

УДК 656.7.05;351.814.2(045)

<sup>1</sup>Ю.В. Чинченко, к.т.н., доц.  
<sup>2</sup>С.Т. Поліщук, к.т.н., доц.

## ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИКОНАННЯ ПОЛЬОТІВ У РАЙОНІ АЕРОДРОМУ

Національний авіаційний університет

<sup>1</sup>E-mail: jdestiny@ukr.net<sup>2</sup>E-mail: stp@nau.edu.ua

*Наведено теоретичні аспекти розроблення інтерактивної системи забезпечення гарантованого рівня безпеки повітряного руху в аеродромній зоні. Розглянуто сукупність програмних засобів для моделювання процесів виконання польотів у районі аеродрому.*

**Ключові слова:** аеронавігаційна система, безпека польотів, інтерактивна система забезпечення гарантованого рівня безпеки повітряного руху в аеродромній зоні, організація повітряного руху, оцінка загроз та ризиків, програмне забезпечення.

### Постановка проблеми

Інтеграція України до міжнародної авіаційної спільноти, вимоги Міжнародної організації цивільної авіації та Євроконтролю зумовлюють необхідність розробки методологічних основ оцінки безпеки польотів та вдосконалення процесів прийняття рішень диспетчерським персоналом у системі обслуговування повітряного руху (ОПР) на основі застосування положень системного підходу і сучасних інформаційних технологій.

За допомогою відповідних програмно-апаратних моделюючих комплексів експерти зможуть успішно вирішувати складні завдання щодо забезпечення потрібного рівня безпеки в аеронавігаційній системі в різних умовах функціонування.

В Україні немає вітчизняних комплексних рішень у галузі цивільної авіації, які дозволять успішно вирішувати зазначені теоретичні та практичні проблеми.

Закордонні програмні комплекси є досить дорогими, складними в експлуатації та технічному супроводженні. Крім того, вони не враховують особливості аеронавігаційної системи України (налаштовані на європейські стандарти та технічне обладнання) та є дуже складними в налаштуванні до конкретних умов замовника, тобто не є гнучкими програмними продуктами.

Разом з тим в авіаційній галузі застосовують новітні наукові технології для планування структури повітряного простору, обчислення пропускної здатності секторів ОПР та моделювання прильотів та вильотів повітряних суден (ПС) на аеродроми.

**Мета** роботи – розроблення алгоритмів обчислення загроз та ризиків у системі ОПР.

В основу інтерактивної системи забезпечення гарантованого рівня безпеки повітряного руху в

аеродромній зоні покладено дослідження небезпек та ризиків, принципів розробки і використання інтерактивних систем у системі організації повітряного руху та особливості діяльності авіадиспетчерів для забезпечення кваліфікованого ОПР в аеродромних зонах.

Розроблені програмні засоби використовуються для моделювання процесів виконання польотів у районі аеродрому, оцінки безпеки польотів при ОПР та визначення параметрів потоків повітряного руху та діяльності персоналу ОПР [1].

Розглянемо класифікацію програмних засобів, що використовують для дослідження/автоматизації процесів в системі організації повітряного руху [2–4]:

- засоби аналізу загроз та ризиків в системі ОПР, оцінки рівня безпеки польотів при ОПР, дослідження процедур ОПР, ризиків зіткнення ПС в районі аеродрому та на аеродромі, діяльності людини-оператора тощо;
- засоби оцінки пропускної здатності та моделювання потоків повітряного руху на маршруті, в районі аеродрому та на площі маневрування;
- засоби планування та оптимізації певних елементів або всієї структури повітряного простору ОПР.

### Системи збору даних про події, пов'язані з безпекою польотів

До систем збору даних про події, пов'язані з безпекою польотів при ОПР (Air Traffic Safety Event Data Systems) відносяться:

- системи обов'язкових повідомлень;
- системи добровільних повідомлень;
- автоматичні системи повідомлень.

Ці програмні засоби розроблені для збору, впорядкування та аналізу даних щодо авіаційних

подій, що виходять за межі допустимого рівня безпеки польотів при ОПР [5–8].

