

КОНТРОЛЬ ТА АНАЛІЗ СТАНУ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ І АГРЕГАТИВ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Кучер О. Г., д-р техн. наук; Власенко П. О.

Національний авіаційний університет

kucher@nau.edu.ua

Розглянуто основні принципи контролю стану надійності систем і агрегатів повітряних суден в експлуатації. Запропоновано стандарти для контролю стану надійності авіаційної техніки. Розглянуто два види контрольних меж. Запропоновано метод дисперсійного аналізу для контролю стану надійності авіаційної техніки. Наведено результати аналізу функціональних систем і агрегатів повітряних суден, отриманих на основі автоматизованої системи.

Ключові слова: надійність, показники надійності, контроль надійності, моніторинг надійності, аналіз надійності, контрольні рівні надійності, метод дисперсійного аналізу, лінійні контролери.

The main concepts of airplane systems and components reliability control during their operation were considered. The standards for reliability control of aviation technique were proposed. Two types of control levels were considered. The method of variance analysis for reliability control of aviation technique was proposed. The results of reliability control, taken from automated system, are shown.

Key words: reliability, reliability rate, reliability control, reliability analysis, reliability monitoring, upper control limit, analysis of variance method, linear contrasts.

Постановка проблеми

В Україні для всього парку повітряних суден (ПС) ведеться контроль і аналіз стану надійності по літаку в цілому, видам обладнання, функціональним системам і агрегатам. Але даний аналіз не дозволяє відслідковувати зміну стану надійності конкретних функціональних систем або агрегатів для окремих бортів. У статті запропоновано метод індивідуального контролю ПС, їх систем та агрегатів.

Контрольні рівні надійності авіаційної техніки

Для контролю стану надійності авіаційної техніки (АТ) використовуються показники надійності — напрацювання на відмову в годинах (T) чи посадках (циклах) (T_n) та кількість відмов на 1000 год (посадок) напрацювання (K_{1000c} , K_{1000n}) або на 100 год (посадок) (K_{100c} , K_{100n}), детально розглянутих у працях [1; 5]. У процесі експлуатації значення цих показників надійності порівнюються із значеннями контрольних рівнів (меж).

Для проведення контролю показників надійності встановлюється два види контрольних рівнів (меж):

- контрольні межі, які задаються фірмою-розробником авіаційної техніки або Державіаадміністрацією окремо для кожної функціональної системи та агрегату, засновуючись на досвіді експлуатації всього парку ПС цього типу АТ.

Для нових агрегатів, що не впливають на безпеку польотів, на час перших 6 місяців експлуатації верхня контрольна межа (ВКМ) розраховується за формулою:

$$\text{ВКМ}_{\text{нов}} = \frac{0,5 \cdot 1000}{n \cdot N_n},$$

де n — кількість відмов за період; N_n — наробіток парку за період;

- контрольна межа, яка встановлюється авіакомпанією для функціональних систем і агрегатів ПС, які вона експлуатує.

Значення контрольної межі розраховується на основі даних про відмови з попереднього періоду експлуатації функціональних систем і агрегатів. Ця контрольна межа використовується для виявлення зміни стану їх надійності.

Для більш ефективної і оптимальної експлуатації авіаційної техніки пропонується використовувати такі стандарти:

- у перші 6 місяців експлуатації АТ використовувати значення ВКМ нов для контролю стану надійності агрегатів.

- з 6 по 12 місяць експлуатації використовувати контрольний рівень, значення якого базується на відмовах і несправностях, що були зареєстровані протягом перших 6 місяців експлуатації:

$$\text{Тимчасова ВКМ} = m_6 + k * \sigma_6,$$

де

$$m_6 = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 n_i; \quad \sigma_6 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (n_i - m)^2}{6}};$$

n_i — кількість відмов за місяць; k — коефіцієнт, що зазвичай, приймає значення в діапазоні 2...3;

після 12 місяців експлуатації розраховується ВКМ на основі даних за попередній рік:

$$\text{ВКМ} = m + 2,5 * \sigma,$$

де

$$m = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} n_i; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (n_i - m)^2}{12}};$$

n_i — кількість відмов на місяць.

Для проведення контролю стану надійності ПС встановлюються контрольні межі для літака в цілому, його функціональних систем та агрегатів.

У табл. 1 наведені контрольні рівні по всьому парку ПС України на 2010 рік для показників надійності напрацювання на відмову і кількості відмов на 1000 год напрацювання в експлуатації (K_{1000c} , T_c) та в польоті ($K_{1000п}$, T_p). Контрольні рівні показників надійності в експлуатації забезпечують ефективну експлуатацію ПС, зменшення витрат на ТО, оптимізацію процесу матеріально-технічного забезпечення.

Контрольні рівні показників надійності в польоті використовуються для забезпечення вимог з безпеки польотів.

Таблиця 1

Середня тривалість польоту ПС за 2009 р. та контрольні рівні надійності на 2010 р.

Тип ПС	Контрольні рівні надійності				Середня тривалість польоту
	T_c не менше	K_{1000c} не більше	T_p не менше	$K_{1000п}$ не більше	
Ан-2	15.00	60.00	—	—	—
Ан-12	15.00	60.00	60.00	15.00	4.00
Ан-22	15.00	60.00	100.00	10.00	4.00
Ан-24	25.00	40.00	60.00	15.00	2.00
Ан-26	25.00	40.00	60.00	15.00	2.00
Ан-74	20.00	50.00	60.00	15.00	3.00
Ан-124	10.00	100.0	60.00	15.00	5.00
Ан-140	20.00	50.00	60.00	15.00	3.00
Ан-148	20.00	50.00	60.00	15.00	3.00
Ан-225	5.00	200.0	50.00	20.00	4.50
А-320	60.00	10.00	200.00	5.00	5.00
АК1-3	50.00	20.00	—	—	—
Agusta-109E	60.00	10.00	100.00	10.00	1.00
ATR-42	40.00	20.00	100.00	10.00	2.00
В-300	30.00	30.00	100.00	10.00	3.00
Bell-407	60.00	10.00	100.00	10.00	1.00
В-737 (300-800)	10.00	100.00	40.00	25.00	4.00
В-767-300ER	10.00	100.00	50.00	20.00	5.00
Cessna 525B	40.00	20.00	200.00	5.00	1.50
CL600-2B19	40.00	20.00	100.00	10.00	2.00
DA-42 TDI	50.00	20.00	200.00	5.00	4.00
DC 9-51	15.00	60.00	100.00	10.00	6.00

Закінчення табл. 1

Тип ПС	Контрольні рівні надійності				Середня тривалість польоту
	T_c не менше	K_{1000c} не більше	T_p не менше	$K_{1000п}$ не більше	
DORNIER-328-300	50.00	20.00	200.00	5.00	4.00
EMBRAER-145	60.00	10.00	100.00	10.00	1.00
MD-82	50.00	20.00	200.00	5.00	4.00
MD-83	50.00	20.00	200.00	5.00	4.00
Falcon-20	30.00	30.00	100.00	10.00	3.00

Falcon-50	40.00	20.00	100.00	10.00	2.00
Falcon-900	30.00	30.00	–	–	–
Fan Jet Falcon F	20.00	50.00	100.00	10.00	2.00
GULFSTREAM	50.00	20.00	–	–	–
Learjet 60	30.00	30.00	–	–	–
R-44	40.00	20.00	–	–	–
SAAB-340	60.00	10.00	–	–	–
SCHWEIZER-269C	50.00	20.00	–	–	–
X-32	50.00	20.00	–	–	–
Іл-62М	–	–	–	–	–
Іл-76ТД	20.00	50.00	100.00	10.00	4.00
Ка-26	20.00	50.00	200.00	5.00	2.00
Ка-32Т	40.00	20.00	–	–	–
Л-410УВП-Е	40.00	20.00	100.00	10.00	2.00
Л-410УВП	30.00	30.00	60.00	15.00	2.00
Мі-2	40.00	20.00	200.00	5.00	2.00
Мі-8Т	30.00	30.00	200.00	5.00	3.00
Мі-8-МТВ(-1)	50.00	20.00	200.00	5.00	4.00
Мі-171	40.00	20.00	–	–	–
НАПП-1	30.00	30.00	–	–	–
Ту-134	–	–	–	–	–
Як-18	20.00	50.00	–	–	–
Як-40	20.00	50.00	50.00	20.00	1.50
Як-42	25.00	40.00	60.00	15.00	2.00
Як-42Д	25.00	40.00	60.00	15.00	2.00
Як-52	30.00	30.00	–	–	–

У табл. 2 наведено показники надійності за всіма функціональними системами ПС В737-300/400/500 за 2003—2008 рр. та усереднене значення контрольного рівня.

Таблиця 2

Контрольні рівні надійності за системами ПС В737-300/400/500 за 2003—2008 рр.

