

УДК 629.735.017.1(045)

**О.С. ЯКУШЕНКО, В.Є. МІЛЬЦОВ, С.І. ЙОВЕНКО,
В.В. РАТИНСЬКИЙ, О.І. ЧУМАК***Національний авіаційний університет, Київ, Україна***АВТОМАТИЗОВАНИЙ МОНІТОРИНГ НАДІЙНОСТІ НА РІВНІ АВІАКОМПАНІЇ**

В статті приведено огляд підходів до управління надійністю авіаційної техніки на рівні авіакомпанії, які відповідають рекомендаціям ІКАО та провідних розробників авіаційної техніки. Розглянуто методи контролю надійності та основні показники, які використовуються при моніторингу надійності на рівні авіакомпанії. Стисло представлено розроблену автоматизовану систему управління надійністю на рівні авіакомпанії та наведено деякі вихідні форми, які дозволяють проводити експертний аналіз зміни параметрів надійності окремих систем у часі та порівняльний аналіз їхньої надійності у обраний проміжок часу.

Ключові слова: моніторинг, надійність, авіакомпанія, наробіток на відмову, управління надійністю.

Введення

Організаційно система управління надійністю являє собою наукову, технічну та організаційну взаємодію розробника, виготовлювача та експлуатаційника повітряних суден (ПС) при створенні, виготовленні, ремонті, технічному обслуговуванні та експлуатації авіаційної техніки (АТ). Ця система забезпечує високий рівень первинної та експлуатаційної надійності АТ, необхідної для досягнення заданого рівня льотної придатності, безпеки польотів та економічної ефективності експлуатації ПС.

Система управління надійності складається із взаємодіючих підсистем:

- забезпечення початкового рівня надійності (підвищення кваліфікації персоналу розробника, спеціальні дослідження, забезпечення необхідного рівня надійності до сертифікації, розвиток системи діагностування, доробки згідно до технічних вимог, підвищення рівня підготовки серійного виробництва, підвищення рівня підготовки льотного та наземного складу експлуатуючих підприємств);

- конструктивно-технологічного удосконалення АТ в процесі серійного виробництва та експлуатації (інформаційне забезпечення стану експлуатації, інформаційне забезпечення стану АТ при ремонті, оперативність доставки агрегатів, що відмовили, до заводів-виготовлювачів, глибина та оперативність дослідження агрегатів, що відмовили, ефективність розроблених заходів та оперативність їх впровадження, комплексність відпрацьованих та впроваджених заходів для виготовлення, ремонту та експлуатації АТ, організаційне забезпечення робіт);

- підвищення ресурсу комплектуючих виробів ПС в експлуатації (експлуатація за технічним ста-

ном, експериментально-розрахункова оцінка надійності та довговічності комплектуючих виробів ПС, постійний нагляд за станом надійності АТ);

- забезпечення якості та стабільності виробництва і ремонту (підвищення кваліфікації інженерного та виробничого персоналу, систематичний контроль, сертифікація технологічних процесів, комплекс заходів із забезпечення стабільності виробництва, статистичний аналіз стану виробництва, управління якістю, досконалість конструкторської та технологічної документації);

- удосконалення експлуатації та технічної діагностики (матеріально-технічне оснащення, підвищення кваліфікації льотного та технічного складу, прогнозування надійності, ремонт в експлуатації, удосконалення процесів технічної діагностики, експлуатація за технічним станом);

- економічного забезпечення надійності (стимулювання, фінансування робіт з підвищення надійності та ресурсу АТ, формування фонду надійності та ресурсу, методичне забезпечення) [1, 3].

1. Підходи до управління надійністю

Управління рівнем надійності забезпечується на всіх етапах життєвого циклу АТ від проектування, виробництва, випробування, експлуатації і до списання повітряного судна. Визначаються етапи та зміст робіт із забезпечення вимог надійності, а також відповідальні виконавці, терміни, кінцеві результати та форми звітності.

