

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія аеронавігація

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни
«Безпека авіації: *Безпека авіації*» обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Авіаційний транспорт (Оператор безпілотних літальних апаратів)

272 Авіаційний транспорт

ТЕМА 4. РИЗИК ЗІТКНЕННЯ ПК В ПОЛЬОТІ

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу Харківського
національного університету
внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації, протокол від 28.08.2023 р.

Розробник:

Викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст вищої категорії Журід В.І.

Рецензенти:

1. Професор циклової комісії аеронавігації, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, викладач-методист Тягній В.Г.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

План лекції:

1. Передмова.
2. Застосування моделі:
 - запобігання зіткненням за пвп
 - вплив вихрового потоку
 - незалежність помилок витримування висоти різних пк.
 - незалежність витримування висоти й лінії шляху.
 - незалежність помилок витримування лінії шляху різними пк.
 - незалежність поздовжніх положень двох пк.
3. Моделювання окремих типів навігаційних помилок у бічному вимірі.

Навчальна та наукова література

1. Бабак В.П. Безпека авіації. Київ «Техніка», 2004.
2. Постанова Верховної Ради. Повітряний кодекс України. Керівний . Київ, 2011.
3. Міністерство транспорту України. Правила польотів у класифікованому повітряному просторі України. Наказ № 293, 295. Київ. 16.03.03, 04.05.05.

Додаткова література

1. Керівництво по розслідуванню АП та інцидентів
в. Дос 9756-А №965. Монреаль, 2000.
2. Правила розслідування АП з цивільними ПС в Україні. Київ, Державіаслужба, 2005-2010.
3. Керівництво по запобіганню авіаційних пригод
Дос 9433-А №923 Монреаль, ІКАО, 1987.

РИЗИК ЗІТКНЕННЯ ПК В ПОЛЬОТІ

ПЕРЕДМОВА

Як відомо, у цивільній авіації донині відбуваються зближення зіткнення повітряних кораблів у повітрі. Над проблемою запобігання катастрофам повітряних кораблів у польоті давно працюють авіаційні адміністрації, наукові установи і конструкторські бюро багатьох країн світу.

Авіаційні перевезення зростають безупинно, тому постійно підвищується і ризик зіткнення повітряних кораблів, відповідно оцінювання ризику зіткнення з метою досягнення заданого рівня безпеки є дуже важливим завданням.

З розвитком бортового навігаційного обладнання, наземних систем обслуговування повітряного руху, впровадженням змін у структуру повітряного простору активно ведуться роботи зі скорочення існуючих норм ешелонування. Тому і виникла потреба в створенні навчального посібника, у якому б були розглянуті мінімуми ешелонування, що використовуються в повітряному просторі України, рекомендації Міжнародної організації цивільної авіації щодо мінімумів ешелонування, а також критерії та фактори, від яких залежать мінімуми ешелонування. Коректне вирішення завдань ризику зіткнення повітряних кораблів є важливим кроком на шляху науково-обґрунтованих норм ешелонування та оцінювання рівня безпеки на повітряному транспорті. Авіаційні катастрофи виникають вкрай рідко, тому досить важко визначити ймовірність їх виникнення. У зв'язку з цим застосовуються процедури оцінки ризику катастроф повітряних кораблів, що ґрунтуються на математичних моделях. В основу таких розрахунків покладено ймовірнісні моделі парних зіткнень повітряних кораблів або зіткнень повітряного корабля з наземними перешкодами. Різноманітні моделі пов'язані з розрахунком ризику катастроф повітряних кораблів на одному маршруті, або під час перетинання зайнятих рівнів польоту з математичного погляду еквівалентні. Математичні моделі дозволяють отримати оцінки ризику катастроф залежно від характеристик структури повітряного простору, технічного оснащення, обслуговуваних потоків повітряних кораблів, використання правил та процедур управління повітряним рухом. Результати моделей можуть застосовуватися для вирішення широкого кола прикладних завдань, де як критерій використовується або ризик катастроф, або відношення ризику катастроф до затрат на його забезпечення.