Такі програмні засоби можуть містити детальний аналіз певної авіаційної події або бази даних щодо багатьох авіаційних подій за тривалий проміжок часу.

Типові програмні засоби подання обов'язкових повідомлень:

- Aviation Safety Monitoring System – ASMS (Система моніторингу авіаційної безпеки);

- Civil Aviation Daily Occurrence Reporting System – CADORS (Система щоденних донесень про авіаційні події в цивільній авіації);

- Identifying Needed Defences in the Civil Aviation Transport Environment – INDICATE (Система виявлення потрібних засобів захисту в транспортному середовищі цивільної авіації);

- Mandatory Occurrence Reporting Scheme – MORS (Система обов'язкових донесень про авіаційні події).

До системи добровільних повідомлень відносять системи:

- Aviation Safety Reporting System – ASRS (Система повідомлень щодо авіаційної безпеки);

- Confidential Aviation Incident Reporting – CAIR (Система конфіденційних повідомлень щодо авіаційних інцидентів);

- Confidential Human Factors Reporting Programme – CHIRP (Програма конфіденційних повідомлень щодо людського фактору).

Програмний засіб для реалізації функції автоматичної системи повідомлень Automatic Safety Monitoring Tool (ASMT) надає інтерфейс для моніторингу безпеки польотів за допомогою аналізу сукупності авіаційних подій, що відбулися у виробничій діяльності. Automatic Safety Monitoring Tool розроблений EUROCONTROL Experimental Centre (EEC) у співпраці з експертами Maastricht Upper Airspace Centre.

Програмний засіб ASMT допомагає:

- класифікувати сукупність авіаційних подій групою спеціально підготовлених експертів;

- виявляти основні причини небезпечних подій в системі;

- удосконалювати відповідні процедури ОПР;

- вносити зміни у структуру повітряного простору;

- обґрунтовувати використання обладнання на робочому місці та належне застосування виробничих операцій персоналом ОПР.

Переваги використання програмного засобу ASMT полягають у такому:

- національні провайдери аеронавігаційних послуг отримують більш деталізовану інформацію щодо авіаційних подій;

- у програмі є зручні інструменти для класифікації подій та пошуку необхідної інформації за певними критеріями.

До програми включено:

- інформаційний модуль для розслідування авіаційних подій;

- візуальний індикатор безпеки польотів;

- розрахунковий модуль прогнозування безпеки польотів;

- навчальний модуль.

### **Тренажерні системи неінтерактивного відтворення повітряної обстановки**

Тренажерні системи неінтерактивного відтворення повітряної обстановки (Air Traffic Replay and Non-interactive Simulation) створені для забезпечення наглядного відображення авіаційних подій, що відбулися, та дослідження факторів, що їх спричинили.

Програми використовують для зручного візуального подання етапів розвитку аварійної ситуації як додатковий матеріал до письмових звітів щодо розслідування авіаційних подій. Ці засоби дозволяють не тільки відобразити всі ключові моменти реальних подій, а й створити сценарії можливих подій, наприклад, на основі статистичних даних [9–11].

Ці програмні засоби призначені для детального аналізу авіаційних подій та інцидентів, що вже відбулися в минулому. Вони не мають можливості надання рекомендацій та втручання в діяльність авіадиспетчера в режимі реального часу.

У програмних засобах цього класу реалізовані функції довільного регулювання швидкості відображення інформації (прискорення та зменшення швидкості, режим паузи) для розширення можливостей експертів щодо оцінки причин та наслідків досліджуваних авіаційних подій.

До складу цих програм включені додаткові програмні модулі, що виконують різноманітні супутні задачі, а саме: змінюють у широкому діапазоні параметри працездатності людини-оператора, кількість та траєкторії руху ПС, структуру маршрутів ОПР, процедури персоналу тощо.

Це дає змогу проаналізувати та оцінити статистичну ймовірність виникнення авіаційних подій у широкому діапазоні впливу різних факторів. У результаті це сприяє зменшенню кількості подібних авіаційних подій у майбутньому завдяки їх детальному дослідженню та вивченню факторів, що спричинили найбільший вплив.

