

*Ю.В. Грищенко, д.т.н., О.О. Чужа, к.т.н., Т.С. Соломаха, Д.Ю. Іващенко
(Національний авіаційний університет, Україна)*

Надійність при безпеці польотів на малих висотах

Метою даної статті є дослідити вплив надійності технічних систем та людського фактора на безпеку польотів на малих висотах. Зокрема, у статті будуть розглянуті основні ризики, пов'язані з цими аспектами, та запропоновані шляхи їх мінімізації

Вступ

Забезпечення безпеки польотів є одним з ключових пріоритетів сучасної авіації. Особливо це стосується польотів на малих висотах, де виникають специфічні ризики, зумовлені близькістю до поверхні землі та різноманітними природними та техногенними перешкодами. Надійність технічних систем та професіоналізм пілотів є основними чинниками, що впливають на безпеку польотів у таких умовах. Невеликі помилки або збої можуть призвести до катастрофічних наслідків, тому питання підвищення надійності систем управління, навігації та зв'язку стає особливо актуальним. У цій статті розглянуто роль надійності технологій та людського фактора у забезпеченні безпеки польотів на малих висотах, а також можливі шляхи мінімізації ризиків, пов'язаних з цими аспектами.

Поставка проблеми

Згідно з Авіаційними правилами України «Загальні правила польотів у повітряному просторі України» польоти за висотою виконання поділяються на

- на гранично малих висотах – до 200 м включно над рельєфом місцевості або водною поверхнею
- на малих висотах – від 200 до 1000 м включно над рельєфом місцевості або водною поверхнею
- на середніх висотах – від висоти 1000 м над рельєфом місцевості або водною поверхнею до ешелону 3950 м (FL 130) включно
- на великих висотах – від ешелону 3950 м (FL 130) до ешелону 11900 м (FL 390) (зазвичай до тропопаузи) включно
- в стратосфері – вище ешелону 3950 м (FL 130) (вище тропопаузи). [1]

Польоти на малих висотах вимагають високого рівня підготовки, як технічної, так і психологічної. Надійність систем управління, майстерність пілотів та точність навігаційного обладнання є вирішальними факторами, що дозволяють мінімізувати ризики та підвищити рівень безпеки при виконанні таких польотів. Під час польотів на малих висотах пілот стикається із низкою складнощів таких як:

- Обмежений час на реагування. На малих висотах пілоти мають значно менше часу для реагування на непередбачувані ситуації. У разі появи технічних проблем, зіткнень з птахами чи зміни погодних умов, пілот має в лічені секунди приймати рішення. Помилка або запізнення з реагуванням можуть призвести до зіткнення з землею чи іншими перешкодами.

- Природні та ландшафтні перешкоди. На низьких висотах існує значний ризик зіткнення з природними об'єктами, такими як гори, дерева, водні поверхні чи пагорби. Також важливо враховувати можливість зіткнення з будівлями, лініями електропередачі, мостами та іншими штучними конструкціями. Складні ландшафтні умови вимагають високого рівня маневреності літаків і майстерності пілотів.

- Погодні умови. Погода на малих висотах може бути нестабільною і викликати небезпечні явища, такі як сильна турбулентність, туман, дощ чи снігопади. Погіршення видимості через туман або дощ знижує можливості візуального контролю за навколишньою територією, що робить польоти ризикованими. Крім того, сильний вітер може негативно впливати на стабільність польоту.

- Турбулентність. На малих висотах літаки піддаються сильнішій турбулентності, особливо поблизу гір або в районах з активними погодними фронтами. Це може знижувати керованість літаком та створювати додатковий тиск на пілота. У таких умовах навіть невелика турбулентність може призвести до втрати контролю над літаком.

- Робота системи навігації та управління. На низьких висотах навігаційне обладнання може мати складності у функціонуванні через вплив земних перешкод, сигналів від сторонніх об'єктів або шумів. Це ускладнює точне визначення місця розташування літака та контроль за його траєкторією. Більш того, надійність радіозв'язку може також знизитися через вплив рельєфу місцевості або інфраструктурних об'єктів.

- Пілотажні складності. Пілоти повинні мати виняткову майстерність і увагу під час польотів на малих висотах, оскільки навіть невелика помилка у керуванні може спричинити катастрофу. Постійний візуальний контроль за ландшафтом і умовами польоту є вкрай важливим, і це створює додаткове психоемоційне навантаження на пілота.

- Ризик зіткнення з птахами. Зона малих висот часто є середовищем проживання птахів, що значно підвищує ризик їх зіткнення з літаком. Такі зіткнення можуть спричинити значні пошкодження двигунів або інших важливих частин літака, що в екстремальних випадках може призвести до аварії.

- Недостатня автоматизація. На малих висотах багато процесів керування покладаються на пілотів, оскільки автоматизовані системи можуть бути менш ефективними через складні умови та обмеження з боку ландшафту та перешкод. Це створює додатковий тиск на людину та збільшує можливість виникнення людських помилок.

- Військові та спеціальні польоти. У військових операціях або при виконанні спеціальних завдань (наприклад, пошуково-рятувальні операції, обльоти територій), польоти на малих висотах є важливими, але складними через потребу в прихованості, швидкому маневруванні та збереженні зв'язку із землею. Такі операції часто проводяться в екстремальних умовах, що підвищує ризик.