Система	Назва	K _{100с} 2003	K _{100с} 2004	K _{100с} 2005	K _{100с} 2006	K _{100с} 2007	K _{100с} 2008	K _{100с} 2003- 2008
21(36)	Система кондиціонування повітря	2,38	2,41	1,46	2,24	1,66	2,31	2,08
22	Обладнання автоматичного управління польотом	0,55	1,12	1,64	1,22	1,00	1,62	1,19
23	Устаткування зв'язку	1,03	2,39	0,96	1,57	1,59	1,05	1,43
24	Система електропостачання	1,50	0,76	0,51	0,72	0,67	0,56	0,79
25	Побутове та аварійно-рятувальне обладнання	0,63	0,69	0,62	0,40	0,45	0,74	0,59

Закінчення табл. 2

Система	Назва	K _{100с} 2003	K _{100с} 2004	K _{100с} 2005	K _{100с} 2006	K _{100с} 2007	K _{100с} 2008	K _{100с} 2003- 2008
26	Протипожежне обладнання	0,26	0,90	0,46	0,60	0,32	0,21	0,46
27	Система управління повітряним ПС	0,56	0,80	0,77	1,13	1,05	1,17	0,91
28	Паливна система	0,74	0,91	0,98	1,69	0,66	1,45	1,07
29	Гідравлічна система	0,49	0,52	0,42	0,49	0,38	0,36	0,44
30	Система захисту від зледеніння	0,30	0,33	0,55	0,74	0,69	0,85	0,58
31	Приладне обладнання	0,96	0,99	0,77	0,42	0,56	0,56	0,71
32	Шасі	0,67	1,39	0,83	1,08	0,67	0,97	0,94

33	Світлотехнічне обладнання	0,92	1,69	2,56	1,45	1,44	2,45	1,75
34	Приладне обладнання,електронна автоматика	2,06	3,53	2,01	2,66	2,35	2,58	2,53
35	Кисневе обладнання	0,16	0,24	0,37	0,09	0,26	0,16	0,21
36	Пневматична система	0,30	0,47	0,25	0,58	0,40	0,47	0,41
38	Система водооснащення і видалення відходів	0,51	–	0,11	0,09	0,15	0,32	0,20
49	Бортова допоміжна силова установка	1,39	1,21	1,02	0,95	0,73	1,35	1,11
51(57)	Конструкція планера	–	0,20	0,30	0,18	0,27	0,18	0,19
52	Двері, люки, ступки	0,37	0,40	1,05	0,57	0,53	0,63	0,59
56	Ліхтар,вікна	0,51	0,43	0,31	0,36	0,48	0,56	0,44
71	Силовая установка	–	–	–	–	–	0,08	0,01
72	Газотурбінний двигун	0,57	0,63	0,49	0,45	0,56	0,35	0,51
73	Паливна система двигуна		0,30	0,57	0,18	0,22	0,14	0,24
74	Система запалення	0,58	0,29	0,16	0,27	0,37	0,15	0,30
75	Система відбору повітря	–	–	0,25	0,22	0,06	0,20	0,12
76	Система управління двигуном	–	0,18	0,10	0,17	0,17	0,23	0,14
77	Прилади контролю двигуна	0,28	0,28	0,32	0,43	0,56	0,36	0,37
78	Система вихлопу	–	0,27	0,43	0,35	0,42	0,22	0,28
79	Масляна система	0,26	0,25	0,32	0,31	0,24	0,12	0,25
80	Система запуску	0,82	0,33	0,30	0,16	0,21	0,32	0,36

На рис. 1 наведено приклад контролю стану надійності функціональних систем ПС В737-300/400/500 за 2004—2009 рр., використовуючи наведені вище контрольні рівні.

Контроль стану надійності АТ на основі методів дисперсійного аналізу та лінійних контрастів. Для контролю стану надійності АТ пропонується використовувати метод однофакторного дисперсійного аналізу. Вирішується задача порівняння середніх для визначення однорідності різних груп вибірок. Як групи вибірок можуть використовуватися згруповані дані про відмови агрегатів або показники надійності окремих систем парку ПС за виділені терміни календарного часу (місяць, квартал, рік) або для окремих індивідуальних номерів ПС.

Якщо за нормально розподілену випадкову величину взяти кількість відмов n , які спостерігаються по окремо взятій системі ПС щоквартально за період в два роки. То результати спостережень складають l вибірок (груп) обсягом u_k , $k = 1, 2, \dots, l$, ($l = 8$) приналежних l генеральним сукупностям, що мають рівні, але невідомі дисперсії σ^2 і математичні сподівання m_k , $k = 1, 2, \dots, l$.

Перевіряється гіпотеза $H_0: m_1 = m_2 = \dots = m_l = m$.

Для цього розраховуються

$$A = \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^{u_k} n_{ik}^2; B = \sum_{k=1}^l \frac{1}{u_k} \left(\sum_{i=1}^{u_k} n_{ik} \right)^2;$$

$$C = \frac{1}{u} \left(\sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^{u_k} n_{ik} \right)^2,$$

де n_{ik} — i -е значення k -ї вибірки, $k = 1, 2, \dots, l$, $i = 1, 2, \dots, u_k$; $u = \sum_{k=1}^l u_k$.

Основна тотожність дисперсійного аналізу:

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

де Q — загальна сума квадратів відхилень спостережень від загального середнього:

$$Q = A - C;$$

Q_1 — сума квадратів відхилень вибірових середніх \bar{n}_k від загального середнього \bar{n} (між групами):

$$Q_1 = B - C;$$

Q_2 — сума квадратів відхилень спостережень від вибірових середніх груп (усередині груп):

$$Q_2 = A - B.$$

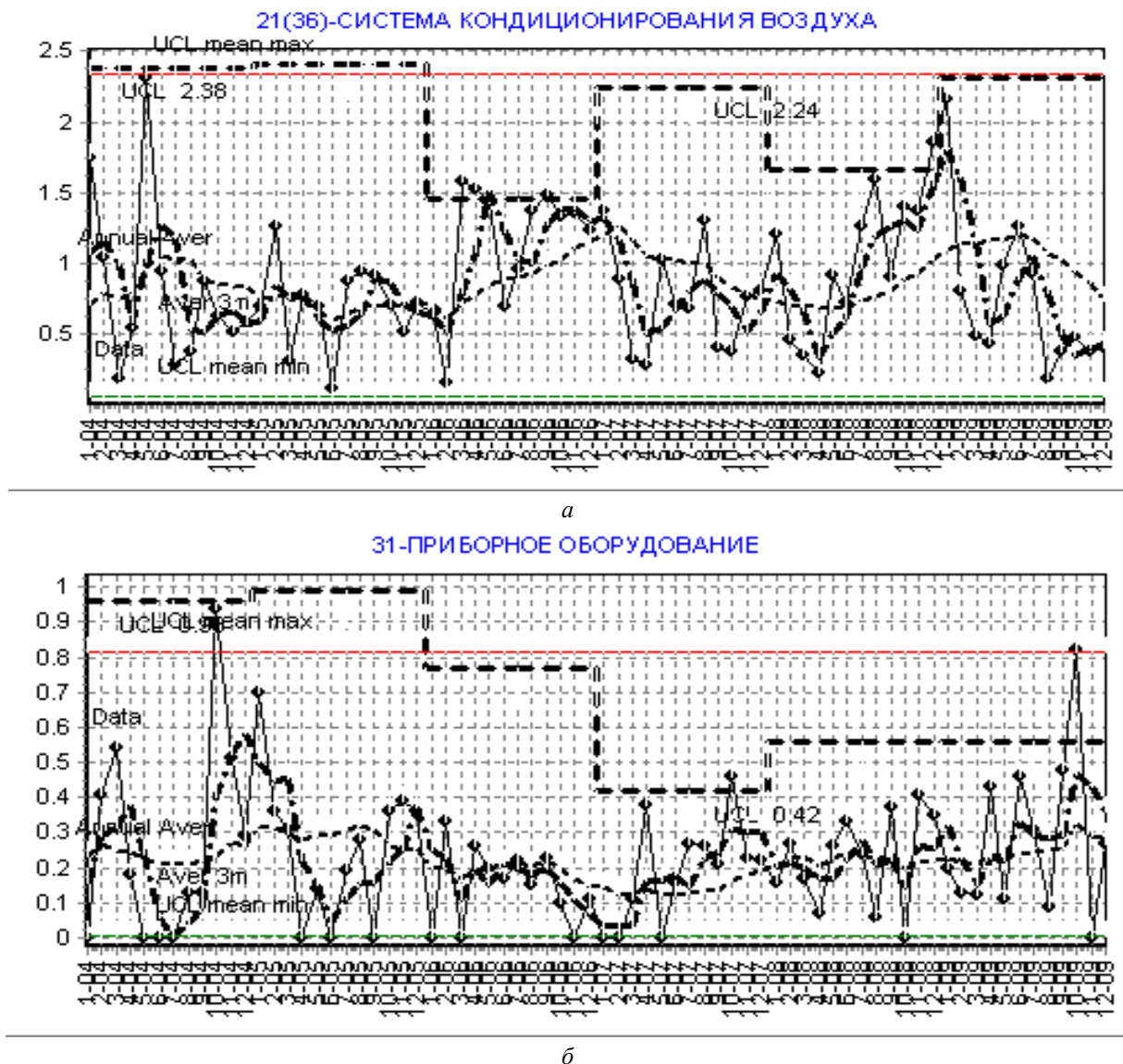


Рис. 1. Контроль надійності систем кондиціонування повітря:
 а — приладного обладнання; б — за показником K_{100c}

