

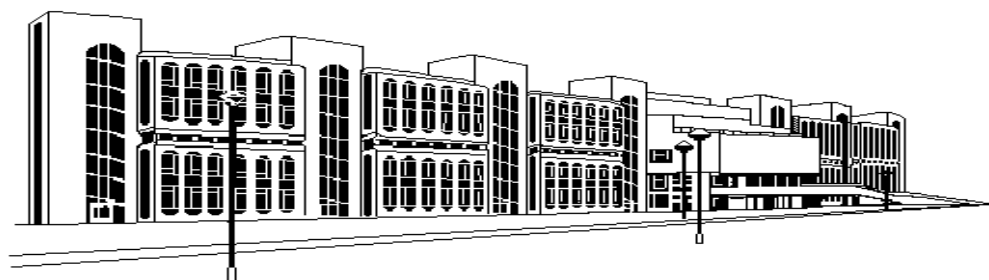


ISSN 2079-0619

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК МГТУ ГА

№ 197



**Москва
2013**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК МГТУ ГА

№ 197 (11)

Издается с 1998 г.

**Москва
2013**

Научный Вестник МГТУ ГА решением Президиума ВАК Министерства образования и науки РФ включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Главная редакция

Главный редактор - заслуженный юрист РФ, д-р юрид. наук, д-р техн. наук, проф. Б.П. Елисеев (*МГТУ ГА*)

Зам. главного редактора - д-р техн. наук, проф. В.В. Воробьев (*МГТУ ГА*)

Ответственный секретарь главной редакции - д-р техн. наук, доц. О.Г. Феокистова (*МГТУ ГА*)

Члены главной редакции - почетный работник науки и техники, д-р филос. наук, проф. О.Д. Гаранина (*МГТУ ГА*);
заслуженный деятель науки и техники РФ,
д-р физ.-мат. наук, проф. А.И. Козлов (*МГТУ ГА*);
заслуженный деятель науки РФ,
д-р техн. наук, проф. В.Г. Ципенко (*МГТУ ГА*);
д-р техн. наук, проф. В.Т. Калугин (*МГТУ им. Н.Э. Баумана*);
заслуженный деятель науки РФ,
д-р физ.-мат. наук, проф. Д.С. Лукин (*МФТИ*);
заслуженный работник транспорта РФ,
д-р техн. наук, проф. В.С. Шапкин (*ГосНИИ ГА*);
заместитель декана факультета Национальной школы гражданской авиации (*ЕНАС*) Бруно Ламискарге (*Тулуза, Франция*);
директор Межведомственного Центра промышленных исследований в авионике Франко Персиани (*Болонский университет, Италия*);
профессор кафедры аэрокосмической техники
Университета Севильи Дамиан Ривас (*Испания*)

Редакционная коллегия выпуска

Ответственный редактор выпуска - д-р техн. наук, проф. Ю.М. Чинючин (*МГТУ ГА*)

Зам. ответственного редактора выпуска - д-р техн. наук, проф. Н.Н. Смирнов (*МГТУ ГА*)

Ответственный секретарь выпуска - вед. инженер Л.А. Потапова (*МГТУ ГА*)

Члены редакционной коллегии -
- д-р техн. наук, проф. В.М. Рухлинский (*МАК*)
- д-р техн. наук, проф. А.А. Ицкович (*МГТУ ГА*)
- д-р техн. наук, проф. В.А. Пивоваров (*МГТУ ГА*)
- д-р техн. наук, проф. Г.Н. Гипич (*ОАО «Авиатехприемка»*)
- д-р техн. наук, проф. С.В. Далецкий (*ГосНИИ ГА*)

E-mail: YU.chinychin@mstuca.aero

тел. +7 (499) 459-07-34

ISBN 978-5-86311-897-0

Плата за публикацию в Научном Вестнике МГТУ ГА с аспирантов не взимается

**НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

№ 197 (11)

2013

СОДЕРЖАНИЕ

Ицкович А.А., Чинючин Ю.М., Смирнов Н.Н., Файнбург И.А. Оценка эффективности программ поддержания летной годности воздушных судов в центрах технического обслуживания и ремонта авиационной техники	5
Чинючин Ю.М., Трифонов М.Ю., Гафуров Д.С. Регистрация иностранных воздушных судов, эксплуатируемых в России, и требования к поддержанию их летной годности.....	11
Ланский А.М., Лукачев С.В., Матвеев С.Г. Формы, режимы течения и критерии эффективности диффузоров камер сгорания малоразмерных газотурбинных двигателей.....	16
Васильков В.А., Яблонский С.Н. К вопросу разработки модифицированной математической модели процесса технической эксплуатации воздушных судов.....	20
Арутюнов А.Г., Кирдюшкин В.С., Гафуров Д.С. Построение формализованной модели обеспечения безопасной эксплуатации самолетов по программе «ETOPS – EDTO».....	26
Большедворский Г.А., Дадобаев Х.Г. Методологические аспекты поддержания летной годности воздушных судов.....	31
Васильков В.А., Яблонский С.Н., Горбунова Д.К. К вопросу совершенствования организации технической эксплуатации региональных воздушных судов на основе новых информационных технологий.....	36
Титов И.В. Проблема методического обеспечения формирования программ поддержания летной годности воздушных судов на этапе эксплуатации.....	41
Алексаян А.Р., Файнбург И.А. Управление процедурами поддержания летной годности воздушных судов на основе сетевых моделей.....	47
Ушаков П.А. Формирование программы поддержания целостности конструкции воздушных судов по условиям прочности	54
Елисов Л.Н., Овченков Н.И. К вопросу структурного моделирования субъектов транспортной безопасности.....	58
Рухлинский В.М., Дяченко А.С. Новый метод модернизации информационных технологий восстановления полетной информации в рамках обеспечения расследований авиационных происшествий.....	63
Ицкович А.А., Титов И.В., Файнбург И.А. Моделирование редящих потоков событий при формировании программ поддержания летной годности воздушных судов.....	68
Титов И.В., Ицкович А.А. Анализ вероятностно-статистических характеристик редящих потоков событий при формировании программ поддержания летной годности.....	73

Кротов С.А. К вопросу о контроле отказобезопасности функциональных систем воздушных судов в процессе эксплуатации.....	79
Левицкий С.В., Левицкая Е.В. Моделирование и оценка безопасности взлета в условиях отказа авиационной техники.....	85
Чинючин Ю.М., Берлев В.П., Горбунова Д.К. Характеристика основных международных требований к системе подготовки авиационных специалистов для российских авиакомпаний.....	90
Найда В.А., Яблонский С.Н. Организационно-методические аспекты внедрения в учебный процесс авиационных тренажеров западного производства.....	94
Тимошенко А.Н., Грядунов К.И. Повышение эффективности технологического процесса подготовки авиатоплива к применению.....	97
Грядунов К.И., Тимошенко А.Н. Седиментация металлических частиц изнашивания в маслах при различных температурах.....	102
Борзова А.С., Железная И.П. Анализ состояния инфраструктуры аэропортов Московского авиационного узла.....	107
Борзова А.С., Железная И.П. Особенности налогообложения лизинговых операций в российских авиакомпаниях.....	111
Николайкин Н.И., Худяков Ю.Г. Методология оценки влияния условий труда персонала авиапредприятий на риски в авиатранспортных процессах.....	115
Громов С.В., Фадеев Р.С. Некоторые математические модели оценки профессиональных качеств специалиста-оператора в гражданской авиации	120
Кирдюшкин Ю.С. Оценка влияния групп атомов углеводородных молекул на термодинамические свойства авиатоплива.....	125
Харина В.К. Методика проведения испытаний подшипников 83700 серии.....	130
Филиппов В.П. Опытные и теоретические характеристики спектральной плотности неровностей аэродромного покрытия.....	136
Далецкий С.В., Филиппов В.П. Оценка динамической нагруженности конструкции самолета с учетом характеристик акселерометра инерционного типа.....	140
Морозова О.О. Оптимизация управленческих решений в системе управления безопасностью полётов авиакомпаний на основании математической модели суммарных затрат.....	145
Скрипниченко С.Ю., Плешаков А.И. Об определении комплексного показателя экологичности эксплуатации воздушного судна.....	148

УДК 629.735.017.083

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММ ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ЦЕНТРАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

А.А. ИЦКОВИЧ, Ю.М. ЧИНЮЧИН, Н.Н. СМИРНОВ, И.А. ФАЙНБУРГ

В статье приведены результаты исследований, выполненных на кафедре ТЭЛАиАД МГТУ ГА, по оценке эффективности программ поддержания летной годности воздушных судов в центрах технического обслуживания и ремонта авиационной техники.

Ключевые слова: центры технического обслуживания и ремонта, воздушные суда, программы поддержания летной годности, оценка эффективности.

В работах [1; 2] приведены результаты исследований, выполненных на кафедре ТЭЛАиАД МГТУ ГА, по применению эффективных программ поддержания летной годности воздушных судов в центрах технического обслуживания и ремонта (ТОиР) авиационной техники (АТ) и обобщению опыта создания Центров ТОиР АТ, выявлены состояние и тенденции их развития на основе требований нормативных документов.

В настоящей статье рассматриваются методы оценки эффективности программ поддержания летной годности (ПЛГ) воздушных судов (ВС) в центрах ТОиР АТ.

Эффективность программы ПЛГ ВС определяется степенью ее приспособленности к выполнению функций по поддержанию и восстановлению исправности самолетов, планированию ее использования по налету часов с определенными затратами времени, труда и материальных средств. Программа ПЛГ ВС призвана обеспечить: безотказность изделий в полете, требуемую для поддержания безопасности полетов; минимальное количество задержек вылетов из-за простоев по техническим причинам; исправность самолетов, требуемую для выполнения заданных полетов; приемлемые трудовые и материальные затраты.

Степень выполнения этих функций определяется системой показателей эффективности программы ПЛГ ВС, приведенной в работах [3; 4].

В зависимости от этапа и условий разработки и применения программы ПЛГ ВС решаются задачи: оценки уровня эффективности программы ПЛГ ВС; сравнительной оценки вариантов программы ПЛГ ВС; определения возможности совершенствования программы ПЛГ ВС на уровне циклов ПЛГ ВС и форм ТОиР ВС, функциональных систем, изделий и отдельных работ по ТОиР. Решение этих задач осуществляется отдельно для каждого типа ВС в масштабе авиапредприятия, УГА и отрасли в целом (рис. 1).

Оценка эффективности программы ПЛГ ВС выполняется с использованием дифференциального, комплексного и смешанного методов. Оценка эффективности режимов ТОиР ВС, функциональных систем и изделий производится с использованием методов статистического приемочного контроля по альтернативному признаку.

Для оценки эффективности программ ПЛГ ВС предложена полумарковская модель процесса ПЛГ ВС (модель МП) с укрупненными состояниями блочной структуры (рис. 2). Модели укрупненных состояний Mh , $h = \overline{2,5}$ имеют одинаковую структуру (рис. 2, Mh). Обозначения параметров состояний моделей процессов ПЛГ ВС приведены в табл. 1.

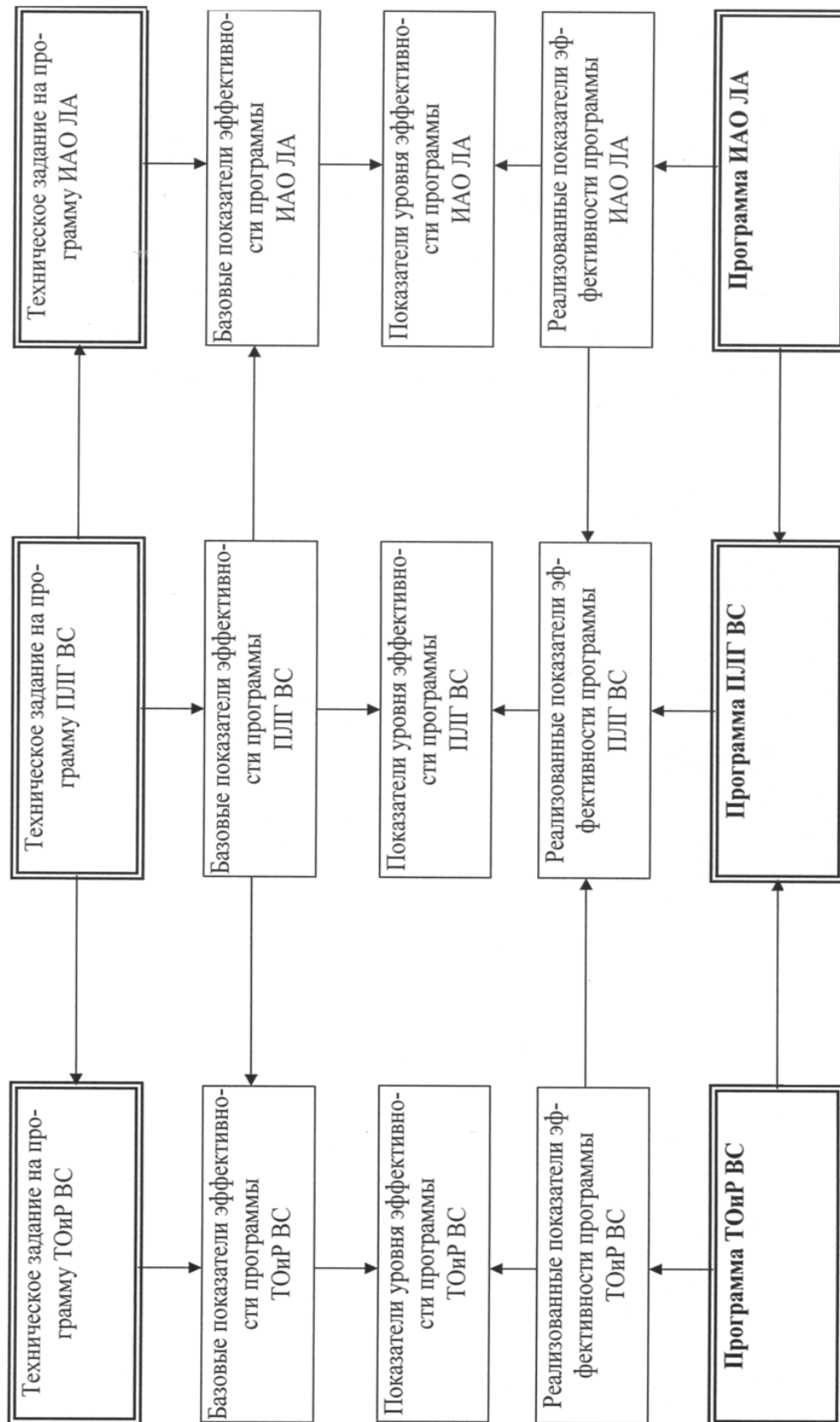


Рис. 1. Оценка уровня эффективности программы ПЛГ ВС

Основные характеристики процесса переходов (модель $M1$) $P=||P_{ij}||$ и $\pi = \{ \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_N \}$ определяются по формулам (2.1, 2.2) [4]. Характеристики i -го укрупненного состояния, $i = \overline{1, n_i} + (\mu_i - \text{среднее время пребывания; } \tau_i - \text{средние трудовые затраты; } C_{iM} - \text{средние материальные затраты; } C_i - \text{средняя стоимость пребывания в } i\text{-м состоянии})$ определяются с использованием моделей Mh , (рис. 2) и формул вида

$$m_{i\text{cp}} = P_1 m_1 + P_2 m_2 + \dots + P_m m_m .$$

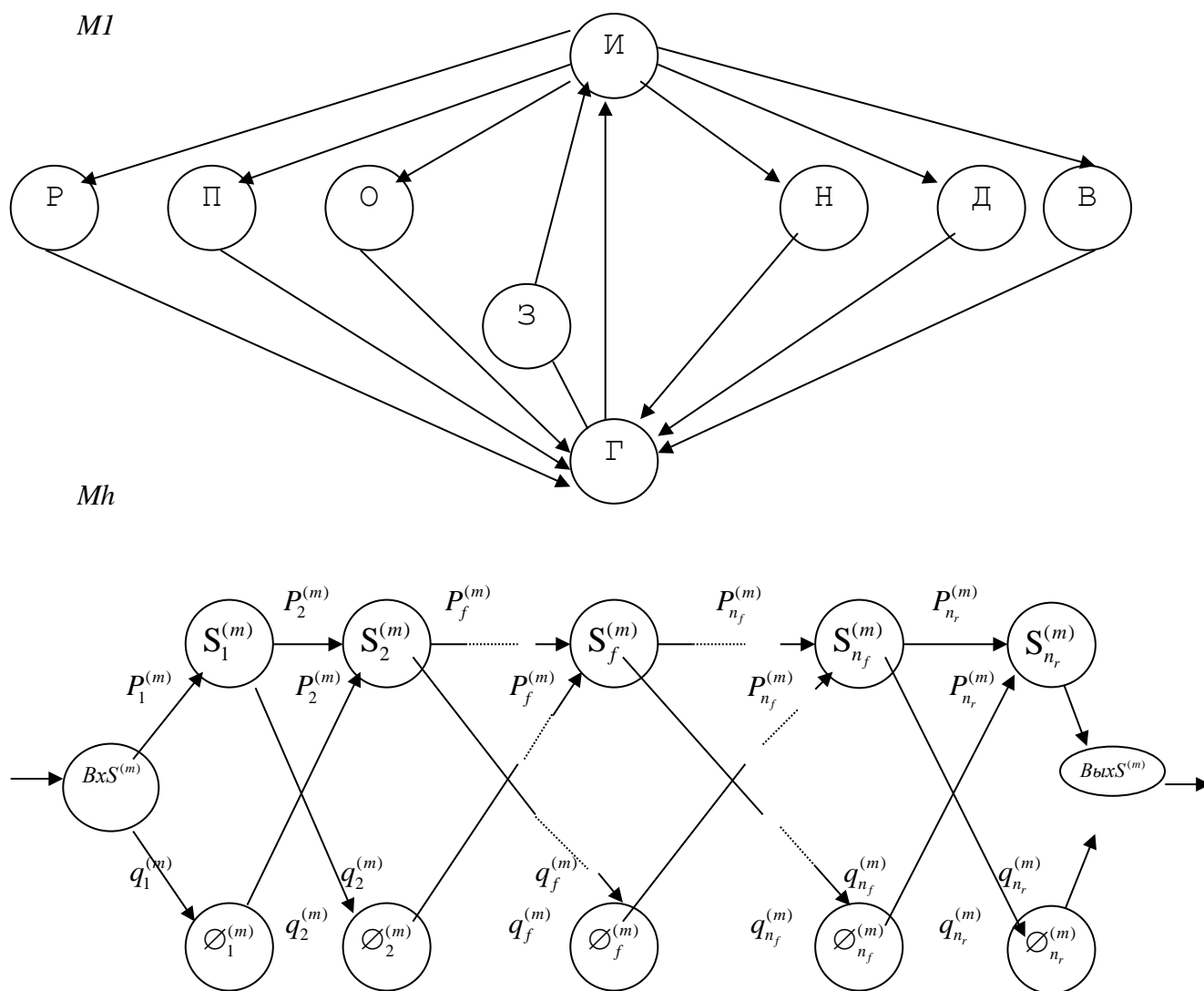


Рис. 2. Модели ПТЭ ЛА:

$M1$ - модель ПТЭ с укрупненными состояниями; Mh - модели состояний ПТЭ самолетов, $h = 2,5$. Укрупненные состояния: И - использование ЛА в рейсе (К); Г - готовность ЛА к рейсу (Г, А, М); З - задержка отправления ЛА в рейс; 0 - оперативное ТО (Е, O_6 , T_6 , У); П - периодическое ТО (O_p , T_p , T_{cd}); Р - ремонт (O_p , Р, Ж_р); Н - непроизводительные простои (Ш, З, Д_в, С); Д - доработки (Ж, Д); В - восстановление после авиационных происшествий (В, Л). В скобках приведены обозначения соответствующих состояний на рис. 2. Обозначения характеристик моделей Mh , $h = 2,5$ содержатся в табл. 1.

Аддитивные характеристики состояний (трудовые τ_i и материальные C_{Mi} затраты, стоимость C_i пребывания в i -м состоянии, $i = \overline{1, n_i}$) вычисляются последовательно для моделей М5, М4, М3, М2, М1 по формулам следующего вида:

для l -го изделия, k -й функциональной системы, j -й формы ТО (ремонта) в i -м состоянии процессов ПЛГ ВС (модель М5, состояние $S^{(i,j,k)}_l$)

$$\tau^{(i,j,k)}_l = \sum_{r=1}^{n_r} P^{(i,j,k,l)}_r \tau^{(i,j,k,l)}_r,$$

для k -й функциональной системы, j -й формы ТО (ремонта) в i -м состоянии процессов ПЛГ ВС (модель М4, состояние $S^{(i,j)}_k$)

$$\tau^{(i,j)}_k = \sum_{l=1}^{n_l} P^{(i,j,k)}_l \tau^{(i,j,k)}_l = \sum_{l=1}^{n_l} P^{(i,j,k)}_l \sum_{r=1}^{n_r} P^{(i,j,k,l)}_r \tau^{(i,j,k,l)}_r,$$

для j -й формы в i -м состоянии процессов ПЛГ ВС (модель М3, состояние $S^{(i)}_j$)

$$\tau^{(i)}_j = \sum_{k=1}^{n_k} P^{(i,j)}_k \tau^{(i,j)}_k = \sum_{k=1}^{n_k} P^{(i,j)}_k \sum_{l=1}^{n_l} P^{(i,j,k)}_l \sum_{r=1}^{n_r} P^{(i,j,k,l)}_r \tau^{(i,j,k,l)}_r,$$

для i -го состояния процессов ПЛГ ВС (модель М2)

$$\tau_i = \sum_{j=1}^{n_j} P^{(i)}_j \tau^{(i)}_j = \sum_{j=1}^{n_j} P^{(i)}_j \sum_{k=1}^{n_k} P^{(i,j)}_k \sum_{l=1}^{n_l} P^{(i,j,k)}_l \sum_{r=1}^{n_r} P^{(i,j,k,l)}_r \tau^{(i,j,k,l)}_r.$$

Остальные аддитивные характеристики (C_{Mi} , C_i) вычисляются по аналогичным формулам.

Таблица 1

Параметры моделей состояний самолетов

Модель	Параметры моделей					Обозначения
	$S^{(m)}_f$	$Q^{(m)}_f$	$P^{(m)}_f$	$q^{(m)}_f$	$f = \overline{1, n_f}$	
М2	$S^{(i)}_j$	$Q^{(i)}_j$	$P^{(m)}_j$	$q^{(m)}_j$	$j = \overline{1, n_j}$	i -е состояние процессов ПЛГ ВС, j -я форма ТОиР
М3	$S^{(i,j)}_k$	$Q^{(i,j)}_k$	$P^{(i,j)}_k$	$q^{(i,j)}_k$	$k = \overline{1, n_k}$	k -я функциональная система
М4	$S^{(i,j,k)}_l$	$Q^{(i,j,k)}_l$	$P^{(i,j,k)}_l$	$q^{(i,j,k)}_l$	$l = \overline{1, n_l}$	l -е изделие
М5	$S^{(i,j,k,l)}_r$	$Q^{(i,j,k,l)}_r$	$P^{(i,j,k,l)}_r$	$q^{(i,j,k,l)}_r$	$r = \overline{1, n_r}$	r -я работа ТОиР

Расчет показателей эффективности программы ТОиР ЛА, связанных с аддитивными характеристиками состояний, производится по следующим формулам:

удельные трудовые затраты на ТОиР

$$\tau_{уд} = \frac{\sum \pi_i}{\pi_v M_{v\Pi}} \sum_{j=1}^{n_j} P_j^{(i)} \sum_{k=1}^{n_k} P_k^{(i,j)} \sum_{l=1}^{n_l} P_l^{(i,j,k)} \sum_{r=1}^{n_r} P_r^{(i,j,k,l)} \tau_r^{(i,j,k,l)}$$

удельные материальные затраты

$$C_{M_{уд}} = \frac{\sum \pi_i}{\pi_v M_{v\Pi}} \sum_{j=1}^{n_j} P_j^{(i)} \sum_{k=1}^{n_k} P_k^{(i,j)} \sum_{l=1}^{n_l} P_l^{(i,j,k)} \sum_{r=1}^{n_r} P_r^{(i,j,k,l)} C_{Mr}^{(i,j,k,l)}$$

удельная стоимость ТОиР

$$C_{уд} = \frac{\sum \pi_i}{\pi_v M_{v\Pi}} \sum_{j=1}^{n_j} P_j^{(i)} \sum_{k=1}^{n_k} P_k^{(i,j)} \sum_{l=1}^{n_l} P_l^{(i,j,k)} \sum_{r=1}^{n_r} P_r^{(i,j,k,l)} C_r^{(i,j,k,l)}$$

Для определения показателей безопасности полетов, характеризующих вероятности возникновения особых ситуаций в полете, состояние использования самолетов в рейсе (полете) I (рис. 2, M1) представляется моделью M2. Состояния модели M2 интерпретируются следующим образом: $S_1^{(v)}$ - нормальный полет; $S_2^{(v)}$ - усложнение условий; $S_3^{(v)}$ - сложная ситуация; $S_4^{(v)}$ - аварийная ситуация; $S_5^{(v)}$ - катастрофическая ситуация; $v \in I$. Вероятности особых ситуаций выражаются через параметры модели M2:

$$Q_{ууп} = P_2^{(v)}; Q_{cc} = P_3^{(v)}; Q_{ac} = P_4^{(v)}; Q_{kc} = P_5^{(v)}.$$

Типовая схема принятия решений при оценке эффективности программы ТЭ самолетов, приведенной в приложении, предусматривает рациональную последовательность выполнения операции:

оценка эффективности программы процессов ПЛГ ВС по обобщенным (комплексным) показателям;

определение доминирующих факторов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность программы процессов ПЛГ ВС;

оценка эффективности программы ТОиР на уровне циклов процессов ПЛГ ВС, форм ТОиР, функциональных систем, изделий, работ по ТОиР и режимов ТОиР.

