

УДК 629.735.017.1(045)

МОДЕЛЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН**Кучер О. Г.** д-р техн. наук, проф., **Власенко П. О.**

Національний авіаційний університет

kucher@nau.edu.ua

Розглянуто модель експлуатаційної надійності повітряних суден авіакомпанії. Запропоновано програму управління надійністю авіакомпанії. Розглянуто основні системи програми управління надійністю — збору даних, аналізу даних, робочих стандартів, коригувальних дій, відображення даних. Наведено схему процесу визначення стану надійності повітряних суден, агрегатів та технічної готовності до польоту. Подано графіки і таблиці оцінки та аналізу стану надійності авіаційної техніки.

Ключові слова: експлуатаційна надійність, програма надійності, програма технічного обслуговування, показники надійності, показники технічної готовності до польоту.

The reliability operating model of airline is considered. The Reliability control program of airline is proposed. The main systems of Reliability control program (data collection system, data analysis system, performance standards, corrective action system, presentation of data) are considered. The schema of aircraft, components and technical dispatch reliability definition process is proposed. The graphics and tables of aircraft and components reliability are shown

Keywords: operating reliability, reliability program, maintenance program, reliability parameters, technical dispatch reliability parameters.

Постановка проблеми

Кожна авіакомпанія може вибрати з існуючих або створити свою модель експлуатаційної надійності парку повітряних суден (ПС). Від обраної моделі залежить ефективність виконання Програми надійності та Програми технічного обслуговування (ТО), забезпечення вимог з безпеки польотів та льотної придатності ПС. У статті запропонована модель експлуатаційної надійності, яка частково реалізована у вигляді автоматизованої системи.

Вступ

Модель експлуатаційної надійності парку ПС покладена в основу Програми управління надійністю авіакомпанії. Основною функцією Програми є відстеження:

- ✓ планового ТО;
- ✓ незапланованого ТО;
- ✓ відкладеного ТО;
- ✓ аварій / інцидентів;
- ✓ відмов;
- ✓ небезпечних несправностей;
- ✓ затримок і відмін рейсів;
- ✓ зняття / відмов двигуна.

Пропонується використовувати два види контролю/моніторингу для подальшого аналізу стану надійності авіаційної техніки (АТ) — щоденний та довгостроковий (помісячний, поквартальний, по роках).

У цілому Програма управління надійністю складається з таких систем:

- збору даних;
- аналізу даних;
- робочих стандартів;

- корегувальних дій;
- відображення даних.

Система збору даних

Інформація для аналізу стану надійності ПС береться з бортових або льотних журналів, журналів з ТО, робочих наказів, звітів про затримки та відміни рейсів. З бортових журналів збираються такі дані: номер рейсу; тип рейсу; дата польоту; дата виникнення несправності; тип ПС (виробник і модель); реєстраційні дані: серійний номер ПС, перший і другий пілот; опис несправності; код АТА: система/підсистема; проведені роботи з ТО; підтвердження або непідтвердження відмови; робота, виконана механіком і/або інспектором; номер і категорія агрегату, що обслуговується за відкладеним ТО; номер (шифр) за партії, опис і серійний (заводський) номер заміненого агрегату; причина заміни агрегату; серійний номер двигуна, який був знятий у польоті/відмовив/зупинився; причина заміни/відмови двигуна.

Дані, які збираються з робочих наказів: номер робочого наказу; назва/причина робочого наказу; дані з ефективності; тип ПС (виробник і модель ПС); реєстраційні дані; серійний номер ПС; знайдена відмова/несправність; АТА система/підсистема; номер і категорія агрегату, що обслуговується за відкладеним ТО; роботи, виконані при ТО (номер карти завдання і т. д.); партійний номер, опис і серійний номер заміненого агрегату; номер партії/серійний, причини заміни двигуна або пропелера; причина заміни агрегатів; робота, виконана механіком і/або інспектором.

