробки інформації, ухвалення відповідальних рішень в умовах обмеженого ліміту часу. Включення людини-оператора у вирішення задач УПР зумовлюється психофізіологічними властивостями людини, що дозволяють їй вирішувати задачі управління, повна автоматизація яких неможлива або технічно нераціональна.

Поданий нижче перелік задач, які повинен вирішувати диспетчер сектора управління району повітряного руху, показує різноманіття і складність ухвалюваних людиною оперативних рішень:

- збір та сприйняття інформації про повітряну обстановку, визначення фактичного польоту ПС і моменту входу його в зону відповідальності диспетчера;
- розробка поточного плану польоту та узгодження його з екіпажем і суміжними пунктами управління (поточний план польоту – безконфліктна просторово-часова траєкторія руху ПС – розробляється на підставі інформації про інші поточні плани польотів та практичного їх виконання, враховуючи обмеження у просторі, фактичну метеобстановку, вимоги регулярності й економічності польотів);
- слідкування за поточною траєкторією польоту, порівняння її з траєкторією поточного плану польоту, визначення відхилень за часом, координатами та інтервалами ешелонування;
- прогнозування повітряної обстановки та поточної траєкторії польоту на певному інтервалі часу та попередження пілота про тенденцію до відхилення;
- визначення можливості подальшого польоту по траєкторії поточного плану і ухвалення рішення про вирішення конфлікту;
- узгодження з пілотом і суміжними пунктами управління заходів по ліквідації відхилень від поточного плану, аж до розробки нового плану польоту;

- прийом на управління ПС від сусідніх секторів управління і передача їх диспетчерам сусідніх секторів, прийом повідомлень від відомчих органів і від навігаційних систем [4].

Всі ці дії виконуються диспетчером по одному ПС. Потім він переходить до вироблення управляючих дій по іншому повітряному об'єкту, що входить в сферу його діяльності. Наступний цикл по попередньому ПС поновлюється через деякий проміжок часу. Час диспетчера розподіляється на збір і обробку інформації про повітряну обстановку, її аналіз, прийняття управлінських рішень й передачу їх екіпажу ПС та взаємодіючим службам. Відносні затрати робочого часу диспетчерами РЦ УПР на обслуговування одного ПС оцінюються (у відсотках від загальних витрат) так: радіозв'язок з екіпажами - 30, обробка і ототожнення радіолокаційної інформації - 24, взаємодія із суміжними диспетчерськими пунктами (ДП) - 20, аналіз повітряної обстановки - 16 й ухвалення рішень - 10.

Із зростанням інтенсивності повітряного руху диспетчер відчуває все більшу нестачу часу на виконання технологічних операцій. Скоротити число ПС, що одночасно знаходяться під управлінням одного диспетчера, можна шляхом розділення повітряного простору на сектори управління. Однак при цьому число узгоджень при прийомі-передачі управління зростає пропорційно квадрату числа секторів, ускладнюється робота екіпажу за рахунок збільшення кількості переходів на зв'язок від одного диспетчера до іншого, скорочується час перебування ПС під управлінням одного диспетчера, що ускладнює саме керування [4], хоча з іншого боку розподіл повітряного простору та аеродромів на райони відповідальності ДП забезпечує ефективний контроль за рухом ПС. За типом виконуваних технологічних задач їх можна класифікувати на ДП «Рулювання», «Старту і посадки», «Круга», «Підходу», «Районного Центру», ДП «Місцевих Повітряних Ліній», а також «Аеродромні Диспетчерські Пункти» (таблиця).