До систем такого класу відносяться:

- Radar Analysis Debriefing System – RADS (Система постаналізу радіолокаційних даних);
- Future ATM Concepts Evaluation Tool – FACET (Програмний засіб для оцінки наслідків впровадження перспективних концепцій організації повітряного руху);
- Graphical Airspace Design Environment – GRADE (Середовище графічного дизайну повітряного простору);
- Performance Data Analysis & Reporting System – PDARS (Система аналізу даних та надання доносень щодо експлуатаційної продуктивності);
- Reorganized ATC Mathematical Simulator – RAMS Plus (Оновлений математичний тренажер для цілей ОПП);
- Sector Design Analysis Tool – SDAT (Програмний засіб для аналізу структури секторів ОПП);
- Replay Interface of TCAS Events – RITA (Програмний засіб для візуального відображення подій TCAS).

Програмний комплекс Reorganized ATC Mathematical Simulator (RAMS Plus™) моделює велику кількість процесів у системі ОПП у доволіному/прискореному масштабі часу.

Комплекс RAMS Plus™ дозволяє користувачу розробити детальну модель усієї системи ОПП, включаючи діяльність авіадиспетчерів.

У програмному комплексі реалізована можливість:

- високоточного та деталізованого моделювання процедур ОПП;
- 4D моделювання параметрів руху більше ніж 300 ПС одночасно;
- 4D виявлення ПС;
- вирішення потенційно-конфліктних ситуацій на основі системи правил та моделювання діяльності авіадиспетчера відповідно до поточної повітряної обстановки.

Таким чином, RAMS Plus™ дозволяє одночасне високоточне моделювання як діяльності авіадиспетчера, так і параметрів руху ПС, що робить цей програмний продукт корисним для широкого спектра дослідницьких задач в авіаційній галузі (рис. 1).

### Засоби інтерактивного моделювання

Програмні засоби інтерактивного моделювання (Human Interactive Simulation Tools and Facilities) потрібні для детального та точного моделювання діяльності людини-оператора в авіації, авіадиспетчерів, пілотів, інженерного складу тощо. Це важливо для досліджень впливу конкретних факторів у певних виробничих умовах на поведінку людини.

