

Г.В. Щербак<sup>1</sup>, І.О. Борозенець<sup>1</sup>, С.Г. Шило<sup>1</sup>, О.М. Дмитрієв<sup>2</sup>, С.В. Кукобко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

<sup>2</sup> Кіровоградська льотна академія національного авіаційного університету, Кропивницький

<sup>3</sup> Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів

## АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО МАСШТАБУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ВІДОБРАЖЕННЯ ПОВІТРЯНОЇ ОБСТАНОВКИ

У роботі наводяться результати наукових досліджень ефекту накладення інформації при застосуванні формулярного способу відображення повітряної обстановки в автоматизованих системах управління повітряним рухом. Розглядаються можливості врахування ефекту накладення формулярів супроводу повітряних об'єктів при формуванні інформаційної моделі обстановки на засобах відображення інформації індивідуального та колективного користування автоматизованих систем управління повітряним рухом. Обґрунтовано показник, що характеризує ступінь перетину кожного окремого формуляру з усіма іншими. За результатами експериментальних досліджень отримано залежності середнього часу сприйняття та ймовірності безпомилкового сприйняття інформаційної моделі повітряної обстановки оператором від коефіцієнту накладення формулярів.

**Ключові слова:** управління повітряним рухом, інтерфейс інформаційного середовища, формуляр супроводу повітряного судна, підтримка прийняття рішення, діяльність авіадиспетчера, інформаційна модель.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Висока динаміка подій, що характерна для процесів організації повітряного руху, великі потоки інформації, якими доводиться оперувати особам, що приймають рішення (ОПР) в автоматизованих системах управління повітряним рухом (АС УПР), а також відповідальність завдань, що вирішуються ними, призвели до широкого впровадження сучасних засобів автоматизації та обчислювальної техніки в практику роботи АС УПР [1]. Значні технічні можливості цих засобів дозволяють істотно підвищити загальну ефективність використання системи інформаційного забезпечення управління повітряним рухом.

Разом з тим, слід зазначити, що ефективність застосування засобів автоматизації і обчислювальної техніки в значній мірі визначається функцією і місцем операторів в системі управління. Ігнорування можливостей авіадиспетчера з прийому та переробки інформації при виконанні ним своїх обов'язків може привести до льотної катастрофи. Так, наприклад, міжнародна статистика свідчить, що з вини оператора відбувається до 50 % надзвичайних подій в авіації [1–3]. В Україні, за даними Національного бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів, протягом 3 останніх років коефіцієнт аварійності за подіями з наслідками високого рівня (катастрофа, аварія, серйозний інцидент) варіювався від 1,24 до 1,7 події на 100 тис. льотних годин [4–6].

Тому проблема раціонального синтезу систем “людина-машина” в АС УПР є однією з найбільш

актуальних. Одним з відповідальних моментів при цьому є вирішення питань, пов'язаних з поданням оператору необхідної інформації про повітряну обстановку (ПО), так як саме це в значній мірі забезпечує своєчасність і правильність прийняття управлінських рішень.

Оскільки умови функціонування системи і індивідуальні особливості ОПР змінюються в широких межах, така взаємодія має бути адаптивною [3]. Це передбачає врахування при проектуванні і функціонуванні засобів відображення інформації про ПО тих функцій, що виконуються людиною-оператором, а також її поточного психофізіологічного стану під час виконання функціональних обов'язків. При цьому структура і характеристики інформаційної моделі (ІМ) на засобах відображення інформації АС УПР повинні змінюватися в залежності від стану ПО з метою досягнення найбільшої ефективності виконання диспетчером пункту управління повітряним рухом своїх функціональних обов'язків [7–8]. Великі обсяги інформації і випадковий характер її розподілу в площі інформаційної моделі на екрані пристрою відображення призводять до виникнення ефекту накладення інформації [7]. Тому синтез ІМ слід проводити з урахуванням впливу негативних наслідків означеного ефекту на діяльність оператора.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При організації повітряного руху одним з основних функціональних елементів АС УПР є система спостереження, що забезпечує подання відповідної інформації, яка безперервно оновлюється в реальному часі.

На засобах відображення інформації про ПО, що забезпечують діяльність диспетчера АС УПР, як мінімум, відображаються дані про місцезнаходження повітряних суден (ПС), картографічна інформація, необхідна для організації повітряного руху на основі спостереження, і, при необхідності, інформація, що стосується ідентифікації та ешелонів польоту ПС [7; 9].

Повітряне судно, яке відображається на екрані засобів відображення ПО радіолокаційною міткою, має поруч з нею так званий формуляр супроводу, що містить потрібну диспетчеру інформацію про поточний стан його польоту [7; 10–13].

Вся інформація формулярів супроводу представляється в уніфікованій, розгорнутій (Detailed) або скороченій (Untagged, Tagged) формі [7]. Формуляри ув'язуються з відповідними відображеннями розташування ПС таким чином, щоб виключити помилкову ідентифікацію об'єкту з боку авіаційного диспетчера.

Аналіз ряду робіт і керівних документів [7; 14–15] свідчить, що в більшості сучасних АС УПР детальний формуляр супроводу ПС має до 14 інформаційних елементів (знакоміць). До них відносяться: позивний, ідентифікатор сектору, тип ПС, поточна висота / ешелон польоту, точка входу / виходу з сектору, швидкість, аеродром призначення, задана висота / ешелон польоту тощо (рис. 1).