Класифікація диспетчерів за типом виконуваних задач

Диспетчер	Обов'язки
«Аеродромного Диспетчерського Пункту» (АДП)	Контролює готовність екіпажу ПС до виконання польоту, доводить до нього необхідну інформацію, складає добовий план польотів, фіксує початок і закінчення виконання польоту, погоджує виконання плану польотів з іншими службами (наприклад, з АДП іншого аеропорту). Диспетчер АДП не здійснює контроль за фактичною повітряною обстановкою
«Рулювання»	Контролює рух ПС по території аеродрому, видає дозволи на буксування, запуск двигунів, рулювання
«Старту і посадки»	Контролює рух на злітно-посадочній смузі та передпосадкової прямій, керує ПС, що злітають і заходять на посадку, видає дозволи на зліт та посадку
«Круга»	Керує рухом ПС в області повітряного простору від 2 км і нижче та в радіусі 50 км від аеродрому. Видає дозволи на виконання заходу на посадку прилітаючим ПС і вказівки про первинний набір висоти влітаючим
«Підходу»	Керує рухом ПС в області повітряного простору, обмеженої висотами 2 та 6 км і віддаленням від аеродрому на 90-120 км. Диспетчер «Підходу» вирішує задачі по визначенню черговості заходу на посадку, а також побудови необхідних інтервалів ешелонування
«Районного Центру»	Контролює політ ПС на висотах від 1,5 до 12 км і в рамках встановлених меж в горизонтальній площині
«Місцевих Повітряних Ліній»	Керує польотом ПС від висоти 1,5 км та нижче і в рамках встановлених меж в горизонтальній площині

Контроль за рухом ПС здійснюється від моменту покидання ним стоянки перед зльотом на аеродромі вильоту до зарулювання на стоянку після посадки на аеродромі призначення.

В умовах інтенсивного повітряного руху під керівництвом одного авіадиспетчера може перебувати одночасно 10-20 ПС.

Отже, основною задачею авіадиспетчера є безперервний контроль за повітряною обстановкою і управління повітряним рухом в межах зони його відповідальності. Для виконання цього завдання він використовує радіотехнічні засоби, засоби радіозв'язку з екіпажами ПС, а також електрозв'язку із суміжними секторами та іншими фахівцями. Його робоче місце обладнано моніторами відображення повітряної обстановки, метеобстановки, різними сигнальними табло, довідковою інформацією, засобами зв'язку. Кожне завдання, що вирі-

шується диспетчером, вимагає наявності інформації. До такої інформації, якою повинен володіти диспетчер, відноситься:

- постійна інформація (інструкції, позивні);
- загальноінформаційна (повідомлення про погоду, стан аеродрому);
- конкретно-інформаційна (час підходу літака до зони, дані про стан літака, результати переговорів);
- оперативна (надається диспетчеру для спостереження через засоби відображення реального часу).

На підставі цієї інформації у диспетчера будується просторово-часовий образ повітряної обстановки (її концептуальна модель), на основі якого він ухвалює конкретне управлінське рішення. При цьому необхідно особливо підкреслити, що кожне рішення приймається ним в умовах обмеженого ліміту часу на його вироблення, оскільки обстановка в районі УПР безперервно змінюється, літаки швидко переміщуються в просторі.

Для підвищення рівня сприйняття оперативної інформації тим або іншим диспетчером, а також для прискорення прийняття ним адекватних рішень нами пропонується представляти поточну ситуацію на території аеропорту і прилеглих до нього зон у вигляді ДС, тобто шляхом візуалізації на картографічному фоні лінійно-обертального руху динамічних символів відповідних повітряних об'єктів. При цьому синтез динамічних ефектів (плоскопаралельний рух, обертання і масштабування символу та картографічного фону) на екрані монітора проводиться чергуванням набору образів, який в тій або іншій мірі моделює моменти реального фізичного процесу.

Для досягнення відмічених задач слід враховувати психофізичні особливості сприйняття оком швидкої зміни образів, а також принципи і особливості формування образів на екрані монітора у реальному часі. Одним з ключових моментів моделювання більшості динамічних процесів є встановлення ряду обмежувальних умов на виконання тих або інших елементів цих процесів, причому ці умови звичайно є досить точним відображенням реальних фізичних обмежень. Найпростіший метод імітації складного руху образу, наприклад векторного символу літака, є малювання фігури як контура на наборі вузлових точок з викликом процедур перетворення координат вузлових точок контура. При цьому малювання самої фігури і перетворення координат вузлових точок виконується за простими й швидко працюючими алгоритмами, а процес перемальовування відбувається майже непомітно для очей навіть на не дуже могутніх персональних комп'ютерах.

При моделюванні руху часто виникає необхідність безперервно відстежувати поточне положення об'єкта у випадках, коли воно безпосередньо визначає сам хід процесу. Визначення координат об'єкта звичайно складності не представляє, оскільки завжди відомі координати вузлових точок. Дещо складніше визначити орієнтацію об'єкта.