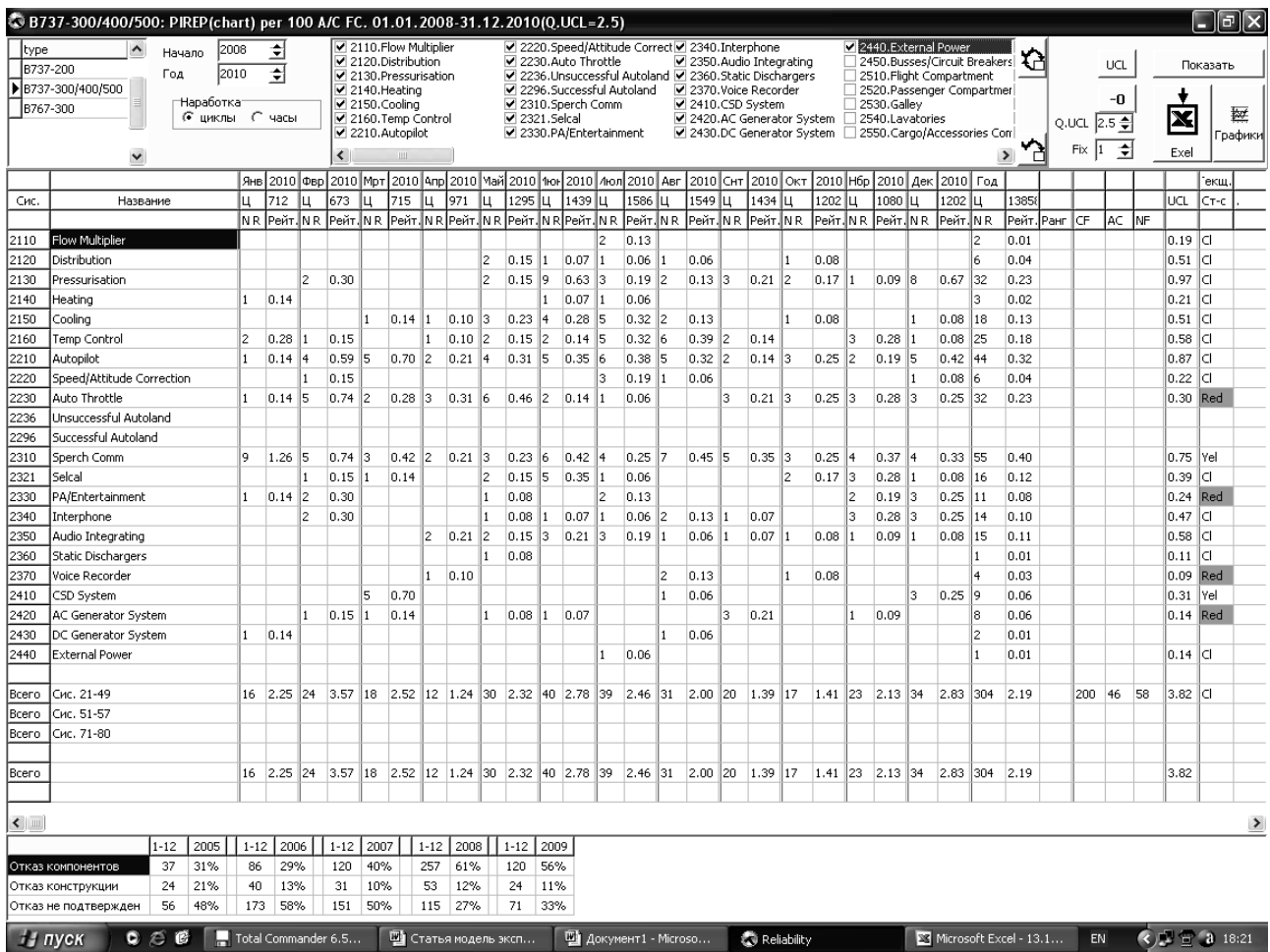


Рис. 1. Щомісячний контроль стану надійності підсистем ПС В737-300/400/500 по відмовах у польоті за 2010 р.

Для візуалізації даних і більш зручного відстеження зміни стану надійності будуються графіки моніторингу показника надійності.

На рис. 2. зображено щомісячний моніторинг стану надійності системи кондиціонування повітря ПС В737-300/400/500 за 2008—2010 рр.

На рис. 2, а відображено зміна стану надійності 21-ї функціональної системи за відмовами, виявленими в польоті, а на рис. 2, б — за відмовами, виявленими на землі. Перший графік можна використовувати для аналізу льотної придатності АТ та безпеки польотів, другий — для аналізу якості проведення ТО.

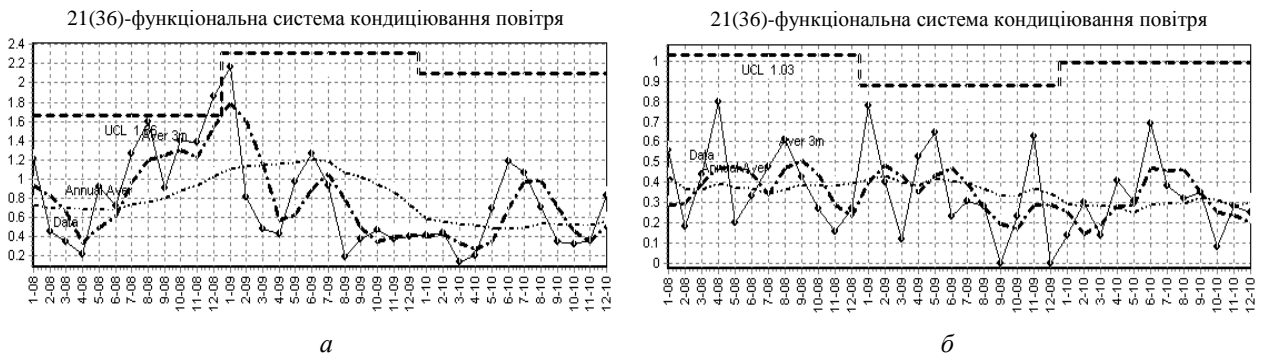


Рис. 3. Моніторинг стану надійності системи кондиціонування повітря (21) ПС В737-300/400/500 за 2008—2010 рр.: а — PIREP; б — MAREP