Якщо гіпотеза H_0 вірна і незалежні випадкові величини \bar{n}_{ik} мають нормальний розподіл $N(m, \sigma)$, $i = 1, 2, \dots, u_k$, $k = 1, 2, \dots, l$, то вибіркові середні \bar{n}_k також незалежні і мають нормальний розподіл $N\left(m, \frac{\sigma}{\sqrt{u_k}}\right)$. Таким чином, суми квадратів відхилень Q , Q_1 і Q_2 зв'язані з розподілом χ^2 співвідношеннями:

$$\begin{aligned} Q &= \sigma^2 \chi^2(u-1); \\ Q_1 &= \sigma^2 \chi^2(l-1); \\ Q_2 &= \sigma^2 \chi^2(u-l). \end{aligned}$$

Статистики $S_1^2 = \frac{Q_1}{l-1}$ і $S_2^2 = \frac{Q_2}{u-l}$ є незміщеними оцінками дисперсії результатів спостережень σ^2 , і їхнє відношення має розподіл Фішера:

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{Q_1/(l-1)}{Q_2/(u-l)} = F(l-1, u-l). \quad (1)$$

Гіпотеза $H_0: m_1 = m_2 = \dots = m_l = m$ приймається на рівні значимості α , якщо вибіркове значення F_B статистики (1) менше квантілі $F_{1-\alpha}(l-1, u-l)$, тобто якщо $F_B < F_{1-\alpha}(l-1, u-l)$. У цьому випадку кількість відмов, виявлених за квартали l належні одній генеральній сукупності, тобто не було виявлено різкого змiну стану надійності агрегатів.

Якщо $F_B \geq F_{1-\alpha}(l-1, u-l)$, то гіпотеза H_0 відхиляється, і доцільно вважати, що серед середніх m_1, m_2, \dots, m_l є хоча б два, не рівних один одному, а отже в якомусь із періодів експлуатації авіаційної техніки виявлена різка зміна стану надійності.

Для виявлення відхилення від допустимого стану надійності з точністю до місяця можна використовувати ковзаючу смугу, тобто зміщувати контрольовані квартали на місяць до появи різкої зміни стану надійності. Але дисперсійний аналіз дозволяє виявити лише факт зміни стану надійності, а не період, в якому відбулася зміна. Для останнього використовується метод лінійних контрастів. Лінійний контраст L_k визначається як лінійна комбінація:

$$L_k = \sum_{k=1}^l c_k m_k,$$

де $c_k, k = 1, 2, \dots, l$ — константи, однозначно зумовлені з формулювання гіпотез, що перевіряються, причому $\sum_{k=1}^l c_k = 0$. Оцінка L_k дорівнює

$$\tilde{L}_k = \sum_{k=1}^l c_k n_k, \text{ а оцінка дисперсії } \tilde{L}_k \text{ дорівнює}$$

$$s_{L_k}^2 = D[\tilde{L}_k] = \tilde{\sigma}^2 \sum_{k=1}^l \frac{c_k^2}{u_k} = \frac{Q_2}{u-l} \sum_{k=1}^l \frac{c_k^2}{u_k}.$$

Границі довірчого інтервалу для L_k мають вигляд

$$\tilde{L}_k \pm s_{L_k} \sqrt{(l-1) F_{1-\alpha}(l-1, u-l)}.$$

Якщо нульове значення накладається довірчим інтервалом, то гіпотеза приймається.

Індивідуальний контроль надійності функціональних систем та агрегатів бортових номерів ПС. Запропонована вище методика контролю стану надійності АТ була впроваджена в автоматизовану систему [6] для індивідуального аналізу окремих бортових номерів ПС.

На рис. 2 наведено звіт зі стану надійності комплектуючих виробів повітряних суден В737-300/400/500 за 2003—2009 рр.

Для кожного агрегату задається партійний номер (Part Name), код ASN (ASN), кількість агрегатів цього типу на ПС (QPA), значення контрольного рівня, заданого фірмою-розробником АТ (Стат URR), напрацювання на дострокове зняття (Стат), напрацювання на відмову в польоті (Стат MTE), значення контрольного рівня (URR_P) та показника надійності K_{1000} по рокам (URR2003-URR2009).

Аналіз стану надійності проводиться шляхом порівняння значень показників K_{1000} та ВКМ. При перевищенні значення K_{1000} контрольного рівня один раз за період, остання комірка таблиці (Кат) зафарбовується жовтим кольором і позначається літерою N, два рази за період — оранжевим кольором і позначається літерою Y, більше двох разів — червоним кольором і літерою R.

В737-300/400/500. 01.01.2003 : 31.12.2009 Період Отчет по отказам компонентов за период, Группа по ASN. Учитывать первым Стат-96.

Сист	Part Name	P/N	ASN	QPA	Стат...	Стат	Стат...	URR_P	URR 2003	URR 2004	URR 2005	URR 2006	URR 2007	URR 2008	URR 2009	Кат
34	M/A INDICATOR; Mac...	2063-11-1; 2063...	34-12-284-661	2	0.087	11447	30967	0.154	0.214	0.033	0.148	0.121	0.283	0.157		N
34	STBY Altimeter; ALTIM...	WL102AMS3; WL...	34-13-284-032	1	0.115	8661	17698	0.021			0.040	0.035	0.031	0.050		
34	TAT Probe; Sensor Pr...	102AH2AG; 102A...	34-14-460-041	1	0.117	8558	11499	0.049			0.049	0.040	0.106	0.063		
34	RDDMI; RDDMI; RDD...	4034559-901; 40...	34-21-284-742	2	0.056	17858	32536	0.056	0.043	0.066	0.049	0.060	0.035	0.094	0.025	
34	Pilot STBY compass; S...	C5C; 65-3349-45	34-24-284-431	1				0.007			0.049				0.050	N
34	STBY Horizon; STBY ...	H311ANM; H311A...	34-25-284-441	1	0.355	2816	4760	0.280	0.085	0.131	0.197	0.362	0.354	0.440	0.202	
34	EADI; EFIS SYMBOL G...	622-9436-101; 6...	34-26-250-011	2	0.077	12919	49327	0.028	0.043			0.020		0.094	0.076	
34	EHSI; EHSI; EHSI; EH...	622-7999-013; 6...	34-26-284-452	2	0.107	9381	20836	0.028				0.071	0.063	0.025		
34	EADI; EADI; EADI; EA...	622-7998-013; 6...	34-26-284-482	2	0.100	9989	14180	0.049	0.043	0.033	0.049	0.040	0.035	0.094	0.025	
34	Flight Instrument Con...	622-8001-001; 6...	34-26-368-541	2	0.249	4020	6170		0.033	0.148	0.121	0.088	0.047	0.076		
34	DAA; DAA 2; DAA 2; ...	DG1035AB03; DG...	34-27-146-011	2	0.041	24283	80384	0.028		0.025	0.040	0.018	0.063	0.025		
34	IRU	69-73713-12	34-27-368-521	1				0.007				0.035				
34	IRS Control Display P...	CG1135AC02; 46...	34-27-368-591	1				0.021		0.066		0.040	0.035			
34	IRU; IRU; IRU; IRU; I...	HG1050AD05; HG...	34-27-665-011	2	0.110	9088	25980	0.147	0.085	0.164	0.025	0.121	0.159	0.299	0.353	N
34	Antenna Pedestal; Ori...	622-5135-002; 2...	34-41-024-051	1	0.017	60104	100173	0.049	0.066	0.049	0.040	0.071	0.063			Y
34	WXR receiver; WXR r...	622-5132-106; 6...	34-41-550-011	1	0.041	24283	80384	0.182	0.131	0.246	0.241	0.142	0.252	0.050		R
34	Antenna Pedestal; W...	622-5135-002; 6...	34-41-673-021	2				0.018	0.033		0.020	0.035	0.016			
34	GPWS COMPUTER; Co...	965-0976-020-21...	34-43-130-231	1	0.158	6334	25458	0.028			0.049		0.094	0.101		
34	TCAS Antenna; TCAS ...	622-8973-001; 6...	34-45-024-411	2				0.025			0.074	0.040		0.031	0.101	N
34	TCAS COMPUTER; TC...	822-1293-002; 8...	34-45-130-341	1				0.035	0.066	0.049		0.035	0.063	0.101		N
34	Radio Altimeter; LRR...	9599-607-14931; ...	34-48-550-091	2				0.014					0.063	0.050		N
34	VHF Nav CP; VHF Nav...	G6773-02; G6773...	34-50-368-341	2				0.112	0.085	0.164	0.049	0.161	0.106	0.142	0.050	
34	VHF Nav Receiver; VH...	822-0761-001; 8...	34-51-410-201	1	0.197	5085	18269	0.371	0.342	0.526	0.099	0.322	0.602	0.440	0.101	N
34	VOR/ILS RELAY	D2-723Q1	34-51-420-171	2			0							0.025		New
34	ATC Control Panel; AT...	622-8974-016; 0...	34-53-368-081	1	0.098	10186	15796	0.112	0.085	0.066	0.197	0.161	0.142	0.063		N
34	Transponder; ATC TR...	822-1338-003; 8...	34-53-550-111	2	0.088	11386	41141	0.004	0.043		0.074	0.040	0.053	0.094	0.126	
34	DME Interrogator; Sca...	622-4540-001; 6...	34-55-290-011	2	0.089	11248	39111	0.126	0.085	0.131	0.123	0.121	0.071	0.220	0.050	N
34	ADF ANTENNA COUPLER	2070122-0502	34-57-152-041	2			0	0.004						0.016		
34	ADF CP; ADF Panel; A...	792-6275-005; 7...	34-57-368-121	2	0.056	17864	27912	0.021	0.043	0.033		0.020	0.018	0.031	0.025	
34	ADF receiver; ADF Re...	777-1492-005; 7...	34-57-410-091	2	0.087	11481	37250	0.021	0.085					0.063		
34	GPS ANTENNA; GPS A...	567-1575-133; S...	34-58-024-521	2			0								0.126	New
34	Flight Management Co...	168925-06-01; 1...	34-61-130-251	2	0.250	4006	15038	0.084		0.033	0.025	0.141	0.106	0.142	0.050	
34	FMC CDU; FMC CDU; ...	1166891-01-01; 1...	34-61-368-531	2	0.331	3025	4335	0.123	0.128	0.099	0.222	0.060	0.071	0.204	0.151	
Сум	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009									
151931.3	11701.5	15210.0	20292.3	24847.9	28252.2	31787.2	19840.2									