Для формування ДС поточної обстановки на території аеропорту та прилеглих до нього зон пропонуються такі методи створення динамічних графічних образів.

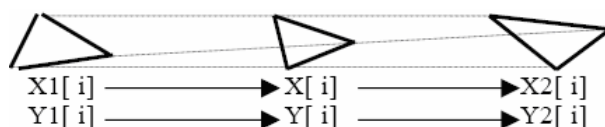
**Метод перерисовування графічного об'єкта** полягає в багатократному його перемальовуванні із зсувом координат – на поточному кроці по поточних координатах об'єкт малюється, запам'ятовуються старі і визначаються його нові координати, задається затримка (її величина визначає швидкість руху об'єкта). Потім слідує малювання кольором фону по старих координатах і повторення процесу на наступному кроці. Цей метод застосовується для виведення не дуже складних об'єктів невеликого розміру, промальовувати які можна достатньо швидко.

**Метод плавної модифікації контурного зображення** використовується для анімації образів, що задаються набором координат вузлових точок. Етапи реалізації методу:

1) задається масив координат вузлових точок вихідного (початкового) контурного зображення ( $X1[1..N]$ ,  $Y1[1..N]$ ). Сполучаючи певним чином ці точки відрізками прямих, одержуємо зображення векторного символу;

2) задається масив координат вузлових точок цільового (кінцевого) контурного зображення ( $X2[1..N]$ ,  $Y2[1..N]$ ). Кількість точок однакова для обох масивів;

3) плавною модифікацією початкового образу одержуємо цільове зображення. Для цього послідовно знаходяться набори координат  $X[1..N]$ ,  $Y[1..N]$  проміжних образів. Кожну  $i$ -ту точку проміжного образу вибирають на відріжку прямої між відповідними точками початкового і цільового контурів, тобто між точкою  $X1[i]$ ,  $Y1[i]$  і точкою  $X2[i]$ ,  $Y2[i]$  (рисунок).



В такий спосіб відрізок ділиться на  $m$  частин, де  $m$  – кількість проміжних образів, включаючи цільовий.

Проміжні образи перемальовуються, поступово віддаляючись від початкового образу.

У випадку рівномірного розподілу відрізків координати вузлових точок проміжних образів можна розрахувати за формулами:

$$x[i] := x1[i] + (x2[i] - x1[i]) * k/m;$$

$$y[i] := y1[i] + (y2[i] - y1[i]) * k/m;$$

де  $k$  – номер проміжного образу;  $m$  – кількість розподілів.

Затримка видимості образу визначає швидкість перетворення. Координати точок проміжних образів можна визначати не тільки рівномірним розбиттям прямих ліній між початковим і цільовим зображеннями, але й сполучаючи точки початкового і цільового контурів по кривих лініях з нерівномірним розбиттям [5].

**Метод мультиплікації із чергуванням відеосторінок.** Для якісних графічних адаптерів можна встановити режими з декількома графічними сторінками. При цьому під час перегляду кадру на одній відеосторінці на іншій організується процес малювання наступного кадру. Потім сторінки перемикаються, невидима сторінка активізується для малювання і процес повторюється. Перемикання сторінок проводиться достатньо швидко, що важливо при створенні якісних образів, що рухаються. Для складних сцен з великим часом перемальовування кадрів метод чергування відеосторінок виступає єдиним прийнятним.

**Метод анімації чергуванням набору образів.** Універсальний прийом створення рухомих зображень – послідовне виведення в потрібних місцях екрану наперед створених наборів образів. Звичайно ці образи запам'ятовуються безпосередньо як фрагменти екрану у вигляді прямокутних масивів пікселів. Цей метод найбільш зручний для моделювання руху, який циклічно повторюється, що на практиці зустрічається досить часто (рух літака «зигзагом»). При запам'ятовуванні фрагмента (межі прямокутної області) графічного екрану під нього потрібно відвести пам'ять певного розміру, тобто зарезервувати необхідний масив байтів для зберігання зображення. При цьому спочатку рисунок (символ літака) охоплюється уявним прямокутником за визначеними координатами його лівого верхнього ( $x1, y1$ ) та правого нижнього ( $x2, y2$ ) кутів, знаючи які отримуємо число байтів для запам'ятовування прямокутника із зображенням у динамічній пам'яті. Розмір пам'яті, що відводиться для зберігання фрагмента, повинен бути менше 64 Кбайт – одного сегмента даних. Цей розмір можна також обчислити за формулою  $(x2-x1+1)*(y2-y1+1)$ .