На етапі експлуатації проводяться роботи, спрямовані на збереження льотно-технічних характеристик ПС протягом встановлених ресурсів та термінів служби, що передбачені технічним обслу-

говуванням і ремонтом (ТОіР). З цією метою в процесі експлуатації авіакомпанією вирішується комплекс задач з оцінки та аналізу рівня надійності ПС, що включає в себе:

- статистичний та інженерний аналіз надійності парку ПС;
- розробку технічних вимог з надійності для виробів АТ, що проектуються, і оцінку відповідності надійності виробів, що надходять в експлуатацію, технічним умовам;
- обґрунтування і пред'явлення вимог до промисловості по вдосконаленню серійної АТ, оцінку ефективності її доопрацювань;
- вивчення впливу умов і особливостей експлуатації АТ на показники її надійності, розробку та здійснення заходів по зменшенню їх негативного впливу на надійність АТ;
- пред'явлення заводом рекламацій на низьку якість продукції та ремонту АТ;
- підготовку обґрунтувань для збільшення ресурсів АТ, удосконалення нормативно-технічної документації.

Проводиться постійний моніторинг та контроль рівня надійності комплектуючих виробів та повітряного судна в цілому, що включає в себе спостереження за тенденцією зміни рівня надійності агрегатів в залежності від наробітку, раннє попередження значних невідповідних змін рівня надійності, оцінку ефективності робіт з ТО комплектуючих виробів, порівняння характеристик надійності ПС та їх комплектуючих із різних авіакомпаній.

2. Оцінка параметрів надійності

На основі отриманих даних розраховуються показники надійності – наробіток на відмову та K_{1000} (кількість відмов, виявлених в експлуатації на 1000 годин наробітку або посадок) та інш. Проводиться моніторинг, контроль та прогнозування надійності окремих типів ПС та парку повітряних суден в цілому. Отримані дані дозволяють визначити: фактичний рівень надійності АТ в різних умовах експлуатації та в порівнянні його з нормованим показником надійності; розробити та оцінити ефективність заходів, спрямованих на підвищення надійності АТ, безпеки та регулярності польотів; удосконалити методи експлуатації ЛА, їх технічного обслуговування та ремонту; проводити обґрунтування ресурсів та строків служби авіаційної техніки; корегування об'ємів та періодичності виконання регламентних робіт із технічного обслуговування ПС, обґрунтування норм витрати запасних частин та матеріалів, а також нормативів трудових затрат на технічне обслуговування; розробити заходи зі зниження витрат на технічне обслуговування ПС і підвищення їх еко-

номічної ефективності; розробки і удосконалення технічних вимог до промисловості із підвищення надійності та покращення експлуатаційної технологічності АТ [2,3].

Управління надійністю парку повітряних суден на рівні авіакомпанії розглядається, як процес контролю та аналізу за рівнем надійності комплектуючих виробів ПС авіакомпанії, відкладеним ТО, затримками рейсів, інцидентами, усунення борта з рейсу з технічних причин, регулярністю польотів та вильотів ПС, періодичним контролем запусків допоміжних силових установок (ДСУ) в повітрі та роботи системи автопосадки, контролем виконання важких форм обслуговування та формуванням відповідних впливів.

Регулярність польотів ПС характеризується здатністю ПС строго виконувати графік та режим на кожному етапі польоту, своєчасно виконувати всі назначені функції і проводити посадку в аеропорту призначення. Регулярність польотів вважається забезпеченою, якщо за час польоту не трапилось вимушеної посадки, перерваного зльоту, зміни планової траєкторії польоту. Регулярність польоту визначається показниками:

K_{1000} – середнє число перерваних зльотів і вимушених посадок, обумовлених функціональними відмовами, що приходяться на 1000 зльотів;

$K_{1000ПВ}$ – середнє число перерваних зльотів, обумовлених функціональними відмовами, що приходяться на 1000 зльотів.

Для цивільних літаків різного класу на сьогодні необхідні значення коефіцієнта K_{1000} знаходяться в межах $0,05 \div 0,5$, а для $K_{1000ПВ}$ – $0,01 \div 0,3$.