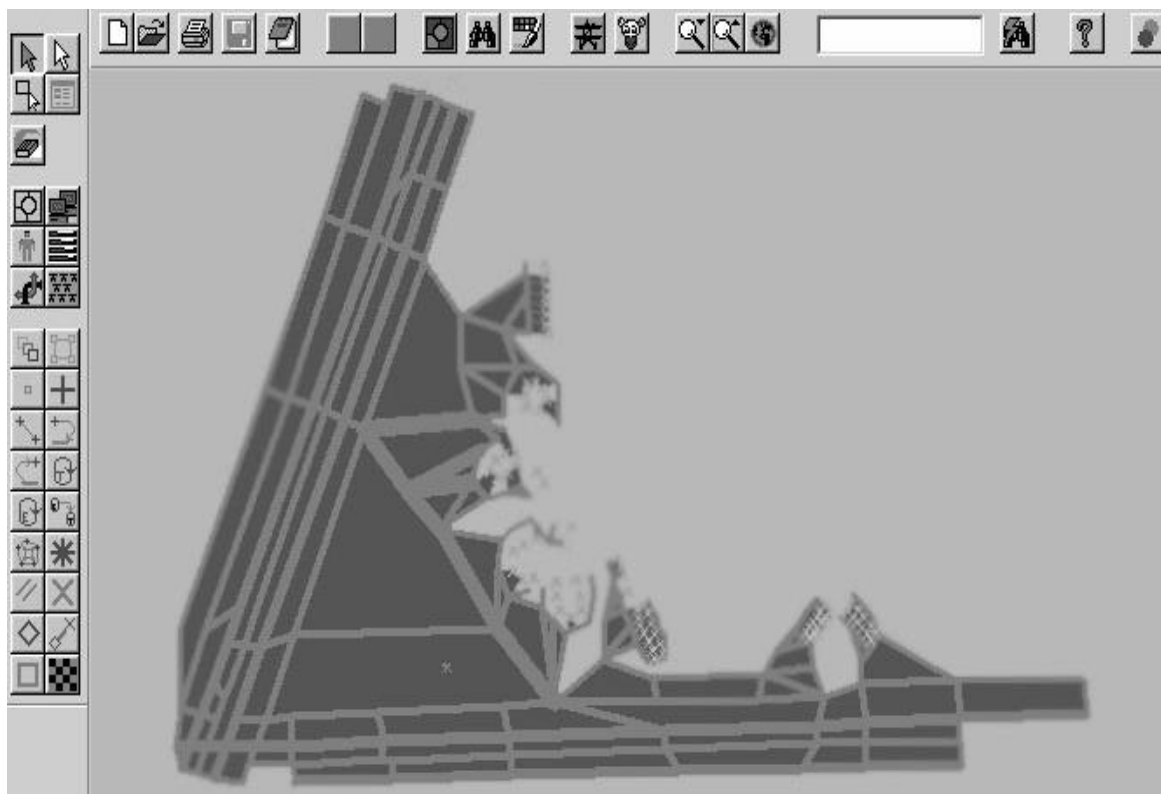


Рис. 1. Інтерфейс Reorganized ATC Mathematical Simulator

Деякі з програмних засобів можуть бути використані як окремі модулі в більш складних моделюючих системах для підвищення точності параметрів діяльності людини-оператора.

Програмні засоби застосовують для дослідження безпеки польотів та впливу на неї людського фактору при ОПР, льотній експлуатації, оцінки ефективності нового обладнання, правил, процедур, комплексного дослідження їх впливу на діяльність людини-оператора.

Такі програмні засоби досить різноманітні – від простих утиліт, що встановлюються на персональних комп'ютерах, до складних програмних комплексів, що розміщуються в окремих лабораторіях та потребують численного персоналу та спеціального апаратного забезпечення.

До таких програмних засобів відносяться:

1) системи, що використовуються переважно в навчальному процесі:

- Aviation Research and Training Tools – ARTT (Програмний засіб для виконання досліджень та тренування в цивільній авіації);

- BEST Air Traffic Control Simulators;

- Controlled Airspace Synthetic Environment – CASE (Штучне середовище моделювання контрольованого повітряного простору);

- Durable Aviation Trainer Solutions - Tower and Radar – DATS (Авіаційний навчальний комплекс для аеродромної диспетчерської вишки та радіолокаційного обслуговування);

- Evans & Sutherland Tower Trainer;

- MaxSim;

2) повноцінні моделюючі лабораторії:

- EUROCONTROL Simulation Capability Platform for Experimentation – ESCAPE (Експериментальна тренажерна платформа Євроконтролю);

- FAA Center for Aviation Simulation (Авіаційний тренажерний комплекс);

- FAA R&D Human Factors Laboratory – RDHFL (Лабораторія FAA (США) для дослідження людського чинника);

- Future Flight Control;

- NLR's Air Traffic Control Research Simulator – NARSIM (Тренажерна система NLR для досліджень в області ОПР);

- Pseudo Aircraft Systems (PAS);

- SMGCS Airport Movement Simulator – SAMS (Тренажер для моделювання наземного руху на площі маневрування аеродрому).

Для дослідження безпеки польотів в системі ОПР використовують платформу ESCAPE, яка була розроблена в 1996 р. експериментальним

центром Євроконтролю в Бретині (Франція) і за цей час була суттєво покращена та доповнена великою кількістю додаткових функцій.

Актуальна 6-та версія платформи активно використовується у EUROCONTROL Experimental Centre (EEC) для різноманітних дослідницьких та прикладних завдань у галузі цивільної авіації.

Платформа моделювання ОПР в реальному часі система ESCAPE може бути використана для моделювання, польових випробувань та навчальних цілей.

Платформа ESCAPE є найбільшим тренажером ОПР в реальному часі в Європі з можливістю моделювання різноманітних сценаріїв повітряної обстановки. З 2000 р. система ESCAPE має дві окремі версії:

- навчальна версія для тренажерної підготовки Real Time Simulation (RTS) Platform стабільна та надійна у використанні;

- дослідницька Experimentation And Trial (EAT) Platform for R&D and pre-operational validation гнучка, але менш стабільна, підтримує детальне налаштування більшості параметрів, можливість підключення додаткових модулів.