Тому в навчальному посібнику розглянуто задачі з розрахунку ймовірностей зіткнення пар повітряних кораблів у повітряному просторі, що зумовлено операційними помилками систем навігації та керування.

Ешелонування – це загальний термін, який використовують для опису дій органів обслуговування повітряного руху, спрямованих на дотримання такої відстані між повітряними кораблями, що виконують польоти в тому самому загальному районі, у якому ризик зіткнення утримується нижчим від прийнятного безпечного рівня. Таке ешелонування може здійснюватися в горизонтальній і вертикальній площинах. Ешелонування в горизонтальній площині можна

виконувати або в поздовжньому напрямку (коли повітряні кораблі розташовуються один за одним на встановленій відстані, що може бути виражено через польотний час), або в бічному напрямку (коли повітряні кораблі розташовуються пліч-о-пліч на встановленій відстані один від одного або коли вказується ширина захищеного повітряного простору по обидва боки осрової лінії маршруту). Вертикальне ешелонування забезпечується виконанням вимоги, щоб повітряні кораблі, які застосовують запропоновані правила установалення висотоміра, виконували політ на різних рівнях, виражених в ешелонах польоту або абсолютних висотах.

Необхідне ешелонування між повітряними кораблями виражається у вигляді мінімальних відстаней для кожного вимірювання, які не слід одночасно порушувати. У випадку горизонтального ешелонування мінімальна відстань може бути виражена або в морських милях, або в градусах кутового зсуву, або у поздовжньому напрямку у вигляді мінімумів, що ґрунтуються або на часі, або на відстані у разі використання далекомірного устаткування, зональної навігації, радіолокаційного або автоматичного залежного спостереження відповідно. У вертикальній площині мінімум вказується або в метрах, або у футах, або у вигляді ешелонів польоту.

За деяких обставин в окремих районах повітряного простору відповідно до регіональної угоди може застосовуватися комбіноване ешелонування повітряних кораблів, що складається з комбінації елементів горизонтального та вертикального ешелонування.

Плануючи повітряний простір та маршрути, для яких не передбачається служба керування повітряним рухом, безпечне ешелонування повітряних кораблів можна також забезпечувати використанням стандартних мінімумів ешелонування. У разі створення служби обслуговування повітряного руху використання такого процесу буде сприяти її впровадженню та інтеграції із суміжними системами повітряного простору.

Одна з основних стратегій майбутньої аеронавігаційної системи – це заміна традиційних обов'язків авіадиспетчера на нову функцію контролю. Виконання цієї стратегії передбачає передання відповідальності за призначення маршруту від наземного диспетчера пілотам літаків. Польоти повітряних кораблів у повітряному просторі вільного польоту будуть контролюватися відповідними наземними та бортовими автоматизованими системами. На відміну від багатьох інших проєктів модернізації управління повітряним рухом джерелами концепції вільного польоту є безпосередньо активні учасники повітряного руху, і насамперед великі авіакомпанії, що пов'язують з нею можливість значно заощаджувати час польоту та паливо. У зв'язку з цим один з розділів навчального посібника присвячено розвитку перспективних систем обслуговування повітряного руху та упровадженню глобальної концепції вільного польоту.

У процесі підготовки використано офіційні документи України, стандарти та рекомендовану практику Міжнародної організації цивільної авіації, рекомендації Європейської організації з безпеки аеронавігації (Євроконтроль), а також результати авторських досліджень.

Для полегшення сприйняття та розуміння викладеного матеріалу навчального посібника автори велику увагу приділили наочним матеріалам, використовуючи велику кількість рисунків, схем та діаграм.