Рис. 2. Звіт зі стану надійності комплектуючих виробів повітряних суден авіакомпанії

Якщо відмова агрегату на ПС з'явилася вперше в останній рік заданого періоду, то комірка таблиці зафарбовується зеленим кольором і позначається NEW. З наведеного фрагмента таблиці (рис. 2) видно, що для ПС В737-300/400/500 за 2003—2009 рр. по 34-м системам (приладне обладнання, електронна автоматика) один раз було зафіксовано перевищення значенням K_{1000} контрольного рівня для 9 агрегатів, 2 рази — для одного агрегату і більше двох разів — для одного агрегату.

У 2009 р. вперше були зафіксовані відмови двох нових агрегатів. Дані таблиці використовуються для розробки оптимального плану технічного обслуговування ПС та плану матеріально-технічного забезпечення авіакомпанії.

У рамках автоматизованої системи проводиться індивідуальний контроль надійності систем та підсистем ПС.

На основі даних про відмови формуються чотири звіти зі стану надійності систем ПС за обраний період експлуатації — по відмовам, виявленим у польоті — PIREP (рис. 3), на землі — MAREP (рис. 4), в експлуатації — PIREP+MAREP (рис. 5), та тих, які призвели до затримок рейсів — DELAY>15 (рис. 6). Контроль можна проводити як за функціональними системами (ATA 2), так і за підсистемами (ATA 4) ПС (рис. 7).

Звіти по відмовам у польоті (PIREP) дають змогу отримати інформацію для забезпечення безпеки польотів, усі інші — більшою мірою, для оцінки економічної ефективності експлуатації ПС. Для всіх видів звітів в системі передбачений контроль стану надійності по відмовам, показникам надійності K_{100n} (у польотних циклах) та K_{1000C} (в годинах напрацювання).

Зазвичай, контроль надійності по відмовам, які призвели до затримок рейсів і виявлених у польоті проводиться на основі показника K_{100n} , а по відмовам, виявленим на землі та в експлуатації — K_{1000C} .

Також для всіх видів звітів можна побудувати графіки цих показників надійності по бортах для всіх функціональних систем (рис. 8) та по системах для всіх бортів (рис. 9), а також для окремої системи по всіх бортах (рис. 10), і для окремого борту по всім системам (рис. 11).

На вказаних рисунках приводяться дані результатів контролю ПС В737-300/400/500 за січень–вересень 2010 р.

Методика контролю складається порівняно з розрахунковими показниками та контрольними рівнями надійності та зручному аналізі відображених результатів.

Для кожної системи ПС розраховується значення показника надійності K_{1000C} по кожному борту окремо (UR-DNC — UR-VVU) і по парку в

цілому (усього) за контрольний період (01.09.2010) та контрольна межа (UCL) за попередній рік експлуатації (2009).

Значення K_{1000C} порівнюються зі значеннями контрольних рівнів. При перевищенні значення K_{1000C} контрольного рівня, відповідна комірка зафарбовується оранжевим кольором.

Додатково по кожній системі визначаються найбільші значення показника K_{1000C} , які перевищили контрольний рівень і комірка, що відповідає даному значенню зафарбовується червоним кольором.

Для систем, в яких по всім бортам не було виявлено перевищення контрольної межі показником надійності, комірка з найбільшим значенням зафарбовується світло-жовтим кольором.

Даний звіт дозволяє, *по-перше*, виявити ПС, для яких фіксується найгірший стан надійності за окремими функціональними системами і, *по-друге*, функціональні системи, для яких виявлено найгірші значення показників надійності по всім бортам порівняно з попереднім терміном експлуатації.

За наведеним на рис. 3 звітом зі стану надійності ПС по відмовам, виявленим в польоті найгірші значення показника надійності K_{100n} виявлено для систем автоматичного управління польотом (22), приладного обладнання (34) та системи запуску двигунів (80).

Для бортів найгірший стан надійності зафіксовано для ПС UR-VVM, UR-DNC та UR-VVE.

На рис. 7 наведено детальніший звіт з надійності (K_{100n}) по відмовам, виявленим у польоті за підсистемами ПС. З наведеного фрагменту звіту видно, що найгірший стан надійності у підсистем 2150, 2230, 2420, 2520.

На рис. 4 наведено звіт по відмовам систем ПС, виявленим на землі.

Найбільша кількість відмов зафіксована для шасі (32), світлотехнічної системи (33), побутового та аварійно-рятувального обладнання (25). Найбільша кількість відмов за січень–вересень 2010 р. зафіксована для бортів UR-VVP, UR-VVL та UR-VVS.

За наведеним на рис. 5 звітом по відмовам в експлуатації найгірші значення показників надійності (K_{100n}) виявлено для світлотехнічного обладнання (33), приладного обладнання (34), газотурбінного двигуна (72), силової установки (71) та системи запуску (80). Найгірший стан надійності зафіксовано на ПС UR-VVM, UR-DNC та UR-VVN.

На рис. 6 наведений звіт зі стану надійності по відмовам, що призвели до затримки рейсів. Найгірше значення показника надійності зафіксовано для шасі (32) та паливної системи двигуна (73). Найгірший стан надійності у ПС UR-VVM, та UR-DNC.