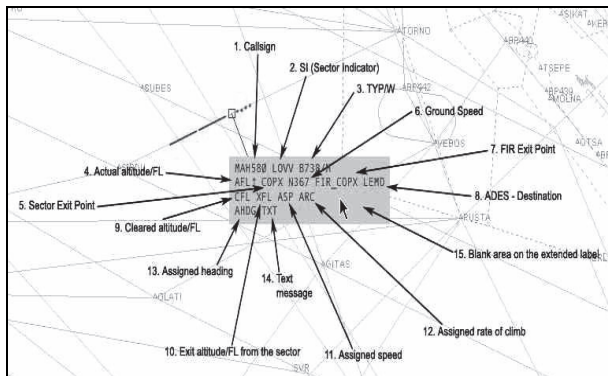


Рис. 1. Склад інформації в детальному формулярі АС УПР TopSky

Зміст інформаційних елементів формуляру супроводу ПС дозволяють оператору АС УПР отримати будь-яку інформацію про окреме ПС, яка потрібна при виконанні функціональних обов'язків. Але при одночасному відображенні декількох формулярів з'являється такий негативний ефект, як накладення інформації, що в свою чергу значно ускладнює сприйняття авіадиспетчером поточної ситуації повітряної обстановки.

**Мета і завдання даного дослідження.** В даний час досвід технічної експлуатації АС УПР свідчить про те, що рішення визначеної проблеми відбувається в неавтоматизованому режимі. Як правило, оператор використовує тільки два способи: перетя-

гування одного з формулярів ПС в вільну зону ІМ і зменшення кількості знакоміць в формулярі (зміну станів або типів формулярів). При цьому збільшується час виконання завдання з управління повітряним рухом і знижується вірогідність вірної оцінки ПО. Тому актуальним є завдання розробки алгоритму адаптивного масштабування ІМ відображення ПО, який може розпізнати накладення формулярів та відобразити їх у відповідному способі розведення, що в сукупності має забезпечити належні умови для оперативної та достовірної оцінки операторами АС УПР кожної з можливих ситуацій повітряної обстановки.

## Виклад основного матеріалу

При накладенні формулярів супроводу ПС утворюється так звана "в'язка" формулярів [9]. Чим більше формулярів входить у в'язку, тим складніші умови для їх сприйняття.

Накладення формулярів супроводу ПС характеризується розміром площі їх перетину. Для кількісної оцінки цієї властивості використовують узагальнений показник – коефіцієнт накладення формулярів –  $K_n$ , який характеризує середнє значення ступеня накладення всіх формулярів, які перетинаються. Цей показник визначають так [16]:

$$K_n = \frac{S_n}{NS_\phi}, \quad 0 \leq K_n \leq 1, \quad (1)$$

де  $S_n = \sum_i S_{n_i}$ , ( $i = \overline{1, N}$ ) – сумарна площа ділянок формулярів, що перетинаються;

$S_{n_i}$  – площа  $i$ -го формуляру ( $\Phi_i$ ), який перетинається хоча б з одним з формулярів;

$S_\phi$  – площа одного формуляру, за умови

$$S_{\phi_1} = S_{\phi_2} = \dots = S_{\phi_i}, \quad S_\phi = S_{\phi_i}.$$

Якщо площі не однакові, маємо:

$$S_\phi = \frac{\sum_i S_{\phi_i}}{N}. \quad (2)$$

Такий показник дає лише загальну усереднену оцінку накладення формулярів. При відносно малих значеннях  $K_n$  серед усіх накладень формулярів супроводу ПС можуть бути такі, які взагалі не можливо ідентифікувати або на їх сприйняття потрібні великі витрати часу. Природно, в таких умовах ймовірність безпомилкового сприйняття інформації про ПО приймає дуже мале значення.

При наявності інформації про ступінь спотворення конкретних формулярів можна вжити заходів щодо зниження негативного впливу накладення формулярів в динаміці оцінки ПО. Тому, доцільно використовувати показник, що характеризує ступінь

перетину кожного формуляру супроводу з усіма іншими. Таким показником може бути коефіцієнт накладення формуляру  $\Phi_i$ :

$$K_{n_i} = \frac{S_{n_i}}{S_{\Phi_i}}, 1 \geq K_{n_i} \geq 0, \quad (3)$$

де  $S_{n_i}$  – сумарна площа перетину  $i$ -го формуляру з усіма іншими.

Від значення  $K_{n_i}$  залежить міра спотворення знакомісць формуляру супроводу, а відповідно й час сприйняття інформації про ПО ( $t_c$ ) та ймовірність її безпомилкового сприйняття ( $P_{\delta c}$ ).

В [13; 16] наведено результати теоретико-експериментальних досліджень, згідно з якими ймовірність безпомилкової інтерпретації інформації оператором і середній час її сприйняття описується рівняннями:

$$P_{\delta c} = 1 - aK_n^4, \quad (4)$$

$$t_c = b + cK_n^3; \quad (5)$$

де  $a, b, c$  – коефіцієнти згладжування, які суттєво залежать від кваліфікації операторів і визначені наступним чином:  $a = 0,14; b = 0,64; c = 1,83$ .

Аналіз цих залежностей свідчить, що через ефект накладання середній час сприйняття формуляру супроводу ПС збільшується приблизно в 2 рази. При цьому не виключені й випадки такого викривлення знаків формуляру, при якому їх інтерпретація взагалі неможлива. В залежності від  $K_n$  середнє значення ймовірності безпомилкового сприйняття інформації про ПС може знизитися в 1,8 рази.

Оцінку впливу накладення формулярів супроводу ПС на оперативну діяльність ОПР (авіадиспетчера) було проведено з використанням автоматизованих робочих місць Тренажерного центру АСУ повітряним рухом “Юлія” та комплексного тренажеру авіадиспетчера Тренажерного центру організації повітряного руху ЛА НАУ (Кропивницький).

Експериментально досліджувались два типи інформаційних моделей. Перший тип ІМ відтворював ситуацію обстановки з накладенням формулярів супроводу ПС, другий тип ІМ – подання тієї ж ситуації без накладення формулярів. Варіанти досліджуваних ІМ показані на рис. 2.