В случае получения положительного результата на любом шаге, последующие операции могут не выполняться. В случае необходимости допускается изменение последовательности выполнения операций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Обобщение опыта применения эффективных программ поддержания летной годности воздушных судов в центрах технического обслуживания и ремонта авиационной техники // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 173. - С. 12-18.

2. Ицкович А.А., Чиночин Ю.М., Смирнов Н.Н., Файнбург И.А. Анализ состояния и тенденций развития центров технического обслуживания и ремонта воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 178. - С. 13-20.

3. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Показатели эффективности процессов поддержания летной годности воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 178. - С. 21-26.

4. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Управление процессами технической эксплуатации летательных аппаратов: учеб. пособие. - М.: МГТУ ГА, 2012.

MRO CENTERS AIRCRAFT CONTINUING AIRWORTHINESS PROGRAMS EFFECTIVENESS ASSESSMENT

Itskovich A.A., Chinyuchin Y.M., Smirnov N.N., Faynburg I.A.

The article presents research of MRO centers aircraft continued airworthiness programs effectiveness assessment, executed on TOA & AE chair of MSTU CA.

Keywords: Maintenance and repair centers, aircrafts; aircraft continued airworthiness programs effectiveness assessment.

Сведения об авторах

Ицкович Александр Абрамович, 1934 г.р., окончил УАИ (1957), профессор, доктор технических наук, профессор кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 270 научных работ, область научных интересов - эксплуатационная надежность и эффективность эксплуатации авиационной техники, управление процессами технической эксплуатации и поддержания летной годности летательных аппаратов.

Чинючин Юрий Михайлович, 1941 г.р., окончил КуАИ им. академика С.П. Королева (1965), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 350 научных работ, область научных интересов - техническая эксплуатация и поддержание летной годности воздушных судов, повышение эксплуатационно-технических свойств авиационной техники.

Смирнов Николай Николаевич, 1928 г.р., окончил КИИГА (1952), профессор, доктор технических наук, профессор кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 300 научных работ, область научных интересов - техническая эксплуатация и эксплуатационно-технические характеристики гражданской авиационной техники, поддержание летной годности и повышение эффективности эксплуатации воздушных судов.

Файнбург Инна Александровна, окончила МИИВТ (1989), доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 60 научных работ, область научных интересов - управление процессами технической эксплуатации и поддержания летной годности летательных аппаратов.

УДК 629.735.017.83

РЕГИСТРАЦИЯ ИНОСТРАННЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В РОССИИ, И ТРЕБОВАНИЯ К ПОДДЕРЖАНИЮ ИХ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ

Ю.М. ЧИНЮЧИН, М.Ю. ТРИФОНОВ, Д.С. ГАФУРОВ

Статья посвящена анализу международного законодательства, определяющего порядок регистрации воздушных судов иностранного производства, принадлежащих эксплуатантам Российской Федерации, и организационно-технические особенности процесса поддержания их летной годности.

Ключевые слова: воздушные суда, регистрация воздушных судов, лизинг, аренда, Конвенция ИКАО, требования, летная годность.

На современном этапе развития гражданской авиации в Российской Федерации вследствие снижения объемов производства отечественной авиационной техники, с одной стороны, и возрастающим спросом на авиационные перевозки, с другой стороны, все больше эксплуатантов переходят на эксплуатацию иностранной авиационной техники.

Условием безопасной эксплуатации воздушных судов (ВС) иностранного производства является выполнение требований международного авиационного законодательства, основанного на требованиях ИКАО. При приобретении и вводе в эксплуатацию ВС иностранных авиапроизводителей перед эксплуатантом, зарегистрированным в РФ, встает вопрос выбора страны регистрации ВС.

В случае лизинга ВС у иностранных лизингодателей нередко возникает требование собственников ВС по регистрации их в иностранных государствах, например, в Ирландии, Франции, Англии, Бермудах.

Данное требование обусловлено желанием лизингодателя сохранить ВС в мировой системе поддержания летной годности (ПЛГ) с целью обеспечения его остаточной стоимости и сохранения ликвидности. При принятии решения об иностранной регистрации ВС эксплуатант сталкивается с необходимостью следовать требованиям авиационной администрации страны регистрации ВС в отношении его ПЛГ. Данное требование обусловлено положениями ст. 83 bis Конвенции о международной гражданской авиации.

Концепция регистрации, нашедшая отражение в гл. III Конвенции, предполагает ответственность государства регистрации за обеспечение безопасности полетов ВС. Каждое договаривающееся государство должно принимать меры к тому, чтобы каждое зарегистрированное в нем ВС, где бы оно ни находилось, эксплуатировалось с соблюдением правил и регламентов, касающихся полетов ВС. Любое нарушение этих требований является основанием для привлечения к ответственности (ст. 12). В частности, ВС, занятые в международной аэронавигации, обеспечиваются государством регистрации удостоверением о годности к полетам (ст. 31) и разрешением на установку радиоаппаратуры (ст. 30), а экипажи - свидетельствами членов экипажа (ст. 32a). Необходимые удостоверения и свидетельства должны выдаваться с соблюдением Стандартов, установленных в соответствующих Приложениях к Конвенции (в частности, в Приложении 1 "Выдача свидетельств авиационному персоналу" и Приложении 8 "Летная годность воздушных судов"), если только конкретное государство в официальном порядке не известило ИКАО о том, что оно не имеет возможности выполнять конкретные Стандарты, содержащиеся в соответствующих Приложениях, как это предусмотрено в ст. 38 Конвенции.

Эксплуатация ВС, занятых в международной навигации, регулируется требованиями Приложения 6 к Конвенции. Ответственность за соблюдение этих требований несет государство эксплуатанта, на территории которого находится основное место его деятельности. При усло-

вии положительной оценки способности авиакомпании обеспечивать безопасность полетов своих ВС государство эксплуатанта имеет право выдавать сертификат эксплуатанта (АОС), необходимый для выполнения международных полетов.

Государства могут испытывать трудности в вопросах регулирования и обеспечения соблюдения требований в области безопасности полетов, когда ВС, внесенные в их реестр, базируются в другом государстве. Нередки ситуации, когда в результате заключения таких коммерческих соглашений, как договор аренды, фрахтования или взаимного обмена ВС, выполняющими международные перевозки, государство регистрации может утратить контроль за обеспечением безопасности полетов и оказаться неспособным должным образом исполнять свои функции и обязанности. Одной из трудностей, с которой сталкивается государство регистрации ВС является случай, когда ВС базируется за пределами его юрисдикции. Она связана с тем, что необходимо обеспечить соблюдение требований по техническому обслуживанию ВС и, соответственно, возможность при необходимости возобновить действие сертификата его летной годности.

Что касается экипажа, то при "сухой" аренде (аренде ВС без экипажа) возникает проблема придания силы действия удостоверениям иностранных членов экипажа государством регистрации ВС. Эта проблема еще более усугубляется в тех случаях, когда правила и требования в отношении удостоверений членов экипажа, действующие в государстве регистрации ВС, отличаются от правил государства, где эти удостоверения были первоначально выданы. Различия между законами и правилами государства регистрации и государства эксплуатанта могут также существовать и применительно к "мокрой" аренде (аренде ВС с экипажем). Арендодатель в таких случаях, как правило, остается официальным эксплуатантом, тогда как арендатор может уже эксплуатировать ВС аналогичного типа в соответствии со своим сертификатом эксплуатанта (СЭ). Может возникнуть ситуация, когда ВС, арендованное с экипажем, эксплуатируется на основании СЭ арендатора, в результате чего государство арендатора становится государством эксплуатанта. В таких случаях осуществление надлежащего контроля за действиями летного экипажа может быть затруднено.

Ст. 83 bis содержит общее положение, ратификация которого не влечет за собой автоматической передачи функций и обязанностей государством регистрации ВС государству эксплуатанта; она требует, чтобы подобная передача была оформлена в виде надлежащего соглашения между соответствующими государствами. Она также устанавливает пределы передаваемых обязательств: любое такое соглашение может касаться только тех функций и обязанностей, о которых идет речь в ст. 12, 30, 31 и 32а Конвенции и которые могут передаваться частично или в полном объеме. Это значит, что ст. 83 bis является дискреционным и гибким инструментом для ратифицировавших ее сторон, однако если в соглашении о передаче четко не определены какие-либо функции и обязанности, ответственность за них продолжает нести государство регистрации ВС. Формулировка ст. 83 bis также указывает на то, что ВС, подпадающие под действие соглашения о передаче обязанностей, также должны быть четко идентифицированы.

Применение данной статьи возможно в случае подписания межправительственного соглашения о разделении прав и ответственности по ПЛГ ВС с указанием типов ВС.

В настоящее время авиаперевозчиками РФ эксплуатируется более 481 ВС Бермудской регистрации. В соответствии с упомянутыми документами контроль ПЛГ ВС обеспечивает авиационная администрация Бермуд (BDCA). Иными словами процесс продления сертификата летной годности экземпляра ВС осуществляется в соответствии с требованиями и правилами BDCA, которые подробно изложены на ресурсе <http://www.dca.gov.bm/default.aspx>. На авиационную администрацию РФ возложен контроль технического обслуживания ВС вне базы.

С целью исполнения своих обязательств по двухстороннему соглашению между BDCA и МТ РФ, авиационной администрацией Бермуд в июне 2011 г. было издано директивное письмо о введении требования одобрения процесса ПЛГ (Continuing airworthiness management) с последующим переносом сроков ввода требования до 30.06.2013 г.

Письмо LTO AIR 06-11 к операторам ВС, зарегистрированным на территории ВДСА, обязывает все организации по ПЛГ ВС соответствовать требованиям OTAR 39, подпункт F. Такими организациями могут быть:

1. Держатели иностранных сертификатов эксплуатанта, эксплуатирующие ВС, зарегистрированные на территории ВДСА в соответствии с требованиями ст. 83/bis ICAO.

2. Организации, которые обеспечивают управление ПЛГ ВС держателей сертификата эксплуатанта на основании агентского договора.

Требования подпункта F:

1) действуют в отношении организаций, обеспечивающих ПЛГ ВС, зарегистрированных на территории ВДСА;

2) применяются технические стандарты EASA Part M, Subpart G и Subparts B, C и D OTAR 39;

3) организации, обеспечивающие ПЛГ ВС, должны продемонстрировать соответствие указанным стандартам авиационной администрации страны регистрации ВС оператора NAA и соответствующей администрации ОТАА (АВИАЦИОННАЯ АДМИНИСТРАЦИЯ ЗАМОРСКИХ ТЕРРИТОРИЙ).

Требования подпункта B – управление ПЛГ:

1) требования к персоналу:

а) у собственника ВС, лизингодателя должен быть назначен Технический координатор или руководитель;

б) у держателя сертификата эксплуатанта должен быть назначен ответственный за соблюдение требований властей к процессу ПЛГ ВС в соответствии с требованиями OTAR;

2) общие требования по ПЛГ ВС заключаются в том, что держатель сертификата эксплуатанта, собственник или лизингодатель должен обеспечить управление ПЛГ ВС и получить одобрение, исполняя требования подпункта E, который устанавливает следующие стандарты:

Опция 1. Признание сертификата EASA Part M, Subpart G.

Опция 2. Одобрение организации или эксплуатанта на основании одобренного MCM;

3) руководитель по управлению ПЛГ отвечает за поддержание сертификата летной годности ВС;

4) общие требования по ТОиР;

5) требования к программе ТО:

а) требования по одобрению программы ТО;

б) требования к программам мониторинга состояния и надежности авиационной техники.

Для обеспечения соответствия данным требованиям в настоящее время авиакомпаниям требуется развивать инфраструктуру, проводить дополнительную подготовку авиаперсонала, совершенствовать структуру инжиниринга, наращивать информационные ресурсы (аппаратное и программное обеспечение). Все эти мероприятия требуют дополнительных материальных и финансовых затрат, которые приводят к росту не прямых расходов на техническое обслуживание ВС, обусловленных ростом стоимости инжиниринга и, как результат, приводят к росту операционных расходов, ухудшая финансовый результат деятельности авиакомпании.

История возникновения данных требований насчитывает более чем 10-летний опыт работы европейских авиационных властей, целью которой является повышение уровня безопасности полетов путем обеспечения контроля за техническим состоянием экземпляра ВС.

С момента появления первых упоминаний о необходимости выделения вида деятельности по управлению процессами ПЛГ ВС и его сертификации, наряду с требованиями к организациям по ТОиР, в мире стали появляться организации, основным видом деятельности которых стал сервис по менеджменту ПЛГ. Такие организации, как, например, Airways Technics (www.atcamo.aero), стали одним из ключевых факторов успеха низкокостных (low cost) авиаперевозчиков, в том числе таких, как JetBlue, Ryanair, IseJet, AirAsia и другие. На диаграмме, представленной на рис. 1, показана разница в расходах авиаперевозчиков на данный вид обеспечения полетов по данным для парка 20 ВС типа А-320.

При этом данное число ВС взято из норматива 20 ВС на одного инженера. Дальнейшее увеличение парка ВС приводит к росту числа инженеров, оборудованию дополнительных рабочих мест и, соответственно, к росту расходов на один пассажиро-километр (ПКМ).

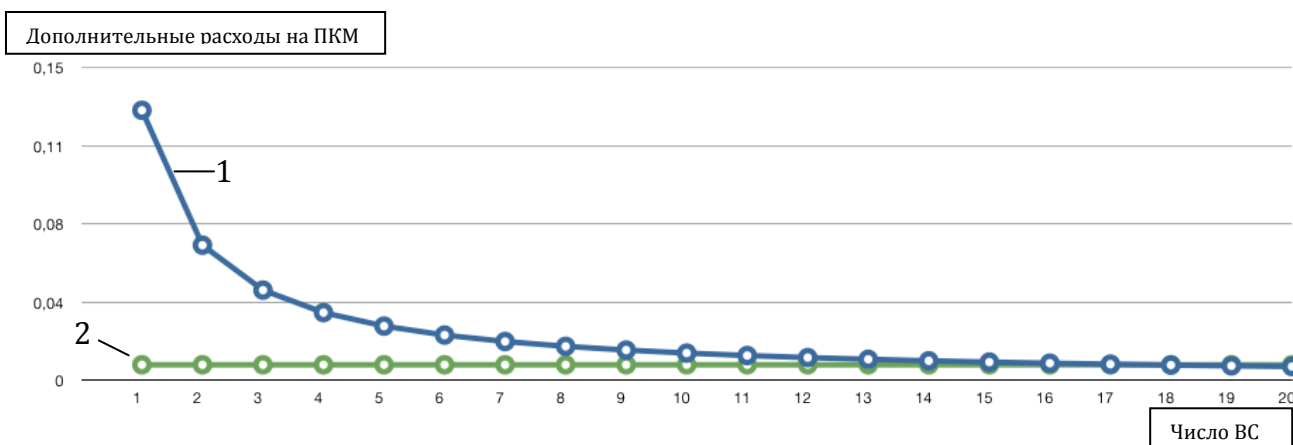


Рис. 1. Диаграмма расходов авиаперевозчиков: 1 - ПЛГ внешними ресурсами; 2 - ПЛГ внутренними ресурсами

Из диаграммы видно, что расходы на содержание внутренней службы управления ПЛГ приближаются к стоимости услуги внешнего провайдера при парке, насчитывающем более 10 ВС, но и в этом случае обращение к системе менеджмента (САМ) организации предпочтительней с точки зрения предотвращения риска простоя ВС в случае непродления срока действия сертификата летной годности ВС.

Данный случай, и, соответственно, финансовые потери относятся к гарантийным обязательствам провайдера. Например, известны случаи простоев ВС в ведущих авиакомпаниях по причине невыполнения авиационных директив и доработок в установленные сроки, в результате чего ВС теряет летную годность. Потери авиаперевозчика в этом случае достигают нескольких миллионов долларов, которые связаны с необходимостью оплаты лизинговых платежей в период простоя ВС в ожидании поставки технической документации и комплектующих изделий. Возместить указанные потери за счет собственного персонала невозможно и, напротив, в случае контракта с внешним провайдером услуг это входит в гарантийные обязательства.

Выводы

Таким образом, в современных условиях наиболее эффективным способом обеспечения летной годности ВС авиаперевозчика является привлечение внешней организации по управлению ПЛГ ВС, соответствующей сертификационным требованиям страны регистрации ВС, для выполнения полного комплекса работ, соответствующего требованиям авиационной администрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Doc 730019 Конвенция о международной гражданской авиации.
2. Overseas territories aviation requirements (OTARs) Part 39 continued airworthiness requirements.
3. Межправительственное соглашение 83/bis о распределении ответственности по контролю летной годности ВС между Министерством транспорта РФ (МТ РФ) и Бермудской авиационной администрацией (BDCA).
4. Overseas territories aviation requirements (OTARs) Part 43 general maintenance requirements.

RUSSIAN OPERATING WESTERN AIRCRAFTS REGISTRATION AND CONTINUED AIRWORTHINESS REQAERMENT

Chinyuchin Y.M., Trifonov M.Y., Gafurov D.S.

This article is devoted to multinational aviation rule analyzing, in term of western aircrafts registration requirements to Russian operators and continued airworthiness management requirements.

Key words: Aircrafts, ICAO convention, western aircrafts registration, Continued Airworthiness Management.

Сведения об авторах

Чинючин Юрий Михайлович, 1941 г.р., окончил КуАИ им. академика С.П. Королева (1965), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 350 научных работ, область научных интересов - техническая эксплуатация и поддержание летной годности воздушных судов, повышение эксплуатационно-технических свойств авиационной техники.

Трифонов Михаил Юрьевич, 1960 г.р. окончил КИИГА (1988), МЭСИ (2003), доцент кафедры ТЭЛА и АД МГТУ ГА, автор 4 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация и поддержание летной годности воздушных судов.

Гафуров Джалолиддин Садруддинович, 1985 г.р., окончил Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими (2008), аспирант МГТУ ГА, автор 3 научных работ, область научных интересов – организация технической эксплуатации воздушных судов с учетом международных стандартов.

УДК 621.432.3

ФОРМЫ, РЕЖИМЫ ТЕЧЕНИЯ И КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИФFUЗОРОВ КАМЕР СГОРАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.М. ЛАНСКИЙ, С.В. ЛУКАЧЕВ, С.Г. МАТВЕЕВ

Рассмотрена форма диффузоров, режимы течения и критерии эффективности применительно к камерам сгорания малоразмерных газотурбинных двигателей (ГТД). Установлено, что в прямоточных кольцевых камерах сгорания потери в диффузорах составляют 30-40 % от общих.

Ключевые слова: диффузор, камера сгорания, потери, степень раскрытия, малоразмерные ГТД.

В малоразмерных ГТД вследствие высокой частоты вращения вала и проблем, связанных с его колебаниями, расстояние между компрессором и турбиной должно быть минимальным. Это требование, а также необходимость уменьшения лобовой площади привели к повсеместному использованию противоточных кольцевых, кольцевых радиально-осевых и прямоточных камер сгорания. Поэтому почти всегда используются центробежные и осистробежные компрессора. Их диффузоры должны не только снимать скорость воздушного потока, но так же устраняют остаточную закрутку воздуха на входе в КС. Это достигается путем использования коротких кольцевых диффузоров обычного типа с довольно большим соотношением площадей и малой скоростью на выходе.

В камерах сгорания (КС) полноразмерных ГТД для снижения скорости воздуха на входе в жаровую трубу используются следующие диффузоры (рис. 1).

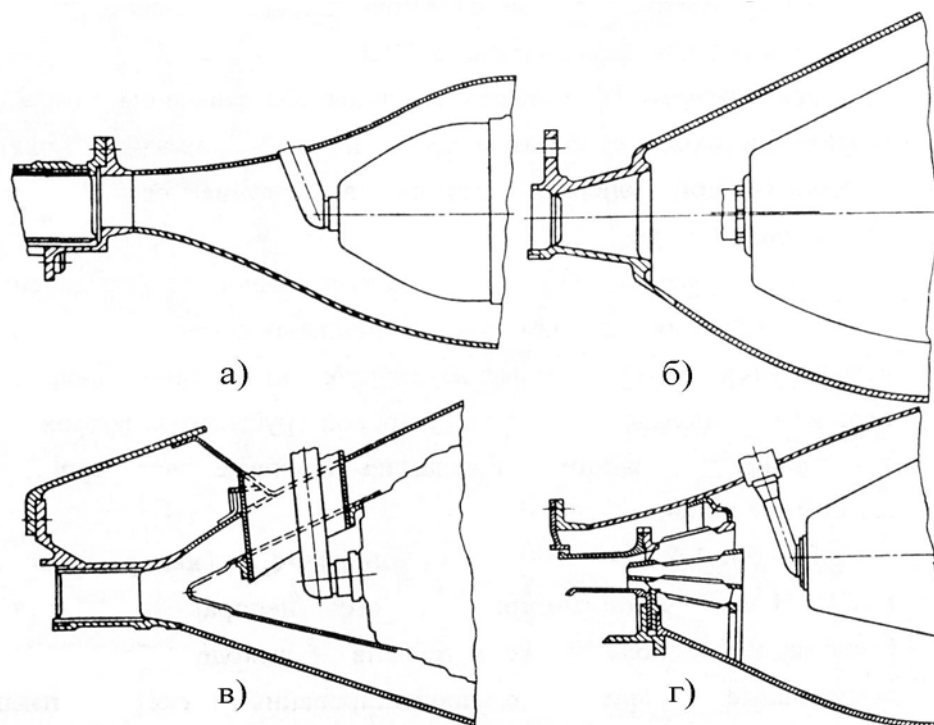


Рис. 1. Схемы диффузоров камер сгорания: а – безотрывный; б – с короткой безотрывной частью и регламентированным срывом потока по внутренней и наружной стенкам; в – с кольцевым конусным разделителем потока; г – с разделителем потока воздуха за компрессором и внезапным расширением

Они должны обеспечить дозированное распределение подачи воздуха по кольцевым каналам при минимальных потерях давления и нечувствительности к условиям на входе. Анализ конструктивных схем малоразмерных ГТД (рис. 2) показывает, что диффузоры для КС этого типа двигателей характеризуются целым рядом особенностей, к которым можно отнести следующие:

- отсутствует начальный участок диффузора;
- поворот части потока воздуха на 90÷180 во внутренний кольцевой канал (рис. 2).

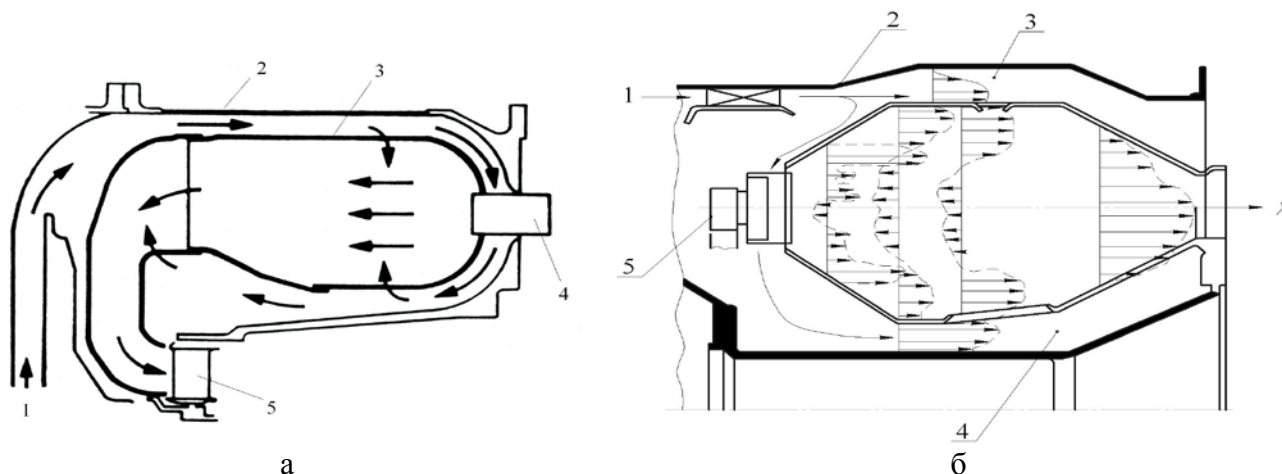


Рис. 2. Схемы обтекания камер сгорания малоразмерных ГТД:

- а) кольцевая противоточная камера сгорания: 1 – вход воздуха; 2 – внешний корпус; 3 – жаровая труба; 4 – топливная форсунка; 5 – сопловой аппарат турбины; б) кольцевая прямо-точная камера сгорания: 1 – вход воздуха; 2 – внешний корпус; 3 – внутренний кольцевой канал; 4 – наружный кольцевой канал; 5 – топливная форсунка

Поэтому очень важно для них, что принимать за диффузор. В данной работе условно принимается за диффузор участок от выходной кромки спрямляющего аппарата компрессора до миделевого сечения в кольцевых каналах камер сгорания.

Одной из основных характеристик диффузора является степень раскрытия

$$n_d = \frac{\sum F_{\text{КК}}}{F_{\text{К}}}$$

Анализ известных экспериментальных данных показывает, что в выполненных камерах сгорания степень расширения потока в диффузоре (n_d) изменяется в диапазоне от 1,5 до 2,5 (рис. 3).

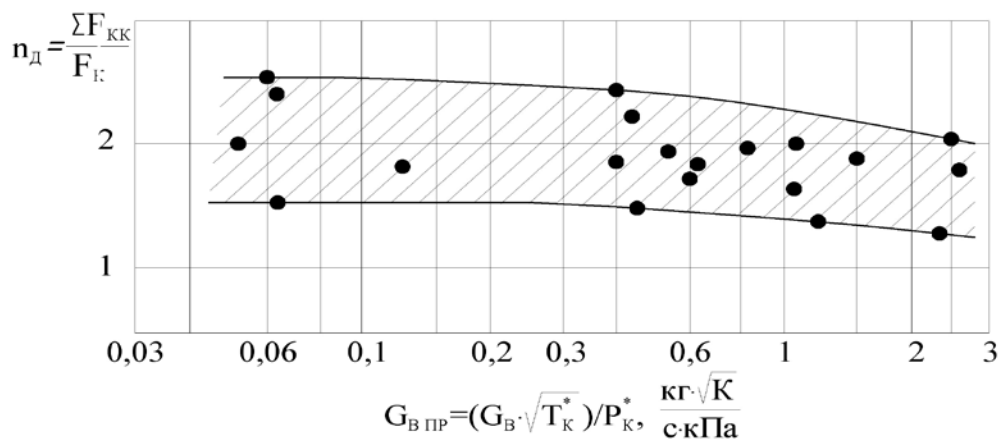


Рис. 3. Зависимость степени раскрытия диффузора от размерности камер сгорания

Для оценки эффективной работы диффузора используются следующие безразмерные величины

$$\sigma_D = P_D^* / P_K^*; \quad \xi_D = P_D^* / (\rho W_K^2 / 2),$$

где σ_D – коэффициент восстановления полного давления; ξ_D – коэффициент гидравлического сопротивления.