Далі визначається параметр, який міститиме початкову адресу області пам'яті (буфера), що відводиться для зберігання двійкового образу прямокутної ділянки екрану з координатами ( $x1, y1, x2, y2$ ). Зберігаємо двійковий образ прямокутної області екрану в ОЗП (буфері).

Зчитування графічного фрагмента з динамічної пам'яті здійснюється в точку з координатами лівого верхнього кута прямокутника, у який буде поміщено зображення після його зчитування з динамічної пам'яті. Отже, збережений масив пікселів можна виводити на екран з буфера в позицію, починаючи з верхнього лівого кута області в режимі виведення, який відповідає логічним операціям з бітами, що визначають колір пікселів на екрані та відповідають значенням кольору пікселів, що виводиться з буфера:

**Сору** – заміна зображення на екрані зображенням з буфера (існуюче зображення заміниться копією відповідного фрагмента динамічної пам'яті).

**Хог** – заміна відбудеться за правилами роботи логічної функції «виключаюче АБО» (результат дорівнює 1, якщо значення бітів різні).

**Ог** – заміна відбудеться за правилами роботи функції «АБО» (результат дорівнює 1, якщо один з бітів рівний 1).

**Анд** – заміна відбудеться за правилами роботи функції «І» (результат дорівнює 1, якщо обидва біти рівні 1).

Not – заміна відбудеться за правилами роботи функції «НЕ» (зображення на екрані заміниться інверсним зображенням з буфера).

Бачимо: режим виведення задає спосіб взаємодії пікселів ділянки екрана, куди відбувається зчитування зображення, з пікселями самого зображення.

Колір пікселів зображення з буфера не змінюється, якщо рисунок виводиться в область, яка залита фоном.

Виведення в режимі Хог є зручним для створення зображень, що рухаються, оскільки при першому виведенні одержуємо зображення з буфера, а при другому – відновлюємо зображення на екрані. В буфер поміщають звичайно декілька різних образів, наприклад, символи літака в різних азимутальних напрямках. На екран виводиться перший образ, потім після затримки це виведення повторюють в тому ж місці – відбувається відновлення зображення на екрані. Далі (звичайно в іншій позиції) подібна процедура подвійного виведення проводиться з рештою образів.

Ілюзія руху виникатиме, якщо почергово читати зображення з динамічної області пам'яті, записувати його в певне місце графічного екрана, стирати його після певного часу затримання і, змінюючи координати місцезнаходження зображення в напрямку руху, знову і знову повторювати: записування на екран, затримання, стирання зображення.

Стирання зображення з екрана перед його переміщенням можна здійснити одним із двох способів:

1) Окрім прямокутника з рисунком записати у динамічну пам'ять прямокутник такого ж розміру, що містить фон (ділянку екрана під символом). Після затримання показу зображення зчитати у місці його знаходження прямокутник із фоном і стерти тим самим зображення.

2) Оточити символ більшим прямокутником, сторони якого віддалені від країв символу на  $L$  пікселів. Якщо крок зміни координат зображення вибирати меншим за  $L$ , то нова копія зображення затиратиме попередню. Цей спосіб є вдалим у випадку, коли колір фону в області руху символу є однаковим.

При створенні складних динамічних двовимірних сцен гарні результати вдається отримати лише за умови достатньо швидкого аналізу умов, що визначають характер модельованого процесу.