У подальшому дослідницька версія EAT була вдосконалена і отримала нову назву «ACE». Сучасна версія «ACE» є сумісною з EAT, може використовуватися паралельно з нею, але вважається основною платформою для проекту ESCAPE з 2003 р.

Таким чином, платформи RTS, EAT та «ACE» побудовані за єдиною концепцією ESCAPE та використовуються в рамках проекту Євроконтролю Simulation Capability and Platform for Experimentation (ERIS).

Платформа ESCAPE має величезний потенціал для вирішення прикладних задач щодо безпеки польотів при ОПР та може бути застосована для широкого спектру дослідницьких, теоретичних, практичних та навчальних цілей.

### **Програмні засоби для аналізу ризику**

Програми для дослідження загроз та ризиків у системі ОПР (Risk Analysis Tools) використовуються для комплексного моделювання діяльності людини-оператора та отримання масивів статистичних даних щодо рівнів ризику в певних умовах та найбільш небезпечних загроз у системі ОПР.

Програмні засоби частково вирішують проблему невеликої загальної кількості інформації для дослідницьких цілей щодо авіаційних подій (інцидентів), помилок експлуатаційного персоналу та надійності обладнання.

Ці програмні засоби мають можливість генерувати вибірку подій потрібного типу на основі заданих критеріїв та правил.

Моделювання ризиків може бути застосовано щодо певних подій, процедур діяльності персоналу та дій. Виявлені небезпеки в системі ОПР оцінюють з погляду пов'язаних із ними ризиків, потім досліджують фактори і комбінації, які спричиняють певні авіаційні події при ОПР.

Таким чином, програмні засоби цього класу дозволяють проводити дослідження в галузі безпеки польотів шляхом ґрунтовного аналізу небезпек та ризиків. Вони мають можливість штучно збільшити загальну вибірку подій та пов'язаних з ними ризиків, якщо це необхідно для математичного моделювання та статистичних дослідницьких задач.

До програмних продуктів цього класу відносяться:

- 1) засоби для створення безпечної системи:
  - Fault Tree+ (Event Tree Module) – Модуль побудови дерева подій;
  - Fault Tree+ (Fault Tree Module) – Модуль побудови дерева відмов;
  - FaultrEASE;
  - Safety and Risk Evaluation using Bayesian Nets (SERENE) – Програмний засіб оцінки ризиків та рівня безпеки за допомогою мережі Байєса;
- 2) засоби виявлення причинно-наслідкових зв'язків:
  - Quantitative Risk Assessment System – QRAS (Система кількісної оцінки ризиків);
  - TapRoot;
- 3) засоби прогнозування ризиків:
  - @RISK;
  - Analytic Blunder Risk Model – ABRM (Аналітична модель оцінки ризику помилкових дій);
  - Reduced Aircraft Separation Risk Analysis Model – RASRAM (Аналітична модель для аналізу ризиків, пов'язаних зі скороченими мінімумами ешелонування);
  - Traffic Organization and Perturbation AnalyZer – TOPAZ (Аналізатор формування та зміни потоків повітряного руху).

### **Програмні засоби для дослідження людського фактору**

Останніми 10 роками всі пов'язані з ОПР авіаційні події були спричинені помилками людини-оператора, тобто пов'язані з людським фактором.

У класі програмних засобів Human Factors Analysis Tools вивчаються ризики, що відносяться

до працездатності людини-оператора (когнітивної, сприйняття, фізіологічної, моторної) та інтерфейсу «людина – обладнання на робочому місці».

За допомогою цих програмних засобів оцінюються та прогноуються:

- помилки авіадиспетчера;
- пропускна здатність секторів;
- можливості людини-оператора;
- завантаженість авіадиспетчера в різних виробничих ситуаціях.