Значения последних для различных схем камер сгорания приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Значение степени расширения диффузоров в камерах сгорания

Двигатель	РД-33	ТВ2-117	ТВ3-117	АИ 20 К	ВД-100	МД-120
$n_D = \frac{\sum F_{KK}}{F_K}$	1,72	2,42	1,99	2,0	2,0	2,38

Таблица 2

Типовые значения потерь полного давления в камерах сгорания

Коэффициент потерь полного давления	Камера сгорания					
	Прямоточная			Противоточная		
	Двигатель РД-33	Двигатель ТВ3-117	Двигатель МД-120	Двигатель ТВ7-117	Двигатель ГТД-1250А	Двигатель ВД-100
$\sigma_D, \%$	1,82	1,9	1,72	0,59	0,22	0,73
$\sigma_{КС}, \%$	5,7	5,2	6,25	3,83	2,1	3,51
$\xi_{КС}$	1,16	1,68	1,76	4,2	1,91	2,7

Практика показывает, что при $n_D < 2,0$ удается обеспечить стабильное протекание процессов в камерах сгорания, независимо от течения в диффузоре. Кроме того, в прямоточных кольцевых камерах сгорания потери в диффузоре составляют 30-40 % от общих потерь, противоточных – 10-15 %. Объясняется это тем, что противоточная камера сгорания применяется с центробежным компрессором высокого давления и вынесена по схеме над турбиной. Скорости на выходе из центробежного компрессора низкие ($\lambda_K=0,1-0,2$), малы и потери в диффузоре камеры сгорания. Для сравнения, на входе в прямоточную камеру сгорания приведенная скорость ($\lambda_K=0,3-0,35$).

Выполненный анализ форм, режимов течения и критериев эффективности диффузоров камер сгорания малоразмерных ГТД показал, что степень раскрытия диффузора (n_D) находится в тех же пределах, что и у полноразмерных КС. Уровень потерь полного давления в полноразмерных и малоразмерных КС примерно одинаков, что объясняется низкими скоростями потока воздуха на выходе из компрессора ($\lambda_K=0,1-0,2$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудаков О.А., Саркисов А.А., Силивон Н.Д. и др. Конструкция, теория и расчет камер сгорания газотурбинных двигателей: учеб. пособие / под общ. ред. А.А. Саркисова. - СПб.: Изд-во СПб ГТУ, 1993.
2. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД / пер. с англ. А. Лефевр. - М.: Мир, 1986.
3. Абрашкин В.Ю. Формирование полей температуры газа на выходе из камер сгорания малоразмерных ГТД: дисс. ... канд. техн. наук. - Самара, 2006.

**FORM, FLOW REGIMES AND SMALL-SIZE TURBINE ENGINES COMBUSTION CHAMBERS
DIFFUSERS EFFICIENCY CRITERIA****Lansky A.M., Lukachev S.V., Matveev S.G.**

The article is devoted to research efficiency criteria of low sized (turboshafts) jet engines combustion chamber.

According to research, direct - flow ring combustion chamber of low sized jet engines, have loss 30-40% of general flow in diffusers.

Key words: diffusers, combustion chamber, loss, extent of disclosure, low sized jet engines.

Сведения об авторах

Ланский Анатолий Михайлович, 1950 г.р., окончил КуАИ им. академика С.П. Королева (1975), кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей СГАУ, автор более 70 научных работ, область научных интересов – физика и моделирование процесса горения в камерах сгорания ГТД.

Лукачев Сергей Викторович, 1949 г.р., окончил КуАИ им. академика С.П. Королева (1973), доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы, заведующий кафедрой теплотехники и тепловых двигателей СГАУ, автор более 150 научных работ, область научных интересов - физика и моделирование процесса горения в камерах сгорания ГТД.

Матвеев Сергей Геннадьевич, 1959 г.р., окончил КуАИ им. академика С.П. Королева (1982), кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей СГАУ, автор более 70 научных работ, область научных интересов – физика и моделирование процесса горения в камерах сгорания ГТД.

УДК 629.735

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

В.А. ВАСИЛЬКОВ, С.Н. ЯБЛОНСКИЙ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Ицковичем А.А.

Рассматривается применение агрегативного (универсального) подхода к разработке математической модели процесса технической эксплуатации ВС.

Ключевые слова: математическое моделирование, процесс технической эксплуатации, формализация процесса технической эксплуатации, агрегативная модель, показатель эффективности процесса технической эксплуатации ВС.

Анализ существующих математических моделей процессов технической эксплуатации (ПТЭ) воздушных судов (ВС) показывает, что основные закономерности ПТЭ выявляются на основе статистической информации, собранной в эксплуатационных предприятиях.

В этих моделях ПТЭ описывается полумарковским процессом с конечным числом состояний в соответствии с теорией марковских процессов, а состояние полумарковского процесса трактуется как состояние самолета. В каждый момент времени полумарковский процесс, как и самолет, может находиться в одном и только одном состоянии. Длительность нахождения самолета в каждом состоянии μ_i является случайной величиной, подчиненной известному закону распределения с конечным средним значением. В момент окончания пребывания в данном состоянии процесс мгновенно переходит в другое состояние, причем переход в конкретное состояние осуществляется с определенной вероятностью [1; 2]. Таким образом, происходит функционирование процесса. Интересующими нас показателями этого процесса являются стационарные вероятности состояний. Они показывают долю времени, в течение которого самолет находится в каждом из состояний.

В результате анализа состояний и переходов ПТЭ ВС определяется распределение фонда времени по состояниям процесса технической эксплуатации и основные показатели его эффективности. Анализ влияния организационных и технических факторов на эффективность ПТЭ ВС за отчетный период оценивается по относительным показателям, представляющим собой отношение показателя за отчетный период к базовому показателю. Анализ изменения уровня эффективности ПТЭ ВС позволяет установить степень влияния отдельных состояний процесса технической эксплуатации. При этом выделяются так называемые доминирующие состояния и принимаются соответствующие решения.

Можно утверждать, что описанная выше модель является аналитической, поскольку она имеет явное решение. Модель позволяет оценивать влияние различных мероприятий по совершенствованию ПТЭ процесса технической эксплуатации самолетов на изменение значений P_i , т.е. на изменение распределения располагаемого фонда времени самолета между состояниями. Эти мероприятия отражаются в модели путем изменения средних времен в состояниях и вероятностей переходов между состояниями.

Как показывает практика моделирования в современных условиях, перспективным является применение агрегативного подхода при разработке математических моделей. Агрегативные модели позволяют описать исследуемый процесс с отображением системного характера этого процесса. Именно при агрегативном описании процесс как система расчленяется на конечное число подсистем, сохраняя при этом связи, обеспечивающие взаимодействие частей.

В данной статье при построении математической модели ПТЭ ВС предлагается использовать так называемый обобщенный (универсальный) подход, который использует понятие агрегативной системы. В этом случае исследуемый процесс представляется в виде взаимодействующих отдельных агрегатов, т.е. А-схемы (рис. 2). Представление процесса моделирования в виде А-схемы является тем фундаментом, на котором базируется построение имитационной модели и ее внешнего и внутреннего математического обеспечения.

В соответствии с рекомендациями [3] выделяются три этапа моделирования: построение концептуальной модели, ее формализация; алгоритмизация модели и ее машинная реализация; получение и интерпретация результатов моделирования. Концептуальную модель можно представить в виде обобщенной блок-схемы, представленной на рис. 1.

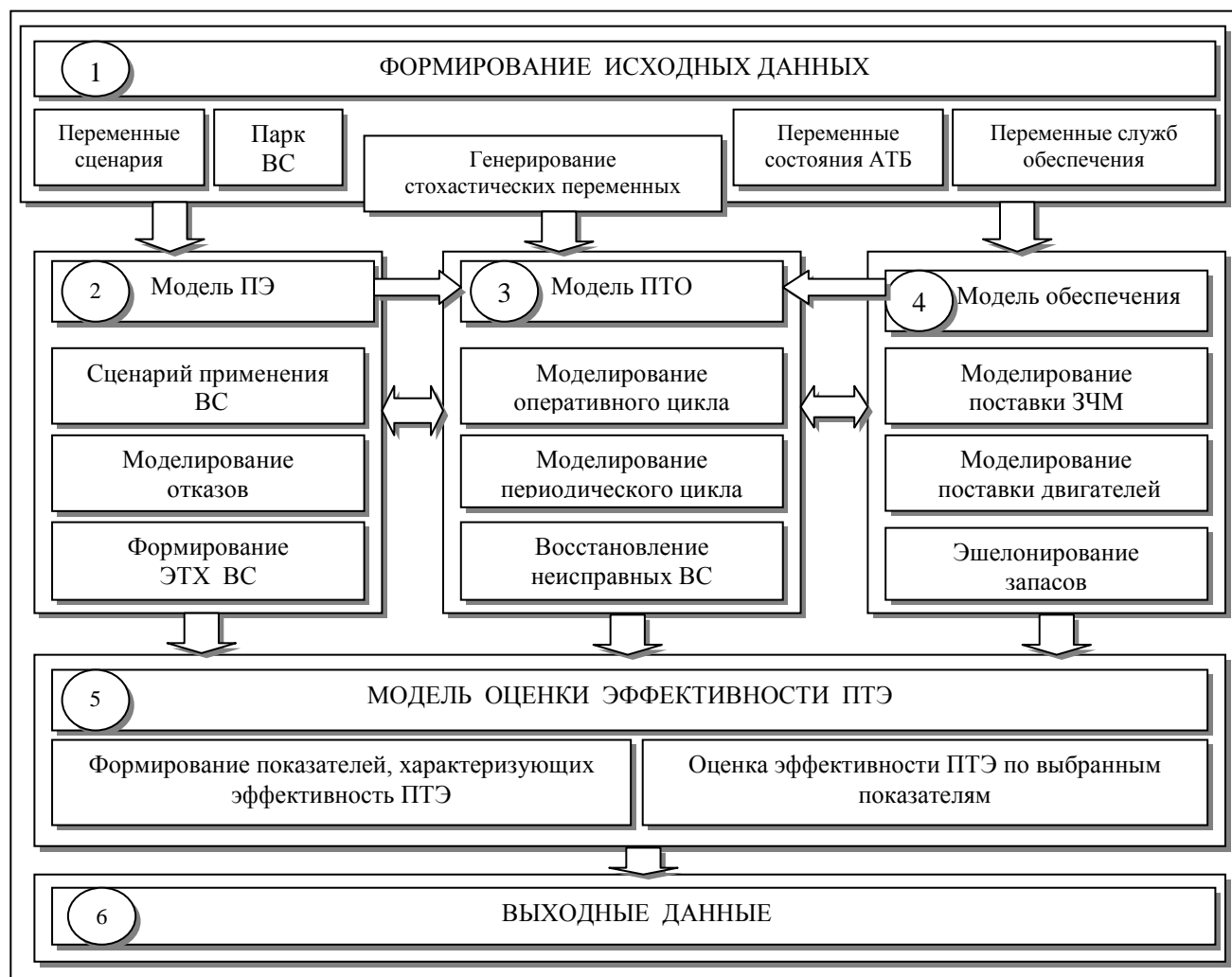


Рис. 1. Обобщенная блок-схема модели

Данная модель имеет блочную структуру, состоящую из 6-ти взаимосвязанных блоков. В блоке 1 хранятся исходные данные. В этом блоке ряд параметров задаются характеристическими функциями.

Характеристические функции сценария применения ВС:

- число самолетов списочного парка авиакомпании, ед. – K ;
- средний годовой налёт на списочный самолет, ч – $T_{ГС}$;
- средняя длительность беспосадочного полёта, ч – $t_{БП}$;
- количество состояний исследуемого ПТЭ – N .

Характеристические функции процесса технического обслуживания:

- периодичность выполнения формы Б, сут. – τ_B ;
- периодичность выполнения форм Φ_1, Φ_2, Φ_3 , ч – $\tau_{\Phi_1}, \tau_{\Phi_2}, \tau_{\Phi_3}$;
- среднее время пребывания в состоянии, ч – t_i ;
- средняя трудоемкость ТОиР в состояниях ПТЭ, чел.- ч – T_i .

Характеристические функции состояния АТБ:

- продолжительность рабочего дня;
- число каналов обслуживания при устранении неисправностей;
- число каналов обслуживания при подготовке к полету;
- число каналов обслуживания при оперативной форме T_B ;
- число каналов обслуживания по периодическим формам Φ_1, Φ_2, Φ_3 ;

Кроме того, в блоке 1 формируются варьируемые и стохастические параметры (табл. 1).

Таблица 1

Варьируемые и стохастические параметры

Наименование	Обозначение	Параметр	Разм.
Число самолетов списочного парка авиакомпании	K	var	ед.
Средний годовой налёт на списочный самолет	$T_{ГСС}$	var	ч
Средняя длительность беспосадочного полёта	$t_{БП}$	var	ч
Среднее время подготовки ВС к полету	t_E	стох	ч
Трудозатраты на подготовку ВС к полету	T_E	стох	чел.- ч
Количество каналов при подготовке к полету	N_E	var	ед.
Средний налет на отказ, на земле и в воздухе	T_C	var	ч
Среднее время устранения отказов	$t_{УН}$	стох	ч
Трудозатраты на устранение отказов	$T_{УН}$	стох	чел.- ч
Количество каналов при устранении неисправностей	$N_{УН}$	var	ед.
Средняя наработка на досрочный съем двигателя	$T_{ДСД}$	var	ч
Среднее время замены двигателя	$t_{ЗАМ.ДВ}$	стох	ч
Трудозатраты на замену двигателя	$T_{ЗАМ.ДВ}$	стох	чел.- ч
Периодичность выполнения формы Б	τ_B	var	сут.
Среднее время выполнения работ по форме Б	t_B	стох	ч
Трудозатраты на выполнение работ по форме Б	T_B	стох	чел.- ч
Количество каналов по оперативной форме T_B	N_B	var	ед.
Периодичность выполнения Φ_1	τ_{Φ_1}	var	ч
Среднее время выполнения работ по форме Φ_1	t_{Φ_1}	стох	ч
Трудозатраты на выполнение работ по форме Φ_1	T_{Φ_1}	стох	чел.- ч
Количество каналов по периодической форме Φ_1	N_{Φ_1}	var	ед.
Периодичность выполнения Φ_2	τ_{Φ_2}	var	ч.
Среднее время выполнения работ по форме Φ_2	t_{Φ_2}	стох	ч
Трудозатраты на выполнение работ по форме Φ_2	T_{Φ_2}	стох	чел.- ч
Количество каналов по периодической форме Φ_2	N_{Φ_2}	var	ед.
Периодичность выполнения Φ_3	τ_{Φ_3}	var	ч
Среднее время выполнения работ по форме Φ_3	t_{Φ_3}	стох	ч
Трудозатраты на выполнение работ по форме Φ_3	T_{Φ_3}	стох	чел.- ч
Количество каналов по периодической форме Φ_3	N_{Φ_3}	var	ед.
Среднее время выполнения работ по Д и Ж	$t_{ДЖ}$	стох	ч
Среднее время нахождения в резерве	$t_{РЕЗ}$	стох	ч

В блоке 2 реализуется выбор и формирование сценария применения ВС. В блоке 3 производятся следующие вычислительные процедуры: оценка состояния парка ВС в ходе эксплуатации; оценка трудоемкости и требуемого времени выполнения работ на ВС. Блок 3 находится в тесной взаимосвязи с блоками 2 и 4. Блок 4 реализует выбор и формирование сценария поставки запасных частей и авиадвигателей. Блок 5 представлен вычислительными процедурами по оценке показателей эффективности ПТЭ парка ВС. В блоке 6 производится хранение выходной информации, а также реализуются процедуры вывода на печать результатов расчета.

Формализация модели осуществляется с учетом рекомендаций [3]. Рассматривается замкнутая агрегативная система, процесс функционирования которой описывается математическим аппаратом для сети массового обслуживания. Выбранную А-схему (рис. 2) можно определить как звено при переходе от концептуального к формальному описанию процесса функционирования системы с учетом воздействия внешней среды. Таким образом, имеет место цепочка (концептуальная модель – математическая схема – математическая модель» [3].

Сеть состоит из M агрегатов (узлов), между которыми циркулирует K требований (самолетов) в соответствии со следующими правилами. Покидая узел i , самолет с вероятностью P_{ij} направляется в узел j с интенсивностью λ_{ij} . Попадая в новый узел, самолет находится там случайное время, зависящее как от номера узла, так и от числа самолетов, скопившихся в этом узле. Сам процесс пребывания самолета в отдельном узле рассматривается как процесс массового обслуживания. Предполагается, что в i -м узле имеется s_i обслуживающих приборов. Если в момент попадания в i -й узел самолет застает там хотя бы один обслуживающий прибор свободным, то он немедленно принимается на обслуживание. Если все обслуживающие приборы в этом узле уже заняты, то самолет ожидает обслуживания в общей очереди до тех пор, пока какой-нибудь из обслуживающих приборов не освободится. Один прибор может обслуживать одновременно только один самолет. Длительность обслуживания предполагается экспоненциально распределенной случайной величиной. Интенсивность обслуживания самолетов в узле зависит от того, сколько самолетов в нем скопилось. Если в i -м узле находится v_i самолетов, то суммарная интенсивность их обслуживания будет $b_i(v_i)$. По окончании обслуживания самолет с интенсивностью λ_{ij} переходит в другое состояние (узел) с вероятностью P_{ij} . Далее процесс повторяется аналогичным образом. Необходимо отметить, что состояния ожидания обслуживания в модели будут формироваться в соответствующих узлах автоматически, поскольку каждый узел имитирует процесс массового обслуживания, включающий ожидание в очереди на обслуживание. Основным результатом работы модели – получение располагаемого фонда времени самолетного парка, приходящегося на его пребывание в рассматриваемых состояниях.

Доля времени пребывания самолета в i -м состоянии складывается из доли времени ожидания начала обслуживания в этом состоянии ξ_i и обслуживания z_i

$$p_i = \xi_i + z_i.$$

Исходя из физического смысла введенных величин, можно записать соотношения

$$p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_M = 1;$$

$$v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_M = K.$$

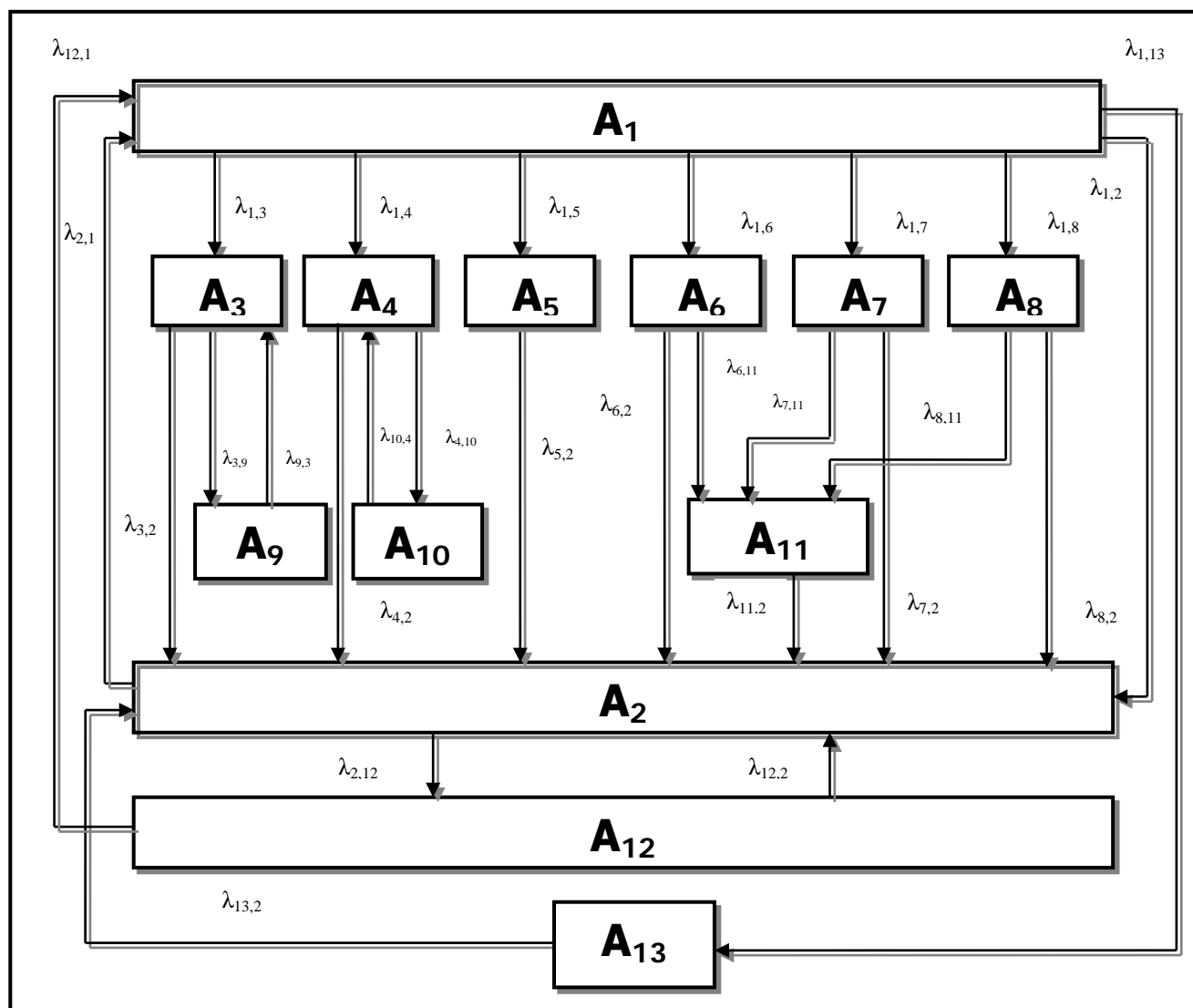


Рис. 2. Агрегативная модель состояний парка ВС

Математический аппарат, который описывает поведение данной модели, представляет собой систему дифференциальных уравнений Колмогорова. Система дифференциальных уравнений решается методом Эйлера, при этом в начальный момент времени ($t = 0$) вероятности нахождения ВС в каждом состоянии равны нулю, а $P_{12}(0) = 1$.

Среднее число ВС, находящихся в каждом состоянии в любой момент времени, находится по выражению

$$v_i = \sum_{v_i=0}^K K \cdot p_i(v),$$

где $p_i(v)$ - вероятность нахождения в i -м состоянии v самолетов; K - списочная численность ВС авиакомпании.

Среднее число самолетов, ожидающих начала обслуживания в очереди в i -м состоянии

$$v_{i_{\text{ЮЧ}}} = \sum_{v=S_i+1}^K (v-s_i) p_i(v).$$

Результаты моделирования представляются в виде показателей эффективности ПТЭ [1; 2]:

- $K_{\text{и}}$ - коэффициент использования ВС по назначению;
- $K_{\text{г}}$ - коэффициент готовности;
- $K_{\text{п}}$ - удельная суммарная продолжительность технического обслуживания;
- $K_{\text{испр}}$ - коэффициент исправности ВС;
- $K_{\text{т}}$ - удельная суммарная трудоемкость технического обслуживания.

Таким образом, стандартная форма представления исследуемого объекта в виде А-схемы приводит к унификации не только алгоритма имитации, но и к возможности применять стандартные методы обработки и анализа результатов моделирования системы, т.е. использовать метод статистических испытаний. Разработанная комплексная модель может быть реализована на ПЭВМ (IBM PC) с помощью языка COMPAQ VISIUAL FORTRAN – 6,6.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ицкович А.А.** Управление процессами технической эксплуатации летательных аппаратов: учеб. пособие. - М.: МГТУ ГА, 2012. - Ч. 1.
2. **Смирнов Н.Н., Герасимова Е.Д.** Основы теории эксплуатации авиационной техники: пособие по выполнению курсовой работы. - М.: МГТУ ГА, 2012.
3. **Советов Б.Я., Яковлев С.А.** Моделирование систем: учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 2001.

AIRCRAFT MAINTENANCE MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT ON TECHNICAL OPERATION PROCESS ISSUE

Vasilkov V.A, Iablonskij S.N.

The discussion of aggregative (universal) approach application to aircraft maintenance mathematical model developing.

Key words: mathematical modeling, technical operation process, technical operation formalization process, aggregative model, efficiency indicator aircrafts technical operation process.

Сведения об авторах

Васильков Владимир Александрович, 1985 г.р., окончил ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (2007), инженер по самолету и двигателю а/к «MetroJet», аспирант МГТУ ГА, область научных интересов – техническая эксплуатация ЛА.

Яблонский Сергей Николаевич, 1955 г.р., окончил Рижское ВВИАУ им. Я. Алксниса (1977), ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (ПРИС, 1993), кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 30 научных работ, почетный работник ВПО РФ (2009), область научных интересов – техническая эксплуатация ЛА.

УДК 629.067

ПОСТРОЕНИЕ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОЛЕТОВ ПО ПРОГРАММЕ «ETOPS – EDTO»

А.Г. АРУТЮНОВ, В.С. КИРДЮШКИН, Д.С. ГАФУРОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Чинючиным Ю.М.

В данной статье рассматривается структура формализованной модели эксплуатации самолета по программе «EDTO» и раскрывается основное содержание блоков данной модели.