Розрахунок надійності обладнання

Слід враховувати, що вірогідність безвідмовної роботи при розрахунку лямда і імовірно-фізичними методами відрізняються [3]. Сучасні системи

відрізняються від застарілих сучасною елементною базою. Для них у більшості випадків підходить ймовірно-фізичний метод розрахунку безвідмовності, коли за модель відмов береться DN закон розподілу. Це важливо враховувати в початковий період і при тривалій експлуатації (рис. 1)

Розглянемо приклад розрахунку 6 елементів системи авіоніки у Маткаді. Розрахункові значення інтенсивності відмов елементів (1/год):

$$\mu := \frac{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5 + \mu_6}{6} = 4.371 \times 10^6 \quad \nu := 8$$

$$R_{dn}(t) := \text{cnom}\left(\frac{\mu - t}{\nu \cdot \sqrt{\mu \cdot t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\nu^2}\right) \cdot \text{cnom}\left[\frac{-(\mu + t)}{\nu \cdot \sqrt{\mu \cdot t}}\right]$$

$$R_{exp}(t) := \exp(-\lambda \cdot t)$$

$$\lambda := \lambda p_1 + \lambda p_2 + \lambda p_3 + \lambda p_4 + \lambda p_5 + \lambda p_6 = 2.279 \times 10^{-6}$$

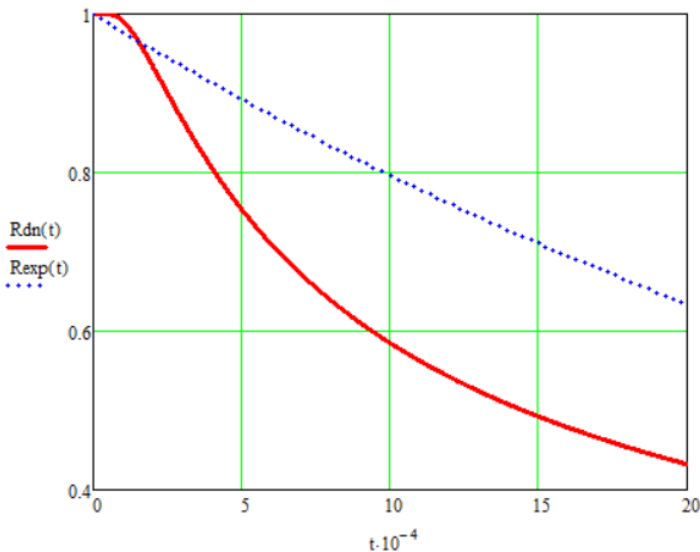


Рис. 1. Залежність вірогідності безвідмовної роботи від часу при розрахунку імовірно-фізичним $R_{DN}(t)$ і лямбда $R_{exp}(t)$ методами (де μ - параметр масштабу розподілу, чисельне значення якого обернено пропорційно середньої швидкості деградаційного процесу; ν - параметр форми розподілу, який дорівнює коефіцієнту варіації наробітку до відмови, t - час, λ - інтенсивність відмов).

З рисунка видно, що вірогідність безвідмовної роботи від часу при розрахунку лямбда і імовірно-фізичних методів починає сильно розрізнятися після певного часу роботи. Розробники і експлуатанти повинні звернути на це увагу. При тривалій експлуатації вірогідність збоїв (відмов) набагато вища, що може привести до підвищеної психофізіологічної напруженості людини-оператора.

Алгоритм прогнозування вірогідності безвідмовної експлуатації залежно від тривалості експлуатації такий. Для систем авіоніки кожного типу повітряного судна необхідно побудувати закони розподілу. Визначити етапи перевірок відповідності ймовірності безвідмовної роботи систем. Скласти таблицю ризиків у зв'язку з вірогідними відмовами і інформувати про це керівництво льотного складу.

Висновок

Надійність систем авіоніки має значний вплив на безпеку польотів на малих висотах. Оскільки при таких польотах значно зменшується час на прийняття рішення. Враховуючи всі зазначені фактори, польоти на малих висотах вимагають високого рівня підготовки, як технічної, так і психологічної. Надійність систем управління, майстерність пілотів та точність навігаційного обладнання є вирішальними факторами, що дозволяють мінімізувати ризики та підвищити рівень безпеки при виконанні таких польотів.

Список літератури

1. АВІАЦІЙНІ ПРАВИЛА УКРАЇНИ «ЗАГАЛЬНІ ПРАВИЛА ПОЛЬОТІВ У ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРИ УКРАЇНИ» доступно тут <https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2016/12/Zagalni-pravy-la-polotiv-u-povitryanomu-prostori-Ukrayiny.pdf>
2. U.K. Patent GB 2194062-A Detection of damage in materials/ Eastham John –1988.
3. Hryshchenko Y.V. Dependability of avionics unmanned aerial vehicles / Y.V. Hryshchenko, V.G. Romanenko, I.V. Kravets // IEEE 5th International Conference “Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments” (October 22-24, 2019) – Kyiv, Ukraine, 2019. – pp. 27-30.