В737-300/400/500: Надійність систем окремих ВС; PIREP; 01.01.2010-30.09.2010; K100 (цикли)

Сис.	Назва	UR-DNC	UR-DND	UR-IVK	UR-WVA	UR-WE	UR-VL	UR-VWM	UR-VWN	UR-VP	UR-VWQ	UR-VWS	UR-VWU	Всього	UCL	
21(36)	СИСТЕМА КОНДИЦІОНІРУВАННЯ	1.5083													2.1038	
22	ОБОРУДОВАННЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО	1.0204	1.2066	0.3322	1.2448	0.7126	0.3024	0.6186	0.5187	0.2910	0.9426	0.5168	0.6995	1.0131		
23	СВЯЗНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	0.3401	0.7541	0.4983	1.1065		1.2097		1.0309	1.6598	0.7759	0.5141	0.6891	0.8949	1.6508	
24	СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	0.1701	0.1508	0.1661	0.2766		0.2016			0.4149		0.1714		0.1790	0.4073	
25	ВЫТОВОЕ И	0.5102	0.4525	0.3322	0.8299	0.2375		0.1008		0.2062	0.1037	0.1940	0.2571	0.2584	0.3244	0.7977
26	ПРОТИВОПОЖАРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	0.1701		0.6645	0.1383	0.2375		0.1008		0.1037	0.2910	0.0857	0.1723	0.2013	0.2423	
27	СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ	0.3401	0.4525	1.3289	0.1383	0.4751	0.1008			0.4124	0.1037	0.2910	0.2571	0.4307	0.3803	0.8305
28	ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА		0.1508	0.4983		0.2375	0.9073		0.8247	0.2075	0.4850	0.0857	0.1723	0.5593	2.4051	
29	ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА	0.1701				0.2375	0.1008					0.0857		0.0447	0.6509	
30	ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНАЯ			0.1661	0.1383	0.2375	0.1008			0.2062		0.3880	0.5141	0.2013	0.6541	
31	ПРИБОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	0.3401	0.4525	0.4983	0.4149				0.2075			0.3428	0.5168	0.2573	0.8576	
32	ШАССИ	0.5102	0.1508	0.6645	0.5533	0.4751	0.2016		0.8247	0.4149	0.4850	0.2571	0.1723	0.3803	0.9315	
33	СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	1.3605	1.9608		1.7981	2.3753	1.5121	0.6993	2.0619	2.0747	1.1639	0.6855	1.5504	1.6555	2.2734	
34	ПРИБОРНОЕ	2.3810	2.4133	1.3289	1.7981	3.0879	1.7137		1.8557	2.8008	1.0669	1.6281	0.9475	1.8568	2.6604	
35	КИСЛОРОДНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	0.1508					0.1008				0.0970	0.0857		0.0447	0.2167	
36	ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА	0.5102		0.1661	0.4149				0.2062		0.1037			0.1342	0.4810	
38	СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ И			0.1661	0.1383		0.1008			0.1037		0.0857		0.0895	0.2799	
49	БОРТОВАЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ			0.8306	0.8299		0.8065		1.4433	0.4149	0.1940	0.2571	0.1723	0.4922	1.0558	
51(57)	КОНСТРУКЦИЯ ПЛАНЕРА			0.1661	0.1383	0.2375			0.4124	0.2075	0.0970			0.1007	0.1976	
52	ДВЕРИ, ЛЮКИ, СТВОРКИ			0.1383	0.2375	0.4032			0.3112	0.0970			0.0861	0.1230	0.9267	
56	ФОНАРЬ, ОКНА	0.1701		0.1661	0.1383		0.1008		0.4124	0.3112		0.4284	0.9475	0.3020	0.4896	
57	КРЫЛО															
71	СИЛОВАЯ УСТАНОВКА		0.1508		0.1383								0.0861	0.0559	0.1258	
72	ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ	0.3401		0.1661			0.2016				0.0970		0.0861	0.1678	0.2423	
73	ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА ДВИГАТЕЛЯ	0.1701	0.1508	0.1661	0.2766		0.1008							0.0895	0.4655	
74	СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ				0.1383									0.0336	0.1136	
75	СИСТЕМА ОТБОРА ВОЗДУХА														0.0789	
76	СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ						0.1008							0.0112	0.1757	
77	ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ДВИГАТЕЛЯ		0.3017		0.4149				0.2062				0.0861	0.0895	0.3844	
78	СИСТЕМА ВЫХОПА	0.3401	0.1508										0.0861	0.1119	0.5370	
79	МАСЛЯНАЯ СИСТЕМА								0.4124					0.0224	0.0940	
80	СИСТЕМА ЗАПУСКА			0.3322	0.2766		0.3024			0.1037		0.0857		0.1342	0.1921	
Ц		588	663	602	723	421	992	143	485	964	1031	1167	1161	8940	10767	
Всего		11.5646	5.5955	3.8856	4.3866	2.1021	2.2311	0.7744	1.4078	1.8814	1.1494	1.1698	0.9396	10.3803		

Рис. 3. Звіт зі стану надійності окремих ПС авіакомпанії за відмовами, виявленими в польоті

В737-300/400/500: Надійність систем окремих ВС; MAREP; 01.01.2010-30.09.2010; N

Сис.	Назва	UR-DNC	UR-DND	UR-IVK	UR-WVA	UR-WE	UR-VL	UR-VWM	UR-VWN	UR-VP	UR-VWQ	UR-VWS	UR-VWU	Всього
21(36)	СИСТЕМА КОНДИЦІОНІРУВАННЯ	5	6	2	3	2	2	3	6	2	1	4	1	37
22	ОБОРУДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО			1	1	2	1	1	1	1	3		2	12
23	СВЯЗНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	2	4	2	9	6	5	4	6	5	7	3	1	54
24	СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ		3	3	6	3	2	1	5		5	1		29
25	ВЫТОВОЕ И	10	12	9	13	6	19	3	14	16	6	17	17	142
26	ПРОТИВОПОЖАРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	2	2	5	1	1	7				5		3	26
27	СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ	2	3	6	4		2	1	6	2	4	2	5	37
28	ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА	1	1	3	5	3	5				3	2	4	27
29	ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА	1	1		4	1	1			2	2	2		14
30	ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНАЯ	1					1		1		2	1		6
31	ПРИБОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ			1	1	1								3
32	ШАССИ	25	23	19	28	21	43	9	17	36	30	35	34	320
33	СВЕТОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	23	18	20	17	28	24	6	16	33	13	33	38	269
34	ПРИБОРНОЕ	3	5	3	9	5	6	1	1	6	2	4	4	49
35	КИСЛОРОДНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	6	5	3	4	2	11	1	1	20	8	8	5	74
36	ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА	4							1					5
38	СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ И	5	1	3	2		9	1	6	4	6		4	41
49	БОРТОВАЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ	5	4	1	5	2	3		4	8	3	3	2	40
51(57)	КОНСТРУКЦИЯ ПЛАНЕРА	2	2	6	7	4	6	23	4	5	3	6	3	71
52	ДВЕРИ, ЛЮКИ, СТВОРКИ	1	3	1	1	4	6			3	2	2	1	24
56	ФОНАРЬ, ОКНА	1			1			2		3			2	9
57	КРЫЛО													
71	СИЛОВАЯ УСТАНОВКА		1	1	2	1	2		2	1				10
72	ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ	1		2					1	6	1	1	1	13
73	ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА ДВИГАТЕЛЯ					2								2
74	СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ	1							1	1				3
75	СИСТЕМА ОТБОРА ВОЗДУХА						2							2
76	СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ			3	1	1	1			1	3	1		11
77	ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ДВИГАТЕЛЯ								2					3
78	СИСТЕМА ВЫХОПА													
79	МАСЛЯНАЯ СИСТЕМА											2	1	3
80	СИСТЕМА ЗАПУСКА	1	1			1					2		1	7
Ц		588	663	602	723	421	992	143	485	964	1031	1167	1161	8940
Всего		102	95	94	125	91	161	61	86	161	108	131	130	1345

Рис. 4. Звіт зі стану надійності окремих ПС авіакомпанії за відмовами, виявленими на землі