Регулярність вильотів характеризує пристосованість конструкції літака і його функціональних систем до швидкого усунення виникаючих в польоті несправностей, а також можливістю літака без шкоди для безпеки польотів виконувати рейси з відмовами, усунення яких може бути відкладене до більш зручного часу.

Регулярність вильотів характеризується показником M_{1000} – середнім числом затримок і усунень ПС від рейсів, обумовлених несправностями на літаку, які приходяться на 1000 вильотів. Для цивільних ПС, які знову проектується, вимоги для різних класів за величиною показника M_{1000} знаходяться в межах від 15 до 20 [4, 5].

Ефективність застосування парку ПС авіакомпанії визначається трьома показниками: M_{100} (середнє число затримок на 100 вильотів), $T_{ГОД}$ (середній наліт на ПС) і $ЕВ$ (експлуатаційні витрати, що враховують всі затрати, необхідні для застосування для перевезення пасажирів або вантажу того чи іншого літака).

Ресурс ПС виражається в одиницях наробітку, термін служби – в календарних роках експлуатації.

В теперішній час призначені величини ресурсів ПС до списання складають 30000÷60000 льотних годин, 10000÷30000 польотів. Календарні строки експлуатації – від 20 до 30 років. Крім того, встановлюються ресурси до 1-го ремонту (міжремонтні) 5000÷10000 льотних годин, 3000÷10000 польотів і відповідно строки служби до 1-го ремонту (міжремонтні) – 5÷8 років експлуатації. В теперішній час впроваджуються методи експлуатації, в яких проведення капітального ремонту не передбачено [4].

В авіакомпанії управління надійністю здійснюється в рамках програми Надійності. Програма надійності містить інформацію про застосування методів контролю надійності, які є складовою частиною програми ТО авіакомпанії. Метою Програми управління надійністю є підтримання агрегатів, систем ПС та літака в цілому в межах прийнятних рівнів льотної придатності, надійності та економічності. Програма управління надійністю – система обліку подій, заснована на даних експлуатаційних або аварійних характеристик. Вона дає змогу проводити оцінку ефективності ТО шляхом порівняння фактичних показників надійності за минулий період часу із попередніми періодами та граничним рівнем.

Складові Програми надійності авіакомпанії:

- системи збору даних;
- системи аналізу даних;
- системи стандартних робочих характеристик;
- відображення даних і системи звітності;
- системи введення поправок;
- системи регулювання інтервалів між циклами технічного обслуговування.

Система збору даних базується на інформації, яка береться з журналу обліку польотів/технічного обслуговування літака (дані, що зареєстровані в польоті або на землі екіпажем (PIREP), дані, що зареєстровані на землі при технічному обслуговуванні (MAREP), дані випробування заходу на посадку з малої висоти, польотні дані двигуна, дані про зупинки двигуна у польоті, дані із незапланованих замін агрегатів, дані експлуатаційної перевірки та інспекції); карти нештатних ситуацій (MAREP, дані із незапланованих замін агрегатів, дані експлуатаційної перевірки та інспекції); звіт про затримки/відміни польоту (дані із змін в розкладі технічного обслуговування); звіт одержаних даних з ремонтного цеху (стендове випробування і технічна перевірка в ремонтному цеху).

Даними, на основі яких проводиться аналіз стану надійності АТ слугують:

- реєстраційний номер ПС;
- ідентифікаційні дані агрегатів;
- місцезнаходження агрегату відповідно до ATA100 (ATA – Американська асоціація повітряного транспорту);

- дата зняття агрегату;
- точна причина зняття;
- прийняті корегувальні дії;
- причина відмови або несправності;
- напрацювання агрегату в годинах/циклах до ремонту/після ремонту/капітального ремонту/калібрування(регулювання) в годинах, посадках або за календарем (місяцями).

