

УДК 681.518 (045)

Жолдаков О.О.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕГУЛЯРНОСТІ І БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ ПРИ ТИМЧАСОВІЙ НЕПРАЦЕЗДАТНОСТІ ОКРЕМИХ КОМПОНЕНТІВ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Національний авіаційний університет

azholdak@nau.edu.ua

Розглядається метод, що дозволяє виконувати польоти впродовж обмеженого періоду часу при наявності однієї або декількох несправностей, підтримуючи при цьому достатній рівень надійності, що зменшує число затримок і скасування рейсів, а також забезпечує більш ефективно планування операцій з технічного обслуговування, аніж це було можливо без застосування цього методу

Ключові слова: повітряне судно (ПС), мінімальний перелік, безпека польотів

Вступ

Не зважаючи на те, що конструкція сучасних ПС передбачає наявність високонадійного обладнання і системного резервування, окремі компоненти ПС можуть працювати нестабільно, а затримки або скасування рейсів тягнуть за собою високі експлуатаційні витрати.

Практика експлуатації ПС показує, що в особливих умовах і на обмежений період часу робота всіх його систем, або їх елементів не є обов'язковою, якщо прилади та обладнання, що знаходяться в робочому стані, забезпечують прийнятний рівень безпеки. Виходячи з цього, для підвищення ефективності використання ПС в практику експлуатації вводяться нормативні документи, що дозволяють при необхідності тимчасово здійснювати безпечні польоти з несправним (незадіяним) обладнанням.

Такими нормативними документами є «Мінімальні переліки обладнання» (в зарубіжній практиці *MMEL* і *MEL*). *MMEL (Master Minimum Equipment List)* – Основний мінімальний перелік обладнання, що розробляється фірмою-розробником для типу ПС; *MEL (Minimum Equipment List)* – мінімальний перелік обладнання є похідним від Основного переліку і застосовується конкретним експлуатантом з урахуванням особливостей робочих процедур і реальних умов експлуатації. Будучи затвердженим і до-

пущеним до використання, Перелік дозволяє здійснювати експлуатацію обладнання з компонентами, що знаходяться в неробочому стані.

Основним завданням Переліку *MEL* є встановлення для експлуатанта балансу між прийнятним рівнем безпеки польотів та рентабельністю ПС при його експлуатації з частково несправним обладнанням. Перелік *MEL* дозволяє експлуатантам більш оперативно організувати експлуатацію (польоти) ПС і уникати зайвих затримок або скасування рейсів, не ставлячи під загрозу безпеку польотів у випадках, коли ПС допускається до польотів з несправним (незадіяним) обладнанням.

Як Основний перелік, так і Перелік *MEL* затверджуються і приймаються повноважним органом контролю льотної придатності. Вони складаються з переліків компонентів і систем, яким присвоюється статус «Допускається», «Допускається, якщо» або «Не допускається» в залежності від їх впливу на безпеку польотів. Компоненти зі статусом «Допускається» або «Допускається, якщо» можуть залишатися в несправному стані протягом обмеженого періоду часу.

Основний перелік і Перелік включають несправність в системах, які роблять різний вплив на безпеку польоту ПС (в залежності від значимості компонента).

Метою Основного переліку є надання експлуатантам ефективного і

надійного засобу для швидкого визначення того, чи може ВС бути допущено до польоту, не ставлячи під загрозу його безпеку.

Нормативні положення

Ухвалення ІКАО Конвенції про міжнародну цивільну авіацію стало першим кроком на шляху створення міжнародних правил повітряних перевезень і, зокрема, створення Переліків *MMEL* і *MEL*.

Досвід показав, що протягом короткого періоду часу може допускатися наявність деяких несправностей, якщо інші нормально функціонуючі системи та обладнання дозволяють безпечно продовжувати політ».

Правова політика і норми льотної придатності ПС Європейських держав, в тому числі і щодо Основних переліків і Переліків *MEL*, сформульовані в Спільних Авіаційних Вимогах *EASA*:

– Експлуатант розробляє для кожного повітряного судна Перелік мінімального обладнання (*MEL*), що затверджується повноважним органом. Він повинен бути оснований на *MMEL*, але бути не менше обмежувачим, аніж відповідний Основний перелік мінімального обладнання (*MMEL*), схвалений повноважним органом.