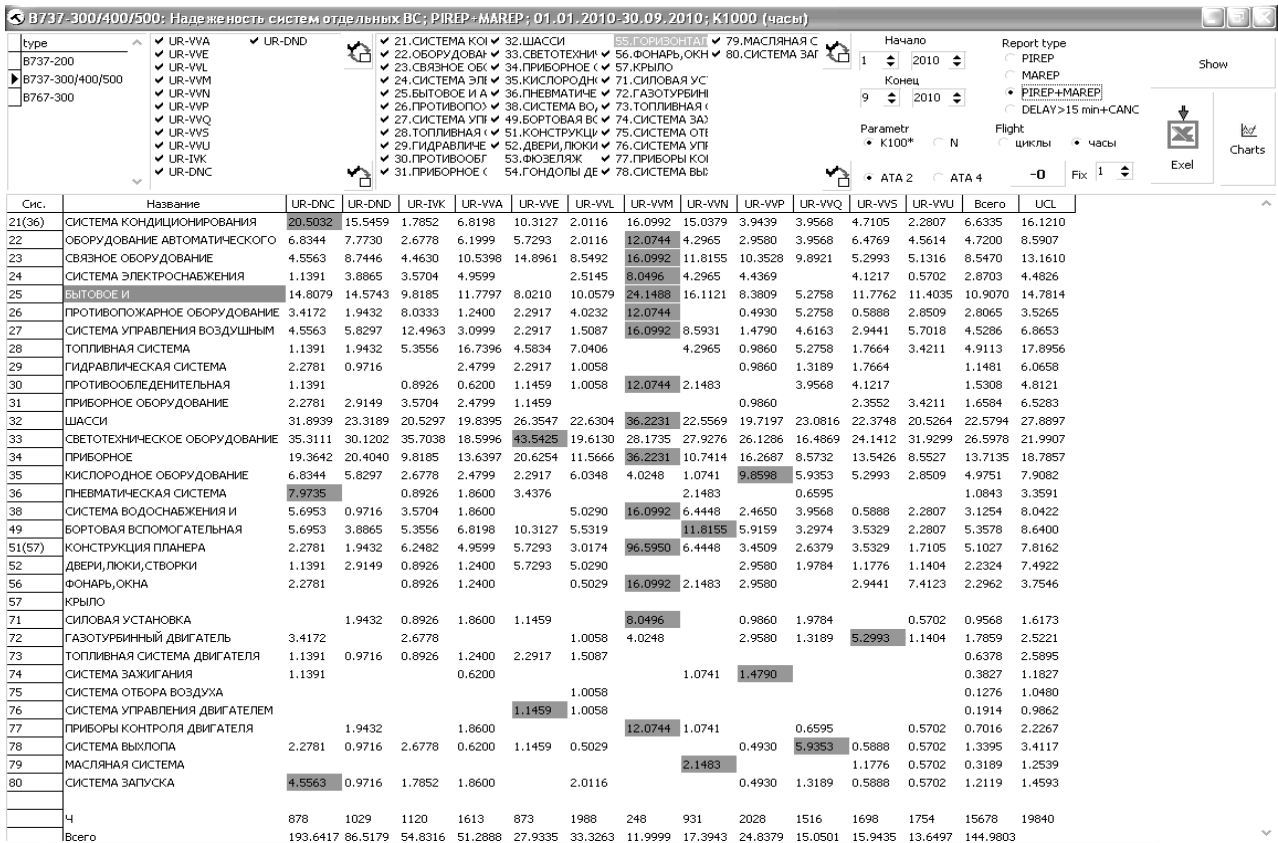


Рис. 5. Звіт зі стану надійності окремих ПС авіакомпанії в експлуатації

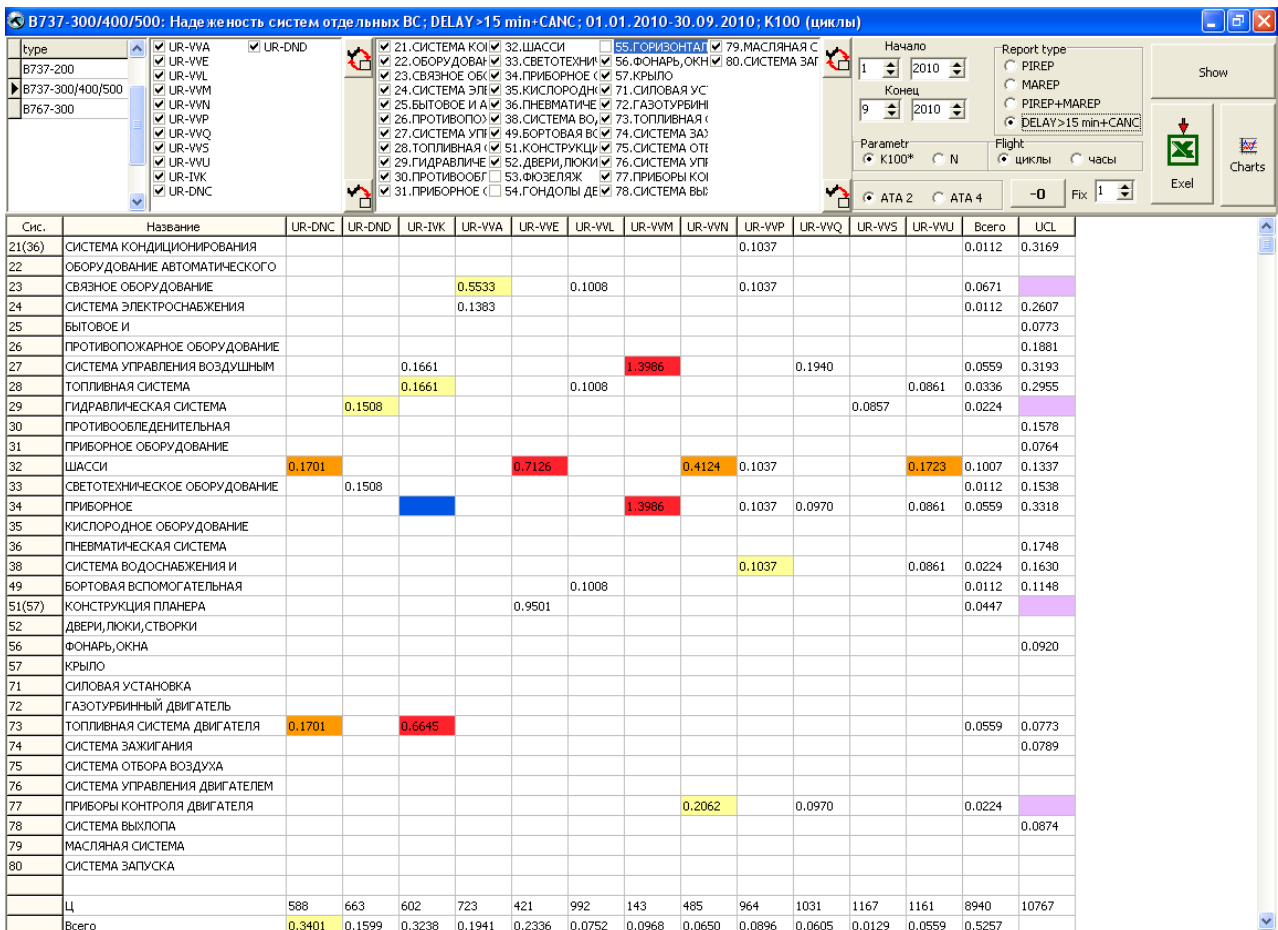


Рис. 6. Звіт зі стану надійності окремих ПС авіакомпанії за відмовами, що призвели до затримки рейсів

В737-300/400/500: Надежность систем отдельных ВС; PIREP; 01.01.2010-30.09.2010; K100 (циклы)

Сис.	Название	UR-DNC	UR-DND	UR-IVK	UR-VVA	UR-VVE	UR-VVL	UR-VVM	UR-VVN	UR-VVP	UR-VWQ	UR-VVS	UR-VWU	Всего	UCL
21(36)	СИСТЕМА КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ	2.2109	1.5083		1.1065	1.6627	0.2016	0.6993	1.6495	0.6224	0.4850	0.3428	0.2584	0.7494	2.1038
2110	Flow Multiplier	0.1701						0.6993						0.0224	0.1876
2120	Distribution	0.3401	0.1508				0.1008			0.1037				0.0559	0.5121
2130	Pressurisation	0.6803	0.1508		0.4149	1.1876	0.1008		0.6186	0.1037			0.1723	0.2237	0.9682
2140	Heating	0.1701							0.2062					0.0336	0.2088
2150	Cooling	0.5102	0.9050		0.2766						0.0970	0.1940	0.1714	0.0861	0.5094
2160	Temp Control	0.3401	0.3017		0.4149	0.4751		0.8247	0.4149	0.1940	0.1714	0.1940	0.1714	0.2349	0.5829
22	ОБОРУДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО	1.0204	1.2066	0.3322	1.2448	0.7126	0.3024	2.0979	0.6186	0.5187	0.2910	0.9426	0.5168	0.6935	1.0131
2210	Autopilot	0.6803	0.7541	0.3322	0.4149		0.2016		0.4124	0.4149	0.0970	0.6855	0.2584	0.3803	0.8711
2220	Speed/Attitude Correction	0.1701	0.3017									0.0857	0.0861	0.0559	0.2218
2230	Auto Throttle	0.1701	0.1508		0.8299	0.7126	0.1008	2.0979	0.2062	0.1037	0.1940	0.1714	0.1723	0.2573	0.2970
2236	Unsuccessful Autoland														
2296	Successful Autoland														
23	СВЯЗНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	0.3401	0.7541	0.4983	1.1065	1.6627	1.2097		1.0309	1.6598	0.7759	0.5141	0.6891	0.8949	1.6508
2310	Sperch Comm	0.1701	0.4525	0.1661	0.6916	0.9501	0.7056		0.6186	0.8299	0.2910	0.1714	0.3445	0.4586	0.7457
2321	Selcal	0.1701				0.4751	0.2016			0.4149	0.0970			0.1119	0.3861
2330	PA/Entertainment				0.1383	0.2375						0.1714	0.1723	0.0671	0.2434
2340	Interphone			0.1661			0.2016			0.1037	0.0970	0.0857	0.0861	0.0783	0.4662
2350	Audio Integrating		0.3017	0.1661			0.1008		0.2062	0.3112	0.1940	0.0857	0.0861	0.1342	0.5810
2360	Static Dischargers									0.0970				0.0112	0.1106
2370	Voice Recorder				0.2766				0.2062					0.0336	0.0920
24	СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	0.1701	0.1508	0.1661	0.2766		0.2016		0.6186	0.4149		0.1714	0.1790	0.4073	
2410	CSD System				0.2766		0.1008			0.3112			0.0671	0.3149	
2420	AC Generator System	0.1701					0.1008		0.6186	0.1037		0.0857	0.0783	0.1379	
2430	DC Generator System		0.1508									0.0857	0.0224		
2440	External Power			0.1661									0.0112	0.1403	
2450	Busses/Circuit Breakers													0.1352	
25	ВЫТОВОЕ И	0.5102	0.4525	0.3322	0.8299	0.2375	0.1008	2.0979	0.2062	0.1037	0.1940	0.2571	0.2584	0.3244	0.7977
2510	Flight Compartment	0.1701	0.4525	0.1661	0.4149	0.2375		1.3986	0.2062	0.1037	0.0970	0.2571	0.1723	0.2125	0.6759
2520	Passenger Compartment				0.1383		0.1008	0.6993				0.0861	0.0447	0.1333	
2530	Galley			0.1661	0.1383						0.0970			0.0336	0.1219
2540	Lavatories													0.1477	
2550	Cargo/Accessories Comp													0.1826	
2560	Emergency Equipment	0.3401			0.1383									0.0336	0.0773
26	ПРОТИВОПОЖАРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	0.1701		0.6645	0.1383	0.2375	0.1008	2.0979	0.1037	0.2910	0.0857	0.1723	0.2013	0.2423	