Система аналізу даних дозволяє оцінити технічні характеристики АТ для перегляду технології технічного обслуговування ПС та проведення їх модифікації. В місячних звітах з надійності АТ при досягненні параметром надійності критичної величини – верхньої контрольної межі (ВКМ) або при виявленні тенденції погіршення рівня надійності зазначається [6,7,8]:

- "небезпека" ("червоний") – коли середня величина за три місяці перевищує ВКМ;
- "небезпека" ("жовтий") – коли середня величина за два місяці перевищує ВКМ в той час, як середня величина за три місяці нижча ВКМ;
- "залишається в небезпеці" – коли місячна середня величина зменшується в той час, як за квартал залишається вище ВКМ;
- "поліпшення" – коли місячна середня величина поліпшується після вживання корегувальних заходів по відношенню до первинної небезпеки;
- "норма" – робочий стан показує нормальний показник надійності.

У системі стандартних робочих характеристик проводиться вимірювання експлуатаційних характеристик, які виражаються в цифровому вигляді при відмові системи або поломці агрегату, в звітах пілота, затримках рейсів тощо.

Стандарти для авіакомпанії:

а) ВКМ системи/агрегату, яка вимірюється за наступним принципом:

- в період перших 6 місяців експлуатації керівник технічного відділу проводить спостереження за роботою ПС, для того, щоб визначити недоліки, ґрунтуючись на даних схожих моделей або досвіді інших експлуатантів;
- через 6 місяців експлуатації розраховується тимчасова ВКМ для кожного параметру на основі даних за останні 6 місяців; ці дані ВКМ використовуються до того часу, поки не будуть отримані результати за 12 місяців експлуатації;
- після 12 місяців експлуатації розраховується ВКМ на основі даних за попередній рік.

ВКМ для нових агрегатів розраховується таким чином.

На час перших 12 місяців експлуатації нових агрегатів для проведення перевірки їхньої роботи розраховується штучний ВКМ:

$$\text{Штучний ВКМ} = 1000 / (2 \text{ QPA FH}),$$

де QPA – кількість відмов за період, FN – наробіток парку за період.

Після 12 місяців експлуатації розраховується ВКМ на основі останніх даних.

б) рівень надійності системи заходу на посадку з малої висоти. Для авіакомпанії 85% від загальної кількості проведених випробувальних польотів повинні бути успішними.

в) ВКМ кількості вимикань двигуна у польоті для ETOPS (польоти підвищеної дальності повітряних суден з двома двигунами):

– 0,05/1000 годин експлуатації двигуна до 2 годин;

– 0,03/1000 годин експлуатації двигуна до 3 годин.

г) ВКМ для висотного запуску ДСУ для ETOPS. Для авіакомпанії 85% від загальної кількості проведених запусків ДСУ повинні бути успішними.

д) критерії надійності.

Для систем ПС контролюються [4,6,7,8]:

– кількість відмов, виявлених пілотом за 100 посадок;

– кількість відмов, виявлених при ТО за 100 посадок;

– кількість затримок і відмін рейсів за 100 польотів.

Для агрегатів контролюються:

– кількість випадків зняття агрегатів за 1000 годин;

– середній час роботи між позаплановими ремонтами/середній час роботи між відмовами.

Для двигуна контролюються:

– показник зупинок двигунів у польоті на 1000 годин роботи (для польотів над океаном (ETOPS) розраховуються ковзне середнє за 12 місяців);

– показник кількості запланованих та незапланованих випадків зняття двигуна з експлуатації за 1000 годин роботи двигуна.

Відображення даних і система звітності, згідно Програми надійності, готуються за попередній місяць, 6 місяців і рік експлуатації АТ. За допомогою звітів керівництво компанії отримує інформацію про стан надійності парку ПС.

До статистичних даних по парку ПС відносяться: список ПС; період експлуатації; загальний наліт (у годинах); коефіцієнт використання; середня тривалість польоту; затримки/відміни рейсу; стан надійності; авіаційні події.

У звіті про затримки та відміни рейсів зазначаються технічні несправності в системі ПС, через які рейс був затриманий більш, ніж на 15 хвилин або відмінений.