Система робочих стандартів

Забезпечення надійності повітряних суден

Для визначення стану надійності повітряних суден, що експлуатує авіакомпанія, використовуються дані про відмови та несправності, виявлені в польоті та на землі.

Контроль надійності проводиться для місячного і квартального показника надійності K_{1000} :

$$K_{1000i} = \frac{\text{Кількість відмов на } 1000 \text{ год на } i\text{-й місяць}}{\text{Кількість відмов на } 1000 \text{ год на квартал}};$$

$$K_{1000\text{Q}i} = \frac{K_{1000(i-2)} + K_{1000(i-1)} + K_{1000i}}{3},$$

де K_{1000Mi} — кількість відмов на 1000 год напрацювання за i -й місяць; K_{1000Qi} — кількість відмов на 1000 год напрацювання за квартал.

Значення показника надійності порівнюється зі значенням контрольного рівня (ВКМ). При перевищенні контрольного рівня фіксується попередження про аварійну ситуацію.

Під час перетинання K_{1000Qi} контрольного рівня в двох послідовних місяцях необхідно терміново провести розслідування і виявити причини погіршення стану надійності АТ.

Значення ВКМ щорічно поновлюється. Протягом перших чотирьох років експлуатації ПС можливі великі розходження в значеннях ВКМ.

Кожен рік ці значення аналізуються відповідними відділами з розробки та якості авіаційної техніки.

Після перших чотирьох років експлуатації ПС значення ВКМ повинно стабілізуватися і не від-

різнятися від значення за попередній рік експлуатації на $\pm 10\%$.

Якщо виявлено перевищення допустимого відхилення, то значення ВКМ і інформація зі стану надійності АТ передається для аналізу і проведення розслідування з винесення рішення, приймати даний контрольний рівень чи ні.

На рис. 4. наведено графік моніторингу стану надійності ПС В737-300/400/500 у цілому по відмовах у польоті за 2004–2010 рр.

Суцільною лінією на графіку позначено показник надійності K_{1000Mi} , штрихпунктирною лінією — K_{1000Qi} , пунктирною лінією — ВКМ по роках.

При представленні моніторингу надійності компонентів ПС у графічному вигляді легше відслідковувати перетин показниками надійності ВКМ та виявляти тенденції зміни стану надійності, тренди.

Для кожного борту ПС, що експлуатується в авіакомпанії проводиться моніторинг ряду показників надійності та ефективності — напрацювання в годинах та польотних циклах, середньодобового нальоту та середньої тривалості рейсу.

На рис. 5. наведено моніторинг показників надійності ПС UR-DNC за 2004—2010 рр. Суцільною лінією на графіку позначено напрацювання ПС у польотних циклах, а пунктирною — у годинах.

На рис. 6. наведено моніторинг показників ефективності ПС UR-DNC за 2004–2010 рр. — середньої тривалості польоту (пунктирна лінія) і середньодобового нальоту (суцільна лінія).