До таких програм відносяться:

1) засоби дослідження причинно-наслідкових зв'язків:

- Aviation Topics Speech Acts Taxonomy (ATSAT);

- Human Error Reduction in ATM – HERA (Програма зменшення кількості помилок при організації повітряного руху);

- Step Ladder Model (SLM);

2) засоби прогнозування помилок людини:

- Confusion Matrix;

- Human Error Assessment and Reduction Technique – HEART (Методика оцінки та зменшення помилок людини-оператора);

- Success Likelihood Index Methodology – SLIM (Методологія аналізу ймовірності успішності дій людини-оператора);

- Technique for Human Error Rate Prediction – THERP (Методика прогнозування помилок людини-оператора);

- TRACER lite;

3) моделі поведінки людини:

- Cognition as a Network of Tasks – COGNET (Модель розумових здібностей у вигляді мережі завдань);

- Micro Saint;

- Performance and Usability Modeling in ATM (PUMA);

- Situation Awareness Model for Pilot-in-the-Loop Evaluation – SAMPLE (Оцінка діяльності пілота за допомогою моделі ситуаційної обізнаності);

4) засоби оцінювання завантаженості та ситуаційної обізнаності:

- Performance and Objective Workload Evaluation Research – POWER (Дослідження експлуатаційної продуктивності та функціональної завантаженості людини-оператора);

- Situation Awareness Global Assessment Technique – SAGAT (Глобальна методика оцінки ситуаційної обізнаності);

- Situation Awareness Rating Technique – SART (Методика класифікації ситуаційної обізнаності);

– Subjective Workload Assessment Technique – SWAT (Суб'єктивна методика оцінки навантаженості людини-оператора).

### Розробки Євроконтролю

Євроконтролем розроблені спеціальні програми в галузі моделювання/дизайну повітряного простору, оптимізації мережі маршрутів ОПР, дослідження пропускної здатності елементів повітряного простору/аеродрому та навантаженості авіадиспетчера.

Євроконтроль має сукупність програмних засобів для оптимізації мережі маршрутів ОПР і повітряного простору, ефективної секторизації та розподілу потоків повітряного руху в повітряному просторі й на аеродромі та оцінки пропускної здатності секторів.

До таких програмних комплексів відноситься Network Evaluation & Visualisation of ACC Capacity (NEVAC) – прикладне програмне забезпечення Євроконтролю, що використовує дані з CFMU і STATFOR та об'єднує PACT, Flight Increase Process (FIPS) та Improved Configuration Organiser (ICO) (рис. 2).

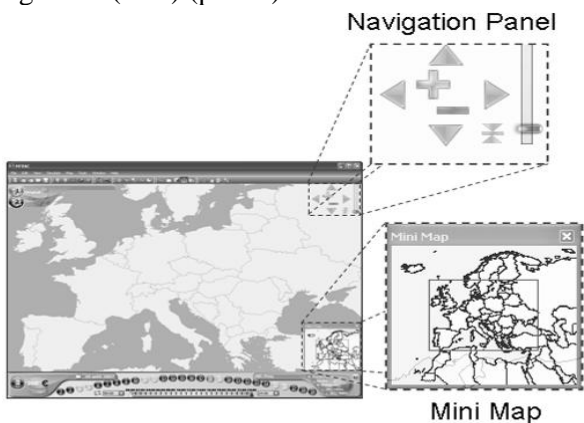


Рис. 2. Головне меню NEVAC

Засіб NEVAC може:

- розраховувати пропускну здатність секторів ОПР;
- виявляти вузькі місця в мережі секторів ОПР;
- розраховувати зміни при впровадженні нових конфігурацій секторів ОПР та пропускну здатність Area Control Centre – ACC (районний диспетчерський центр) і всієї мережі маршрутів ОПР.

Програма NEVAC розроблена для таких фахівців:

- планувальників повітряного простору;
- менеджерів пропускної здатності;
- менеджерів потоків повітряного руху;
- експлуатаційного персоналу, відповідального за пропускну здатність ACC та всієї мережі маршрутів ОПР.