– Експлуатант не використовує повітряне судно інакше, окрім як відповідно до *MMEL*, за винятком, коли це дозволено повноважним органом. Будь-який такий дозвіл ні за яких обставин не дає права виконувати політ без дотримання обмежень *MMEL*.

З урахуванням викладеного слід зазначити, що процес затвердження або схвалення Основного переліку повноважним органом пов'язаний з процесом сертифікації ВС.

Порядок створення

Розробкою Основного переліку зайняті багато фахівців по розробці авіаційних систем, фахівці у сфері надійності, безпеки польотів, льотної придатності та ін.

Для кожного компонента Основного переліку спеціалісти беруть до уваги:

- вплив відмови цього компонента на безпеку польотів;
- результати льотних випробувань і/або випробувань на тренажері;
- вплив відмови на робочу екіпажу;
- вплив декількох несправностей.

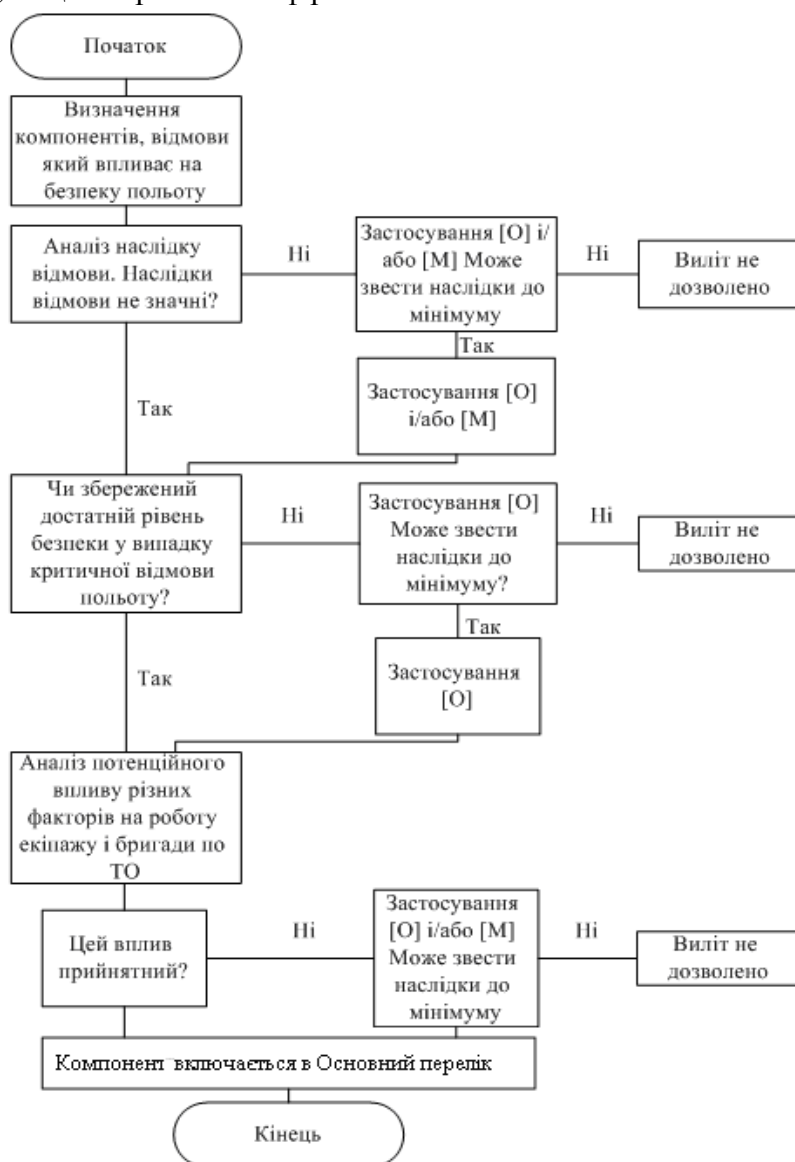
Взаємодія між системами ретельно аналізується, щоб переконатися, що множинні відмови не призведуть до незадовільного рівня безпеки польотів. Більш того, при аналізі розглядаються не тільки наслідки відмови даного компонента, а й наслідки критичних відмов, що можуть статися в польоті.