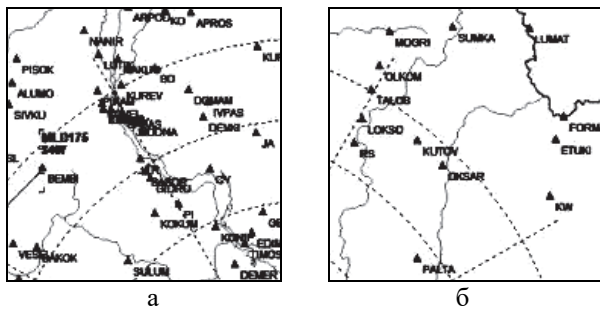


Рис. 2. Варіанти досліджуваних ІМ:

а – з накладенням формулярів ПС; б – без накладення

Порівняльний аналіз цих інформаційних моделей проведено при однакових умовах. Перед операторами згідно процедур, затверджених в [14], ставилось завдання визначити тип, висоту та швидкість повітряних суден при одночасному відображенні 20–30 формулярів супроводу ПС.

Основні результати проведеного експерименту наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

Тип задачі	$\bar{t}_c, c$	$P_{\delta c}$
Однократне накладення	28,9	0,796
Двократне накладення	81,93	0,523
Без накладення	13,63	0,932

Отримані показники свідчать про те, що:

– при одноразовому накладенні формулярів ПС  $\bar{t}_c$  збільшується не менше, ніж в 2 рази;

– при дворазовому накладенні формулярів ПС  $\bar{t}_c$  збільшується не менше, ніж в 6 разів;

– при одноразовому накладенні формулярів ПС ймовірність  $P_{\delta c}$  знижується в 1,2 рази, а при дворазовому – в 1,8 рази.

Наведені значення дозволяють оцінити оперативність та достовірність прийняття рішення операторами АС УПР.

При збільшенні обсягу відображення ПО до 100 формулярів ПС з високим ступенем ймовірності можна розраховувати на збільшення  $\bar{t}_c$  не менш ніж у 7 разів при значному зниженні  $P_{\delta c}$ .

Таким чином, при накладенні формулярів супроводу ПС слід очікувати великих витрат часу на пошук і сприйняття критичних формулярів ПС, що може істотно вплинути на якість оперативної роботи ОПР.

Слід зазначити, що на практиці в подібних ситуаціях авіадиспетчер змушений звертатися до інших осіб чергової зміни для отримання тієї інформації, яку він не може сприйняти через накладення формулярів супроводу ПС. Час отримання цієї інформації може зрівнятися з часом сприйняття ПО в цілому, тобто показники ефективності загальної оцінки ПО людиною-оператором будуть ще більше знижуватися.

Проаналізуємо існуючі методи зниження негативного впливу накладення формулярів супроводу ПС на діяльність авіадиспетчера. Перш за все, необхідно розглянути ті фактори, від яких залежить накладення формулярів. Аналіз рівнянь (4–5) свідчить, що основними чинниками є кількість формулярів ПС, що відображаються ( $N$ ); площа формуляру ( $S_{\Phi}$ ) та масштаб відображення ( $M$ ).

Вплив ефекту накладення проявляється тим сильніше, чим більше обсяг відображення формулярів супроводу ПС. Так, наприклад, в [16] показано, що при зміні  $N$  від 100 до 20, коефіцієнт накладення знижується в 2–2,5 рази. Кількість формулярів, що відображаються, залежить від ПО і від способів групування ПС. Як показано раніше, величина  $N$  може змінюватися в широких межах. Наприклад, в деяких АС УПР передбачено відображення до 250 формулярів [11].

Величину  $N$  можна зменшити при селекції ПС за певними ознаками. Однак, в цьому випадку відображається ПО, яка не адекватна тій, що реально склалася. А це, в свою чергу, може привести до спотворення оцінки загальної обстановки.

Слід зазначити, що через нерівномірний розподіл формулярів супроводу ПС на екрані монітора зниження показника  $N$  може несуттєво впливати на прояв ефекту накладення.

При фіксованому масштабі відображення ІМ ефект накладення проявляється тим сильніше, чим більше лінійні розміри знакомісць і їх кількість у формулярі, тому що ці величини характеризують значення  $S_{\phi}$ . Розміри символів на екрані монітора істотно впливають на умови їх сприйняття, ергономічні вимоги встановлюють оптимальні розміри символів, які не змінюються при масштабуванні ІМ. З урахуванням цих вимог отримуємо:

– для 5-ти значного, короткого (Untagged) формуляру (рис. 3, а) –  $S_{\phi} = 29,3 \text{ мм}^2$ ;

– для 25-ти значного, повного (Tagged) формуляру (рис. 3, б) –  $S_{\phi} = 94,2 \text{ мм}^2$ .



Рис. 3. Приклад відображення формулярів ПС на екрані монітора

Отже, використання коротких формулярів ПС дозволяє зменшити величину  $K_n$  приблизно в 3,5 рази. При цьому інформативність формулярів значно знижується, а для отримання додаткових відомостей оператору потрібно додатково витратити певний час на зміну способу відображення формуляру.

Лінійні розміри формуляру супроводу ПС з урахуванням масштабу відображення можна представити так:

$$l_x = \Delta x M, \quad l_y = \Delta y M, \quad (6)$$

де  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  – лінійні розміри формуляру по горизонталі і вертикалі відповідно, (см);

$M$  – масштаб відображення ІМ (кількість кілометрів в одному сантиметрі).

Легко помітити, що площа, яка “накривається” формуляром  $S_{\phi}$  ( $\text{км}^2$ ), в значній мірі залежить від масштабу відображення ІМ, що використовується оператором. При зменшенні масштабу збільшуються лінійні відстані між формулярами супроводу ПС на екрані монітора. При цьому ймовірність їх накладення зменшується, а отже, зменшується і значення  $K_n$ . Наприклад, в [16] показано, що для  $N = 20$  при трикратному збільшенні масштабу значення  $K_n$  збільшується в 2,2 рази. Розглянуте положення ілюструють приклади відображення формулярів ПС на моніторі, наведені на рис. 4.