Рис. 7. Звіт зі стану надійності окремих ПС авіакомпанії за відмовами, виявленим у польоті по підсистемах ПС

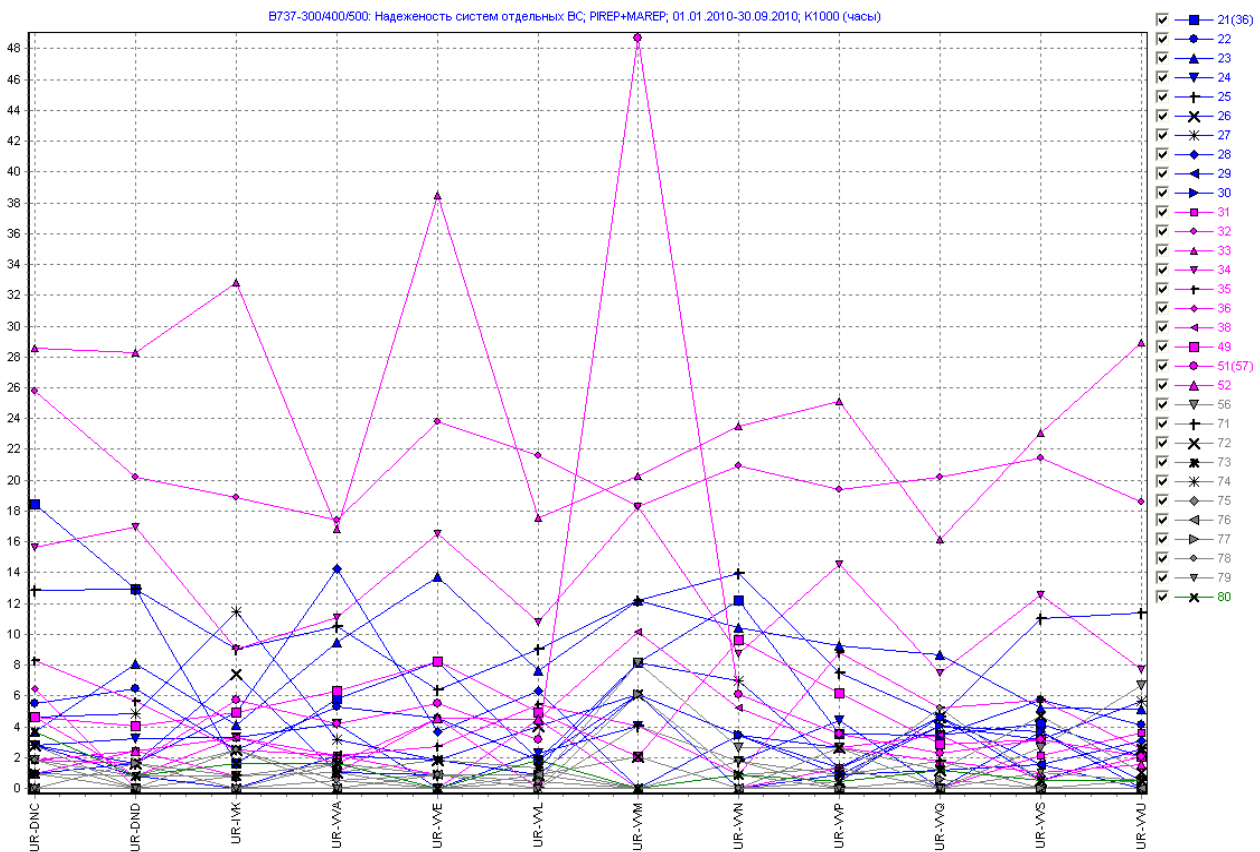


Рис. 8. Значения K_{1000} по бортам для всех функциональных систем ПС

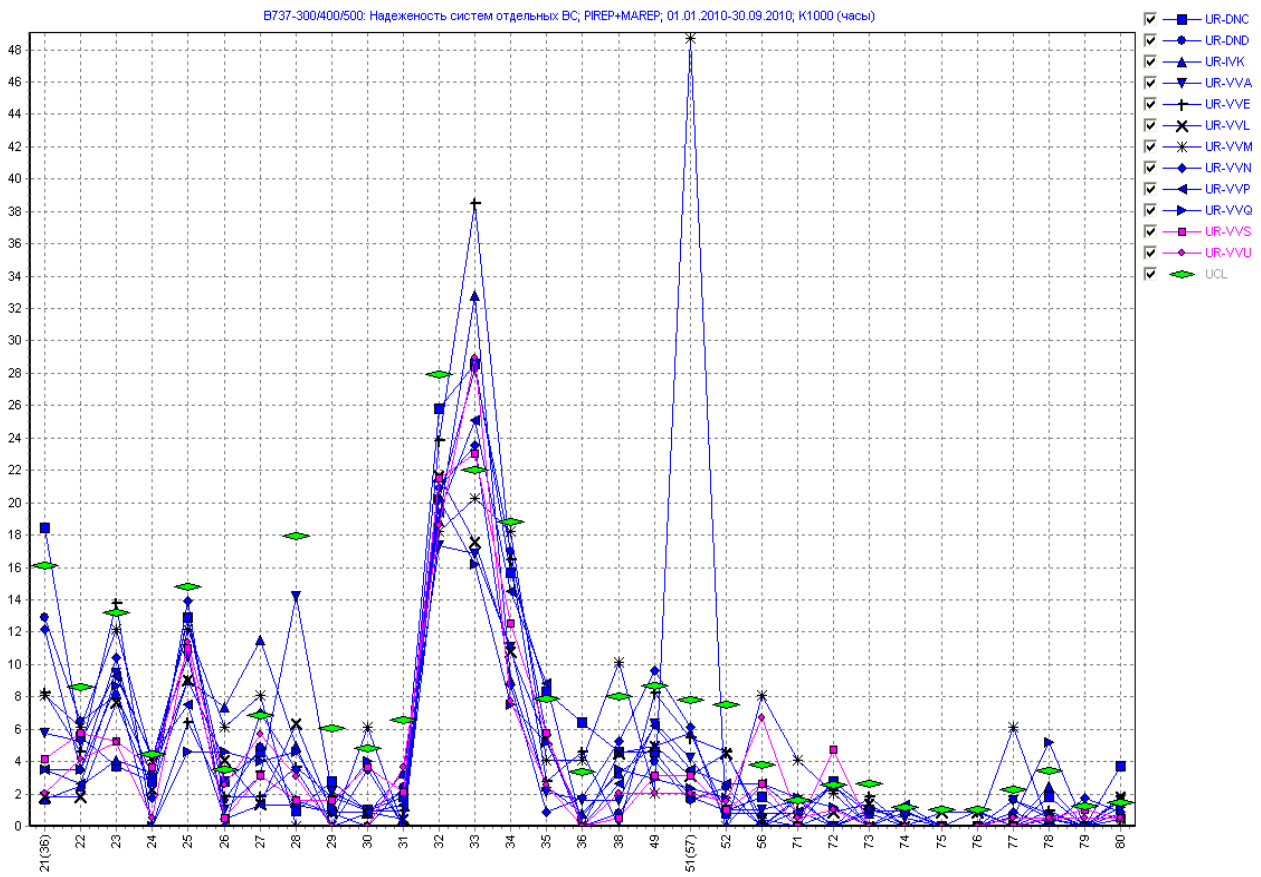


Рис. 9. Значення K_{1000c} по функціональним системам для всіх бортів

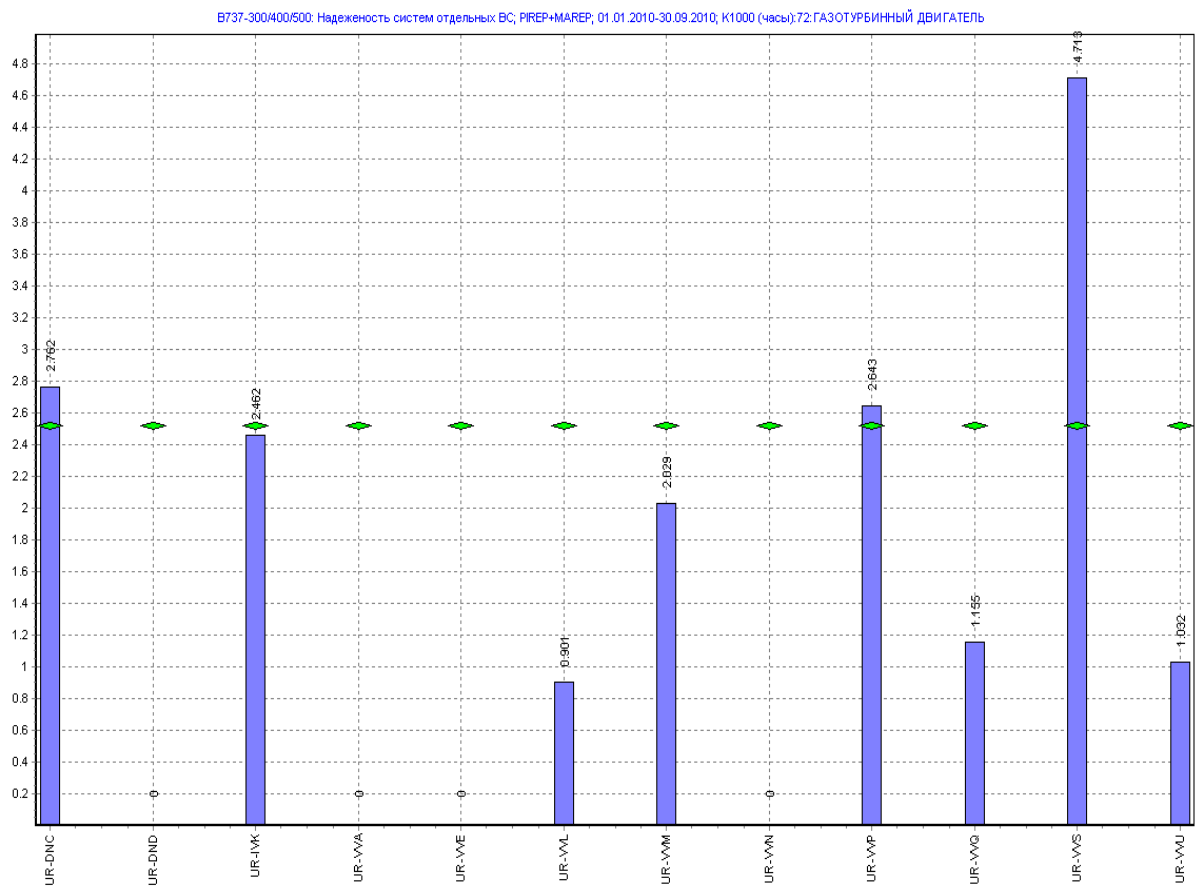


Рис. 10. Значення K_{1000} по системі 72 для всіх бортів

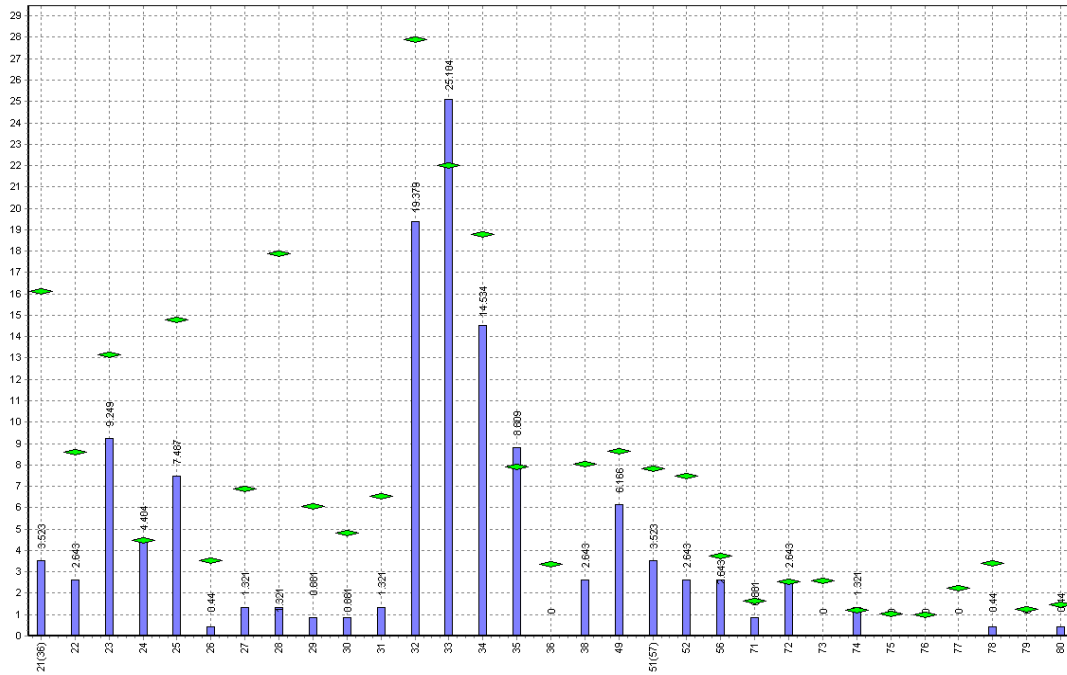


Рис. 11. Значення K_{1000C} борту VVP для всіх функціональних систем

Для візуалізації стану надійності АТ, на основі звіту зі стану надійності окремих ПС авіакомпанії, будуються графіки, зображені на рис. 8 — 11.

На рис. 8 для кожного борту ПС типу B737-300/400/500 наведені розраховані значення показника надійності K_{1000C} всіх функціональних систем. Будуються графіки стану надійності для кожної функціональної системи за всіма бортами.

На рис. 9 для кожної функціональної системи наведені розраховані значення показника надійності K_{1000C} та їх контрольні рівні за всіма бортами. З графіку видно для яких ПС значення K_{1000C} перевищило допустимі межі кожної з систем.

На рис. 10 зображено діаграму стану надійності 72 системи (газотурбінний двигун) по всім бортам. Для кожного ПС наведено розраховане значення показника надійності K_{1000C} і значення верхньої контрольної межі для 72 системи. З діаграми видно, що значення K_{1000C} перевищило контрольний рівень для бортів UR-DNC, UR-VVP і UR-VVS. На рис. 11 наведено діаграму стану надійності ПС з бортовим номером VVP за всіма функціональними системами. Для кожної системи наведено контрольний рівень надійності. З рисунку можна зробити висновок, що для функціональних систем — 33 (світлотехнічне обладнання) і 35 (кисневе обладнання), спостерігається незадовільний стан надійності.