Перш ніж надавати уповноваженому органу з льотної придатності розроблений Основний перелік, розробник готує доказові матеріали щодо того, що навіть якщо певна система ПС знаходиться в неробочому стані, зберігається прийнятний рівень безпеки. Для досягнення даної мети систематично проводиться якісний аналіз і, в разі необхідності, – кількісний аналіз. Необхідно також довести, що прийнятний рівень безпеки буде підтримуватися за допомогою:

- передачі функції іншого компонента обладнання (резервування);
- надання необхідних даних іншим компонентам обладнання (запасний прилад);
- дотримання відповідних обмежень і/або процедур (порядок дій льотної екіпажу і/або процедури технічного обслуговування).

Цей складний етап роботи над Основним переліком вимагає проведення аналізу відмов і визначення ступеня небезпеки наслідків таких відмов. Ці задачі розв'язуються насамперед методом експертних оцінок. Для створення автоматизованої експертної системи (ЕС) експерти повинні мати високу кваліфікацію і великий досвід роботи саме в цієї своєрідної галузі інженерних знань.

Логічна блок-схема процесу розробки Переліку, що прийнята фірмою AIRBUS представлена нижче.



Складовою частиною ЕС є наведений механізм логічного виводу, який відповідно до алгоритму визначає повний Перелік, що можна представити також як розв'язок логічного рівняння.

За вищенаведеною схемою [O] – це необхідні дії екіпажу, а [M] – необхідні дії

персоналу, передбачені умовами допуску ПС до експлуатації (порядок дій подається в Основному переліку).

Нижче, на рисунку, представлено фрагмент БД каталогу агрегатів ПС Основного переліку.

1. Перелік компонентів	2. Строк усунення несправностей
	3. Кількість встановлених компонентів
	4. Кількість мінімальних необхідних компонентів
	5. Примітка та висновки

Колонка 1 містить перелік компонентів, при яких Перелік MMEL не перешкоджає допуску ПС до експлуатації.

Колонка 2 вказує строк усунення несправності; при відсутності терміну, компонент буде у статусі «не допускається».

Колонка 3 вказує на кількість встановлених на борту компонентів визначеного типу.

Колонка 4 вказує мінімальну кількість справних компонентів, що необхідно для допуску ПС польотів.

Колонка 5 надає свідчення умов допуску з несправним компонентом у статистиці «допускається, якщо».

Моделювання придатності

Ставиться задача забезпечення можливості виконання польотів впродовж обмеженого відрізка часу при наявності однієї або декількох несправностей, забезпечуючи при цьому достатній рівень надійності систем літака, з урахуванням можливостей резервування, що зменшує кількість затримок і відміни польотів та забезпечує більш ефективне планування операцій щодо технічного обслуговування повітряних суден.

Автоматизація процесу створення Переліків потребує розробки його математично-алгоритмічних моделей.

Якщо збій компонента авіасистеми літака дозволяє його експлуатацію певний період часу із обов'язковим подальшим ремонтом, то літак вважається льотнопридатним. У цьому випадку *непридатність* компоненту на даний час t визначається функцією $q(t)$, а *непридатність* всієї системи літака $Q_S(t)$. Відношення між показниками *придатності* і *непридатності* наступне: $Q_S(t) = 1 - A_S(t)$, де A_S – функція, що характеризує льотну придатність ПС.

Іншим характерним показником є *надійність*. *Надійність* визначається як ймовірність того, що система працюватиме час t без збоїв. *Надійність* системи записується як $R(t)$, а *ненадійність* – $F(t)$. Відношення між *надійністю* і *ненадійністю* наступне: $R(t) = 1 - F(t)$.

Далі треба визначити показник ступеня ризику (*hazard rate*) – $h(t)$, який ймовірно виникне на інтервалі $[t, t+dt)$, допускаючи, що на інтервалі $[0, t)$ збоїв не буде.