Вищі навчальні заклади дедалі більше уваги приділяють запровадженню комплексних систем оцінювання знань. Такі системи спрямовані на диференціацію рівня знань студентів і мають реагувати навіть на невеликі зміни глибини засвоєння матеріалу кожним студентом. Переваги тестової системи оцінювання полягають в об'єктивності, у можливості індивідуалізувати процес навчання, диференціювати завдання, отримувати відповідь майже на будь-яке запитання, а недоліком є можливість вгадувати правильні відповіді.

Як вже було сказано, авіаційні катастрофи виникають вкрай рідко, тому досить важко визначити ймовірність їх виникнення. У зв'язку з цим застосовуються процедури оцінки ризику катастроф повітряних кораблів, що ґрунтуються на математичних моделях.

ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ

Модель була розроблена з метою визначення безпечної відстані між лініями шляху на подвійних повітряних трасах. Для цієї мети були зібрані відповідні дані. Спочатку розглянемо варіант без використання радіолокатора.

Модель є відображенням того, що фактично трапляється під час польоту. Зробимо припущення, які, можливо, неповністю реальні, хоча вважають, що їх вплив (крім, мабуть, нижче перерахованих припущень для руху в тому самому напрямку) буде невеликим. Ці припущення стосуються таких аспектів:

1. **Запобігання зіткненням за ПВП.** У моделі ризику зіткнення не береться до уваги зменшення ризику шляхом виконання маневру для запобігання зіткненню під час візуального виявлення іншого ПК. Його нехтування в розрахунках має реальну основу у випадку руху в протилежному напрямку. Можливо, що під час руху в тому самому напрямку один з пілотів міг вчасно побачити інший ПК та почати дії для запобігання зіткненню. Однак цю ситуацію важко подати в числовому виразі.
2. **Вплив вихрового потоку.** У моделі ризику зіткнення не враховано можливості авіаційної катастрофи під час перетинання супутнього сліду іншого ПК.

У моделі цю обставину можна врахувати через збільшення ефективного розміру ПК. Однак останні дослідження впливу вихрового потоку показали, що ця небезпека дуже мала для ПК, які виконують політ в крейсерському режимі. У зв'язку із цим робоча група «С» погодила на початковій стадії цей фактор не враховувати доти, доки вона не буде мати більше нової інформації.

Незалежність помилок витримування висоти різних ПК. У моделі допускається, що відхилення від заданої висоти одного ПК статистично незалежно від відхилень від заданих висот сусідніх ПК. Залежність може бути тільки в разі систематичних помилок у системі вимірювання висоти ПК, наприклад, через помилки в одиницях калібрування або через похибку системи статичного тиску. У цьому разі індикація висоти буває неоднаковою в різних ПК. Для ПК, що

виконують політ на одній номінальній висоті, що є найбільш важливим варіантом, помилка буде дещо завищена.

4. **Незалежність витримування висоти й лінії шляху.** У моделі допускається, що відхилення від висоти статистично незалежне від лінії шляху. Це допущення має підставу, оскільки у двох вимірювальних системах застосовуються зовсім різні типи датчиків. Якщо більші бічні відхилення пов'язуються з незадовільним витримуванням висоти (наприклад, обидва види відхилень спричинені незадовільним технічним обслуговуванням відповідних систем), розрахований за моделлю ризик зіткнення буде завищений, за винятком траєкторій польоту особливої конфігурації, таких як комбіновані системи ешелонування в районі Північної Атлантики.

5. **Незалежність помилок витримування лінії шляху різними ПК.** Модель допускає, що бічне відхилення одного ПК статистично незалежне від бічного відхилення сусіднього ПК, що прямує по іншій лінії шляху. Обидва ПК будуть залежати від окремих маяків *VOR (VHF Omnidirectional Radio Range)*. Однак є ряд обставин, які в дійсності можуть зумовлювати залежність помилок витримування лінії шляху. Наприклад, загальний вплив вітру може спричинити відхилення двох сусідніх ПК на незалежних лініях шляху. Якщо обидва ПК використовують одну навігаційну техніку, то ця залежність, імовірно, приведе до меншого значення ризику зіткнення, ніж розраховані за моделлю, оскільки помилки, допущені внаслідок впливу вітру будуть загальними. Однак якщо два ПК використовують різне навігаційне устаткування і техніку, то модель може забезпечити прогноз щодо надто низького значення ризику зіткнення.