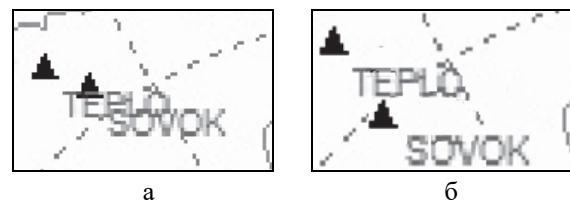


Рис. 4. Інформаційна модель ПО при:  
а –  $M = 1 : 6700000$ ; б –  $M = 1 : 2350000$

Масштабування відображення ІМ може виконуватись за ініціативою оператора [10]. Оператор вибирає той масштаб, який дає максимальне зниження негативного впливу ефекту накладення формулярів.

Недолік такого способу полягає в наступному. По-перше, виникають витрати часу, пов'язані з маніпуляціями органами управління пристрою відображення для визначення тих ПС, які необхідно виділити або відобразити в першу чергу. По-друге, при використанні на робочому місці одного монітора порушується адекватність відображення поточної інформації про повітряну обстановку.

Забезпечення обладнання робочого місця оператора додатковим пристроєм відображення дозволить розширити поле зору ІМ, і таким чином забезпечитись адекватність інформації про ПО, яка відображається.

Перевага такого методу відображення – великий масштаб поля зору, а, отже, і оптимальне сприйняття інформації авіадиспетчером. Недоліком є витрати часу на “перемикання” погляду оператора між екранами моніторів з подальшим обов’язковим ідентифікуванням повітряного судна.

Використання нових інформаційних технологій наразі дозволяє усунути згадані недоліки за рахунок застосування програмних засобів, що дозволяють створювати “поліекран” в інформаційному полі ІМ, або змінювати масштаб виділеної області (ефект

“лупи”) для відображення формулярів супроводу ПС, які підлягають розведенню.

Перевага методу відображення інформації із застосуванням поліекранних засобів (рис. 5) полягає в зниженні часу, що витрачається на перенесення погляду ОПРР, що в свою чергу веде до зменшення часу інформаційного пошуку. Недолік – у великій завантаженості інформаційного поля пристрою відображення.

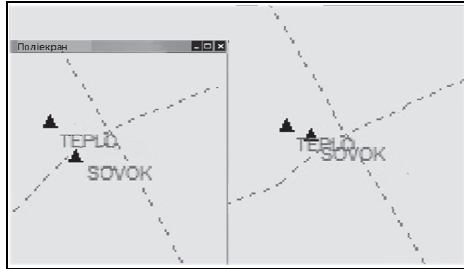


Рис. 5. Застосування методу поліекран

Використання спеціального режиму “лупа” (рис. 6) дозволяє переглядати будь-яку ділянку ІМ в збільшеному масштабі.

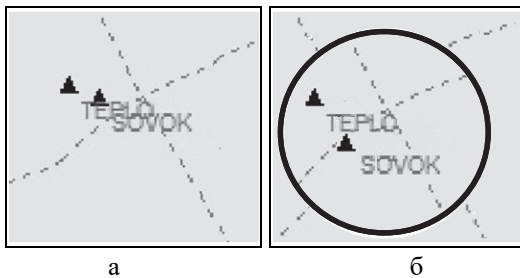


Рис. 6. Інформаційна модель ПО а – без застосування і б – із застосуванням методу “лупа”

Таким чином, зміна масштабу відображення може суттєво знизити негативний вплив ефекту накладення формулярів ПС на діяльність ОПРР.

Враховуючі наведене, розглянемо основні процеси, які пов'язані з розпізнаванням накладення інформації в умовах оцінки ПО. В [17–19] проведено аналіз методів розпізнавання, які можуть бути застосовані для вирішення задачі.

Дані методи використовуються в тих випадках, коли для прийняття рішення в умовах невизначеності і надмірності даних необхідно обробити велику кількість інформації. У випадку, що розглядається, таке завдання не ставиться, тому виникла необхідність в розробці більш простого і, тим не менш, достатньо надійного методу розпізнавання.

Використання будь-якого з розглянутих способів відображення інформації про ПО неминуче пов'язане з виконанням наступних операцій:

- виявлення в'язок формулярів супроводу ПС, тобто фактично розпізнавання накладення формулярів;

- визначення пріоритетів обслуговування (масштабування) в'язок формулярів супроводу ПС;

- реалізація управляючих впливів на програмні модулі системи відображення інформаційної моделі.

Якщо ОПРР доступні кілька способів масштабування (додатковий пристрій відображення, поліекран, “лупа”), він може вибрати той, якому віддає перевагу в конкретній ситуації.

В порівняно простій ПО (при появі 3–4 в'язок) авіадиспетчер досить легко виконує зазначені операції. При цьому неминучі додаткові витрати часу на встановлення пріоритету в'язок і маніпулювання органами управління. Дані витрати можуть бути припустимі у разі, якщо немає жорсткого дефіциту часу.

Слід зазначити, що і в простій ситуації можуть виникнути труднощі встановлення пріоритету обслуговування в'язок. Ці складності обумовлені спотворенням знакомістю формулярів, що характеризують важливість окремих повітряних суден.

У складній ПО при появі великої кількості в'язок і гострому дефіциті часу оцінки ситуації та прийняття рішень доцільно використовувати адаптивне автоматизоване управління масштабуванням інформації, що відображається. Таке управління забезпечить скорочення часу, що витрачається на оцінку обстановки в зоні відповідальності органу управління АС УПР приблизно на 10–15%.

Наведемо основні положення і допущення, які використовуються при розробці одного з варіантів адаптивного управління масштабуванням відображення інформації про повітряну обстановку.