Разом

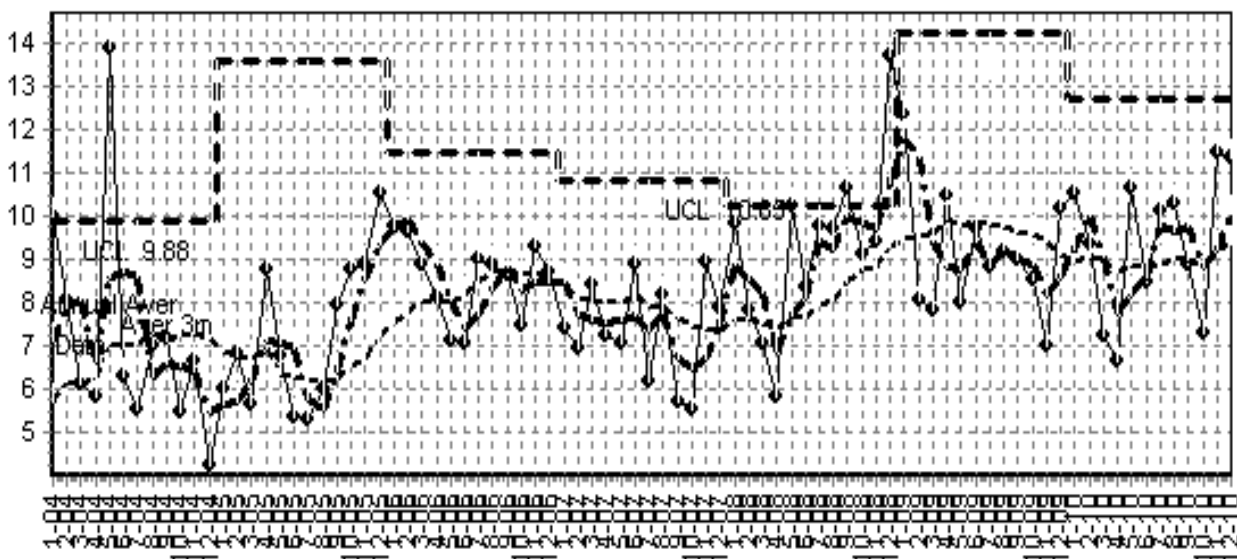


Рис. 4. Контроль надійності ПС В737-300/400/500 за 2004–2010 рр. за K_{1000Mi} , K_{1000Qi}

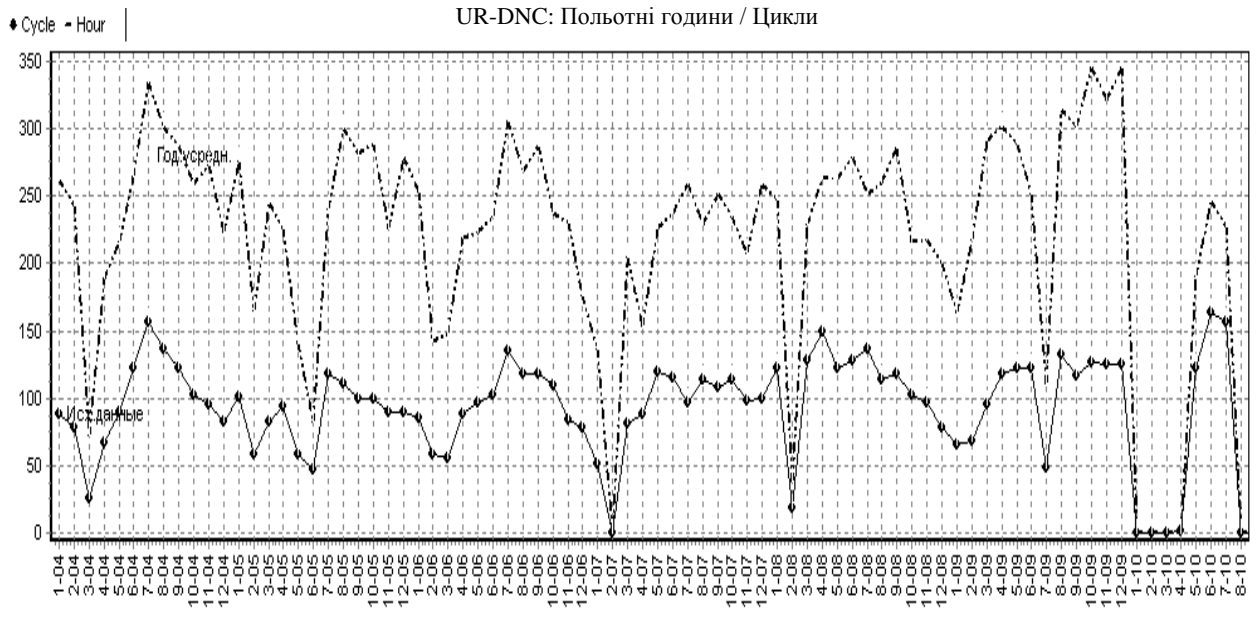


Рис. 5. Моніторинг напрацювання в годинах та польотних циклах повітряного судна UR-DNC за 2004–2010 рр.