За звітами пілотів розраховується показник кількості відмов, виявлених в польоті, на 100 посадок,

а за звітами про ТО – кількість відмов, виявлених при ТО на 100 посадок.

3. Автоматизований моніторинг надійності

Викладені вимоги до моніторингу показників надійності реалізовано у автоматизованій системі управління надійністю на рівні авіакомпанії, що розроблена в Національному авіаційному університеті (м.Київ). Автоматизована система, що розробляється, розрахована на середню або велику авіакомпанію, що має п'ять і більше ПС. При такій кількості ПС потік подій (зауваження екіпажу, затримки рейсів, відмови компонентів, тощо) буде значним і для введення даних про ці події необхідна робота декількох операторів. З іншого боку для підвищення оперативності прийняття заходів щодо підтримання та підвищення надійності парку ПС необхідно забезпечити прямий доступ всіх заінтересованих сторін, які мають на це право, до результатів аналізу стану надійності авіакомпанії. При цьому необхідно мати можливість встановлювати права доступу та зміни інформації у базах даних системи для кожного користувача.

Дана система складається з трьох підсистем, які призначені для:

– автоматизації процесу введення і контролю вхідної інформації виконання процедур Програми Надійності, прийнятої в авіакомпанії;

– обробки і аналізу даних Програми Надійності і формування щомісячних, щоквартальних і річних звітів про відмови і несправності ПС авіакомпанії і відповідно до вимог Державіаадміністрації для передачі в ЦЕНАТ;

– для адміністрування системи.

Як приклад роботи системи, приводяться графіки моніторингу надійності функціональних систем і основних виробів ПС B737-300/400/500 за показниками надійності K_{100C} з урахуванням узагальненого контрольного рівня надійності (рис. 1). Також нижче показані діаграми розподілу показників надійності систем (рис. 2).

Основні характеристики програмного забезпечення розробленої автоматизованої системи: забезпечує безперервний моніторинг надійності окремих компонентів, функціональних систем, основних виробів і ПС в цілому для всіх типів авіакомпанії; має динамічну і відкриту для оновлення довідкову систему, яка включає кодифікатор адреси ПС для всіх типів авіакомпанії; забезпечує графічне представлення результатів, дозволяє вивчати результати обробки даних про надійність і ефективність ТО на графіках і діаграмах за місяць, квартал, півріччя, рік або будь-який заданий період часу; має розвинену