Як було зазначено раніше, чим більше формулярів ПС входить у в'язку, тим складніші умови для їх сприйняття оператором. Накладення формулярів може бути 2-х, 3-х і більше кратним навіть при порівняно невеликих значеннях  $K_{n_i}$ . Цю обставину необхідно враховувати з тією метою, щоб за інших однакових умов в першу чергу обслуговувати в'язки з великою кількістю формулярів.

Тому введемо ознаку накладення формулярів супроводу ПС:  $\pi_{n_i} = 0$  – на формуляр  $\Phi_i$  немає накладення;  $\pi_{n_i} > 0$  – на формуляр  $\Phi_i$  є накладення інших формулярів, кількість яких і характеризує ця величина. Наприклад,  $\pi_{n_i} = 1$  – у в'язці два формуляри (на формуляр  $\Phi_i$  накладається формуляр  $\Phi_j$ ),  $\pi_{n_i} = 2$  – у в'язці три формуляри (на формуляр  $\Phi_i$  накладаються два формуляри) тощо.

Розпізнавання накладення формулярів супроводу ПС фактично зводиться до виявлення тих формулярів, які перетинаються з даним формуляром  $\Phi_i$ . Після виявлення ефекту накладення необхідно визначити значення  $K_{n_i}$  для даної в'язки. В результаті для кожного формуляру супроводу ПС, що ві-

дображається на екрані монітора, визначаються показники  $K_{H_i}$  та  $\pi_{H_i}$ .

Таким чином, для встановлення факту накладення  $\Phi_j$  на  $\Phi_i$  достатньо порівняти різниці координат відповідних ПС  $((x_j, y_j)$  і  $(x_i, y_i)$ ),  $\Delta x_i = x_i - x_j$  та  $\Delta y_i = y_i - y_j$  з розмірами формуляру стосовно використуваному масштабу відображення ( $l_x$  і  $l_y$  відповідно), тобто в даному випадку проводиться стробування формулярів.

Формуляр, що потрапив у строб, вважається таким, що перетинається з формуляром  $\Phi_i$  (рис. 7). При цьому слід зауважити, що  $\pi_{H_i} \neq 0$  у разі, якщо  $|\Delta y| < l_y$ .

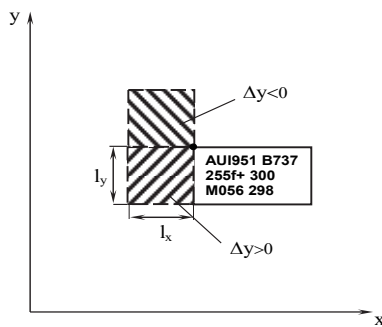


Рис. 7. Процес розпізнавання накладення формулярів

Для спрощення процедури пошуку в'язок введемо масив ПС, що відображаються на екрані монітора АС УПР, в якому вони впорядковані в порядку убавання координати  $z = (x_i, y_i, w_i)$ , при  $x_1 \geq x_2 \geq \dots \geq x_N$ ;  $i=1, 2, \dots, N$ ; де  $w_i$  – важливість  $i$ -го повітряного судна.

Розглянуті положення складають основу алгоритму адаптивного масштабування ІМ відображення ПО. Спрощена структурна схема цього алгоритму представлена на рис. 8. У цьому алгоритмі не розглядається перетин в'язок траєкторій повітряних суден.

За допомогою цього алгоритму є можливість встановити не тільки факт накладення, а й визначити кількість формулярів супроводу ПС, що перетинаються з  $\Phi_i$ , тобто кількість формулярів у в'язці. Для кожного формуляру супроводу ПС визначається значення  $S_{H_i}$ .

Реалізація запропонованого алгоритму адаптивного масштабування ІМ відображення ПО дозволяє сформулювати масив  $Z_H$  формулярів, що перетинаються, елементами якого крім  $x_i, y_i, w_i \in S_{H_i}$  і  $\pi_{H_i}$ . Таким чином, підготовчий етап адаптивного управління масштабуванням ІМ, що відображається на екрані монітора, полягає в формуванні масиву  $Z_H$ .

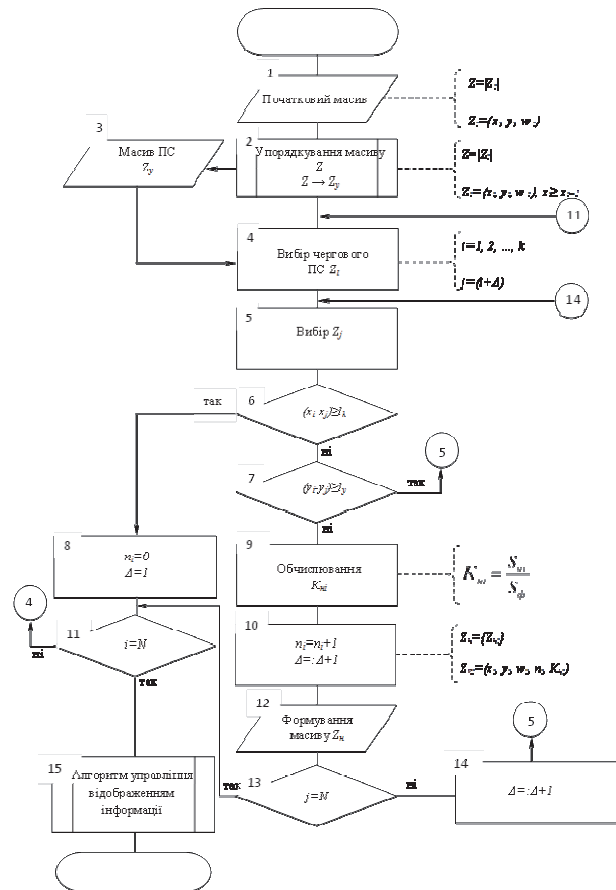


Рис. 8. Структурна схема алгоритму адаптивного масштабування інформаційної моделі відображення повітряної обстановки

На наступному етапі необхідно встановити пріоритет обслуговування в'язок траєкторій ПС. Для цього можна використовувати ознаки  $w_i, S_{H_i}$  і  $\pi_{H_i}$ .