Ключевые слова: программа полетов «EDTO», сертификация, эксплуатант, персонал, требования, формализованная модель.

Тенденции развития гражданской авиации характеризуются расширением маршрутной сети полётов авиакомпаний над местностью, не предназначенной для совершения экстренной посадки (водные массивы, горная местность, зоны леса и болот и т.п.), что влечёт за собой повышение требований к безопасности полётов самолетов.

Международное авиационное сообщество многие годы эффективно использовало «Правила выполнения полётов увеличенной дальности самолетами с двумя газотурбинными двигателями». По утвердившейся международной терминологии за этими Правилами утвердилась аббревиатура «ETOPS» [1].

Основой данных «Правил...» является установление «порогового времени», т.е. предельного располагаемого времени полёта до запасного аэродрома или места возможной посадки в случае отказа авиадвигателя или функциональной системы самолета.

Первоначально (до 1985 года) «пороговое время» для самолётов с двумя двигателями составляло 60 минут, а далее, при использовании «Правил...», в зависимости от требуемого уровня обеспечения безопасности полётов, «пороговое время» стало нарастать и составлять 90, 120 и 180 минут (в настоящее время в ИКАО рассматривается вопрос о введении «порогового времени», равного 210 минут).

Согласно принятой поправке 36 к части 1 Приложения 6 к Конвенции о Международной гражданской авиации, термин «ETOPS» заменен на «EDTO» (Производство полётов с увеличенным временем ухода на запасной аэродром). Таким образом, данная поправка позволяет распространить программу «EDTO» на все типы самолетов, независимо от количества установленных на них двигателей. При этом место возможной посадки должно располагаться в пределах следующей продолжительности полета после взлета с аэродрома вылета:

1) самолеты с двумя двигателями: 1 ч времени полета на крейсерской скорости с одним отказавшим двигателем, установленной в соответствии с руководством по эксплуатации самолета конкретного типа, рассчитанной для условий МСА с учетом фактической взлетной массы самолета;

2) самолеты с тремя и более двигателями: 2 ч времени полета на крейсерской скорости с одним неработающим двигателем, определенной в соответствии с руководством по эксплуатации самолета конкретного типа, рассчитанного для условий МСА с учетом фактической взлетной массы самолета;

3) самолеты, выполняющие полеты с увеличенным временем ухода на запасной аэродром, в тех случаях, когда отсутствует аэродром, отвечающий критериям по расстояниям, указанным в п.1 и п. 2. Таковым выбирается один из имеющихся запасных аэродромов, расположенный в пределах утвержденного эксплуатантом максимального времени полета до запасного аэродрома с учетом фактической взлетной массы [2].

В настоящее время наиболее востребованным среди отечественных среднемагистральных самолётов является самолет Ту-204, который эксплуатируется отечественными и зарубежными авиакомпаниями на внутренних и международных авиалиниях и который должен быть сертифицирован в соответствии с требованиями «EDTO». Опыт эксплуатации самолета Ту-204 и его модификаций с авиадвигателем ПС-90А показывает, что уровень надёжности самолёта в целом недостаточен для получения сертификата соответствия требованиям программы «EDTO», что безусловно снижает потенциал для расширения маршрутных сетей авиакомпаний, эксплуатирующих данный тип самолета.

Для анализа и обеспечения необходимых уровней надёжности и безопасности полётов, соответствующих требованиям «EDTO», предлагается, применительно к самолёту Ту-204, построить общую (формализованную) модель (рис. 1), представляющую собой совокупность основных блоков (I и II) и второстепенных блоков (III – VIII).

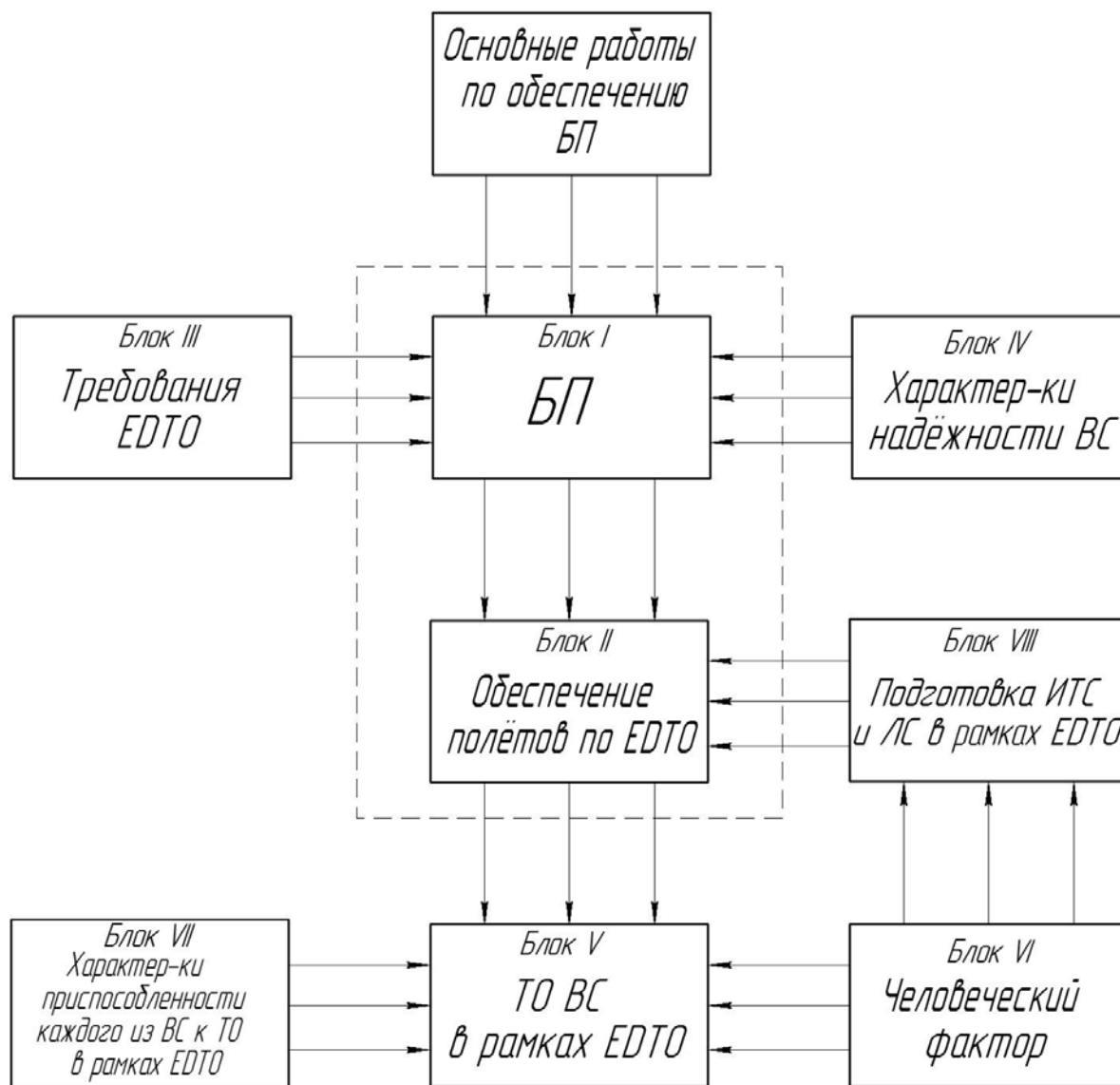


Рис. 1. Формализованная модель обеспечения условий для эксплуатации самолета по программе «EDTO»

Для обеспечения выполнения мероприятий, описанных в блоках I и II, необходимо обязательное выполнение блоков III – VIII.

Блок III. Для выполнения требований программы «EDTO» сертифицированный самолёт должен отвечать требованиям минимально-необходимого перечня бортового оборудования, с отказами которого допускается вылет (MEL). Лётный и инженерно-технический персонал должен пройти обучение в объеме, соответствующем требованиям программы «EDTO».

Эксплуатант должен надлежащим образом вести учёт заправки топливом и маслом, который позволяет государству эксплуатанта удостовериться в том, что тенденции расхода топлива и масла на данном самолете позволяют иметь достаточный запас для завершения выполнения каждого полета. Вышеперечисленные требования принимаются согласно принятой поправке 36 к Части 1 Приложения 6 к Конвенции о Международной гражданской авиации [2].

Блок IV. Как известно, основными критериями, характеризующими надёжность самолета, являются такие показатели, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Каждое из указанных свойств объекта эксплуатации влияют на безопасность полёта.

На примере опыта эксплуатации самолета Ту-204-300 авиакомпании ОАО «ВЛАДИВОСТОК АВИА» выявлены следующие замечания к надежности комплектующих изделий:

- тормозные диски выходят из строя при наработке 300 – 500 посадок (при гарантийном ресурсе 1000 ч, 2000 посадок);
- плунжерные насосы НП-123, применяемые в гидросистеме самолета, имеют низкую надежность. С начала эксплуатации самолетов произошло 12 отказов насосов, из них в 2-х случаях их отказы стали причиной инцидентов [3];
- средняя наработка генераторов ГП-26 на отказ составляет 4496 ч при назначенном ресурсе 24000 ч, при этом гарантийный ресурс устанавливается заводом-изготовителем в 500 – 1000 часов, что составляет всего около 3% от назначенного ресурса [3];
- вызывает беспокойство состояние двигателей ПС-90А, количество и опасность возникающих в них отказов: поломка шестерни 94-06-455, непрогнозируемый обрыв рабочих лопаток 2-й подпорной ступени КНД, модифицированных вентиляторов и ряд других нерешенных вопросов не дают возможность сертифицировать самолет Ту-204-300 по требованиям «EDTO» [3].

Очевидно, что вышеперечисленные недостатки съемных изделий существенно влияют на уровень безопасности полётов. Необходимым требованием является повышение качества и надежности изделий, принятие мер, направленных на устранение выявленных недостатков как при их проектировании, так и при производстве.

Блок V. В программе ТОиР самолета для выполнения полетов по «EDTO» должны содержаться требования, инструктивный материал и указания, необходимые для полного и качественного обеспечения предусмотренных видов ТОиР. Базовой программой ТОиР самолетов, рассматриваемых для допуска к полетам по «EDTO», должна являться действующая программа ТОиР с целью поддержания их летной годности, утвержденная для данного эксплуатанта, для конкретной модификации самолета и соответствующей комбинации "планер-двигатель". Эта программа должна быть пересмотрена для определения приемлемости ее использования в качестве основы для доработки и корректировки с учетом требований к ТОиР самолетов при выполнении полетов по «EDTO».

Эти требования должны предусматривать процедуры ТОиР, исключающие одновременное выполнение идентичных работ на сходных между собой сложных элементах какой-либо системы, критичной для «EDTO» (например, замену топливорегулирующей аппаратуры сразу на обоих двигателях).

Перечень работ по ТОиР в рамках программы «EDTO» формируется с учетом следующих особенностей:

- 1) связанные с «EDTO» работы по ТОиР должны особо обозначаться в технологических картах эксплуатанта [4];

2) связанные с «EDTO» процедуры и технологии, такие как контроль технического состояния отдельных систем и оборудования самолета с использованием бортовых средств должны быть четко определены в программе эксплуатанта [4].

3) для проверки приемлемости технического состояния самолета и определенных критических его элементов формируется специальный плановый вид ТО (форму «EDTO» – service check). Такая форма должна выполняться и письменно подтверждаться непосредственно перед вылетом по правилам «EDTO» квалифицированным персоналом, допущенным к ТОиР самолетов, выполняющих полеты по «EDTO» [4].

4) бортовые журналы должны надлежащим образом проверяться и заполняться с тем, чтобы обеспечить выполнение предусмотренных MEL процедур, отложенных работ и видов ТОиР и процедур проверки систем [4].

Блок VI. При подготовке самолёта к полёту особое внимание уделяется человеческому фактору. Анализ статистики (рис. 2) свидетельствует о том, что в большинстве случаев авиационные катастрофы происходят по причине ошибочных действий экипажа или по техническим причинам. Исходя из этого, необходимо проводить психологическую работу с ИТС и ЛПС перед тем, как приступать к производству полётов по «EDTO». Для ЛПС следует вводить дополнительные занятия на тренажерах для отработки действий в различных аварийных ситуациях.

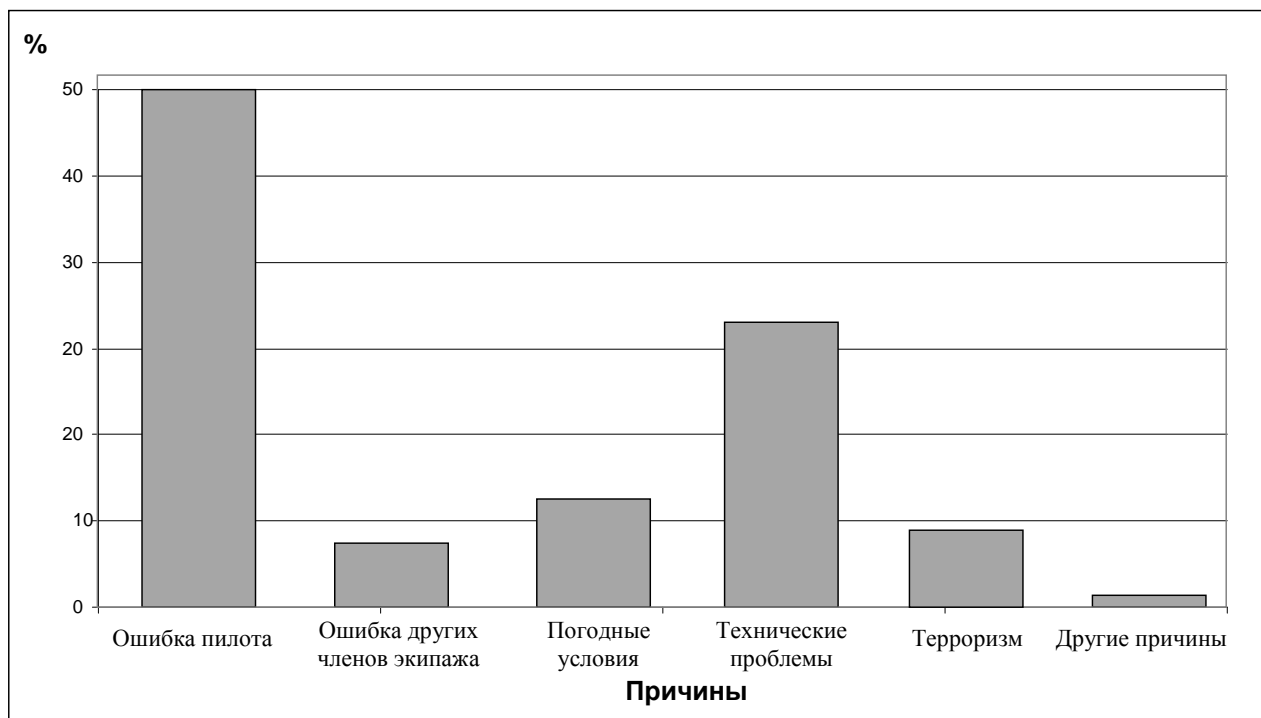


Рис. 2. Распределение катастрофических ситуаций на воздушных судах по различным причинам (мировая статистика за период с 1950 года)

Перед началом выполнения полётов по «EDTO» разрабатываются специальные тесты, в которых отображаются перечни самолетных систем с имитацией различных комбинаций отказов критически важных элементов. Задачи ЛПС состоят в принятии адекватных решений и расстановке приоритетов в своих действиях для выхода из сложных ситуаций.

Блок VII. На самолётах, выполняющих полёты по «EDTO», имеются компоненты, которые не используются на других самолетах – компонентов «EDTO». Для этого разрабатывается программа контроля кондиционности данных компонентов. Суть программы заключается в контроле компонентов как при ТОиР, так и при их хранении. Перед установкой компонентов

«EDTO» на самолет по их номерам необходимо убедиться в их соответствии с перечнем компонентов – EDTO.

Некоторые данные в перечнях минимального исправного оборудования (MEL) имеют различные толкования, требующие учета при допуске самолетов к полетам по «EDTO». Программа надёжности основывается на статистике отказов. Для самолетов, выполняющих полёты по «EDTO», необходимо вести особый учёт количества отказов и постоянно проводить тщательный анализ их влияния на безопасность полетов.

Блок VIII. Лётный и инженерно-технический состав проходит обучение по специально разработанным программам, соответствующим требованиям «EDTO». При подготовке ИТС и ЛПС необходимо учитывать содержание Блока VI, так как его учет непосредственно влияет на обеспечение полётов по «EDTO». ИТС, выполняющий на самолете работы по ТОиР, должен быть сертифицирован, обладать соответствующими знаниями, навыками и возможностями для выполнения требований в рамках программы эксплуатации по «EDTO».

ЛИТЕРАТУРА

1. Приказ Федеральной службы воздушного транспорта от 21.04.2000 г. № 94 об утверждении системы «ETOPS».
2. Поправка 36 к Части 1 Приложения 6 к Конвенции о международной гражданской авиации. - 2012.
3. Опыт эксплуатации самолета Ту-204 авиакомпании ОАО «ВЛАДИВОСТОК АВИА»: Отчет - 2010.
4. Руководство по летной годности. Док. 9760 AN/967 (ICAO). - 2001. - Т. II. - Ч. В.

FORMAL MODELS «ETOPS - EDTO» PROGRAMS DEVELOPING, IN TERMS OF SAFETY AIRCRAFT OPERATION

Arutyunov A.G., Kirdyushkin V.S., Gafurov D.S.

This article is highlighted the aircraft operation model structure under the formalized program «EDTO» and reveals the main units and content of this model.

Key words: regimes improvement, certification, maintenance model.

Сведения об авторах

Арутюнов Артур Георгиевич, 1988 г.р., окончил МГТУ ГА (2010), аспирант МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – проектирование летательных аппаратов по аэродинамической схеме летающее крыло, совершенствование режимов технического обслуживания воздушных судов.

Кирдюшкин Владимир Сергеевич, 1983 г.р., окончил МГТУ ГА (2006), старший инженер отдела 173 ЦАТБ ГосНИИ ГА, автор 24 научных работ, область научных интересов – ресурсное поддержание летной годности воздушных судов.

Гафуров Джалолиддин Садрудинович, 1985 г.р., окончил Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими (2008), аспирант МГТУ ГА, автор 3 научных работ, область научных интересов – организация технической эксплуатации воздушных судов с учетом международных стандартов.

УДК 629.7.017

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Г.А. БОЛЬШЕДВОРСКИЙ, Х.Г. ДАДОБАЕВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Зубковым Б.В.

В статье обосновывается концепция управления процессом поддержания летной годности воздушных судов.

Ключевые слова: методологические аспекты, поддержание летной годности, уровень риска авиационных событий.

Российский авиатранспортный рынок в последние годы развивается быстрее, чем в мире (в среднем более, чем в два раза), несмотря на снижение темпов его роста вследствие возникновения мирового финансово-экономического кризиса в 2008 г. Пассажирооборот воздушного транспорта вырос на 129 % по сравнению с 2000 г., грузооборот на 46,5 % (рис. 1).

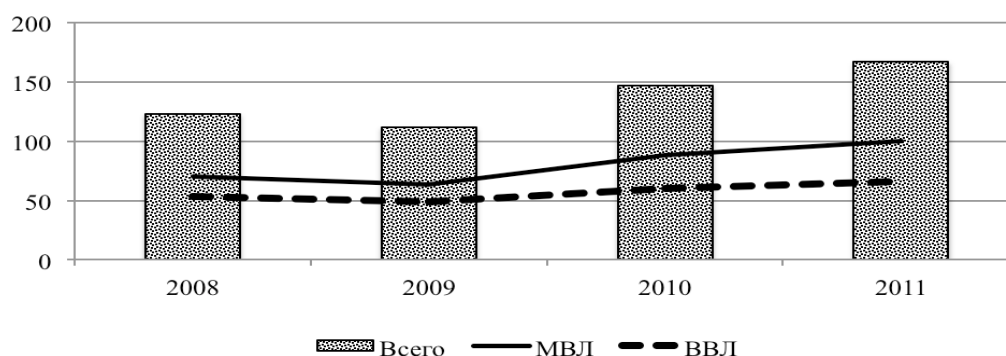


Рис. 1. Динамика пассажирооборота (млрд. пасс. км) ГА РФ в 2008-2011 гг.

Это, прежде всего, связано с преимуществами воздушного транспорта, обусловленными высокой скоростью доставки, беспосадочной дальностью полета и высоким уровнем качества перевозок. Но наряду с имеющимися положительными сторонами существуют и недостатки данного вида транспорта: высокая стоимость перевозки, зависимость от метеоусловий и удаленность аэропорта от пользователей, а также наличие устойчивого комплекса отдельных категорий населения к высокой степени опасности авиаперевозок.

Следовательно, можно отметить, что развитие пассажирских авиаперевозок тесно связано с наличием трех социально-экономических факторов – это транспортная подвижность населения, наличие конкуренции между различными видами транспорта, а также безопасности и уровня надежности эксплуатируемой авиатехники.

В связи с этим возрастает степень ответственности авиакомпаний за конечный результат деятельности на всех уровнях управления, за эффективность использования имеющегося ресурсного потенциала, с целью удовлетворения потребности в авиаперевозках без ущерба для здоровья и жизни людей. Уровень безопасности полетов и поддержание летной годности воздушных судов гражданской авиации одна из главных проблем, которые с развитием гражданской авиации принимают все более актуальные значения.

Безопасность полетов (БП) воздушных судов (ВС) гражданской авиации характеризуется как свойство авиационной транспортной системы, заключающейся в ее способности осуществлять воздушные перевозки без угрозы для жизни и здоровья людей.

Летная годность (ЛГ) ВС - свойство ВС, определяемое предусмотренными и реализованными в его конструкции и летных качествах принципами, позволяющими осуществлять безопасный полет в ожидаемых условиях и при установленных методах эксплуатации.

Анализ опыта эксплуатации ВС показывает, оба эти понятия тесно взаимосвязаны при решении задач поддержания ЛГ и БП на протяжении всего жизненного цикла ВС. На рис. 2 представлена примерная структура жизненного цикла ВС.

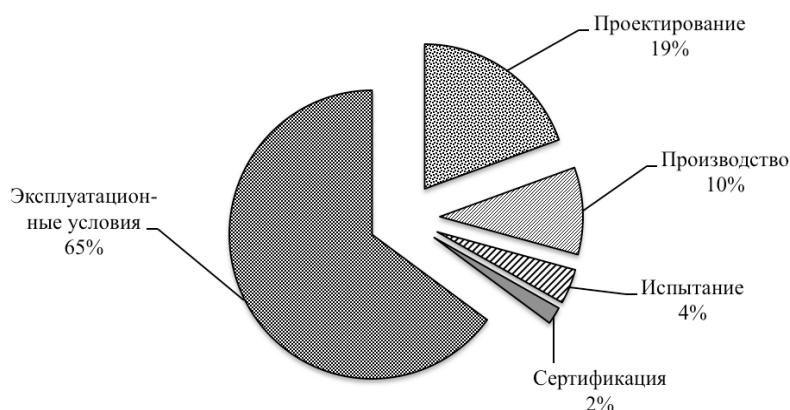


Рис. 2. Структура жизненного цикла ВС

Из анализа представленных данных следует, что состояние ЛГ формируется в момент проектирования и производства самолета, а реализуется в эксплуатационных условиях, на долю которых приходится 65 % жизненного цикла ВС. Этот период можно рассматривать с учетом двух аспектов: технической эксплуатации и летной эксплуатации. Причем соотношение времени на поддержание летно-технического состояния самолетов и времени на обеспечение полетов меняется под влиянием различных факторов, одним из которых является физический и моральный износ ВС (рис. 3).

Кроме этого, процесс обеспечения БП и ЛГ ВС является весьма динамичным, так как состоит из нескольких самостоятельных структур, включающих обязательное обеспечение ЛГ. Например, инженерно-авиационное обеспечение включает в себя:

- поддержание ВС в исправном состоянии в соответствии с установленными нормами;
- обеспечение своевременного и качественного обслуживания ВС;
- обеспечение высокого уровня безопасности полетов, регулярности перевозок и качества обслуживания пассажиров;
- анализ причин отказов и неисправностей авиационной техники, и реализация мероприятий по их предупреждению;
- совершенствование теоретических знаний и практических навыков у летного и инженерно-технического состава по вопросам технической эксплуатации авиационной техники;
- планирование использования ВС по налету, организация технического обслуживания, ремонта, специальных осмотров и конструктивных доработок.

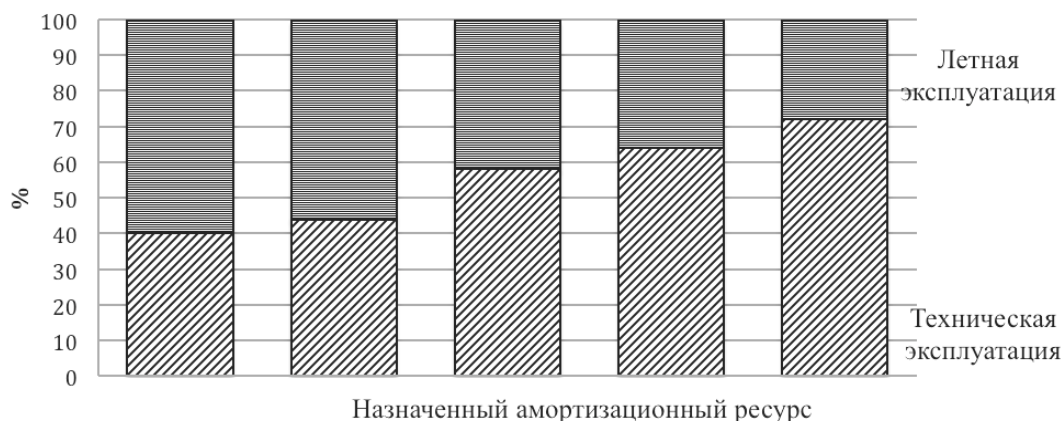


Рис. 3. Структура жизненного цикла ВС в эксплуатационных условиях в зависимости от назначенного амортизационного ресурса

Таким образом, организационно элементы структурной схемы можно объединить в последовательную цепь, выход из строя каждого из элементов которой может привести к невыполнению задачи всей системой, т.е. к сокращению жизненного цикла самолета (рис. 4).