Наступна характеристика відмов відома як *безумовна інтенсивність відмов* (збоїв), що визначаються як ймовірність відмов обладнання на інтервалі $[t, t+dt)$, за умови працездатності на час t_0 . Цей фактор для окремого компоненту записується як $w(t)$, а для всього ПС – як $W_{SYS}(t)$. *Безумовна інтенсивність відмов* може бути визначена шляхом інтегрування на інтервалі від t_0 до t_1 :

$$W(t_0, t_1) = \int_{t_0}^{t_1} w(t) dt.$$

Для оцінки параметрів безпеки можна використати різні методи як наприклад: модель дерева відмов (МДВ), модель масового обслуговування (ММО), модель імітаційного моделювання (МІМ). Нижче на рисунку представлено властивості цих методів визначення рівня безпеки.



Як правило, *складність* моделей зростає при переході від МДВ до ММО і далі – до МІМ. *Ефективність* моделей (з точки зору необхідної продуктивності обробки даних) зазвичай збільшується у зворотному напрямку.

При моделюванні вибирається метод, *складність* якого не заважає *ефективності* моделювання.

У варіанті побудови моделі імітаційного моделювання передбачається, що переходи між станами працездатності і несправності компонентів систем ПС відбуваються миттєво і за час dt може відбутись лише один перехід. Далі, після визначення коефіцієнтів переходів від одного стану до іншого, тобто інтенсивності відмов і ремонтів, будується діаграма переходів між станами у вигляді орієнтованого графу.

В такій постановці моделювання забезпечення льотної придатності зводиться до системи масового обслуговування.

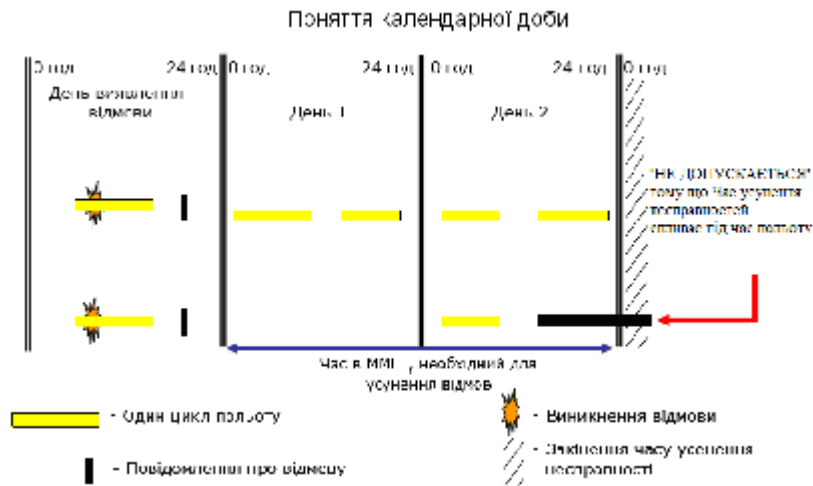
Діаграма з двох станів моделює ситуацію з одним несправним компонентом.

Організація застосування

Несправний компонент повинен бути відремонтований до закінчення часу, відведеного для усунення несправностей. Тоді зворотній відлік виключає день виявлення несправностей.

Вводиться поняття календарного дня (24 години) з нуля годин за місцевим часом.

Наприклад, якщо допускається, що окремий компонент може знаходитись у несправному стані впродовж 2-ох календарних днів, часовий горизонт подій і прийняття відповідних рішень можна зобразити так, як показано на рисунку.

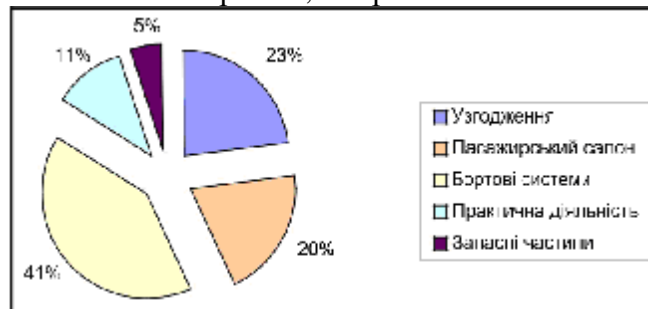


Повітряне судно не може бути допущено до експлуатації якщо збіг час, необхідний для усунення несправності за Переліком MEL.