Отже, спираючись на викладене, пропонується можливий варіант реалізації управління масштабуванням формулярів супроводу ПС, що відображаються при їх накладенні.

В першу чергу слід забезпечити швидке безпомилкове сприйняття авіадиспетчером найбільш важливих ПС. Тому для виключення впливу ефекту накладення формулярів супроводу ПС на сприйняття інформації з  $Z_H$  насамперед вибираються ті  $\Phi_i$ , для яких  $w_i$  має максимальне значення. Далі віддається пріоритет тим в'язкам формулярів, для яких  $K_{H_i}$  (або  $\pi_{H_i}$ ) має максимальне значення.

Встановлення правил управління відображенням інформації про ПО при накладенні формулярів супроводу ПС потребує додаткових спеціальних досліджень. Вони повинні враховувати специфіку відображення інформаційної моделі повітряної обстановки та вирішення задач управління повітряним рухом операторами АС УПР в конкретній ситуації. Ці дослідження передбачається виконати найближчим часом.

## Висновки

Розроблений алгоритм адаптивного масштабування інформаційної моделі відображення повітряної обстановки на екрані монітора АС УПР, на відміну від відомих, передбачає: можливість встановлення не тільки факту накладення формулярів супроводу ПС, а й визначення кількості формулярів, що перетинаються; використання нових інформаційних технологій, що дозволяють створювати “поліскран” в інформаційному полі ІМ або змінювати

масштаб виділеної області (ефект “лупи”) для відображення формулярів супроводу ПС, які підлягають розведенню; визначення пріоритетів обслуговування (масштабування) в'язок формулярів супроводу повітряного судна.

Запропоновано можливий варіант реалізації управління масштабуванням формулярів супроводу ПС при їх накладенні, для відображення на робочому місці операторів АС УПР з урахуванням специфіки завдань, що вирішуються.

## Список літератури

1. Szalma J.L. On the application of motivation theory to human factors/ergonomics: Motivational design principles for human-technology interaction / J.L. Szalma // *Human Factors*. – 2014. – Vol. 56, No. 8. – P. 1453-1471.
2. Salmon P.M. Systems-based accident analysis methods: A comparison of Accimap, HFACS, and STAMP / P.M. Salmon, M. Cornelissen, M.J. Trotter // *Safety science*. – 2012. – Vol. 50, No. 4. – P. 1158-1170.
3. Wiegmann D.A. A human error approach to aviation accident analysis: The human factors analysis and classification system / D.A. Wiegmann, S.A. Shappell. – New York, NY: Routledge, 2016. – 184 p.
4. Національне бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами. Аналіз стану безпеки польотів з цивільними повітряними суднами України за результатами розслідування авіаційних подій та інцидентів у 2013 – 2017 роках [Електронний ресурс]. – URL: [http://www.nbaai.gov.ua/uploads/pdf/Analysis\\_5Y.pdf](http://www.nbaai.gov.ua/uploads/pdf/Analysis_5Y.pdf) (дата звернення 22.06.2019).
5. Державна авіаційна служба України. Звіт щодо виконання функцій нагляду за безпекою польотів у системі організації повітряного руху в Україні за 2017 рік [Електронний ресурс]. – URL: <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2016/12/Ukraine-ANS-Safety-Oversight-Report-2017.pdf> (дата звернення 22.06.2019).
6. Наказ національного бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами від 21.02.2019 р. № 3.1-3А. Аналіз стану безпеки польотів за результатами розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами України та суднами іноземної реєстрації, що сталися у 2018 році [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.nbaai.gov.ua/uploads/pdf/Analysis2018.pdf> (дата звернення 22.06.2019).
7. Air Navigation Services Rules. Air Traffic Management / Doc 4444. Sixteenth Edition. – Montreal: ICAO, 2016. – 508 p.
8. Наказ Державної авіаційної служби України від 05.07.2018 р. № 682. Технічні вимоги та адміністративні процедури щодо льотної експлуатації в цивільній авіації [Електронний ресурс]. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1109-18> (дата звернення: 22.06.2019).
9. Aerodrome design manual. Part 4 Visual Aids/ Fourth Edition (Doc.9157, AN/901). Montreal: ICAO, 2004. – 195 p.
10. Software to provide Air Traffic Control services on VATSIM [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.vatsim.net/air-traffic-control/software> (дата звернення: 22.06.2019).
11. Rizwan Y. Nonlinear aircraft modeling and controller design for target tracking / Y. Rizwan, S.L. Waslander, C. Nielsen // *Proceedings of the 2011 American Control Conference IEEE*, 2011. – P. 3191-3196.
12. Tischler M.B. Advances in aircraft flight control / M.B. Tischler. – London: Routledge, 2018. – 750 p.
13. Jategaonkar R.V. Flight vehicle system identification: A time-domain methodology / R.V. Jategaonkar. – Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2014. – 627 p.
14. Повідомлення щодо обслуговування повітряного руху. Авіаційні правила України. Част. 85. [Електронний ресурс]. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0354-02> (дата звернення 22.06.2019).
15. Розпорядження Кабінету Міністрів України 14.06.2017 р. №398-р. Про схвалення Основних напрямів розвитку озброєння та військової техніки на довгостроковий період [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npras/250071205> (дата звернення 22.06.2019).
16. Герасимов Б.М. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта / Б.М. Герасимов, В.А. Тарасов, И.В. Токарев. – Киев: Наукова думка, 1993. – 286 с.
17. Процедура оцінки ступеня небезпеки ситуації обстановки для системи підтримки прийняття рішень в АСУ повітряним рухом / М.А. Павленко, С.Г. Шило, І.О. Борозенець, О.М. Дмитрієв // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтава, 2018. – Вип. 6(52). – С. 25-29.
18. Шило С.Г. Метод формалізації знань про ситуаційний аналіз обстановки для системи підтримки прийняття рішень автоматизованої системи управління повітряним рухом / С.Г. Шило, О.М. Дмитрієв, І.В. Новікова // *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. – Київ, 2018. – Вип. 3(33). – С. 93-98.
19. Шило С.Г. Аналітична модель надійності оператора оперативно-диспетчерської служби МНС / С.Г. Шило, Г.В. Щербак, М.А. Павленко // *Проблеми надзвичайних ситуацій*. – 2009. – Вип. 10. – С. 219-226.