6. **Незалежність поздовжніх положень двох ПК.** Модель допускає, що немає ніякої кореляції між поздовжніми положеннями ПК. Якщо ПК будуть літати один біля одного частіше, ніж це можна очікувати за взятої довільної величини входження ПК у систему, то величина ризику зіткнення, прогнозована за моделлю, буде надто занижена. Припущення незалежності повністю підтверджується для руху в протилежних напрямках.

Модель являє собою розширений варіант вихідної моделі ризику зіткнення ПК, запропонованої Райхом, у тому сенсі, що в ній допускається можливість виникнення різних видів навігаційних помилок у бічному вимірі. Кожний із цих видів помилок приводить до власного значення імовірності перекриття в бічному вимірі. У моделі розглядається вплив різних можливостей *ADS* на виявлення й усунення або зменшення кількості різних видів помилок. Цей вплив залежить від стану (відмови або нормальної роботи) різних елементів системи КІР, що базуються на *ADS*. Зручним засобом аналізу всіх можливих сполучень станів є дерево подій. У моделі ризику зіткнення розраховується загальна імовірність перекриття у бічному вимірі як зважене середнє значення імовірності перекриття в бічному вимірі, пов'язане з окремими видами навігаційних помилок, при цьому вагові коефіцієнти являють собою частку часу, протягом якої можна чекати виникнення кожної помилки на практиці.

Моделювання окремих типів навігаційних помилок у бічному вимірі. Моделі розподілу ймовірності необхідні для таких типів навігаційних помилок у бічному вимірі:

а) пов'язаних з навігаційною системою:

- нормальна робота;
- погіршення характеристик;
- відмова;

б) пов'язаних з пілотом:

- нормальна робота;
- помилка введення шляхових точок;
- вибір неправильного маршруту.

Виходячи з порівняння моделей, було зроблено припущення про те, що кожний з наведених типів навігаційних помилок можна моделювати з використанням нормального розподілу, за якого середнє та середнє квадратичне відхилення залежать від типу помилок. Крім того, функціонування навігаційної системи характеризувалося нульовим середнім відхиленням і середнім квадратичним відхиленням, що залежить від режиму роботи.

Припущення про нормальний розподіл не має вирішального значення для моделювання, оскільки в результаті згортки двох нормальних щільностей виходить ще одна нормальна щільність, яка не потребує числової згортки. Вважається, що *ADS*, імовірно, буде сприяти усуненню або зменшенню хвостів кривих змішаних розподілів, що описують звичайні розподіли навігаційних помилок.

Хоча центральна частина розподілу деяких типів помилок цілком може належати до нормального типу, очевидно не всі експерти поділяють цю точку зору. Тому роблять припущення про те, що всі окремі розподіли помилок навігаційної системи є двовимірними експонентними розподілами з нульовим середнім відхиленням і середнім квадратичним відхиленням, що залежить від режиму роботи.

Нормальна робота пілота також характеризується нульовим середнім значенням. Щільність помилок вибору неправильного маршруту являє собою суміш двох двовимірних експонентних щільностей з відповідними середніми значеннями, рівними додатними та від'ємними величинами існуючого стандарту бічного ешелонування. Щільність помилок, зумовлених введенням шляхових точок, складається в основному із двох частин, одна з яких описує зсув точки шляху вліво, а друга описує зсув точки шляху вправо. Кожна частина являє собою двовимірний експонентний змішаний розподіл, середні значення якого змінюються лінійно в інтервалі від нуля до позитивної або негативної величини стандарту ешелонування S_y . Ця модель ґрунтується на добре відомій *трикутній* формі помилки і зумовлена введенням шляхових точок.