Эффективное функционирование каждого из элементов схемы с точки зрения поддержания ЛГ и БП зависит от большого числа факторов, наиболее значимыми из которых являются:

- изменение системы государственного управления деятельностью эксплуатантов;
- высокий уровень износа отечественного парка ВС и отсутствие финансовых возможностей большого числа авиакомпаний для его обновления;
- низкий уровень готовности специалистов и руководителей воздушного транспорта к эксплуатации ВС иностранного производства;
- низкий уровень производственно-технической базы большинства эксплуатантов;
- несовершенство законодательной и нормативно-правовой базы гражданской авиации;
- отсутствие механизма, способного контролировать выполнение требований поддержания ЛГ ВС и обеспечения БП ВС, заложенных в авиационных правилах.

Под влиянием научно-технического прогресса происходит непрерывное совершенствование и усложнение конструкции ВС, что нередко снижает эффективность парирования возникновения неблагоприятных факторов и способности современных методов и систем прогнозировать состояние ЛГ ВС.

В связи с этим, совершенствование процесса поддержания ЛГ с учетом выявленных недостатков должно строиться на основе научно-обоснованных подходов и анализа опыта мировой практики эксплуатации ВС.

Проводимые ведущими специалистами и учеными отрасли исследования в этом направлении позволили решить ряд важных вопросов, таких как:

- проведение текущего контроля и анализа влияния состояния авиационной техники на обеспечение БП;
- проведение количественной оценки соответствия ВС и их систем требованиям ЛГ;
- осуществление анализа и учета влияния ошибок летного и инженерно-технического персонала, а также внешних условий на БП с учетом реализации мероприятий по их предупреждению;
- проведение оценки снижения ЛГ;
- повышение информационного обеспечения БП и ЛГ ВС.

Однако следует признать, что методы и разработки, направленные на поддержание ЛГ ВС, решают данную проблему лишь частично, преимущественно для отдельных элементов авиационной транспортной системы. Например, отказ авиационной техники и отдельных ее элементов; роль человеческого фактора; эффективность технического обслуживания и ремонта авиационной техники и т.д.

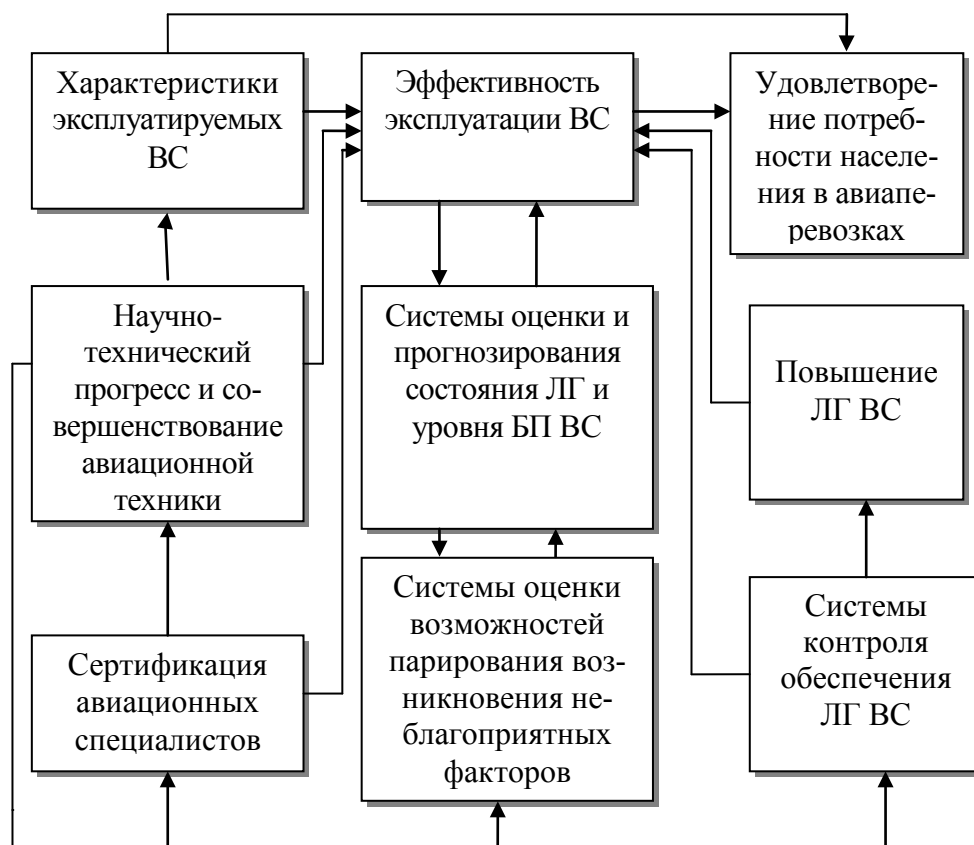


Рис. 4. Схема взаимосвязей основных этапов жизненного цикла ВС, определяющих эффективность процесса поддержания ЛГ

Чтобы разработки стали более эффективными, необходимо обоснование и разработка принципиально новой методологии процесса поддержания ЛГ ВС, основанной на анализе риска возникновения авиационных событий с учетом материального, экономического и социального ущерба в зависимости от тяжести их последствий (табл. 1).

Таблица 1

Концепция нового процесса поддержания ЛГ ВС		
Действующие методы анализа риска возникновения авиационного события	Разработка новых технологий и техническое обеспечение процесса поддержания ЛГ ВС	Разработка механизма оценки состояния ВС с учетом требований обеспечения БП и риска материального, экономического и социального ущерба
Механизм непрерывного мониторинга (МНМ) ЛГ ВС		
Методические основы эффективности использования новых технологий для оценки риска авиационных событий	Методика определения степени ущерба от последствий и тяжести авиационного события	Разработка требований к процессу подготовки и обеспечения ЛГ ВС нового поколения

Комплексный подход к решению данной проблемы включает в себя исследование четырех взаимосвязанных задач:

- исследование действующих методов сохранения ЛГ и обеспечения БП ВС;

- совершенствование организации системы контроля обеспечения БП и ЛГ с учетом требований Федеральных авиационных правил и Норм летной годности;
- выявление совокупных свойств, характеризующих эффективность комплексной системы обеспечения БП и ЛГ ВС с учетом материальных, экономических и социальных факторов;
- разработка механизма непрерывной оценки риска возникновения материального ущерба от уровня последствий авиационных событий.

Наибольшие трудности при реализации предлагаемой концепции вызывает создание механизма мониторинга летной годности ВС, планирования и управления процессом локализации отказов функциональных систем самолета. Ключевым элементом мониторинга летной годности является мониторинг полетной информации, включающий ряд функций:

- сбор и анализ полетной эксплуатационной информации;
- получение оперативной информации о полете;
- выявление ситуаций эксплуатации, в которых возрастает риск авиационного события.

Эффективность такого механизма обусловлена возможностью принимать корректирующие действия на ранней стадии до того, как риск приведет к авиационному происшествию или катастрофе.

Следует отметить, что система контроля полетной информации существует несколько лет. Впервые ее использовала авиакомпания British Airways в 1962 г. С годами концепция контроля полетной информации Programs – Normal Operations (FDM) расширялась. Восемь авиакомпаний мира применяют программы FDM уже более 25 лет. Эти программы переросли в современную систему FDM, ориентированную на безопасность, и в программы Flight Operations Quality Assurance (FOQA).

Внедрение новых технологий для оценки эффективности процесса поддержания ЛГ ВС позволит дополнить современную систему FDM методами, ориентированными на управление рисками БП с учетом жизненного цикла ВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы Саммита. Внедрение Глобальной дорожной карты безопасности полетов, МАК. - М., 9-11 июня 2009 г., www.mak.ru.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF AIRCRAFT'S MAINTANANCE AIRWARTHINESS

Bolshedvorsky G.A, Dadobaev H.G.

Conception of process maintenance airworthiness's control seriously validate.

Key words: methodological aspects, aircraft's maintenance airworthiness, aviation events' risk's level.

Сведения об авторах

Большедворский Григорий Александрович, 1981 г.р., окончил МГТУ ГА (2003), кандидат технических наук, зам. начальника ПДС «Авиабизнес групп», автор 6 научных работ, область научных интересов – повышение безопасности полетов, управление процессом поддержания летной годности воздушных судов.

Дадобаев Хайдар Гафарович, 1987 г.р., окончил МГТУ ГА (2009), аспирант МГТУ ГА, автор 1 научной работы, область научных интересов – оценка рисков и экономического ущерба от возникновения авиационных событий.

УДК 656.7

К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА ОСНОВЕ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.А. ВАСИЛЬКОВ, С.Н. ЯБЛОНСКИЙ, Д.К. ГОРБУНОВА

Статья представлена доктором технических наук, профессором Чинючиным Ю.М.

Рассматриваются проблемы послепродажного обеспечения технической эксплуатации региональных ВС в современных условиях.

Ключевые слова: новые информационные технологии, интегрированная логистическая поддержка, техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), центр ТОиР, аутсорсинг технического обслуживания.

Количество региональных ВС пассажироместностью 41-80 мест для транспортных полетов в РФ на начало 2012 г. представлено на рис. 1.



Рис. 1. Располагаемое авиакомпаниями РФ количество региональных ВС пассажироместностью 41-80 мест для транспортных полетов

На период 2012-2015 гг. потребности в приобретении региональных самолетов современных типов вместимости 41-80 мест оцениваются в ~ 170 единиц (рис. 2).

В 2008-2011 гг. российским авиакомпаниям было поставлено 83 региональных ВС вместимости 41-80 кресел, из них только 11 российского производства (3 Ан-140 и 8 Ан-148) и 72 зарубежных ВС. Перспективные масштабы производства ВС Ан-148, Ан-140 пока неясны. Кроме того, авиапром РФ не предлагает авиакомпаниям в необходимом количестве современные 50-80-местные ВС, которые могут заменить парк Ан-24/26, Ту-134. Надежность и стоимость технического сопровождения эксплуатации ВС, оперативность производства и поставки запчастей, развитость системы поддержания летной годности у Ан-140 и Ан-148 пока неконкурентоспособны.

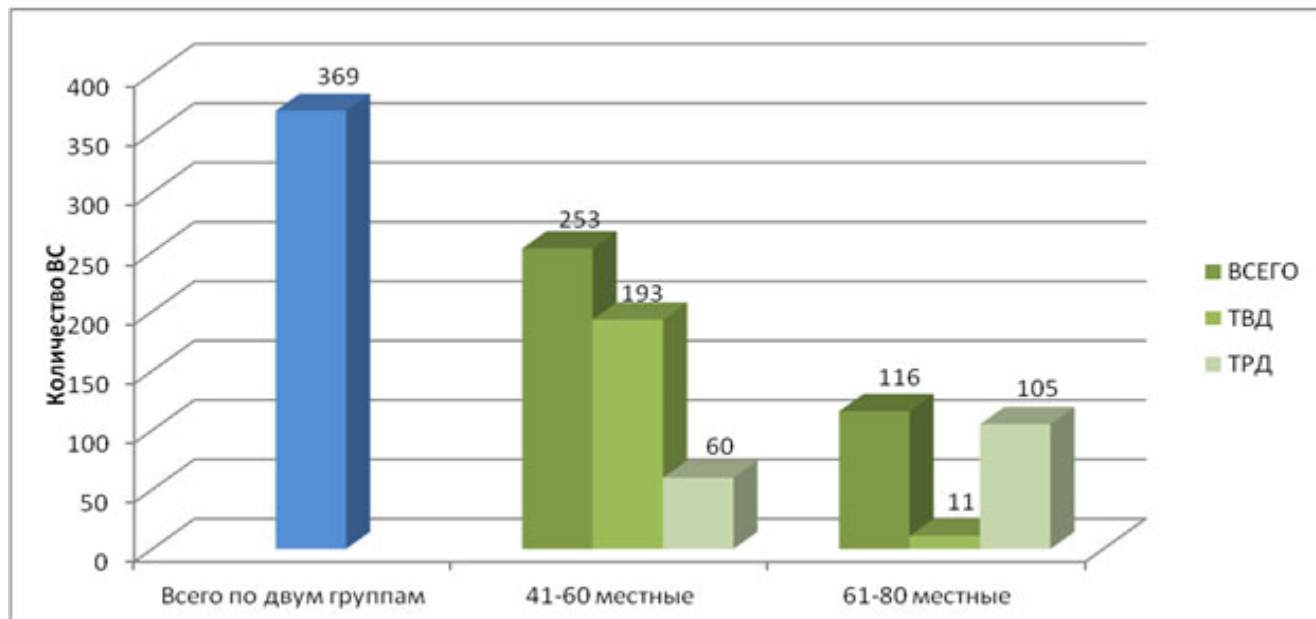


Рис. 2. Прогноз состава парка региональных ВС пассажироместностью 41-80 мест на 31.12.2015 г.

В связи с вышеизложенным, вновь возникает старая проблема – когда же эксплуатанты российской авиационной техники получают современную систему послепродажного обеспечения эксплуатации? Или, говоря современным языком, - речь идет о системе интегрированной логистической поддержки авиационной техники (ИЛП АТ). Интегрированная логистическая поддержка изделия - это набор стандартов, правил и регламентов, в соответствии с которыми строится взаимодействие субъектов в процессах проектирования, производства, испытаний, эксплуатации, сервиса и утилизации, направленных на снижение стоимости всего ЖЦИ.

В чем же специфика проблемы создания современной ИЛП АТ? Основная особенность проблемы в том, что она зародилась еще в советские времена. А главная причина появления этой проблемы - сугубо ведомственная структура советской экономики, фактически лишенная каких-либо экономических или коммерческих отношений между предприятиями различных ведомств.

Вспомним: одни ведомства производили, другие - эксплуатировали. Поэтому все вопросы, касающиеся обеспечения эксплуатации - будь то инженерная поддержка или снабжение запасными частями, - решались на уровне ведомств в рамках «планового хозяйства». Можно заметить, что отсутствие единой системы послепродажного обслуживания новых модификаций отечественных самолетов в 90-е гг. стало едва ли не главной головной болью авиакомпаний, которые сделали ставку на российскую авиатехнику.

Федеральная целевая программа «Развитие гражданской авиационной техники России на 2002-2010 годы и на период до 2015 года» предусматривает в рамках мероприятий по поддержке системы послепродажного обслуживания авиационной техники поддержку проектов, ориентированных на создание и развитие системы технического обслуживания и ремонта как новых российских самолетов и вертолетов, так и находящихся в эксплуатации. Индикатором указанных мероприятий является объем оказанных услуг системы послепродажного обслуживания новой авиационной техники.

Эффективная реализация конкретных процедур ИЛП может быть осуществлена только с помощью информационно-управляющих систем (ИУС), разработанных на основе новых информационных технологий. Следовательно, возможность совершенствования организации технической эксплуатации региональных ВС в большой степени зависит от состояния информационно-аналитического обеспечения участников авиационной деятельности.

Как известно, в основе построения современных ИУС лежит методология CALS.



Рис. 3. Место ИУС ИЛП в рамках CALS-стратегии:
1 - ИУС ИЛП; 2 – инфраструктура ИЛП; 3 – объект ИЛП

ИУС ИЛП предназначена для информационного обеспечения задач управления процессами ИЛП АТ на основе единой информационной среды (рис. 3). На сегодняшний день одной из основных проблем является проблема отсутствия единого формата документооборота. Сектор ТООиР уже отказался от бумажного документооборота, не позволявшего эффективно анализировать собранные данные. Однако очевидно, что информация должна поддаваться трем видам анализа: по типу ВС в парке одной авиакомпании, по нескольким типам в парке одного перевозчика, а также анализу по совокупным паркам многих авиакомпаний на основе данных, полученных от перевозчиков, производителей и ремонтных предприятий.

Для анализа по парку отдельной авиакомпании можно удовлетвориться и распространенными сейчас электронными документами в формате PDF. Однако этой информацией невозможно делиться с другими организациями в силу несовместимости форматов обмена данными. Даже самые передовые информационные системы для нужд ТООиР не хранят данные в едином формате. Чтобы сделать возможным обмен данными и их совокупный анализ, необходимо привести форматы в соответствие с отраслевыми стандартами ATA Spec 2000 или ASD S1000D.

Спецификация S1000D - современная международная, разработанная Европейской ассоциацией аэрокосмической и оборонной техники (AeroSpace and Defense Industries Associations of Europe - ASD) и регламентирующая все вопросы, связанные с разработкой, сопровождением и передачей эксплуатационной документации (ЭД) в электронной и бумажной форме при решении задач интегрированной логистической поддержки (ИЛП). Одной из главных идей S1000D является представление ЭД в виде набора информационных единиц - модулей данных (МД) в формате SGML/XML. Состав и структура данных в МД определена стандартом S1000D, что позволяет рассматривать каждый модуль данных как потенциальный электронный документ. НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика» в последние годы разработал TGB (Technical Guide Builder) - интегрированный комплекс программных средств для разработки, сопровождения, изменений и публикации эксплуатационной документации на сложные изделия и идеологической основой TGB является именно международная спецификация S1000D. В настоящее

время Technical Guide Builder успешно функционирует на крупнейших предприятиях, в числе которых: ОАО «ОКБ Сухого»; ОАО КнААПО; ОАО «Туполев»; ОАО «Авиадвигатель»; ФГУП ММПП «Салют»; ОАО «Улан-Удэнский авиационный завод»; АНТК им. О.К. Антонова и др.

Внедрение элементов Technical Guide Builder в нижних иерархических структурах ТОиР - Центрах ТОиР и авиакомпаниях региональной авиации позволит перейти от стихийного неконтролируемого сервиса к современной системе технической поддержки, опирающейся на принципы ИЛП. Естественно, что самим эксплуатантам это не под силу и требуются меры господдержки. Комплекс мер государственной поддержки должен иметь межведомственный характер и должен предусматривать и надлежащим образом увязывать организационно-технические, правовые и финансово-экономические мероприятия по развитию всех составных структурных элементов региональной авиации.

Кроме необходимости стандартизации форматов обмена данными, также необходима и определенная степень стандартизации программ ТОиР. Это позволит Организациям ТОиР применять сходные технологические карты и уровень подготовки техперсонала при обслуживании множества различных перевозчиков.

Опыт эксплуатации ВС показывает, что можно добиться большей эффективности технического обслуживания, стандартизируя программы применительно к отдельным процедурам и модификациям ВС, так как ни одна отдельно взятая программа ТОиР не может удовлетворить потребностей всех авиакомпаний. Здесь речь идет о том, чтобы изыскать оптимальный вариант между полностью стандартизированными операциями ТО и преимуществами процессов, построенных под нужды конкретных заказчиков.

Повышение качества организации технической эксплуатации региональных ВС от тотальной стандартизации форматов обмена данными гораздо более очевидны.

При этом можно выделить основные направления стандартизации форматов обмена данными по уровням:

Центры ТОиР:

- пономерной учет наличия, исправности и готовности ВС, наработок, комплектации, выполненных работ, движения в системе эксплуатации, планирование работ по техническому обслуживанию и ремонту;

- электронные иллюстрированные каталоги и интерактивные электронные технические руководства (ИЭТР).

Эксплуатанты:

- автоматизированное управление техническим обслуживанием;

- автоматизированный ввод данных по наработкам, отказам и оперативная информационная поддержка при устранении отказов.

Склады:

- автоматизированный учет и управление запасами имущества;

- оптимизация номенклатуры и объемов хранимых запасов.

По мнению экспертов, тотальная стандартизация форматов обмена данными облегчила бы обмен информацией между разнообразными компаниями, занятыми в сфере ТОиР и позволила бы анализировать данные по мировым паркам ВС. Это в свою очередь привело бы к увеличению технической готовности ВС и сокращению расходов на техническое обслуживание. Нужна лишь готовность руководства инвестировать в этот процесс деньги и человеко-часы.

Также ожидается, что стандартизация в этой области увеличит эффективность аутсорсинга услуг ТОиР. В настоящее время не исключена ситуация, когда у одной Организации ТОиР может быть четыре-пять клиентов с одним типом ВС, но с четырьмя-пятью разными программами ТОиР. Инженерно-техническому персоналу приходится учиться проводить работы по нескольким программам и иметь дело с несколькими наборами технологических карт, что увеличивает риск влияния человеческого фактора.

Внедрение новых информационных технологий в процесс организации ТОиР позволит авиакомпаниям не только хранить данные по техническому обслуживанию на удаленных серверах, но и анализировать данные по паркам других авиакомпаний, сокращая, таким образом, расходы на ТОиР и время простоя собственной техники. Расчеты показывают, что для надежного анализа технической готовности парка ВС, он должен включать не менее 20 самолетов. Такой анализ можно возложить на производителей, Организации ТОиР или специализированные компании. Это позволит полностью контролировать весь процесс технического обслуживания, оперативно выявлять скрытые неисправности и вносить своевременные изменения и дополнения в руководства по техническому обслуживанию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Современные проблемы технической эксплуатации воздушных судов. - М.: МГТУ ГА, 2007, 2008. - Ч. I, II.
2. Интернет-информация. Авиаобзрение, 2013.

TO DISCUSS THE REGIONAL AIRCRAFT TECHNICAL OPERATION IMPROVEMENT ON NEW INFORMATION TECHNOLOGIES BASIS

Vasilkov V.A, Iablonskij S.N., Gorbunova D.K.

Discusses of technical operation problems on after-sales support issue, of regional aircraft in modern environment.

Key words: new information technologies, integrated logistic support, maintenance and repair, maintenance and repair centre, outsourcing maintenance.

Сведения об авторах

Васильков Владимир Александрович, 1985 г.р., окончил ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (2007), инженер по самолету и двигателю а/к «MetroJet», аспирант МГТУ ГА, область научных интересов – техническая эксплуатация ЛА.

Яблонский Сергей Николаевич, 1955 г.р., окончил Рижское ВВИАУ им. Я. Алксниса (1977), ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (ПРИС, 1993), кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 30 научных работ, почетный работник ВПО РФ (2009), область научных интересов – техническая эксплуатация ЛА.

Горбунова Дарья Константиновна, окончила МГТУ ГА (2011), аспирантка МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация ЛА.

УДК 629.735.017.083

ПРОБЛЕМА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММ ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

И.В. ТИТОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Ицковичем А.А.

В статье рассмотрены задачи формирования программ поддержания летной годности воздушных судов на этапе эксплуатации.

Ключевые слова: безопасность полетов, эксплуатация воздушных судов, программа поддержания летной годности, методическое обеспечение.

Основополагающие документы ИКАО требуют от государств принятия программы обеспечения безопасности полетов в целях достижения приемлемого уровня безопасности при производстве полетов [1-4].

В соответствии с положениями, приведенными в "Государственной программе обеспечения безопасности полетов воздушных судов гражданской авиации", утвержденной Распоряжением Правительства РФ от 06.05.08 г. № 641-р [5], обеспечение безопасности полетов при воздушных перевозках пассажиров и грузов является приоритетной задачей государства. При этом в условиях рыночной экономики роль государства должна заключаться во введении требований ко всем элементам авиационно-транспортной системы и организации контроля за их исполнением.

Безопасность полетов воздушных судов (ВС) гражданской авиации (ГА) представляет собой состояние авиационной транспортной системы, при котором риск причинения вреда лицам или нанесения ущерба имуществу снижен до приемлемого уровня и поддерживается на этом либо более низком уровне посредством непрерывного процесса выявления источников опасности и контроля факторов риска.

При решении вопросов безопасности полетов на нынешнем этапе развития ГА необходимо учитывать стремительный рост объемов перевозок, массовое обновление парка ВС и смену поколения авиационных специалистов.

В основе управления безопасностью лежит системный подход к выявлению источников опасности и контролю факторов риска в интересах сведения к минимуму человеческих жертв, материального ущерба, а также финансовых, экологических и социальных последствий.

Одним из элементов этой системы программных мероприятий является формирование научно-теоретических и методических основ предотвращения авиационных происшествий и анализа эффективности принятых профилактических мероприятий.

Научное сопровождение безопасности полетов является необходимым условием для выбора перспективных направлений и повышения эффективности деятельности по обеспечению безопасности полетов ГА.

Работы в области безопасности полетов должны основываться на выявлении, анализе и устранении (уменьшении до приемлемого или допустимого уровня) тех опасных факторов, а также последующих рисков, которые угрожают безопасности воздушных перевозок и сдерживают развитие ГА.

Это направление предполагает мобилизацию научного потенциала на всестороннее изучение и решение проблем обеспечения безопасности полетов и влияния на них человеческого фактора, надежности авиационной техники (АТ) и внешней среды, а также на инициирование инновационных проектов, касающихся человеческого фактора и авиационных технологий.

Планом мероприятий к [5] предусматривается разработка методических пособий и рекомендаций в области безопасности полетов с научным обоснованием путей предотвращения авиационных происшествий на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации ВС.

При этом повышение уровня безопасности полетов должно как можно меньше сказываться на затратах на эксплуатацию, так как в рыночных условиях эксплуатанты авиационной техники стремятся к минимизации затрат на эксплуатацию.

Для этого разрабатываются программы поддержания летной годности (ПЛГ) ВС.

Главную роль в осуществлении этой задачи играют оперативное и периодическое техническое обслуживание (ТО). Оперативное ТО предназначено в основном для поддержания исправного состояния ВС, и как следствие состояния его готовности к вылету. Периодическое ТО предназначено в основном для ПЛГ.

Основной задачей программ ТО ВС в ГА является поддержание и восстановление летной годности ВС и его подготовка к использованию по назначению при обеспечении требуемых уровней надежности и готовности ВС к полетам (регулярности полетов), а также обеспечение:

- подготовки ВС к полету в соответствии с полетным заданием;
- поддержания уровня безотказности изделий АТ, обусловленного требованиями к безопасности и регулярности полетов;
- минимального числа задержек вылета ВС из-за простоев на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), не превышающего заданного значения;
- поддержания заданного уровня долговечности изделий АТ;
- минимальных трудовых и материальных затрат на ТОиР.