## References

1. Szalma, J.L. (2014), On the application of motivation theory to human factors/ergonomics: Motivational design principles for human-technology interaction, *Human Factors*, Vol. 56, No. 8, pp. 1453-1471.
2. Salmon, P.M., Cornelissen, M. and Trotter, M.J. (2012), Systems-based accident analysis methods: A comparison of Accimap, HFACS, and STAMP, *Safety science*, Vol. 50, No. 4, pp. 1158-1170.

3. Wiegmann, D.A. and Shappell, S.A. (2016), *A human error approach to aviation accident analysis: The human factors analysis and classification system*, Routledge, New York, NY, 184 p.
4. National Bureau of Investigation of Civil Aviation Accidents and Incidents (2019), “*Analiz stanu bezpeki pol'otiv z civil'nimi povitryanymi sudnami Ukrainy za rezul'tatami rozsliduvannya aviacijnih podij ta incidentiv u 2013–2017 rokah*” [Analysis of the safety status of flights with Ukrainian civilian aircraft following the investigation of aviation events and incidents in 2013–2017], available at: [www.nbaai.gov.ua/uploads/pdf/Analysis\\_5Y.pdf](http://www.nbaai.gov.ua/uploads/pdf/Analysis_5Y.pdf) (accessed 22.06.2019).
5. State Aviation Service of Ukraine (2018), “*Zvit shchodo vikonannya funkcij naglyadu za bezpekoyu pol'otiv u sistemi organizaciji povitryanogo ruhu v Ukrainy za 2017 rik*” [Report on the performance of flight safety oversight functions in the air traffic management system in Ukraine for 2017], available at: <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2016/12/Ukraine-ANS-Safety-Oversigh-Report-2017.pdf> (accessed 22.06.2019).
6. The Order of National Bureau of Investigation of Civil Aviation Accidents and Incidents (2019), “*No. 3.1-3A vid 21.02.2019 r. Analiz stanu bezpeki pol'otiv za rezul'tatami rozsliduvannya aviacijnih podij ta incidentiv z civil'nimi povitryanymi sudnami Ukrainy ta sudnami inozemnoji rejestraciji, shcho stalysya u 2018 roci*” [No. 3.1-3A dated 21.02.2019 Flight Safety Analysis Based on Investigation of Aviation Events and Incidents with Ukrainian Civil Airlines and Foreign Registration Vessels in 2018], available at: [www.nbaai.gov.ua/uploads/pdf/Analysis2018.pdf](http://www.nbaai.gov.ua/uploads/pdf/Analysis2018.pdf) (accessed 22.06.2019).
7. ICAO (2016), *Air Navigation Services Rules. Air Traffic Management / Doc 4444, Sixteenth Edition*, Montreal, 508 p.
8. Order of the State Aviation Service of Ukraine (2018), “*Tekhnichni vimogi ta administrativni proceduri shchodo l'otnoji ekspluataciji v civil'nij aviaciji, No. 682 vid 05.07.2018 r.*” [Technical Requirements and Administrative Procedures for Flight Operation in Civil Aviation No. 682 dated 05.07.2018], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1109-18> (accessed 22.06.2019).
9. ICAO (2004), *Aerodrome design manual. Part 4 Visual Aids/ Fourth Edition (Doc.9157, AN/901)*, Montreal, 195 p.
10. VATSIM, *Software to provide Air Traffic Control services on VATSIM*, available at: <https://www.vatsim.net/air-traffic-control/software> (accessed 22.06.2019).
11. Rizwan, Y., Waslander, S.L. and Nielsen, C. (2011), Nonlinear aircraft modeling and controller design for target tracking, *Proceedings of the 2011 American Control Conference*, IEEE, pp. 3191-3196.
12. Tischler, M.B. (2018), *Advances in aircraft flight control*, Routledge, London, 750 p.
13. Jategaonkar, R.V. (2014), *Flight vehicle system identification: A time-domain methodology*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Reston, VA, 627 p.
14. Ministry of Transport of Ukraine (2012), “*Povidomlennya shchodo obslugovuvannya povitryanogo ruhu. Aviacijni pravila Ukrainy. Chast. 85*” [Approval of the Air Traffic Service Notices – Aviation Rules of Ukraine, Part 85], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0354-02> (accessed 22.06.2019).
15. The Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine (2017), “*Pro skhvalennya Osnovnih napryamiv rozvitku ozbrojennya ta vijs'kovoji tekhniki na dovgostrokovij period No. 398-p vid 14.06.2017*” [On approval of the Main directions of development of arms and military equipment for the long term No. 398-p dated 14.06.2017], available at: <https://www.kmu.gov.ua/ua/nps/250071205> (accessed 22.06.2019).
16. Gerasimov, B.M., Tarasov, V.A. and Tokarev, I.V. (1993), “*Cheloveko-mashinnye sistemy prinyatiya reshenij s elementami iskusstvennogo intellekta*” [Man-machine decision-making systems with elements of artificial intelligence], Naukova dumka, Kyiv, 286 p.
17. Pavlenko, M.A., Shilo, S.G., Borozhenec, I.O. and Dmitriev, O.M. (2018), “*Procedura ocinki stupenya nebezpeki situaciji obstanovki dlya sistemi pidtrimki priynyattya rishen' v ASU povitryanim ruhom*” [Procedure for the assessment of the degree of danger of the situation of the situation for the decision support system in air traffic control systems], *Control, Navigation and Communication Systems*. No. 6(52), pp. 25-29.
18. Shilo, S.G., Dmitriev, O.M. and Novikova, I.V. (2018), “*Metod formalizacii znan' pro situacijnij analiz obstanovki dlya sistemi pidtrimki priynyattya rishen' avtomatizovanoji sistemi upravlinnya povitryanim ruhom*” [Method of formalizing knowledge about situational situation analysis for decision support system of automated air traffic control system], *Modern Information Technologies in the Field of Security and Defense*, No. 3(33), pp. 93-98.
19. Shilo, S.G., Shcherbak, G.V. and Pavlenko, M.A. (2009), “*Analitichna model' nadijnosti operatora operativno-dispatchers'koji sluzhbi MNS*” [Analytical model of reliability of the operator of operational and dispatching service of the Ministry of Emergencies], *Emergency problems*, No. 10, pp. 219-226.