За допомогою NEVAC можна:

- виконати візуалізацію ACC та додаткових даних (очікувані потоки повітряного руху, пропускна здатність секторів, конфігурації, затримки, маршрути тощо);
- оптимізувати конфігурацію відкритих схем польоту з використанням модулю ICO;
- розрахувати майбутні шаблонні сценарії повітряного руху за допомогою модулю FIPS;
- створити віртуальні ACCs та розрахувати варіанти реорганізації повітряного простору для всієї групи ACCs;
- розрахувати середні пропускні здатності для ACC за заданий проміжок часу;
- виконати детальний аналіз потреб у використанні повітряного простору, взаємодії елементів мережі маршрутів ОПР, придатності конфігурації, наповнення мережі, затримки ATFM та інших параметрів, що впливають на пропускну здатність ACC.

Програмна платформа System for Traffic Assignment & Analysis at a Macroscopic Level (SAAM) використовується для дослідження структури повітряного простору (рис. 3), моделювання, аналізу та візуалізації мережі маршрутів з поточним та прогнозованим потоками повітряного руху на національному, регіональному та загальноєвропейському рівнях (рис. 4).

Програмна платформа SAAM застосовується для загального та локального дизайну, оцінки та 2D/3D/4D подання сценаріїв повітряного руху в повітряному просторі та розподілу ПС.

Програма SAAM є зручним засобом стратегічного моделювання повітряного простору для попереднього огляду, тестування, аналітичного