Кроме того, программы ПЛГ ВС являются одним из тех элементов, повышение безопасности которых позволит повысить общую безопасность полетов ВС.

Зарубежный опыт разработки программ ПЛГ ВС заключается в следующем: программа ТО разрабатывается на этапе проектирования и разработки АТ. Основным методическим обеспечением для формирования программы ТО на этом этапе можно считать документ MSG-3 «Основные положения по разработке требований к плановому техническому обслуживанию самолёта» [6]. Назначением этого документа является описание способов разработки задач ТО и их периодичности, которые будут приемлемы для авиационных властей, авиакомпаний и изготовителей. Детали задач и периодичности планового ТО разрабатываются совместно специалистами авиакомпаний, изготовителей и авиационных властей страны изготовителя. В частности, этот документ излагает общую организацию и процесс принятия решений по определению требований по плановому ТО, изначально заложенных на весь срок службы самолёта и (или) силовой установки (СУ).

В общем, эта методика применяется, когда необходимо разработать плановое ТО для каждого нового типа самолета до начала его эксплуатации в авиакомпаниях.

Основная цель этого документа - разработка предложений в помощь сертификационным органам при создании исходных состава и периодичности работ планового ТО для новых типов самолетов и (или) СУ. Целью является поддержание заложенных в конструкцию уровней безопасности и надежности самолета. Эти работы и периодичность их выполнения становятся основой для первого издания требований к ТО самолетов в каждой авиакомпании в целях регулирования ее исходной стратегии ТО. С учетом условий эксплуатации или внешней среды, характерных для конкретного эксплуатанта, могут потребоваться изменения первоначальной программы. А после накопления опыта эксплуатации авиакомпанией могут быть внесены дополнительные изменения в целях сохранения эффективности планового ТО.

Рекомендательный Циркуляр FAA № 121-22А и Директива Комиссии Совета Европы № 2042/2003 от 20 ноября 2003 г., Дополнение I (- Ч. М) содержат ссылку на возможность того, что программа ТОиР самолетов, требуемая для каждого эксплуатанта, может быть основана на процедуре MRB. Целью Процедуры по рассмотрению ТО - Процедуры MRB – является разработка начальных минимальных требований к плановому ТО.

Руководство по стратегии и процедурам Разработки планового ТО (РРН) служит в качестве руководства для участников процедуры, способствующего достижению целей Отраслевого координационного комитета Авиакомпаний/Разработчика (ISC) и Совета по рассмотрению ТО (MRB) Авиационной администрации (EASA, AP МАК), ответственных за разработку и одобрение начальных минимальных требований к ТО.

Результатом процедуры MRB (Maintenance Review Board Process) является отчет, содержащий в себе:

- перечень задач и интервалов;
- перечень эксплуатантов;
- распределение изготовителей;
- результаты MSG-3 анализа;
- составленные минимальные требования к исходному ТО.

Отчет Совета по рассмотрению ТО (Maintenance Review Board Report), выпускаемый MRB, не является программой ТОиР самолета, но действительно обеспечивает начальный базис для такой программы.

Авиационные Правила п. 25.1529 и Приложение Н АП 25 требуют, чтобы заявитель на Сертификат типа самолета подготовил инструкции по поддержанию летной годности, которые включают инструкции по ТО, для каждой части самолета. Для самолетов отечественного производства, имеющих Сертификат типа, программы ТО, не предусматривают капитального ремонта и гармонизированы с зарубежными стандартами. Однако в последние годы эта тенденция начала распространяться на самолеты, не имеющие Сертификата типа и находящиеся на завершающем этапе эксплуатации, это связано, прежде всего, с тем, что в парках авиакомпаний находится большое количество, устаревающей техники. По парку этих самолетов накоплен опыт длительной эксплуатации в условиях поэтапного продления их ресурсов и сроков службы и выполнения капитальных ремонтов.

Как следует из вышеизложенного, существующие методики обеспечивают разработку программ планового ТО для каждого нового типа самолёта для ожидаемых условий эксплуатации, однако при реализации этих программ в авиапредприятиях возникает необходимость в корректировке этих программ, с целью достижения максимальной эффективности и экономичности в конкретных условиях эксплуатации.

В этой связи возникает проблема методического обеспечения формирования программ ПЛГ на этапе эксплуатации в авиапредприятиях.

Методика должна являться как базисом для разработки эффективных программ ПЛГ эксплуатируемых (старых) типов ВС, так и для разработки доказательной документации, в соответствии с требованиями отечественных Федеральных авиационных правил их зарубежных аналогов (FAR и JAR) и других действующих нормативных документов (как государственных, так и подготовленных неправительственными организациями), признанных в авиационной отрасли.

Российский опыт работ в области обеспечения эксплуатационно-технических характеристик ВС показал, что в общей постановке при наличии необходимой исходной информации задача количественного обоснования эффективной программы ТОиР заключается в минимизации затрат на эксплуатацию при обеспечении заданных требований к уровням безопасности и регулярности полетов ВС [7].

При таком подходе основной трудностью является количественное подтверждение на этапах создания ВС выполнения требований к безопасности и регулярности полетов, что обусловлено отсутствием зависимостей показателей безотказности изделий АТ от применяемых методов ТЭ и работ по ТОиР.

Альтернативой строгому количественному подходу к решению задачи является рациональное сочетание качественного целенаправленного инженерного анализа по выбору методов технической эксплуатации (ТЭ) и работ по ТОиР с количественными методами обоснования периодичности работ, для которых разработаны математические модели, описывающие влияние частоты выполнения этих работ на безотказность функциональных систем (ФС).

Выбор методов ТЭ и состава работ по ТОиР может выполняться с применением инженерного анализа влияния характеристик надежности ФС и их элементов на безопасность, регулярность и экономическую эффективность ВС с помощью логических схем принятия решений. Предлагаемая методика разрабатывается в развитие указанного качественного подхода и позволяет формализовано анализировать влияние конкретных видов отказов элементов (функциональной системы в целом) на безопасность и регулярность полетов. Основные отличия методики от MSG-3 могут заключаться в следующем:

а) производится разделение возможных видов отказов по степеням опасности и влиянию на регулярность полетов (с разграничением прерванных полетов и задержек вылета);

б) обеспечивается выбор методов ТЭ и работ по ТОиР каждого элемента по каждому из рассматриваемых возможных видов его отказов;

в) производится четкое разделение этапов анализа видов отказов ФС и видов отказов ее элементов в соответствии с принятой методологией анализа надежности изделий АТ;

г) обеспечивается формализованный учет функциональной значимости отказов элементов ФС и частоты отказов элементов.

При разработке такой программы следует опираться на ряд критериев [8]:

а) вероятность удачной профилактики

$$P = n/N, \quad (1)$$

где n - количество обнаруженных дефектов; N - количество проведенных ТО;

б) методы определения оптимальной периодичности $t_{нрОПТ}$ и их математическое описание [9] (табл. 1, 2);

в) коэффициент эффективности использования на j -м уровне управления $K_{Иj}$ [10]

$$K_{Иj} = H_j / T_j, \quad (2)$$

где H_j - налет парка ЛА на j -м уровне управления; T_j - календарный фонд времени парка ЛА на j -м уровне управления;

г) коэффициент технической исправности $K_{испj}$ [10]

$$K_{испj} = t_{испj} / T_j, \quad (3)$$

где $t_{испj}$ - суммарное время пребывания парка ЛА в исправном состоянии на j -м уровне управления.

Методы оптимизации режимов ТО по состоянию с контролем параметров приведены в работе [11].

Кроме того, при формировании программ, возможно активное применение теории менеджмента рисков. Процесс управления риском охватывает различные аспекты работы с риском, от идентификации и анализа риска до оценки его допустимости и определения потенциальных возможностей снижения риска посредством выбора, реализации и контроля соответствующих управляющих воздействий [12].

Таблица 1

Классификация методов определения $t_{нрОПТ}$ для изделий

№	Степень влияния отказа на безопасность полетов	Рекомендованная стратегия ТО	Наименование метода
1	Отказ влияет на безопасность полетов	ТОНАР	Индивидуальный
2	Отказ не влияет на безопасность полетов	ТОСКУН	С учетом трудоемкости ТО
3	Отказ влияет на безопасность полетов, возможно определение предотказового состояния	ТОСКП	С учетом развития неисправности в отказ

Примечание: ТОНАР – ТО по наработке; ТОСКУН – ТО с контролем по состоянию уровня надежности; ТОСКП – ТО по состоянию с контролем параметров.

Таблица 2

Математическое обеспечение и критерии оптимизации

№	Математическое обеспечение метода	Критерий оптимизации	Примечание
1	$P(t_{ПР}) = e^{-\omega_0 * t_{ПР}}$	$P(t_{ПР}) \geq P_{НОРМ}$	$P_{НОРМ}$ - задается из условия обеспечения безопасности полетов; $P(t_{ПР})$ - вероятность безотказной работы за $t_{ПР}$; ω_0 - параметр потока отказов
2	$\Pi(t_{ПР}) = \frac{P(t_{ПР})}{T_{ТОиР}(t_{ПР})}$	$\Pi(t_{ПР}) \rightarrow \max$	$T_{ТОиР}$ - трудоемкость ТОиР изделия
3	$P_{НО}^-(t_{ПР}) = \frac{P(t_{ПР})}{T_{ТОиР}(t_{ПР})} * (e^{-\omega_H * t_{ПР}} - e^{-\omega_0 * t_{ПР}})$	$P_{НО}^-(t_{ПР}) \rightarrow \max$	$P_{НО}^-$ - вероятность появления неисправности и не появления отказа за $t_{ПР}$; ω_0, ω_H - параметры потока отказов и неисправностей

Анализ риска представляет собой структурированный процесс, целью которого являются определение как вероятности, так и определение размеров неблагоприятных последствий исследуемого объекта.

Оценка рисков - это определение количественным или качественным способом величины (степени) рисков.

Оценка рисков складывается из определения нежелательных факторов и ситуаций, возникновение которых теоретически возможно (качественный анализ), и количественной оценки вероятности их возникновения (количественный анализ). Вероятность негативных ситуаций - это вероятность развития по сценарию, отличающемуся от запланированного в худшую сторону.

Таким образом, решение проблемы методического обеспечения формирования программ ПЛГ на этапе эксплуатации позволит повысить эффективность и экономичность, а следовательно, и усовершенствовать летную годность ВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международные стандарты и Рекомендуемая практика (SARPS). Принятие поправки 102 к Приложению 8 к Конвенции о международной ГА. ИКАО, 2010.
2. Эксплуатация воздушных судов. Международный стандарт. Приложение 6 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО, 2000.
3. Летная годность воздушных судов. Международный стандарт. Приложение 8 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО, 2001.
4. Руководство по летной годности. Организация и процедуры. Сертификация конструкции и сохранение летной годности. Doc 9760 AN/967/ ICAO, 2001. - Т. 1, 2.
5. Государственная программа обеспечения безопасности полетов воздушных судов гражданской авиации. Утв. распоряжением правительства российской Федерации от 6.05.2008 г. № 641-р. – М.: Минтранс РФ, 2008.
6. Основные положения по разработке требований к плановому техническому обслуживанию самолета. Совместный документ изготовителя и авиакомпании. ATA MSG-3. Изменение 20093.1. – США: ATA, 2003.
7. Далецкий С.В. Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации. – М.: Воздушный транспорт, 2005.
8. Ицкович А.А. Управление процессами технической эксплуатации летательных аппаратов: учеб. пособие. - М.: МГТУГА. - 1994. - Ч. 1. - 2002. - Ч. 2. - 2002. - Ч. 3.

9. **Смирнов Н.Н.** Основы теории эксплуатации авиационной техники: пособие по выполнению курсовой работы. - М.: МГТУ ГА, 2002.

10. **Ицкович А.А., Файнбург И.А.** Эффективность процессов эксплуатации летательных аппаратов: Пособие по выполнению лабораторных работ. – М.: МГТУ ГА, 2010.

11. **Ицкович А.А., Файнбург И.А.** Управление режимами поддержания летной годности изделий летательных аппаратов, заменяемых по состоянию // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Навигация и УВД. - 2007. - № 121 (11). - С. 51-56.

12. ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска // Термины и определения. - М.: Госстандарт России, 2003.

METODOLOGI SUPPORT ISSUE FOR AIRCRAFT CONTINUED AIRWORTHINESS PROGRAMM DEVELOPMENT PROCESS

Titov I.V.

The article highlights the problems of maintenance program developing for aircraft continued airworthiness in operation.

Key words: flight safety, aircrafts maintenance, continued airworthiness program, technical approach providing.

Сведения об авторе

Титов Игорь Владимирович, 1985 г.р., окончил МГТУ ГА (2010), аспирант МГТУ ГА, область научных интересов – поддержание лётной годности воздушных судов.

УДК 629.735.017.84

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕДУРАМИ ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА ОСНОВЕ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

А.Р. АЛЕКСАНИЯН, И.А. ФАЙНБУРГ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Ицковичем А.А.

Приведены методические рекомендации по управлению процедурами поддержания лётной годности воздушных судов с применением сетевых моделей.

Ключевые слова: поддержание лётной годности, управление процедурами, сетевая модель, методические рекомендации по применению.

В рамках решения задачи формирования процедур поддержания лётной годности воздушных судов (ПЛГ ВС) с целью повышения их эффективности путем сокращения простоев и снижения затрат на ПЛГ ВС при заданном уровне безопасности полётов выполнено функциональное моделирование IDFE0, обеспечившее структуризацию процедур ПЛГ ВС с учётом их иерархической структуры [1]. На основе результатов этой работы и обобщения опыта эксплуатации ВС были разработаны условные алгоритмы формирования процедур ПЛГ ВС [2]. В развитие этих работ решены задачи формирования процедур с применением имитационного моделирования [3].

По результатам этих работ в настоящей статье решается задача выбора управляющих воздействий по повышению эффективности процедур ПЛГ ВС путем применения сетевых моделей.

Сетевое управление - это совокупность расчётных методов, организационных и контрольных мероприятий по планированию и управлению комплексом работ с помощью сетевого графика (сетевой модели) [4; 5].

Под комплексом работ мы будем понимать любую процедуру ПЛГ ВС, для выполнения которой необходимо осуществить достаточно большое количество разнообразных работ. Рассмотрим одну из процедур ПЛГ ВС - выполнение регламентных работ.

Так как в предыдущих работах [1; 2; 3] план работ был составлен, то необходимо описать его с помощью сетевой модели, в которой моделируется совокупность взаимосвязанных *работ и событий*, отображающих процесс достижения определённой цели.

Анализ сетевой модели процедуры выполнения регламентных работ, представленной в графической форме на рис. 1, позволяет:

- 1) более чётко выявить взаимосвязи этапов реализации процедуры;
- 2) определить наиболее оптимальный порядок выполнения этих этапов в целях сокращения сроков выполнения всего комплекса работ.

Работа характеризует материальное действие, требующее использование ресурсов, или логическое, требующее лишь взаимосвязи событий. В графическом представлении *работа* изображена стрелкой, которая соединяет два события. Она обозначена парой заключённых в скобки чисел (i, j) , где i - номер события, из которого работа выходит, а j - номер события, в которое она входит. *Работа* не может начаться раньше, чем свершится событие, из которого она выходит. Каждая работа имеет определённую продолжительность $t_{i,j}$. Продолжительности работ сетевого графика представлены в табл. 1. К работам относятся также такие процессы, которые не требуют ни ресурсов, ни времени выполнения. Они заключаются в установлении логической взаимосвязи работ и показывают, что одна из них непосредственно зависит от другой; такие работы называются фиктивными и на графике изображены пунктирными стрелками.

Событиями называются результаты выполнения одной или нескольких работ. Они не имеют протяжённости во времени. *Событие* свершается в тот момент времени, когда оканчива-

ется последняя из работ, входящая в него. События обозначены одним числом и в графическом представлении сетевой модели изображены кружком, внутри которого проставлен его порядковый номер. Кодирование работ представлено также в табл. 1.

Таблица 1

Продолжительность выполнения работ сетевого графика

Названия работ	Коды работ (<i>i, j</i>)	Длительность, дни
Принять и оценить техническое и ресурсное состояние ВС	(1,2)	1
Проверить наличие и соответствие программы ТОиР и НТД	(1,3)	1
Ввести пункты регламента в АСУ ресурсного состояния, осуществить перспективное планирование выполнения работ, сверить НТД	(1,4)	1
Выполнить анализ возможности проведения РР в условиях а/к	(4,5)	3
Составить перечни запасных частей, расходных материалов, оборудования и инструмента	(5,6)	2
Обеспечить необходимыми запасными частями, расходными материалами, оборудованием и инструментом	(6,7)	10
Обеспечить необходимой нормативно-технической документацией, сертифицированным персоналом, другими ресурсами	(6,8)	3
Подготовить карты-наряды на выполнение регламентных работ	(6,9)	2
Выполнить регламентные работы в авиакомпании	(7,10)	2
Осуществить контроль качества выполненных работ и оформить рабочую документацию	(10,13)	1
Принять карты-наряды, внести информацию в АСУ ресурсного состояния ВС, информировать о готовности самолёта, оформить формуляр ВС и двигателей	(13,14)	1
Осуществить запрос-согласование и утверждение выполнения регламентных работ в условиях сервисного центра	(5,11)	1
Выполнить регламентное обслуживание в сервисном центре	(11,12)	1
Осуществить контроль качества выполненных работ и оформить рабочую документацию	(12,13)	1
Фиктивная работа	(2,5)	0
Фиктивная работа	(3,5)	0
Фиктивная работа	(8,10)	0
Фиктивная работа	(9,10)	0

На основании данных, из табл. 1 составлен сетевой график, который представлен на рис. 1.

Одно из важнейших понятий сетевого графика – понятие пути.

Путь – любая последовательность работ, в которой конечное событие каждой работы совпадает с начальным событием следующей за ней работы. Среди различных путей сетевого графика наибольший интерес представляет *полный путь* – любой путь, начало которого совпадает с исходным событием сети, а конец с завершающим.

Наиболее продолжительный полный путь в сетевом графике называется *критическим*.

Если сетевой график имеет единственный критический путь, то этот путь проходит через все критические события, то есть события с нулевыми резервами времени.

Если критических путей несколько, то выявление их с помощью критических событий может быть затруднено, так как через часть критических событий могут проходить как критические, так и не критические пути. В этом случае для определения критических путей рекомендуется использовать *критические работы*.

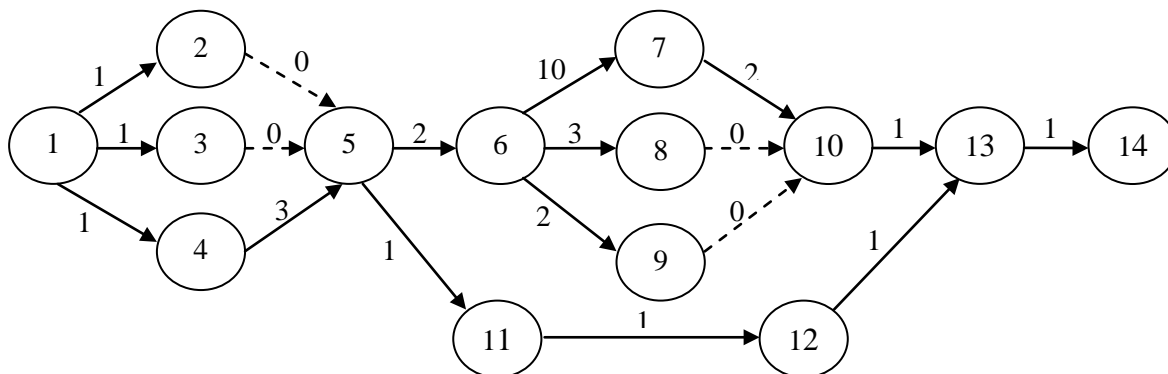


Рис. 1. Сетевой график процедуры выполнения регламентных работ

Рассмотрим прямой ход. Пусть T_j означает минимальное время окончания всех работ, конец которых изображается вершиной с номером j . Очевидно, $T_1 = 0$, далее последовательно находим

$$T_j^p = \max(T_i^p + t_{i,j}), \quad j = \overline{2, N}, \quad (1)$$

где i – номер вершин сетевого графика, из которых выходят векторы, входящие в вершину с номером j ; $t_{i,j}$ – длительность работ с началом в вершине i и концом в вершине j ; N – количество вершин сетевого графика.

Ранний срок (ожидаемый момент) свершения события – ранний момент времени, к которому завершаются все работы, предшествующие этому событию, рассчитывается по формуле (1). При $j = 1$ получаем минимальное время графика $T_{кр} = T_N$.

Поздний срок свершения события характеризует самый поздний допустимый срок, к которому должно совершиться событие, не вызывая при этом срыва срока свершения конечного события.

Поздний срок свершения события i – самый поздний момент времени, после которого остаётся ровно столько времени, сколько необходимо для завершения всех работ, следующих за этим событием. Рассмотрим обратный ход. Пусть T_i^n означает наибольшее время окончания всех работ, входящих в вершину i , $T_{кр} = T_N^n$

$$T_i^n = \min(T_j^n - t_{i,j}), \quad i = \overline{N, 2}, \quad (2)$$

где j – номер вершины, к которой направлены векторы, выходящие из вершины с номером i .

Таким образом, в рамках сетевой модели моменты начала и окончания работы тесно связаны с соседними событиями соответствующими ограничениями.

Для определения критического пути составим табл. 2, в которой $R_{i,j}$ и $r_{i,j}$ являются *полным* и *свободным* резервами.

Резерв показывает, на какой предельно допустимый срок можно задержать наступление этого события, не вызывая при этом увеличения срока выполнения всего комплекса работ.

Резерв времени события – разность между поздним и ранним сроками его свершения

$$R_i = T_i^n - T_i^p. \quad (3)$$

Полный резерв времени работы – максимально допустимое время, на которое можно увеличить продолжительность или отложить начало выполнения работы так, чтобы это не вызывало задержки выполнения всего проекта и обозначается $R_{i,j}$.

Свободный резерв времени – максимальный запас времени, на которое можно отсрочить или увеличить её продолжительность при условии, что не нарушатся ранние сроки начала всех последующих работ и обозначается $r_{i,j}$.

Если планировать выполнение работ по ранним срокам их начала и окончания, то всегда будет возможность при необходимости перейти на поздние сроки начала и окончания работ.

$$R_{i,j} = T_j^n - T_i^p - t_{i,j}; \quad (4)$$

$$r_{i,j} = T_j^p - T_i^p - t_{i,j}. \quad (5)$$

Таблица 2

Числовые характеристики событий

Работа	Продолжительность	Ранние сроки		Поздние сроки		Полный резерв	Свободный резерв
		T_i^p	T_j^p	T_i^n	T_j^n		
(i, j)	$t_{i,j}$					$R_{i,j}$	$r_{i,j}$
1,2	1	0	1	0	4	3	0
1,3	1	0	1	0	4	3	0
1,4	1	0	1	0	1	0	0
2,5	0	1	4	4	4	3	3
3,5	0	1	4	4	4	3	3
4,5	3	1	4	1	4	0	0
5,6	2	4	6	4	6	0	0
6,7	10	6	16	6	16	0	0
6,8	3	6	9	6	18	9	0
6,9	2	6	8	6	18	10	0
7,10	2	16	18	16	18	0	0
8,10	0	9	18	18	18	9	9
9,10	0	8	18	18	18	10	10
10,13	1	18	19	18	19	0	0
13,14	1	19	20	19	20	0	0
5,11	1	4	5	4	17	12	0
11,12	1	5	6	17	18	12	0
12,13	1	6	19	18	19	12	12

Критический путь - это тот путь, который проходит через все критические события, то есть события с нулевыми резервами времени

$$R_{i,j} = r_{i,j} = 0 \text{ или } R_i = 0.$$

Учитывая вышеуказанное, получаем критический путь

$$L_{кр} = (1,4) - (4,5) - (5,6) - (6,7) - (7,10) - (10,13) - (13,14).$$

Продолжительность критического пути $T_{кр} = 20$ дней. Работы, принадлежащие критическому пути, называются критическими. Их несвоевременное выполнение ведёт к срыву сроков всего комплекса работ. Представим критический путь на сетевом графике процедуры ПЛГ ВС. Выполнение регламентных работ (рис. 2).

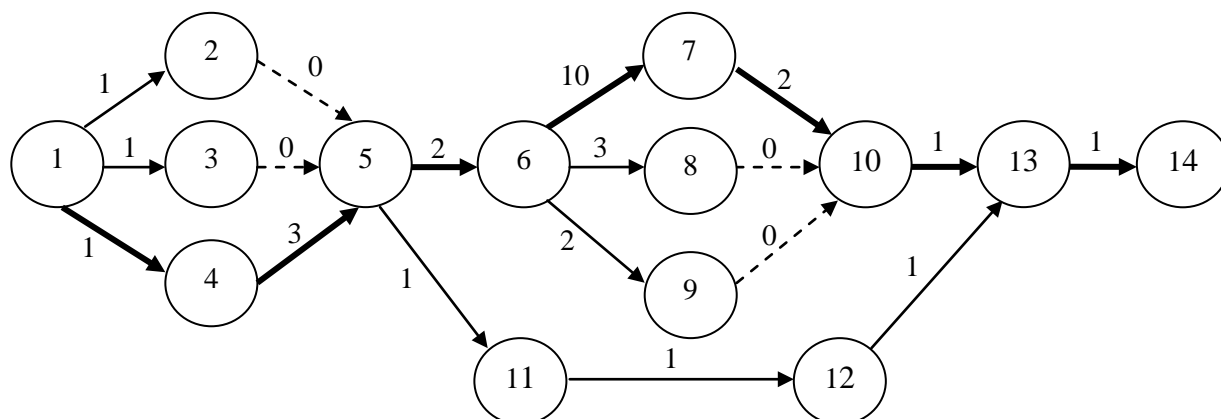


Рис. 2. Сетевой график процедуры выполнения регламентных работ

При контроле выполнения работ первостепенное внимание уделяем критическим работам. Для выбора управляющих воздействий по повышению эффективности процедуры выполнения регламентных работ путём сокращения простоев (повышения эффективности использования ВС), необходимо, для начала, значения величин доминирующих состояний (критический путь) ранжировать по убыванию в виде табл. 3.