Надійшла до редколегії 27.06.2019

Схвалена до друку 10.09.2019

#### Відомості про авторів:

##### Щербак Геннадій Владиславович

кандидат технічних наук доцент  
доцент Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-8462-6147>

##### Борозенець Ігор Олексійович

кандидат технічних наук  
старший викладач Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-1162-9966>

#### Information about the authors:

##### Gennadiy Shcherbak

Candidate of Technical Sciences Associate Professor  
Senior Lecturer of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-8462-6147>

##### Igor Borozhenec

Candidate of Technical Sciences  
Senior Instructor of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1162-9966>



**Шило Сергій Георгійович**

кандидат технічних наук доцент  
викладач Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-5782-552X>

**Дмітрієв Олег Миколайович**

кандидат технічних наук  
завідувач кафедри Кіровоградської льотної академії  
Національного авіаційного університету,  
Кропивницький, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-1079-9744>

**Кукобко Сергій Вікторович**

кандидат технічних наук старший науковий співробітник  
начальник науково-дослідного відділу  
Державного науково-дослідного інституту випробувань  
і сертифікації озброєння та військової техніки,  
Чернігів, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-6289-4458>

**Serhiy Shylo**

Candidate of Technical Sciences Associate Professor  
Lecturer of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-5782-552X>

**Oleh Dmitriiev**

Candidate of Technical Sciences  
Head of Department of Kirovograd Aircraft Academy  
of the National Aviation University,  
Kropivnitsky, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1079-9744>

**Sergiy Kukobko**

Candidate of Technical Sciences Senior Research  
Chief of Scientific Research Department  
of State Research Institute for Testing and Certification  
of Arms and Military Equipment,  
Chernigiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-6289-4458>

**АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОТОБРАЖЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ**

Г.В. Щербак, И.А. Борозенец, С.Г. Шило, О.Н. Дмитриев, С.В. Кукобко

*В работе приводятся результаты научных исследований эффекта наложения информации при применении формулярного способа отображения воздушной обстановки в автоматизированных системах управления воздушным движением. Рассматриваются возможности учета эффекта наложения формуляров сопровождения воздушных объектов при формировании информационной модели обстановки на средствах отображения информации индивидуального и коллективного пользования автоматизированных систем управления воздушным движением. Обоснован показатель, характеризующий степень пересечения каждого отдельного формуляра со всеми остальными. По результатам экспериментальных исследований получены зависимости среднего времени восприятия и вероятности безошибочного восприятия информационной модели воздушной обстановки оператором от коэффициента наложения формуляров.*

**Ключевые слова:** управление воздушным движением, интерфейс информационной среды, формуляр сопровождения воздушного судна, поддержка принятия решения, деятельность авиадиспетчера.

**ALGORITHM FOR ADAPTIVE SCALING  
OF INFORMATION MODEL OF AIR DISPLAY IMAGING**

G. Shcherbak, I. Borozenec, S. Shylo, O. Dmitriiev, S. Kukobko

*Modern experience of technical operation of automated air traffic control systems indicates that the solution to the problem of eliminating the overlapping effect in formulary way of displaying the air picture occurs in a non-automated mode. As a rule, the operator uses only two methods: dragging one of the aircraft tracking form into the free zone of the information model and reducing the number of familiarity in the form (switching between states or types of forms). This increases the time to perform the task of managing air traffic and reduces the likelihood of assessing the air picture. Therefore, the urgent task is to develop an adaptive scaling algorithm for the information model of displaying the air picture, which can recognize the overlapping forms and reflect them in the appropriate method of division. That should provide appropriate conditions for reliable operators' assessment of the air traffic. The paper presents the results of scientific studies of the effect of overlapping information when applying the formular method of displaying the air picture in modern automated air traffic control systems. The article considers the possibility of taking into account the effect of the overlap of aircraft tracking in the formation of the model of the air picture on the means of displaying information for individual and collective use of automated air traffic control systems. The indicator characterizing the degree of intersection of each individual aircraft tracking form displayed on the screen is substantiated. According to the results of experimental studies, we can see the dependences of the average perception time and the probability of error-free perception of the information model of the air picture by the operator on the coefficient of the overlapping forms. The developed algorithm for adaptive scaling of the information model of displaying the air picture on the monitor screen of an automated air traffic control system, in contrast to the known ones, provides for: the possibility of determining the fact of the imposition of aircraft tracking forms together with the number of overlapping forms; the use of new information technologies that allow you to create a "split screen" in the field of the information model of the air picture or change the scale of the selected area (magnifying effect) to display the aircraft tracking forms that should be visually divided; prioritization of service (scaling) of interconnected aircraft tracking forms. The article suggests a possible implementation variant for managing the scaling of aircraft tracking forms when they are applied for displaying on the workplace of operators of an automated air traffic control system taking into account the complexity of these tasks.*

**Keywords:** air traffic control, information environment interface, aircraft tracking form, decision-making support, air traffic controller activities.