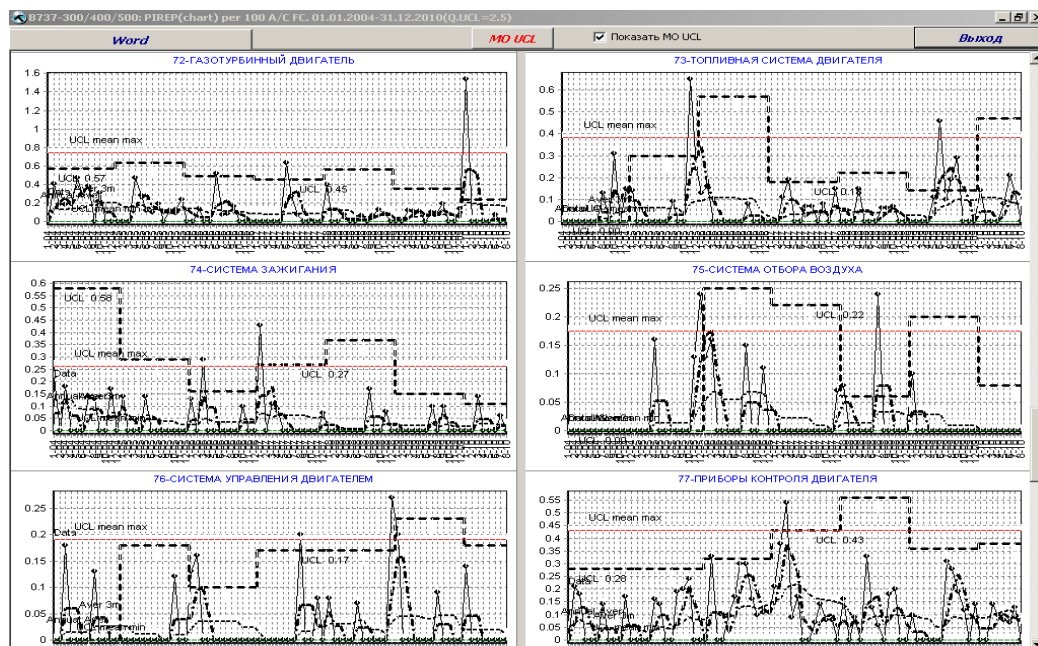


Рис. 1. Приклад форми моніторингу надійності функціональних систем і основних виробів ПС В737-300/400/500 за показниками надійності K_{100C} з урахуванням узагальненого контрольного рівня надійності (червона лінія) (фрагмент: 72-77 системи)

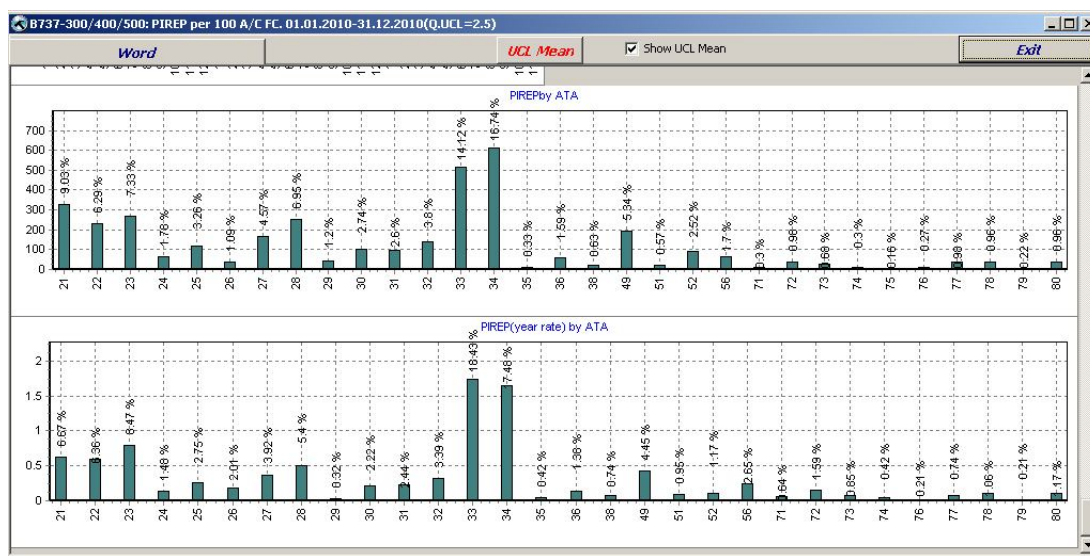


Рис. 2. Діаграми розподілу показників надійності систем (в %) ПС В737-300/400/500 за шкалою кількості відмов і за шкалою K_{100}

систему контролю вхідної і вже введенної інформації з можливістю її редагування (усунення помилок); забезпечує не тільки автоматизовану оцінку показників надійності компонентів і систем, їх контроль, моніторинг і прогнозування, але і проводить первинний аналіз і формування вихідних звітних документів; забезпечена системою захисту від несанкціонованого доступу, системою захисту інформації від збоїв і системою персонального контролю введення або корекції (редагування, видалення) інформації з можливістю її відновлення; результати можуть бути

представлені у вигляді таблиць, графіків, котрі також експортуються в інші програми MS Office.

Висновки

На основі проведеного аналізу існуючих схем збору та обробки даних про наробітки та відмови основних та комплектуючих виробів парку ПС та систем управління процесами контролю надійності в авіакомпанії розроблено загальну схему управління надійністю ПС на рівні авіакомпанії.

Наведено стислий опис автоматизованої системи контролю параметрів надійності на рівні авіакомпанії. Система забезпечує рішення задач оцінки, контролю, моніторингу та прогнозування стану надійності компонентів ПС тощо.