Аналіз кількості і термінів затримок в експлуатації ПС, які є у відкритому доступі, показує, що кількість затримок,

пов'язаних із зверненням до Переліків, суттєво відрізняється у різних експлуатантів. Проте, існує статистика середніх значень показників, що викликають затримку в експлуатації ПС.

Нижче показана діаграма причин затримок.



Як видно, 23% затримок відбувається з причини недостатнього узгодження, яке здійснюється по лініям інженерних служб, як то планування обслуговування і ремонту авіатехніки, куди підпадає формування Переліків.

Отже, процедури, пов'язані з використанням Переліків MMEL і MEL, потре-

бують знань і навичок у цілому комплексі задач експлуатації і ремонту повітряних суден.

Один з факторів, який треба врахувати в моделі (подібній до моделі фірми AIRBUS) безпосередньо пов'язаний з Основним переліком (MMEL). Цей фактор відомий під назвою «Код ступеня важли-

вості» (СВ) і він відповідає статусу, який присвоюється компоненту в ММЕЛ: код СВ = 1 відповідає компоненту «Не допускається»; код СВ = 2 – компонент «Допускається, якщо»; код СВ = 3 – компонент «Допускається».

Системи кодування компонентів ПС дозволяють експлуатантам найкращим чином вирішувати завдання придбання запасних частин і їх розміщення по аеропортам в цілях скорочення експлуатаційних витрат. Для компонентів з кодом СВ = 1 «Не допускається» відповідні запасні частини повинні бути в наявності в кожному аеропорту посадки, щоб уникнути затримок або скасування рейсів. Для компонентів з кодом СВ = 2 «Допускається, якщо» і з кодом СВ = 3 «Допускається» з відповідним терміном усунення несправності, потрібні запасні частини повинні бути в наявності в аеропортах базування.

Економічний ефект

Переліки не тільки забезпечують безпечне виконання польотів, а й сприяють тому, що експлуатант з максимальною вигодою використовує наявний парк ПС в рамках поточної діяльності. Переліки сприяють збільшенню прибутку експлуатанта.

Економічний аспект має дві складові. Перша складова полягає в зниженні витрат на придбання і зберігання запасних частин. З використанням Основного переліку вирішується завдання оптимізації «первинного забезпечення» експлуатанта запасними частинами.

«Первинне забезпечення» – каталог запасних частин – розробляється фірмою, виходячи з моделі, яка повинна враховувати ряд факторів, включаючи:

- кількість ПС в парку експлуатанта;
- загальна кількість льотних годин на рік;
- середня вартість запасних частин;
- кількість запасних частин для одного ПС.

Висновки

На даному етапі можна сформулювати

наступне.

1. Теоретичною базою моделювання льотної придатності в умовах можливої несправності окремих компонентів ПС на обмежений період часу може бути теорія ймовірностей, теорія графів та систем масового обслуговування

2. Нормативними документами, що регламентують безпечні польоти ПС з частково несправним обладнанням, є схвалені повноважними органами Основні переліки, що розробляються фірмами, і Переліки, що розробляються експлуатантами.

3. Юридичною базою для розробки Основних переліків експлуатантів є документи ІКАО. Робота над Основним переліком ґрунтується на аналізі надійності компонентів і систем ПС, та ступеня небезпеки. При цьому робота над Переліком *MEL* ґрунтується перш за все на Основному переліку *MMEL*, а також на даних щодо парку ПС експлуатанта.

4. Застосування Переліку *MEL* дає можливість експлуатанту дотримуватися вимог по регулярності польотів, забезпечувати прийнятний рівень безпеки і скорочувати експлуатаційні витрати.

Список літератури

1. Введение в ММЕЛ и MEL. – Эрбас, 2006.
2. Приложение 6 к Конвенции «Эксплуатация ВС». – Ч. 1. – Монреаль: ИКАО, 2000.
3. Чинючин Ю.М. Формирование Минимальных перечней оборудования воздушных судов, обеспечивающего регулярные и безопасные полеты // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2014, № 205 – С. 10-15.

Статтю подано до редакції 12.05.2017