Продолжительность выполнения работ часто трудно задать точно и поэтому можно вместо одного числа (детерминированная оценка) задать две оценки – минимальную и максимальную. Минимальная (оптимистическая) оценка $t_{\min}(i, j)$ характеризует продолжительность выполнения работы при наиболее благоприятных обстоятельствах, а максимальная (пессимистическая) $t_{\max}(i, j)$ – при наиболее неблагоприятных. Продолжительность работы в этом случае рассматривается, как случайная величина, которая в результате реализации может принять любое значение в данном интервале. Такие оценки называются вероятностными (случайными), и их ожидаемое значение $t_{ож}(i, j)$ оценивается по формуле

$$t_{ож}(i, j) = \frac{3 \times t_{\min}(i, j) + 2 \times t_{\max}(i, j)}{5} \tag{6}$$

Для характеристики степени разброса возможных значений вокруг ожидаемого уровня используется показатель дисперсии S^2

$$S^2(i, j) = \frac{(t_{\max}(i, j) - t_{\min}(i, j))^2}{5^2} = 0,04 (t_{\max}(i, j) - t_{\min}(i, j))^2 \tag{7}$$

Для наглядности полученные данные также представим в виде табл. 3.

Таблица 3

Характеристики работ в условиях неопределённости

Коды работ	Продолжительность, дни		Ожидаемая продолжительность	Дисперсия
	$t_{\min}(i, j)$	$t_{\max}(i, j)$		
(6,7)	7	10	8,2	0,36
(4,5)	2	3	2,4	0,04
(5,6)	1	2	1,4	0,04
(7,10)	1	1,5	1,2	0,01
(1,4)	0,8	1	0,88	0,0016
(10,13)	0,16	0,25	0,196	0,000324
(13,14)	0,12	0,13	0,124	0,000004

На основе этих оценок можно рассчитать все характеристики проекта, однако они будут иметь иную природу, будут выступать как средние характеристики.

Рассмотренную ранее модель изобразим на рис. 3. В скобках укажем дисперсии работ. Критический путь также будет выделен жирным, а его продолжительность $t_{кр(ож)} = 14$ дня.

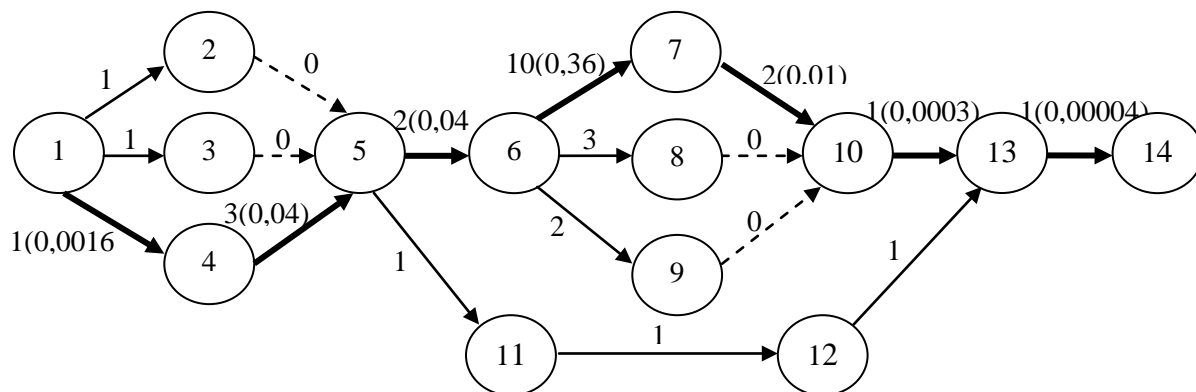


Рис. 3. Сетевой график процедуры выполнения регламентных работ в условиях неопределённости

Далее определим вероятность того, что продолжительность критического пути $t_{кр(ож)}$ не превысит заданного директивного уровня $T=18,25$.

Эту задачу решим на основе интеграла вероятностей Лапласа $F(z)$ с использованием формулы

$$P(t_{кр(ож)} < T) = 0,5 + F(z), \quad (8)$$

где нормированное отклонение случайной величины

$$z = \frac{(T - t_{кр(ож)})}{S_{кр}}, \quad (9)$$

где $S_{кр}$ – среднее квадратическое отклонение, вычисляемое как корень квадратный из дисперсии продолжительности критического пути. $S_{кр}=0,67$.

Функция Лапласа

$$F(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-t}^{+t} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (10)$$

Пользуясь таблицей значений, функции Лапласа находим значение $F(z)$. При этом $F(z) = 0,499$, тогда

$$P(t_{кр(ож)} < 18,25) = 0,5 + 0,499 = 0,99.$$

Таким образом, вероятность того, что весь комплекс работ будет выполнен не более чем за 18,25 дней, составляет 99%.

Обычно при выполнении сложных комплексов работ первоначально намеченные планы не выполняются, и их приходится по ходу работы пересматривать. Плодотворное применение метода сетевого планирования и оперативного управления при организации сложных комплексов работ возможно только при условии непрерывного контроля плана и его оперативного управления с помощью автоматизированной технологии, которая представлена в работе [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Алексян А.Р., Ицкович А.А.** Мониторинг процессов поддержания лётной годности воздушных судов на основе применения методов моделирования IDEF0 // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2010. - № 162. - С. 51-58.
 2. **Алексян А.Р.** Разработка алгоритмов формирования процедур поддержания лётной годности воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 173.
 3. **Алексян А.Р., Киселёв Д.Ю., Файнбург И.А.** Формирование процедур выполнения регламентных работ с применением информационных технологий имитационного моделирования // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 173.
 4. **Вентцель Е.С.** Исследование операций. - М.: Сов. радио, 1972.
 5. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей и ее технические приложения: учеб. пособие для студ. вузов. - М.: Издательский центр «Академия», 2003.
- Алексян А.Р.** Планирование процедур поддержания лётной годности воздушных судов с применением информационных технологий сетевого планирования // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - №173. - С. 65-69.

AIRCRAFT CONTINUED AIRWORTHINESS MANAGEMENT BY THE NETWORK MODELS APPLICATION

Aleksanyan A.P., Faynburg I.A.

Aircraft continued airworthiness management methodical recommendations with the network models application are provided.

Keywords: continued airworthiness, management of procedures, network model, methodology recommendations for the application.

Сведения об авторах

Алексян Армен Размикевич, 1976 г.р., окончил магистратуру МАИ (2007), аспирант МГТУ ГА, автор 13 научных работ, область научных интересов – поддержание лётной годности воздушных судов.

Файнбург Инна Александровна окончила МИИВТ (1989), доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей, автор более 60 научных работ, область научных интересов - управление процессами технической эксплуатации и поддержания лётной годности летательных аппаратов.

УДК 629.7.017.1

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ

П.А. УШАКОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Ицковичем А.А.

В статье рассматривается проблема научно-методического обеспечения формирования программ сохранения целостности конструкции планера воздушных судов на стадии эксплуатации с учетом рекомендаций ИКАО.

Ключевые слова: целостность конструкции, летная годность, прочность ВС.

Проблематика поддержания летной годности воздушных судов (ВС) при длительной эксплуатации в последние годы стоит в центре внимания международных авиационных организаций и государственных органов. При этом целостность конструкции планера является важнейшим фактором, оказывающим заметное влияние на летную годность ВС.

Целостность конструкции планера ВС означает его способность противостоять усталостным и коррозионным повреждениям. Она обеспечивается на стадии создания ВС и затем сохраняется на стадии эксплуатации.

В Приложении 8 ИКАО «Летная годность ВС» сказано, что государство разработчика ВС обеспечивает наличие программы сохранения целостности его конструкции для обеспечения летной годности.

Инициатором разработки программы целостности конструкции выступает организация, ответственная за типовую конструкцию ВС. Разработка программы проводится совместно с представителями эксплуатантов и полномочных органов в области летной годности. При этом полномочный орган определяет, в каком объеме содержание программы является обязательным для исполнения. В отечественной практике в таком явном виде документа нет, хотя некоторые вопросы решаются в соответствии с АП 25.571 и методами определения соответствия (МОС нормативным требованиям АП 25.571), в которых содержатся требования по обеспечению безопасности полетов по условиям прочности при длительной эксплуатации на основе принципов допустимости повреждения, безопасного повреждения и безопасного ресурса. Но все же в связи с рекомендациями ИКАО [1; 2] возникает потребность в разработке научно-методического обеспечения формирования программ сохранения целостности конструкции ВС. Анализ целостности конструкции [4] должен подтверждаться результатами испытаний и эксплуатации с оценкой эксплуатационных спектров нагрузок и их распределения в конструкции, свойств материалов. Программа сохранения целостности конструкции ВС в соответствии с рекомендациями ИКАО, содержащимися в «Руководстве по летной годности», должна как минимум включать:

- дополнительные проверки и осмотры;
- меры предупреждения и контроля уровня коррозии;
- модификации конструкции планера и связанные с ними проверки и осмотры;
- оценку ремонтов.

При анализе безопасности конструкции по условиям прочности различают [3]:

а) основную силовую конструкцию – конструкцию, воспринимающую полетные и наземные нагрузки, а также нагрузки от избыточного давления;

б) основные силовые элементы – элементы основной силовой конструкции, которые воспринимают значительную часть нагрузок и чья целостность существенна для сохранения общей целостности конструкции самолета;

в) особо ответственные конструктивные элементы, находящиеся в условиях однопутного нагружения – основные элементы конструкции, единичный отказ (разрушение, повреждение) которых приводит к аварийной или катастрофической ситуации;

г) критические места конструкции – детали, элементы, зоны, локальные места конструкции, долговечность и эксплуатационная живучесть которых определяют уровень безопасности по условиям прочности конструкции в целом.

Перечень критических мест конструкции ВС разрабатывается (прогнозируется) на этапе проектирования и уточняется по результатам испытаний и опыта эксплуатации. При отборе составных частей и элементов конструкции для включения их в перечень критических мест используются следующие основные критерии: условия нагружения; последствия трещинообразования; возможность проведения осмотра; возможность повреждений в нескольких местах; конструкционная избыточность; возможность возникновения коррозии.

В теории, конструкцию ВС можно сделать безопасной при малом периоде живучести, если проверки производить достаточно часто. Проблематика состоит в том, что частые проверки экономически невыгодны. С другой стороны, очевидно, что конструкцию, которую никогда не подвергают осмотрам и проверкам, нельзя считать безопасной. А для обеспечения безопасности конструкции обнаружение в ней трещин жизненно необходимо.

На рис. 1 [3] изображена в упрощенном виде схема обеспечения безопасности элемента конструкции по условиям прочности самолета. Позициями 1 и 2 отмечены процессы восстановления прочности элемента конструкции при его ремонте; позициями 1а и 2а отмечены моменты осмотров перед проведением ремонта; позициями 3, 4 – моменты осмотров при техническом обслуживании самолета.

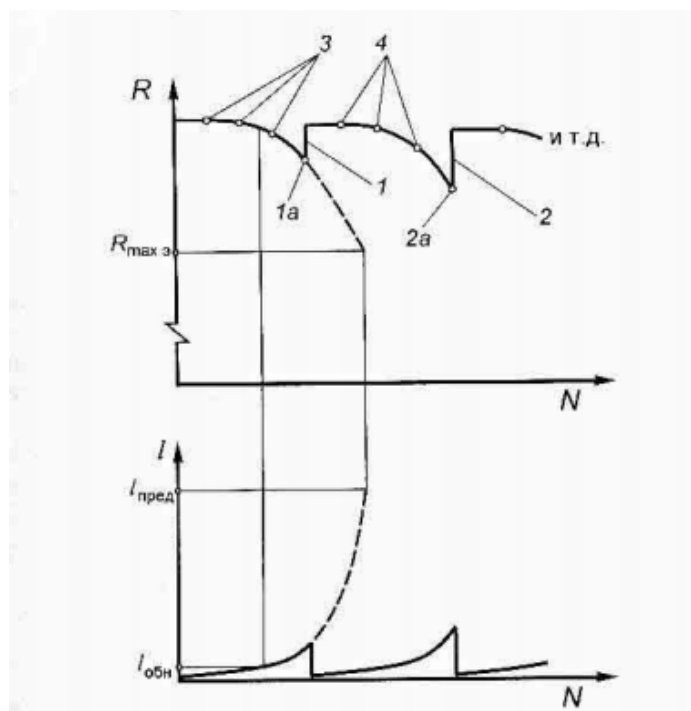


Рис. 1. Схема поддержания прочности конструкции в эксплуатации

Программа осмотров должна определять частоту проведения осмотров, условия их проведения и средства контроля. Периодичность осмотров силовых элементов конструкции должна определяться на основе оценки времени роста повреждения от минимального, но надежно обнаруживаемого размера до предельного. Необходим также инструментальный контроль – ча-

стоту осмотра, подстроить таким образом, чтобы она была приемлема для системы технического обслуживания и ремонта самолета.

Программа дополнительных проверок и осмотров должна включать:

- 1) описание данной составной части или элемента и прилегающей конструкции (способ обеспечения доступа также должен быть приведен);
- 2) вид рассматриваемого повреждения (например, усталость, износ, коррозия);
- 3) любой опыт эксплуатации и эксплуатационные бюллетени, относящиеся к рассматриваемому вопросу;
- 4) вероятное место (места) повреждения;
- 5) рекомендуемые метод и технология контроля и альтернативы им;
- 6) минимальный размер повреждения, считающийся обнаруживаемым при данном методе контроля;
- 7) указания эксплуатанту относительно того, какие результаты проверок и осмотров должны доводиться до организации, ответственной за типовую конструкцию;
- 8) рекомендуемый срок начала проведения контроля;
- 9) рекомендуемая периодичность повторного контроля.

Сама программа должна содержать рекомендации по определению степени коррозии, способы контроля и восстановления защитных покрытий, а также регистрацию отчетности по результатам контроля.

В Руководстве по летной годности ВС [2] указан простой и надежный способ определения уровня (степени) коррозии, например:

Уровень 1. Коррозионное повреждение, возникающее в период между последовательными проверками, которое:

- имеет местный характер и может быть устранено в рамках ограничений, предусмотренных руководством по ремонту конструкции;
- может быть связано с событием, не типичным для практики использования эксплуатантом других ВС того же парка (например, пролив ртути);
- было зачищено несколько раз и по результатам последней проверки теперь выходит за допустимые ограничения, требуя ремонта или частичной замены основного силового элемента конструкции.

Уровень 2. Коррозионное повреждение, возникающее в период между последовательными проверками, которое требует работ по его устранению, выходящих за рамки ограничений, предусмотренных руководством по ремонту конструкции; либо требует ремонта или частичной замены основного силового элемента конструкции, но непосредственно не угрожает летной годности.

Уровень 3. Коррозионное повреждение, представляющее непосредственную угрозу летной годности и требующее принятия срочных мер.

При обнаружении коррозии уровня 3 следует рассмотреть действия, которые необходимо предпринять в отношении других ВС эксплуатанта данного парка. Государство регистрации должно обеспечить срочную передачу государству разработчика подробных сведений об очагах коррозии и предложенных действиях.

Следует отметить, что в отношении коррозии пока не разработаны аналитические расчетные методы [5] установления сроков начала и периодичности выполнения проверок, поэтому необходимо руководствоваться результатами анализа общемирового опыта эксплуатации.

Выводы:

1. Целостность конструкции планера должна обеспечиваться на стадии создания ВС и далее сохраняться (поддерживаться) на стадии эксплуатации.
2. Решение задач сохранения целостности конструкции планера конкретного типа ВС должно осуществляться на основе специально разработанной программы.

3. Осмотры, проверки, замены элементов, описанные в такой программе, являются дополнительными к исходной программе ТОиР ВС эксплуатанта.

4. Инициатором разработки программы сохранения целостности конструкции выступает организация, ответственная за типовую конструкцию ВС, а её разработка проводится совместно с представителями эксплуатантов и полномочных органов в области лётной годности.

5. Для успешной работы над формированием таких программ требуется соответствующее научно-методическое и информационное обеспечение, разработанное по рекомендациям ИКАО применительно к отечественной практике создания ВС и условиям их эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лётная годность ВС: Приложение 8 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО, 2001.
2. Руководство по лётной годности Doc. 9760. ICAO, 2001. - Т. 1, 2.
3. **Арепьев А.Н., Громов М.С., Шапкин В.С.** Введение в теорию эксплуатационной живучести авиаконструкций. - М.: ГосНИИ ГА, 2000.
4. **Ицкович А.А.** Тезисы доклада по теме " Методическое обеспечение построения программ сохранения целостности конструкции самолетов ГА" на МНТК. - М.: МАИ, 2006.
5. **Смирнов Н.П.** Формирование программы сохранения целостности конструкции планера ВС по условиям прочности // Научный Вестник МГТУ ГА. -2008. - № 127.

CONTINUED AIRWORTHINESS PROGRAMM DEVELOPMENT IN AIRFRAME STRUCTURE FATIGUE RESISTENSE CONDITION REQUAERMENTS

Ushakov P.A.

The article is devoted to aircraft continued airworthiness program development in connection with airframe fatigue condition requirement issue in operation in order to ICAO recommendations.

Key words: design integrity, airworthiness, airframe fatigue resistance.

Сведения об авторе

Ушаков Павел Александрович, 1988 г.р., окончил МГТУ ГА (2010), аспирант МГТУ ГА, область научных интересов – поддержание лётной годности, сохранение целостности конструкций воздушных судов.

УДК 658.56:65.01

К ВОПРОСУ СТРУКТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СУБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Л.Н. ЕЛИСОВ, Н.И. ОВЧЕНКОВ

В статье рассматриваются вопросы структурного моделирования двух субъектов авиационной безопасности: модель нарушителя и модель защиты аэропорта.

Ключевые слова: структурная модель, нарушитель, модель уязвимости, модель защиты.

Проблема транспортной безопасности в последние годы стоит особенно остро с учетом тех тенденций, которые достаточно заметно проявляются в жизни современного общества.

Комплекс мер, которые принимают государственные структуры для решения этой проблемы, далеко не всегда является адекватным, поскольку решения не носят системного характера и чаще направлены на ликвидацию последствий кризисных событий, чем на разработку стратегий и на выявление тенденций. Ощущается явный недостаток научных подходов для анализа ситуаций и применения научно обоснованных методов разработки систем обеспечения транспортной безопасности.

Автор полагает, что определенную помощь в решении указанных проблем могут оказать методы моделирования структур, процессов и ситуаций в системах авиационной безопасности.

Первым шагом на этом пути является структурное моделирование субъектов транспортной безопасности. В данной статье рассматриваются две структурные модели: модель нарушителя, которая может быть представлена как элемент модели уязвимости для исследуемого объекта, и модель защиты аэропорта.

В соответствии с Приказом Минтранса РФ от 12.04.2010 г. № 87 «О порядке проведения оценки уязвимости ОТИ и ТС» модель нарушителя представляет собой совокупность качественных и количественных характеристик нарушителя, его мотивации и преследуемых им целей. Модель используется при определении требуемого уровня защищенности объекта и его критических элементов, выработке требований к системе безопасности объекта и оценке её эффективности.

Модель нарушителя классифицируется по характеристикам, приведенным на рис. 1.

С учетом мировой практики расследования АНВ можно выделить характерные этапы подготовки и совершения АНВ: намерение совершения акта незаконного вмешательства; выбор объекта совершения акта незаконного вмешательства; подготовка к совершению акта незаконного вмешательства; рекогносцировка; пробные попытки совершения элементов акта незаконного вмешательства (имитация совершения акта незаконного вмешательства); совершение акта незаконного вмешательства; отход с места совершения акта незаконного вмешательства; меры, предпринимаемые нарушителем в целях ухода от ответственности за совершенный акт незаконного вмешательства. Для того чтобы определить специфические меры обеспечения безопасной деятельности аэропорта следует определить и оценить все факторы, воздействующие на безопасность аэропорта, т.е. определить и оценить специфические факторы риска для аэропорта. Можно выделить три основных блока проблем: организационный, финансовый и научно-технический.

Целью системы обеспечения безопасности аэропорта является: обеспечение устойчивого функционирования аэропорта и предотвращение угроз его безопасности; защита законных интересов аэропорта от противоправных посягательств; охрана жизни и здоровья персонала и пассажиров; недопущение хищения финансовых и материальных средств, уничтожения имущества и ценностей, разглашения, утечки и несанкционированного доступа к служебной информации,

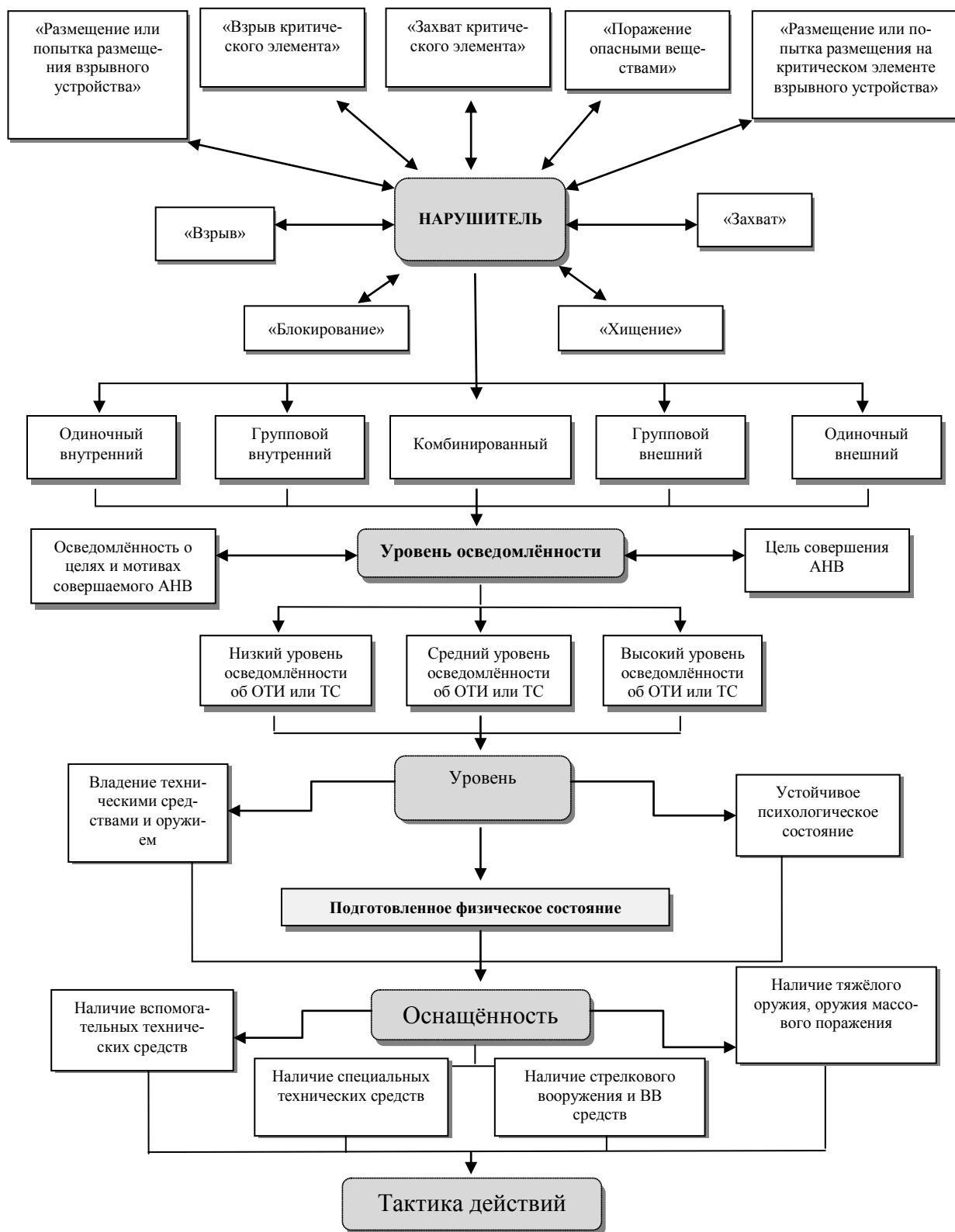


Рис. 1. Модель нарушителя

нарушения работы аэронавигационных технических средств обеспечения полетов, включая средства информатизации; формирование целостного представления о системе безопасности аэропорта, взаимосвязи различных элементов этой системы, определение путей реализации ме-

роприятий, обеспечивающих необходимый уровень надежной защищенности объектов и средств, находящихся на территории аэропорта; повышение престижа аэропорта и рост прибыли за счет обеспечения высокого качества предоставляемых услуг и гарантий безопасности, имущественных прав и интересов.

Функциональная реализация рассмотренной модели предполагает учет фактора риска. Практика оценки фактора риска основана на двух показателях: вероятности возникновения фактора опасностей (ФО) и серьезных последствий воздействия этого фактора. Известен ряд методик оценки фактора риска в гражданской авиации [1; 2; 3; 4]. Часто риск рассчитывается по трем компонентам:

$$\mathbf{RISK} = \mathbf{PROBABILITY} \times \mathbf{SEVERITY} \times \mathbf{EXPOSURE}$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{P} \times \mathbf{S} \times \mathbf{E},$$

где R – показатель риска; P – показатель вероятности того, что возникнет определенная последовательность событий, влекущих специфические последствия; S – показатель серьезности последствий.

$$R = P_i \sum_{i=1}^n Q_i S_i,$$

где R – количественная оценка риска; P_i – вероятность наступления i -го опасного события; Q_i – вероятность i -го исхода в результате развития опасного события; S_i – тяжесть последствий (серьезность) i -го исхода.

Величина $\sum_{i=1}^n Q_i S_i$ представляет собой математическое ожидание ущерба. Такой подход соответствует определению риска «сочетание вероятности и серьезности последствий».