Висновки

У процесі експлуатації ПС для авіакомпанії важливо проводити постійний контроль, моніторинг та аналіз стану надійності авіаційної техніки для забезпечення вимог з безпеки польотів, льотної придатності ПС, ефективності польотів та своєчасного матеріально-технічне забезпечення.

Для цього важливо мати інформацію про стан надійності конкретних бортів, функціональних систем та агрегатів парку авіакомпанії. В статті запропоновано метод проведення індивідуального контролю ПС та реалізація цього методу в автоматизованій системі. На основі отриманої інформації можна виявити проблемні функціональні системи та агрегати на конкретних ПС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кучер О. Г. Управление надійністю парку повітряних суден авіакомпанії / О. Г. Кучер, П. О. Власенко // Авиационно-космическая техника и технология. — 2009. — № 4(61). — С. 88—95.
2. Руководство по производству. Кн. 9. Организация технического обслуживания. (МОЕ) Утверждено приказом Авиакompании от 16.02.2006 № 572. Введ. в действие с 20.07.2006. — 478 с.
3. Руководство по производству. Кн. 10. Управление техническим обслуживанием ВС (МОЕ). Утверждено приказом Авиакompании от 05.09.2007 № 572. Введ. в действие с 19.09.2007 — 480с.
4. Кучер О. Г. Забезпечення льотної придатності повітряних суден авіакомпанії / О. Г. Кучер, П. О. Власенко // Наукоємні технології. — 2010. — №3 (3), 2009. — С. 20—28
5. Кучер О. Г. Методологія нагляду і контролю за льотною придатністю парку повітряних суден // Авиационно-космическая техника и технология / О. Г. Кучер, О. С. Якушенко, П. О. Власенко. — 2010. — № 7(74). — С. 108—118.
6. Автоматизированная система контроля надежности парка воздушных судов авиакompании «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.