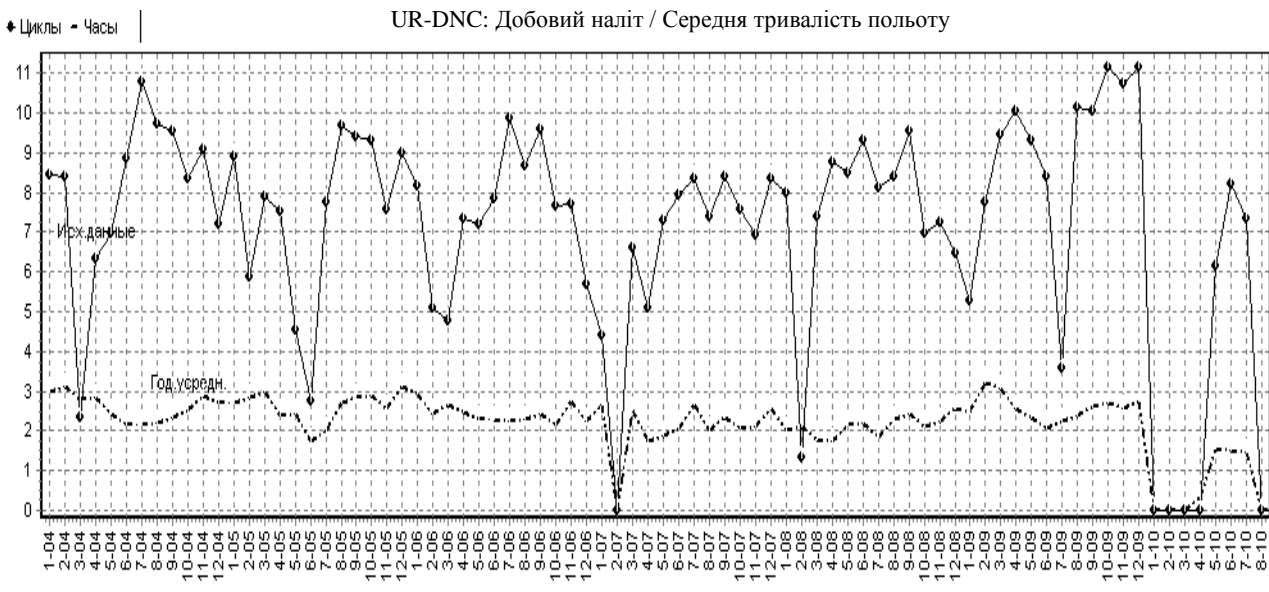


Рис. 6. Моніторинг середньодобового нальоту та середньої тривалості польоту повітряного судна UR-DNC за 2004–2010 рр.

Забезпечення надійності агрегатів

Для визначення стану надійності агрегатів ПС використовуються такі показники:

- напрацювання на зняття агрегатів:

$$MTBR = \frac{T \cdot QPA}{QR}$$

де T — напрацювання в годинах за період; QPA — кількість агрегатів на ПС; QR — кількість знімів агрегату;

- напрацювання на незаплановане зняття агрегатів:

$$MTBUR = \frac{T \cdot QPA}{QUR}$$

де QUR — кількість незапланованих знімів агрегату;

- напрацювання на відмову:

$$MTBF = \frac{FLTHRS \cdot QPA}{QF}$$

де QF — кількість відмов агрегату;

- кількість усіх знімів агрегату на 1000 год напрацювання:

$$TRR = \frac{QR \cdot 1000}{FLTHRS \cdot QPA};$$

• кількість незапланованих зніманих агрегату на 1000 год напрацювання:

$$URR = \frac{QUR \cdot 1000}{FLTHRS \cdot QPA}.$$

Для агрегатів, що експлуатуються «за станом» або за «моніторингом стану» розраховують-

ся лише значення *TRR* і *MTBR*, оскільки для таких агрегатів немає необхідності поділяти зняття агрегатів на заплановані і незаплановані.

Для зручності контролю й аналізу стану надійності агрегатів ПС розраховані значення показників надійності подаються в табличному вигляді, поданому на рис. 7.

Детальніше дана форма розглянута в праці [1].

В737-300/400/500. 01.01.2008 : 31.12.2010 Период Отчет по отказам компонентов за период, Группа по ASN. Учитывать первым Стат-96.

type: B737-200, B737-300/400/500, B767-300. Начало: 2008, Год: 2010. Группа по: PN_OFF, ASN. Учитывать первым: Стат-96, Пред.период. Кол-во подтвержд.отказов: по подтвержд.отк, по допр.съемам. Fix: 5. Exel.