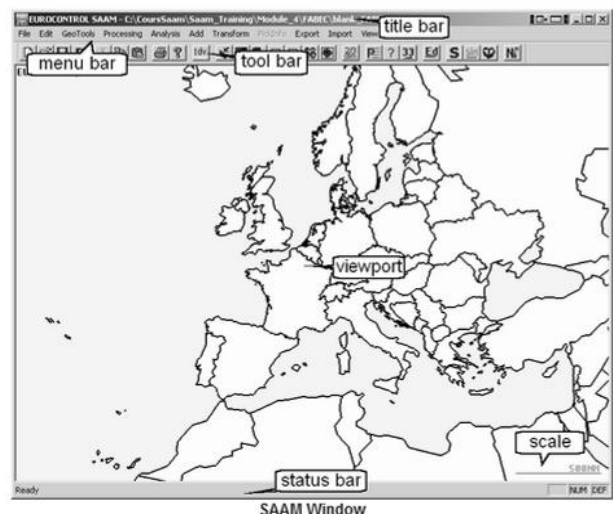


Рис. 3. Початкова робоча форма SAAM

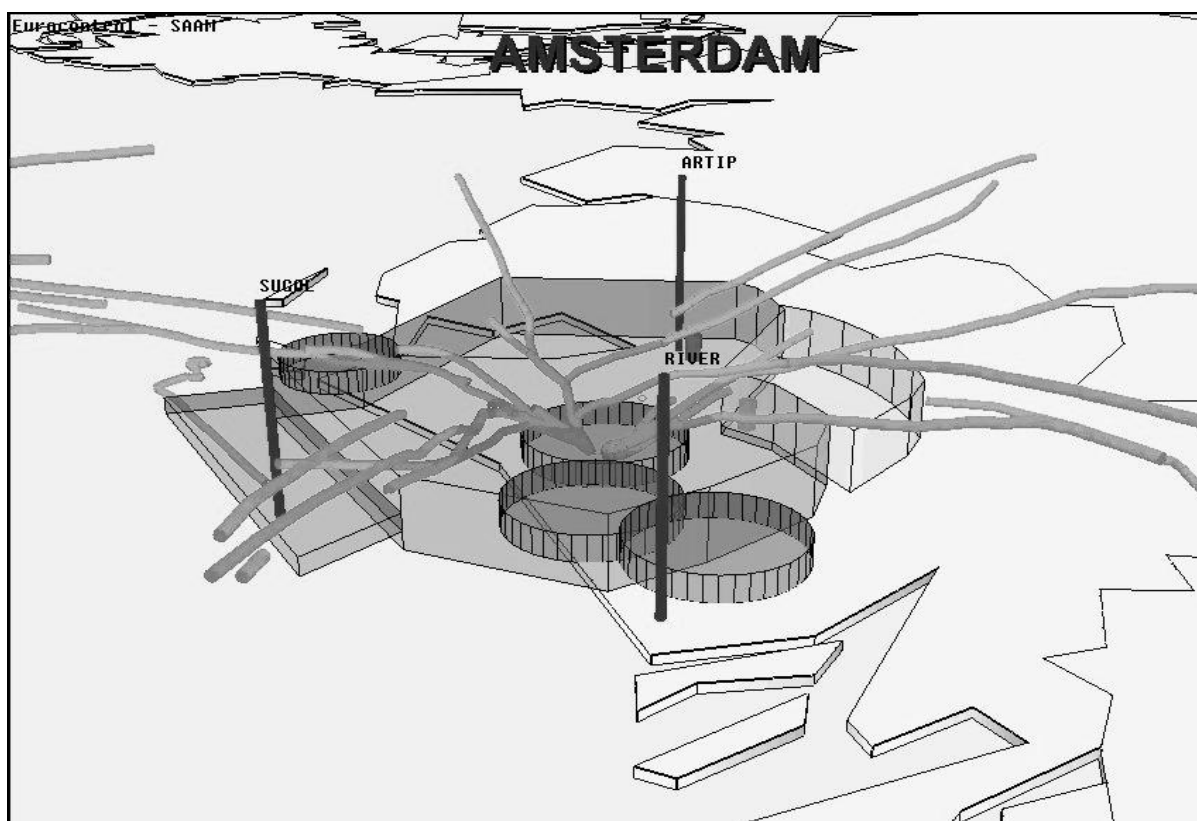


Рис. 4. Візуалізація мережі маршрутів з відображенням завантаженості секторів ОПП

дослідження різних варіантів побудови елементів повітряного простору та підготовки сценаріїв для зовнішніх програм швидкого моделювання та моделювання в реальному часі.

### Висновки

В авіаційній галузі України немає аналогічних за можливостями інтерактивних систем з комплексного дослідження загроз та ризиків в аеронавігаційних системах, але існує проблема підтримання гарантованого рівня безпеки повітряного руху. Це зумовлює необхідність у відповідних інтерактивних моделюючих комплексах.

Розробка та впровадження інтерактивної системи (ІС ГРБПРАЗ) дасть можливість започаткувати прикладні методики візуалізації та інтерактивного моделювання при ОПП для досягнення гарантованого рівня безпеки аеронавігації в аеродромних зонах.

### Література

1. *DOC 9859*. Руководство по управлению безопасностью полетов. – Монреаль: ИКАО, 2009. – 318 с.

2. *Guide to methods & tools for safety analysis in air traffic management*. – GAIN Working Group, 2003. – 135 p.

3. *Guidelines for the Safety Assessment of ATM Procedures (SAAP)*. – Brussels: Eurocontrol, 2006. – 61 p.

4. *Harmonisation of safety occurrence severity and risk assessment*. – Brussels: Eurocontrol, 2005. – 45 p.

5. *International General Aviation and Corporate Aviation Risk Assessment (IGA-CARA) Project*. – Cranfield: Cranfield University, 2005. – 79 p.

6. *Brooker Peter*. Air Traffic Control Safety Indicators: What is Achievable? / Peter Brooker. – Cranfield: Cranfield university, 2006. – 18 p.

7. *Brooker Peter*. Air traffic management accident risk part 1: the limits of realistic modelling / Peter Brooker. – Cranfield: Cranfield university, 2006. – 18 p.

8. *Brooker Peter*. Air traffic management accident risk part 2: repairing the deficiencies of ESARR4 / Peter Brooker. – Cranfield: Cranfield university, 2005. – 33 p.

9. *The ARMS Methodology for Operational Risk Assessment in Aviation Organisations*. ARMS Working Group: – Eurocontrol, 2010. – 67 p.

10. *Technical Basis for a Human Reliability Assessment Capability for Air Traffic Safety Management*. – Brussels: Eurocontrol, 2007. – 61 p.

11. *Safety scanning*. – Brussels: Eurocontrol, 2011. – 33 p.