Більшість комп'ютерних графічних образів при обмеженості обчислювальних ресурсів частіше за все створюється як набір відрізків прямих ліній, що відображає звичайно каркас модельованого об'єкта. Подібні моделі об'єктів легко і швидко можна відображати і при необхідності трансформувати як для статичних, так і для динамічних сцен. Об'єкти при цьому кодуються як сукупність набору координат вершин і послідовності обходу контура по цих вершинах. Для забезпечення обертального руху таких образів зручно використовувати систему рівнянь, яка описує поворот на кут  $\varphi$  точки  $(x, y)$  навколо будь-якої точки з координатами  $(x_0, y_0)$ :

$$x_1 = x_0 + (x - x_0) \cdot \cos \varphi - (y - y_0) \cdot \sin \varphi;$$

$$y_1 = y_0 + (x - x_0) \cdot \sin \varphi + (y - y_0) \cdot \cos \varphi.$$

Координати  $(x_1, y_1)$  задають нове положення точки. При цьому координати точок зламу лінії, яка утворює «літак», заносяться у масив, і кожна пара нових координат обчислюється за наведеною вище системою рівнянь. Слід зазначити, що якщо під час повертання, наступне положення фігури перераховувати на основі координат її точок у попередньому положенні, то через деякий час форма фігури почне спотворюватись. Це відбувається внаслідок накопичення похибок, що виникають у процесі перетворення координат. Щоб цього не відбувалось, необхідно зафіксувати початкове положення фігури у масиві координат точок зламу контуру «літака» і координати точок фігури для кожного нового кута обертання обчислювати за цим початковим положенням. Кількість пар координат точок контурного об'єкта залежить від складності зображення символу.

При побудові символів рухомих об'єктів на екрані монітора необхідно перетворювати розрахункові координати в графічні з дотриманням певних пропорцій, тобто з урахуванням дискретності растрової сітки монітора.

### 3. Висновки

Показана необхідність формування у реальному часі динамічних сцен поточної обстановки на території аеропорту та в прилеглих до нього зонах, що в першу чергу полегшить роботу кожного класу диспетчерів. Для створення динамічних графічних образів запропоновано методи імітації лінійно-обертального руху складних символів літаків, які представлені у векторному вигляді, на картографічному фоні.

**Список літератури:** 1. Агаджанов П.А., Воробьев В.Г., Кузнецов А.А., Маркович Е.Д. Автоматизация самолетовождения и управления воздушным движением: Учебник для вузов гражданской авиации. М.: Транспорт, 1980. 357с. 2. Авиационные автоматизированные комплексы управления и моделирования: Межвузовский сборник научных трудов. К.: КИИГА. 212с. 3. Федоров С.М. Автоматизированное управление самолетами и вертолетами. М.: Транспорт, 1977. 246с. 4. Гасов В.М., Соломонов Л.А. Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ: В 7 кн. Кн. 1. Практическое пособие. М.: Высшая школа, 1990. 127с. 5. Трушин О.В. Методические указания к лабораторным работам по курсу „Интерактивная машинная графика” для подготовки инженеров по специальности 220200 „Автоматизированные системы обработки информации и управления”. Ч. 1. Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 1997. 34с.

*Надійшла до редколегії 17.06.2010*

**Васюхін Михайло Іванович**, д-р техн. наук, проф., старший науковий співробітник Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. Наукові інтереси: інтерактивні геоінформаційні комплекси реального часу. Адреса: Україна, Київ-187, пр. ак. Глушкова, 40, тел. 526-07-73.

**Касім Аніса Мохаммадівна**, аспірант, молодший науковий співробітник Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. Наукові інтереси: програмування 2D комп'ютерної графіки, бази картографічних даних, моделювання повітряної обстановки. Адреса: Київ-187, пр. ак. Глушкова, 40, тел. 526-07-73.

**Гулевець Вадим Дмитрович**, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри землевпорядних технологій Київського Національного авіаційного університету. Наукові інтереси: автоматизовані інтегровані системи захисту особливо важливих об'єктів. Адреса: Україна, Київ, вул. Гарматна, 1.

**Бойко Олена Леонідівна**, аспірант, старший викладач кафедри землевпорядних технологій Київського Національного авіаційного університету. Наукові інтереси: бази просторових даних. Адреса: Україна, Київ, вул. Гарматна, 1, тел. 403-16-38.

**Чукаріна Наталія Миколаївна**, аспірант, асистент кафедри землевпорядних технологій Київського Національного авіаційного університету. Наукові інтереси: бази даних геоінформаційних систем. Адреса: Україна, Київ, вул. Гарматна, 1.