Сист	Part Name	P/N	ASN	QPA	Сум	2008	F	2009	F	2010	F	MTBF	MTBUR	URR	Ста...	Стат	Ста...	URR_P	URR 2008	URR 2009	URR 2010	Кат	
72	ENGINE	CFM56-3B-2	72-00-202-011	2	1					1	1	153216	153216	0.007								0.020	
72	FAN BLADE; FAN BLA...	1663M24P01; 15...	72-31-052-051	100	13	5	5			8	8	589292	589292	0.002				0.002	0.002			0.003	
72	FRONT SPINNER	335-106-402-0	~335-106-402-0		1	1	1					76608	76608	0.013				0.013	0.031				
73	FUEL PUMP PACKAGE;...	708600-5; 70860...	73-11-402-011	2	3			1	1	2	2	51072	51072	0.020				0.006		0.025	0.040	R	
73	POWER MANAGEMENT...	7139M91G01	73-21-144-021	2	1			1	1			153216	153216	0.007				0.019		0.025			
73	C.I.T. SENSOR	8901-274	73-21-460-031	2	1					1	1	153216	153216	0.007				0.006				0.020	N
73	MEC; MEC; MEC	8063-215; 8063-...	73-21-675-011	2	3					3	3	51072	51072	0.020	0.075	13315	49250	0.019				0.060	
73	FUEL FLOW TRANSMI...	8TJ124GGM1; 8T...	73-31-556-011	2	3	1	1	2	2			51072	51072	0.020				0.019	0.016	0.050			N
73	FUEL FILTER DIFF PR...	21SN04-209A	73-35-522-271	2	1			1	1			153216	153216	0.007				0.006		0.025			N
73	Eng. 2 Fuel supply inl...	109003-2	~109003-2		1	1	1					76608	76608	0.013				0.013	0.031				
74	ENG IGNITER PLUG; E...	39501-9072215-1...	74-21-382-011	4	8	3	3	2	2	3	3	38304	38304	0.026				0.022	0.024	0.025	0.030		N
74	LEAD IGNITION RH; L...	9043185-13; 904...	74-21-602-031	2	12	3	3	4	4	5	5	12768	12768	0.078				0.063	0.047	0.101	0.100		N
75	HPT CLEARANCE CTR...	7061M31G05; 70...	75-25-576-471	2	4	1	1	2	2	1	1	38304	38304	0.026				0.025	0.016	0.050	0.020		N
75	VARIAB STATOR VAN...	3289630-2	80-11-576-081	2	1					1	1	153216	153216	0.007				0.031				0.020	
77	Indicator; 1 RPM Indic...	WL101EED3; WL1...	77-12-284-021	2	7	6	6	1	1			21888	21888	0.046				0.044	0.094	0.025			N
77	AVM SIGNAL CONDIT...	6670M2230; 667...	77-31-342-011	1	7	5	5	2	2			10944	10944	0.091	0.081	12276	59377	0.150	0.157	0.101			N
77	EIS PRIMARY DISPLA...	312EDP2-2; 312E...	77-41-284-111	1	15	6	6	1	1	8	8	5107	5107	0.196	0.198	5041	34462	0.163	0.189	0.050	0.320		N
77	EIS Secondary Display...	212EDP1-2; 212E...	77-41-284-121	1	2	1	1	1	1			38304	38304	0.026				0.025	0.031	0.050			N
77	SENSOR RTD BULB	1122514	79-34-460-011	2	1			1	1			153216	153216	0.007				0.006		0.025			N
78	PROXIMITY SENSOR	10-61226-28	27-88-460-021	20	1	1	1					1532...	1532...	0.001					0.002				
78	ACCESSORY UNIT AS...	65-73606-149	78-30-670-011	1	1			1	1			76608	76608	0.013				0.038		0.050			
78	THRUST REVERSER	315A1701-84	78-31-770-011	2	1	1	1					153216	153216	0.007			0	0.006	0.016				N
78	TR LOCKING ACTUAT...	315A1801-22	78-34-008-092	4	1					1	1	306432	306432	0.003				0.006				0.010	
78	Actuator; TR. NON-L...	315A1800-6; 315...	78-34-008-351	8	3	1	1			2	2	204288	204288	0.005	0.010	99820	139...	0.005	0.004			0.010	
78	ENG THRUST REVERS...	2-8020-24	78-34-241-011	6	1					1	1	459648	459648	0.002								0.007	
78	THRUST REVERS CTR...	3810056-106	78-34-687-021	2	1			1	1			153216	153216	0.007				0.006		0.025			N
78	SYNC LOCK ASSY	TV1878-21C	~TV1878-21C		1			1	1	1	1	76608	76608	0.013								0.040	New
79	" Pump	335-261-005-06	79-21-402-011	2	1	1	1					153216	153216	0.007				0.006	0.016				N
79	LOW OIL PRESSURE ...	21SN04-211A	79-33-522-041	2	1			1	1			153216	153216	0.007				0.006				0.020	N
80	ACTUATOR	40574-4	28-22-008-111	2	1	1	1					153216	153216	0.007	0.018	55901			0.016				
80	Starter; Starter; Start...	3505526-8-1; 35...	80-11-502-021	2	10	7	7	2	2	1	1	15321	15321	0.065	0.122	8192	14480	0.063	0.110	0.050	0.020		
80	Valve; Valve; Valve; E...	3289630-2; 3289...	80-11-576-081	2	7	3	3			4	4	21888	21888	0.046					0.047			0.080	
80	STARTER LP REG SOV...	318-630-1001-269	80-13-308-021	2	1	1	1					153216	153216	0.007			0		0.016				
80	Diode	1N4385	~1N4385		1	1	1					76608	76608	0.013				0.013	0.031				
Сум					2008	2009	2010																
					76608.0	31787.2	19840.2	24980.6															

Рис. 7. Контроль надійності агрегатів ПС В737-300/400/500 за 2008–2010 рр.

На основі наведених даних проводиться статистична оцінка роботи агрегатів, визначення стану надійності агрегатів ПС, планування матеріально-технічного забезпечення авіакомпанії, планування робіт з ТО.