Література

1. Акимов, В.М. Основы надежности газотурбинных двигателей [Текст] / В.М. Акимов. – М.: Машиностроение. – 1981. – 207 с.
2. Анцелович, Л.Л. Надежность, безопасность и живучесть самолета [Текст] / Л.Л. Анцелович. – М.: Машиностроение. – 1985. – 295 с.
3. Комаров, А.А. Надежность воздушных судов [Текст]: учеб. пособие / А.А. Комаров. – К.: КМУГА, 1997. – 416 с.

4. Энциклопедия безопасности авиации [Текст] / Н.С.Кулик, В.П.Харченко, М.Г. Луцкий, А.Г.Кучер и др.; под ред. Н.С.Кулика. – К.: Техніка, 2008. – 1000 с.

5. Кучер, О.Г. Забезпечення льотної придатності повітряних суден авіакомпанії [Текст] / О.Г. Кучер, П.О. Власенко // Наукоємні технології. – 2009. – № 3. – С. 20–27.

6. Документ ICAO (Doc 9051-AN/896) Техническое руководство по летной годности [Текст]. – ИКАО, 1987.

7. Документ ICAO (Doc 9642-AN/941) Руководство по сохранению летной годности [Текст]. – ИКАО, 1998.

8. Документ ICAO (Doc 9760-AN/967) Руководство по летной годности [Текст]. – ИКАО, 2001.

Поступила в редакцию 1.06.2013, рассмотрена на редколлегии 17.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, професор кафедри авіаційних двигунів Ю.М. Терещенко, Національний авіаційний університет, Київ.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ НАДЕЖНОСТИ НА УРОВНЕ АВИАКОМПАНИИ

А.С. Якушенко, В.Е. Мильцов, С.И. Йовенко, В.В. Ратынский, О.И. Чумак

В статье приведен обзор подходов к управлению надежностью авиационной техники на уровне авиакомпании, которые отвечают рекомендациям ICAO и ведущих разработчиков авиационной техники. Рассмотрены методы контроля надежности и основные показатели, которые используются при мониторинге надежности на уровне авиакомпании. Кратко представлена разработанная автоматизированная система управления надежностью на уровне авиакомпании и приведены некоторые исходные формы, которые позволяют проводить экспертный анализ изменения параметров надежности отдельных систем во времени и сравнительный анализ их надежности в избранный промежуток времени.

Ключевые слова: мониторинг, надежность, авиакомпания, наработка на отказ, управление надежностью.

THE AUTOMATED MONITORING OF RELIABILITY IN AIRLINE

O.S.Yakushenko, V.E.Miltsov, S.I.Yovenko, V.V.Ratynsky, O.I.Chumak

In article the review of approaches to management of reliability of aviation equipment in airline is adduced, which met ICAO and main designers of aviation equipment recommendations. The methods of reliability control and the basic indicators, which are used at reliability monitoring in airline, are considered. The designed automated control system of reliability in airline is briefly presented and some initial forms, which allow to carry out the expert analysis of reliability parameters change of separate systems in time and the comparative analysis of their reliability in the selected time interval are represented.

Keywords: monitoring, reliability, airline, a mean-time-between-failures, reliability monitoring.

Якушенко Олександр Сергійович – канд. техн. наук, ст. наук. співр., доц. каф. авіаційних двигунів Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: yuysss111@gmail.com.

Мильцов Володимир Євгенійович – наук. співр. каф. авіаційних двигунів Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: miltsov@ukr.net.

Йовенко Сергій Іванович – канд. техн. наук, доц. каф. авіаційних двигунів Національного авіаційного університету, Київ, Україна.

Ратинський Валерій Валерійович – канд. техн. наук, доц. каф. авіаційних двигунів Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: rvv_rat@mail.ru.

Чумак Олег Іванович – ст. викл. каф. авіаційних двигунів Національного авіаційного університету, Київ, Україна, e-mail: chumak113@mail.ru.