Для більш глибокого інженерного аналізу відмов агрегатів, аналізу робіт з проведення ТО, проведення розслідувань виникнення відмов пропонується також використовувати такі дані:

- кількість відправлень агрегатів до центру технічного обслуговування і ремонту (ЦТОіР) майстерень;
- робота, виконана за кожне перебування агрегатів в ЦТОіР;
- напрацювання в годинах і циклах агрегату в момент потрапляння його в ЦТОіР і (середнє)

значення напрацювання агрегату в годинах і циклах при наступному потраплянні його в ЦТОіР;

- назва цеху та історія попадання агрегату в ЦТОіР;
- час повторного ремонту для кожного повторного ремонту і середнє значення часу повторного ремонту;
- вартість кожного перебування агрегату в ЦТОіР середня вартість ремонту.

Забезпечення надійності технічної готовності до польоту

Як показники надійності технічної готовності до польоту використовуються показники затримок та відмов рейсів. Аналізуються затримки рейсів, тривалістю більше 15 хв та усунення від рейсів ПС, які виникли з причини виявлення пе-

рсоналом з ТО відмов або несправностей АТ. Для борту ПС враховується час першої, а не подальших затримок та відмін рейсів.

Показник технічної готовності до польоту визначається як відсоток здійснених польотів без затримок та відмін рейсів до всіх запланованих польотів:

$$DR = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \text{Відмови до польоту}}{\sum_{i=1}^n \text{Запланованих польотів}} \cdot 100,$$

де DR — показник технічної готовності до польоту.

Дані з технічної готовності до польоту аналізуються щомісячно на основі таблиці, до якої заносяться загальні статистичні дані щодо відмов та розраховані значення показників технічної готовності до польоту (рис. 8).

Показник технічної готовності до польоту в таблиці позначається «Tech. надежность».

На основі значень, наведених в таблиці будуються графіки моніторингу показника надійності технічної готовності до польоту ПС (рис. 9).

В737-300/400/500: Суммарный стат. отчет по парку ВС. 01.01.2010 : 31.12.2010

type: В737-200, В737-300/400/500, В767-300
 Месяц: 12, Год: 2010
 Показ., Exel, Граф.

Тип ВС	Пред	Год												Год	2010	Год
	год	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Кол-во ВС	15	9	9	9	13	13	13	13	13	12	12	12	12	13		
Дней	365	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	365	
Налет часов	19840	1328	1243	1162	1644	2302	2509	2749	2737	2568	2113	2119	2501	24980		
Суточное использование	54.36	42.84	44.39	37.48	54.80	74.26	83.63	88.68	88.29	85.60	68.16	70.63	80.68	68.44		
Соедняя продолжительность	1.84	1.87	1.85	1.63	1.69	1.78	1.74	1.73	1.77	1.79	1.76	1.96	2.08	1.80		
Циклов	10767	712	673	715	971	1295	1439	1586	1549	1434	1202	1080	1202	13858		
Задержки >15': - Кол-во	204	20	4	1	17	9	26	42	47	21	19	13	27	246		
- Время	397.69	34.21	3.76	2.33	65.45	7.36	57.81	98.51	62.98	47.5	59.90	40.43	29.76	510.05		
-Тех.зд N (41,46)	54	8	3		5		8	10	13	10	5	3	9	74		
-Оп.зд N (42,43,47,93)	142	12	1	1	12	9	18	31	34	10	14	10	16	168		
-Operation зд(42)	3							4	3	1	1		1	10		
-Operation зд(43)	53	5	1	1	4	6	5	10	13	1	3	7	8	64		
-Operation зд(47)	6							1	2					3		
-Operation зд(93)	80	7			8	3	13	16	16	8	10	3	7	91		
- Задержки первого полета	102	12	4	1	8	6	13	22	26	12	9	10	19	142		
Отмена рейса	3															
Operating Dispatch надежность	98.11	97.19	99.41	99.86	98.25	99.31	98.19	97.35	96.97	98.54	98.42	98.80	97.75	98.22		
Tech.надежность	99.50	98.88	99.55	100.00	99.49	100.00	99.44	99.37	99.16	99.30	99.58	99.72	99.25	99.47		
Dispatch надежность	98.68	98.31	99.85	99.86	98.76	99.31	98.75	98.05	97.81	99.30	98.84	99.07	98.67	98.79		
Technical инцидент	3						1		1				2	4		
Technical авария???																
Выключение двигателя																
UR-DNC Hours					0.33	190.41	246.08	227.08	214.	208.33	144.66	40.91	231.16	1503.		
Циклы					1	122	163	156	146	137	94	26	129	974		
Суточное использование					0.01	6.14	8.20	7.33	6.90	6.94	4.67	1.36	7.46	4.12		
Средн.продолжит. полета					0.33	1.56	1.51	1.46	1.47	1.52	1.54	1.57	1.79	1.54		

Рис. 8. Загальна статистика по відмовах ПС В737-300/400/500 за 2010 рік

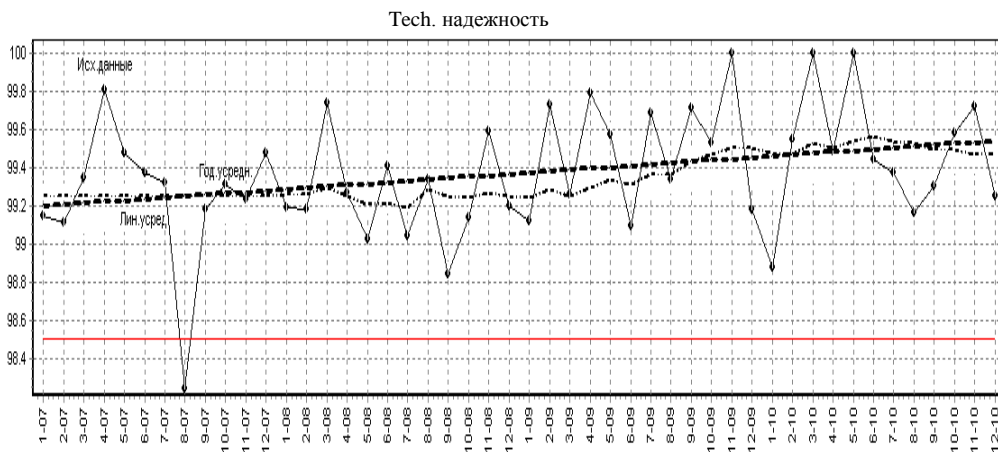


Рис. 9. Моніторинг показника технічної готовності до польоту ПС

Пропонується проводити моніторинг щомісячних значень показника технічної готовності до польоту (суцільна лінія) та згладженого значення за рік (штрихпунктирна лінія). Перший графік використовується для аналізу фактичних значень стану надійності технічної готовності до польоту, а другий — для виявлення тенденцій до зміни стану технічної готовності до польоту ПС.

Система коригувальних дій

Розробкою коригувальних дій в авіакомпанії займаються відділи з розробки, якості та ТО. У разі виникнення підтвердженої відмови, яка призвела до аварійної або небезпечної ситуації, відділи з розробки, якості та ТО повинні провести необхідні роботи з усунення відмови та проведеному розслідуванню з виявлення причин виникнення відмови. Всі коригувальні дії повинні бути схвалені відділом з надійності перед їх впровадженням. Номер корегувальної дії та її опис повинен заноситися до протоколу або записів відділу з надійності. Кожен місяць відділ з надійності має проводити збори, на яких здійснюється контроль якості та термінів виконання коригувальних дій.

Система відображення даних

Дані з надійності можуть бути подані у вигляді звітів, таблиць, графіків та діаграм. Пропонується формувати за допомогою автоматизованої системи такі місячні та кварталні звіти:

- звіт про повторні відмови;
- звіт про виникнення аварійних ситуацій;
- звіт про стан надійності функціональних систем та підсистем(АТА);

- статистика по відмовах компонентів (агрегатів);
- звіт про стан надійності двигунів;
- звіт по затримках та відмова рейсів.

Висновки

Наведена модель експлуатаційної надійності парку ПС направлена на перевірку ефективності загальної системи технічного обслуговування ПС авіакомпанії. Використання цієї моделі полегшить забезпечення льотної придатності ПС та безпеки польотів, підвищить ефективність експлуатації ПС авіакомпанії, допоможе оптимізувати процес матеріально-технічного забезпечення та використання ресурсів авіакомпанії, що, в свою чергу, приведе до підвищення прибутку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кучер О. Г. Контроль та аналіз стану надійності систем і агрегатів повітряних суден в експлуатації / О. Г. Кучер, П. О. Власенко // Наукоємні технології. — 2010. — № 3. — 2009. — С. 20—28.
2. Кучер О. Г. Управління надійністю парку повітряних суден авіакомпанії / О. Г. Кучер, П. О. Власенко // Авиационно-космическая техника и технология. — 2009. — № 4(61). — С. 88—95.
3. Кучер О. Г. Забезпечення льотної придатності повітряних суден авіакомпанії / О. Г. Кучер, П. О. Власенко // Наукоємні технології. — 2010. — № 3. — 2009. — С. 20—28.
4. Автоматизированная система контроля надежности парка воздушных судов авиакомпании «АЭРОСВИТ». Руководство пользователя / науч. рук. А. Г. Кучер; отв. исп. А. С. Якушенко, исп. П. А. Власенко, А. Ю. Сухоруков. — К. : НАУ, 2008. — 167 с.

Стаття надійшла до редакції 20.12.2010.