Известен подход к анализу риска с позиции уязвимости системы. Математически уязвимость V определяется, как условная вероятность выхода конечного состояния системы из заданной области ε_0 пространства состояний Ω_m в случае, если произойдет инициирующее событие H :

$$V = P[(\|KC_n - KC_0\|) > \varepsilon_0 | H].$$

Состоянием системы можно считать наличие или отсутствие «конечных событий», а заданной областью пространства состояний – область приемлемого риска. Уязвимость определяется двумя факторами – двумя группами барьеров безопасности. Сценарий авиационного события можно записать как:

$$\{S\} = [V_R] \cdot [V_A] \cdot [H],$$

где $\{S\}$ – вектор «конечных событий» системы, его компоненты – вероятности реализации этих событий; $[V_R]$ – матрица уязвимости барьеров парирования, компонентами которой являются условные вероятности наступления «конечных событий» в случае различных нестандартных ситуаций (НС); $[V_A]$ – матрица уязвимости барьеров предотвращения, компонентами которой являются условные вероятности наступления события в случае воздействия различных опасностей; $[H]$ – вектор факторов опасности, его компоненты – вероятности различных опасностей. Матрицу $[V_A]$ можно рассматривать как матрицу перехода от вектора ФО $[H]$ к вектору НС $\{E\}$ и записать в виде:

$$\begin{Bmatrix} P(E_1) \\ P(E_2) \\ \dots \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} P(E_1/H_1) & P(E_1/H_2) & \dots & P(E_1/H_n) \\ P(E_2/H_1) & P(E_2/H_2) & \dots & P(E_2/H_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} P(H_1) \\ P(H_2) \\ \dots \end{Bmatrix}.$$

Матрица $[V_R]$ представляет собой матрицу перехода от вектора НС $\{E\}$ к вектору «конечных событий»:

$$\begin{Bmatrix} P(S_1) \\ P(S_2) \\ \dots \\ P(S_q) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} P(S_1/E_1) & P(S_1/E_2) & \dots & P(S_1/E_m) \\ P(S_2/E_1) & P(S_2/E_2) & \dots & P(S_2/E_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(S_q/E_1) & P(S_q/E_2) & \dots & P(S_q/E_m) \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} P(H_1) \\ P(H_2) \\ \dots \\ P(H_n) \end{Bmatrix}.$$

Работа по снижению уязвимости начинается с анализа строения матрицы уязвимости парирования $[V_R]$, это позволяет выявить критические НС. Далее рассматривается матрица $[V_A]$, которая позволяет определить наиболее опасные факторы опасности. Действия по снижению уязвимости включают разработку соответствующих барьеров как предотвращения, так и парирования. В практике прогнозирования экономического ущерба от чрезвычайных ситуаций в зависимости от решаемых задач риск представляется в виде: математического ожидания ущерба определенного рода за год; вероятности наступления неблагоприятного события за год. В первом случае риск определяется по формуле

$$R = P * g,$$

где p – вероятность наступления чрезвычайной ситуации (частота аварий, катастроф) за год; g – потенциальный ущерб от чрезвычайной ситуации.

Во втором случае риск определяется из соотношения

$$R = p * s,$$

где p – вероятность наступления чрезвычайной ситуации за год; s – вероятность наступления неблагоприятного события при условии, что случилась чрезвычайная ситуация.

При расчете рисков учитываются три компонента: показатель вероятности проявления ФО - P ; показатель серьезности последствий воздействия ФО - S ; показатель *непарирования* воздействия ФО (подразумеваются действия экипажа при отказах систем воздушного судна (ВС) в полете) - V .

Условные границы диапазонов вероятности проявления опасностей в полете для рангов показателя P были определены по частоте отказов систем самолета на основе данных эксплуатационной практики. Нижняя граница частоты отказов f_{\min} определяется по самой надежной системе воздушного судна (ВС), а верхняя граница f_{\max} – по наиболее часто отказывающей по формуле

$$f = \frac{N}{T},$$

где N – число отказов системы ВС за анализируемый период; T – общий налет в часах за анализируемый период.

Текущее значение f_i по системам ВС предположительно расположено в границах этих крайних значений

$$f_{\min} \leq f_i \leq f_{\max}$$

Таким образом, модель защиты аэропорта представляет собой вне зависимости от методов формализации многопараметрическую конструкцию, оптимизация которой в большинстве случаев классическими решениями не возможна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисов Л.Н. Качество профессиональной подготовки авиационного персонала и безопасность воздушного транспорта: монография. - М.: ИЦППС, 2006.
2. Елисов Л.Н., Баранов В.В. Управление и сертификация в авиационной транспортной системе: монография. - М.: Воздушный транспорт, 1999.
3. Елисов Б.П., Елисов Л.Н. Системотехническое управление образовательными комплексами: монография. - М.: МГТУГА, 2012.
4. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем / под ред. В.П. Соколова. - М.: Логос, 2001.

**STRUCTURAL MODELING ISSUE OF
ENTITIES TRANSPORT SECURITY****Elisov L.N., Ovchenkov N.I.**

The article examines the structural modeling of the two subjects of aviation security: offender model and airport security model.

Keywords: structural model, the offender, the model of vulnerability, the security model.

Сведения об авторах

Елисов Лев Николаевич, 1945 г.р., окончил Пензенский политехнический институт (1967), доктор технических наук, профессор, действительный член Петровской академии наук и искусств, профессор кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, автор более 200 научных работ, область научных интересов - системотехника, квалиметрия, проблемы безопасности воздушного транспорта, авиационный персонал.

Овченко Николай Иванович, 1966 г.р., окончил Ярославский государственный университет (1990), соискатель ученой степени МГТУ ГА, генеральный директор ООО ПСЦ «Электроника», автор 16 научных работ, область научных интересов - системы авиационной безопасности, системотехника, квалиметрия.

УДК 656.7.081

НОВЫЙ МЕТОД МОДЕРНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В РАМКАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАССЛЕДОВАНИЙ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

В.М. РУХЛИНСКИЙ, А.С. ДЯЧЕНКО

В работе рассмотрен новый метод создания информационных технологий восстановления полетной информации при проведении расследований авиационных происшествий в реальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: регистратор полетных данных, восстановление полетных данных, расследование авиационных происшествий, информационные технологии.

Одним из значимых этапов расследования любого авиационного происшествия (АП) является сбор, обработка, восстановление и анализ полетной информации (ПИ), накопленной средствами объективного контроля (СОК). В гражданской авиации, в подавляющем большинстве случаев, такими средствами объективного контроля являются бортовые устройства регистрации (БУР). Оперативность и качество выполнения работ по восстановлению и расшифровке полетной информации является залогом успешной работы всей комиссии по расследованию причин АП.

Обработка, анализ и хранение данных, считанных с носителей информации БУР, осуществляется за счет применения существующих информационных технологий, внедренных в процесс расследований АП.

К проблемам ряда существующих технологий можно отнести:

1. Ориентация на использование значительно изношенного и устаревшего оборудования, затрудняющего оптимальное использование современных достижений в компьютерных и информационных технологиях в случаях работы с БУР советского производства.

2. Вследствие воздействия агрессивных сред (воздействие высоких температур, влаги, механические повреждения и т.д.), в ряде случаев, носители информации БУР получают значительные повреждения, исключающие возможность использования штатного считывающего оборудования. Применение существующих технологий восстановления полетной информации в этих случаях нередко связано с необходимостью использования устаревших технологий, применение которых существенно увеличивает трудоемкость производимых работ.

3. Отсутствие штатных технологий восстановления полетной информации в случае работы с поврежденными портативными приемниками спутниковой навигации (ППСН).

Проблемы первой и второй группы связаны с восстановлением и обработкой информации «плёночных» регистраторов советского производства (САРПП-12, КЗ-63, МСРП-12, МСРП-64), так как они ориентированы на использование технологий, не предусматривающих использование современных программных комплексов по работе с полетной информацией.

Анализ сложившейся ситуации указал на необходимость модернизации существующих методов восстановления и расшифровки полетной информации с БУР, использующих ленточные носители информации, а также необходимость создания новых программно-аппаратных комплексов для работы с поврежденными ППСН.

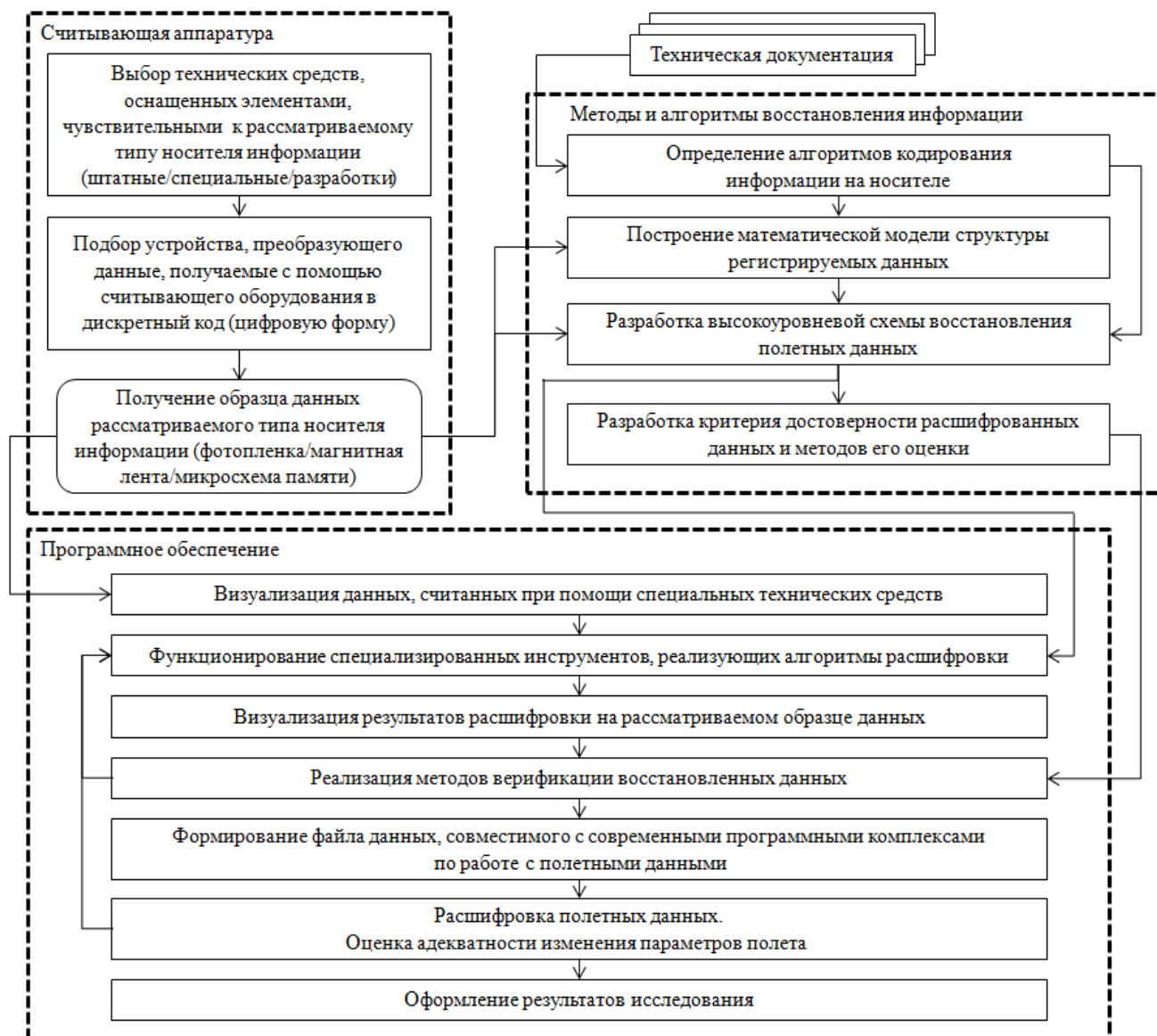


Схема 1. Абстрактная модель процесса создания информационных технологий восстановления данных БУР

Учитывая факт того, что носители информации различных типов БУР имеют существенные отличия в основе своего функционирования, была разработана принципиальная модель процесса создания новых информационных технологий восстановления данных с различных типов носителей полетной информации.

К основным задачам разрабатываемых технологий необходимо отнести:

1. Автоматизация процесса восстановления и расшифровки полетной информации за счет использования современных технических средств.
2. Обеспечение функционирования специальных программных алгоритмов, выполняющих трудоемкие расчеты и оценки.
3. Использование цифровых форматов хранения данных.
4. Обеспечение возможности повторного качественного анализа и верификации полученной информации.

Модель, изображенная на схеме 1, служит абстрактным представлением реального процесса и разработана на основе применения системного подхода, позволяющего упростить сложные взаимосвязи элементов рассматриваемого процесса и сосредоточиться на его сущности.

Рассмотрим ключевые особенности реализации основных этапов разработанной модели на примерах создания новых технологий восстановления ПИ с БУР, эксплуатируемых в гражданской авиации. В настоящий момент времени, наиболее широкое распространение имеют три основных типа носителей информации: 1) магнитные носители; 2) микросхемы FLASH памяти; 3) различные виды пленок (фотопленки или пленки с нанесенной эмульсией).

Таблица 1

Реализации технологий восстановления данных по типам

Степень повреждения/носителя информации	Тип носителя информации	ВС, оснащенные данным типом БУР
Поврежден		
МСРП-64	Магнитная лента	Ил-62М, Ил-76, Ил-78, Ту-134, Ту-154, Як-42
Портативные приемники спутниковой навигации	Микросхема FLASH памяти	Преимущественно ВС авиации общего назначения
Не поврежден		
МСРП-12	Магнитная лента	Ан-12, Ан-24, Ан-26, Ан-30, Ил-18, Ил-62, Як-40, Ту-134А
САРПП-12	Фотопленка	М-8
КЗ-63	Пленка с эмульсией	Дополнение к основному БУР на тяжелых ВС ГА

С учетом потребностей последних лет, разработанная модель прошла апробацию при реализации новых технологий, обеспечивающих восстановление данных с 5-ти типов БУР (табл. 1). В том числе для 2-х типов систем регистрации, получивших повреждения, исключая возможность использования штатных процедур восстановления зарегистрированной информации, а также для 3-х типов БУР, носители информации которых, находятся в удовлетворительном состоянии.

Ко всем типам БУР применимо утверждение об использовании кадровой структуры записи и хранения данных. То есть допускается утверждение о том, что регистрация параметров полета осуществляется некоторыми элементарными порциями данных – кадрами. В связи с этим, восстанавливаемую информацию можно представить в виде двух множеств **D** и **T**. Элементами множества **D** являются кадры зарегистрированной на носителе информации, а элементами множества **T** являются значения относительного времени регистрации кадров данных. При этом количество элементов множества **D** точно соответствует количеству элементов множества **T**, т.е. определенному моменту времени соответствует конкретный кадр полетных данных. Следовательно, для восстановления полетных данных разрабатываемому программному алгоритму необходимо сформировать оба множества и установить точную взаимосвязь между их элементами.

Элементы множества **T**, т.е. значения относительного или абсолютного времени регистрации кадров полетной информации, могут определяться двумя способами:

1. Рассчитываться в соответствие с физическим размещением рассматриваемого кадра данных на носителе информации относительно каких-либо отметок времени (калибровочных уровней) (САРПП-12, КЗ-63, МСРП-12).

2. Расшифровываться по значениям параметров, включенных в кадры данных множества **A** (МСРП-64, ППСН).

Основной задачей, решаемой в процессе восстановления полетной информации, является формирование множества **D**, элементами которого являются кадры полетных данных. Любой кадр полетных данных также можно представить в виде множества **P**, элементами которого являются значения регистрируемых параметров полета. БУР, эксплуатирующиеся в настоящий момент времени, в большинстве случаев формируют кадры данных с постоянным количеством регистрируемых параметров полета. Однако отдельные параметры полета (например, вертикальная перегрузка, угол крена и т.д.) могут размещаться в одном кадре данных несколько раз. Таким образом, достигается необходимый уровень частоты опроса параметров полета, значение которых может быстро изменяться со временем.

Например, 15 июля 2009 года произошло АП с самолетом Ту-154 авиакомпании Caspian Airlines, следовавшего по маршруту Тегеран-Ереван. Вследствие АП, магнитная лента системы МСРП-64, содержащая запись начала и развития особой ситуации, была значительно деформирована и не могла быть считана штатным оборудованием (рис. 1).

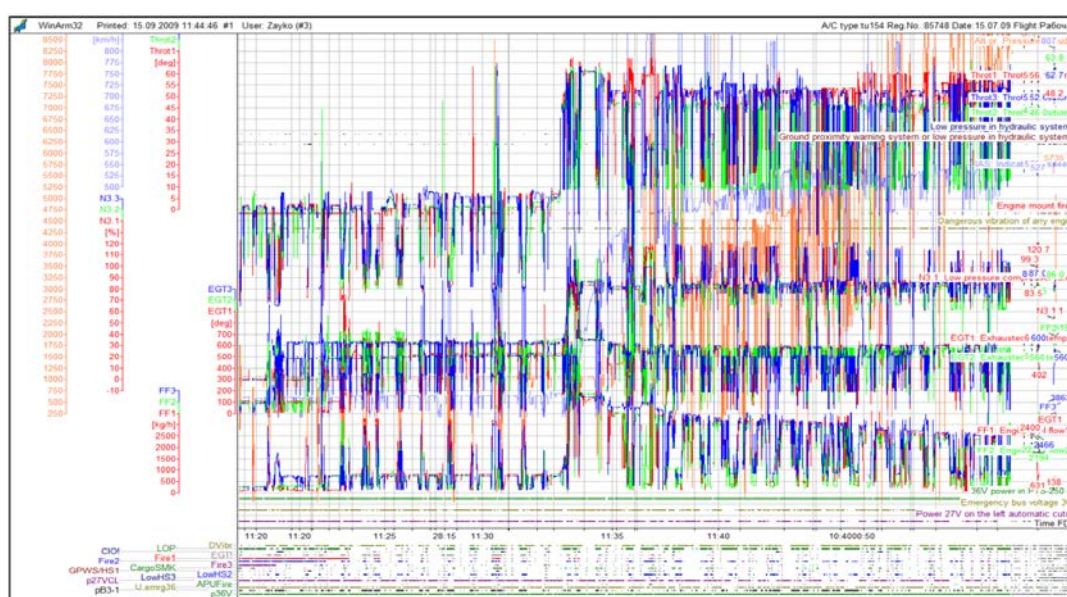


Рис. 1. Полетные данные, считанные с магнитной ленты МСРП-64 штатным способом

Однако с помощью новой информационной технологии, созданной на базе описанного в статье метода, удалось успешно произвести восстановление полетной информации с фрагментов магнитной ленты, соответствующих началу и развитию особой ситуации и вплоть до окончания регистрации полетных данных (рис. 2).

Выводы:

1. По данным различных источников, учитывающих различные аспекты эксплуатации авиационной техники, эксплуатация воздушных судов, оборудованных БУР, использующих рассмотренные типы носителей информации в Российской Федерации и государствах авиационного сообщества, будет проводиться до 2020-2025 годов. В связи с чем рассматриваемые проблемы сохраняют свою актуальность на протяжении ближайших лет.

2. Использование метода совершенствования информационных технологий восстановления полетной информации с БУР позволит установить истинные причины авиационных происшествий, что в свою очередь обеспечит возможность принятия управленческих решений для снижения рисков возникновения событий до приемлемого уровня в соответствии с требованиями ИКАО.

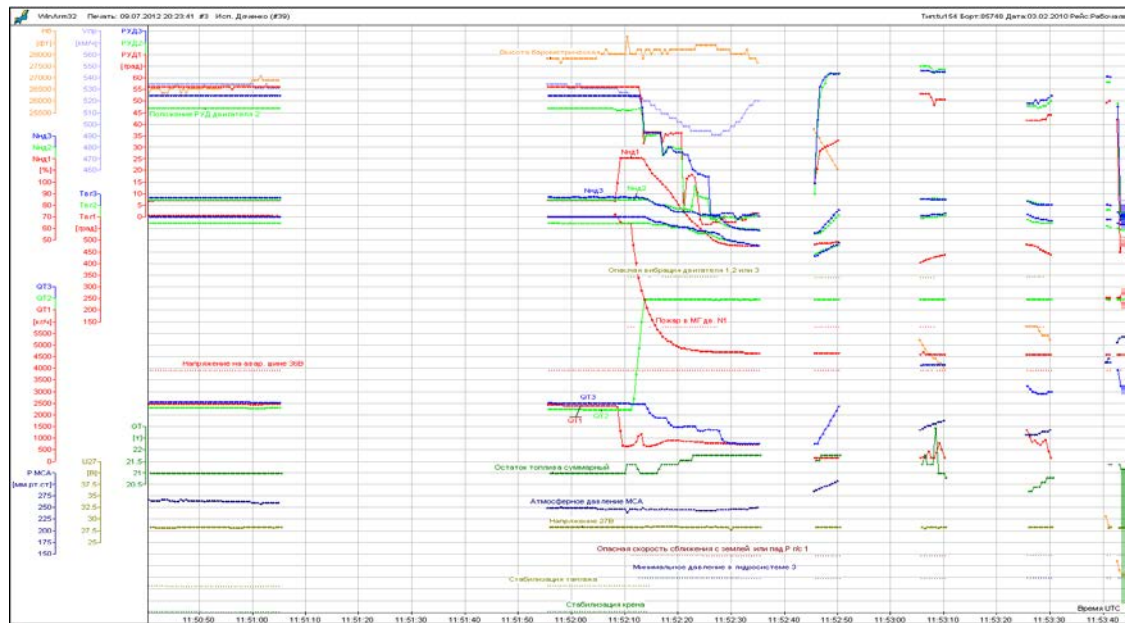


Рис. 2. Полетные данные, восстановленные за счет применения разработанной технологии

3. Информационные технологии, разработанные на основе изложенного в статье метода, внедрены в практику расследования авиационных происшествий (более 50 расследований) и получили высокую оценку на международных научно-технических конференциях сообщества расследователей в течение 2006–2011 годов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рухлинский В.М., Дяченко А.С. Новые методы исследования информации портативных приемников спутниковой навигации при расследовании авиационных происшествий // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 174 (12). - С. 144-150.

2. Дяченко А.С., Зайко С.В. Новые подходы к восстановлению информации поврежденных магнитных регистраторов // 22-й сб. трудов ОРАП. - М., 2010.

NEW RENOVATION METHODS OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR THE FLIGHT DATA RECORDS RECOVERING IN TERMS OF AIRCRAFT ACCIDENT INVESTIGATION

Rukhlinskiy V.M, Dyachenko A.S.

This article is devoted to new method of outdated flight data readout technologies modernization and data retrieval from additional flight data sources.

Key words: flight data recorder, flight data recovery, accident investigation, information technologies.

Сведения об авторах

Рухлинский Виктор Михайлович, 1946 г.р., окончил МАИ (1973), доктор технических наук, председатель Комиссии по связям с ИКАО, международными и межгосударственными организациями МАК, автор более 110 научных работ, область научных интересов – безопасность полетов, эксплуатационно-технические характеристики гражданской авиационной техники и поддержание летной годности самолетов ГА.

Дяченко Александр Сергеевич, 1983 г.р., окончил МАИ (2006), начальник отдела Комиссии по Научно-Техническому Обеспечению Расследований Авиационных Происшествий МАК, автор 7 научных работ, область научных интересов – безопасность полетов, разработка программно-аппаратных комплексов по восстановлению информации средств объективного контроля.

УДК 629.735.017.083

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕДЕЮЩИХ ПОТОКОВ СОБЫТИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОГРАММ ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А.А. ИЦКОВИЧ, И.В. ТИТОВ, И.А. ФАЙНБУРГ

В статье рассмотрена модифицированная модель Д. Ризона, выполнено математическое моделирование редящих потоков событий в задаче формирования программ поддержания летной годности воздушных судов.

Ключевые слова: модифицированная модель Д. Ризона, моделирование редящих потоков событий, формирование программ поддержания летной годности воздушных судов.

В 1990 г. профессор Джеймс Ризон разработал модель, описывающую причинную обусловленность авиационного происшествия. Согласно этой модели, для того чтобы произошло авиационное происшествие требуется воздействие одновременно ряда содействующих факторов, каждый из которых необходим, но сам по себе недостаточен для нарушения защиты системы. Поскольку такие комплексные системы, как авиация, имеют чрезвычайно хорошую защиту из нескольких уровней, внутренние, единичные отказы редко имеют серьезные последствия в авиационной системе. Реализуется такая защита при проведении различных видов технического обслуживания и ремонта (ТОиР) воздушных судов (ВС), рассматриваемых в общем виде в качестве барьеров в модели профессора Д. Ризона, имеющей качественный характер [1]. Средства защиты представляют собой ресурсы, предоставляемые системой для защиты от факторов риска для безопасности.

Одним из основных средств защиты может являться программа поддержания летной годности (ПЛГ), основными целями которой являются:

- а) реализация заложенных в конструкцию уровней безопасности и надежности самолета;
- б) восстановление безопасности и надежности заложенных в конструкцию уровней при появлении признаков ухудшения технического состояния;
- в) получение информации, необходимой для совершенствования конструкции тех изделий, заложенный уровень надежности которых оказался неадекватным;
- в) достижение этих целей с минимальными суммарными затратами, включая затраты на ТОиР, предупреждение и устранение отказов и их последствий.

Тогда, модифицированная модель Ризона применительно к программам ПЛГ ВС будет иметь следующий вид (рис. 1).

Для количественного описания механизма защиты выполним моделирование редящего потока событий (повреждений, отказов, инцидентов) - последовательности событий, возникающих одно за другим в случайные моменты времени и разрежаемых при выполнении работ по ТОиР ВС и других процедур программы ПЛГ ВС.

Поток, в котором события разделены случайными интервалами времени T_1, T_2, \dots , независимы между собой, называется потоком с ограниченным последствием или потоком Пальма [2].

В стационарном пуассоновском потоке (простейшем потоке) интервал времени между любыми двумя соседними событиями распределен по экспоненциальному закону с параметром λ

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}.$$

Поток Эрланга получается путем особого преобразования («разрежения») простейшего потока. Это преобразование осуществляется путем выбрасывания некоторых событий из простейшего потока.

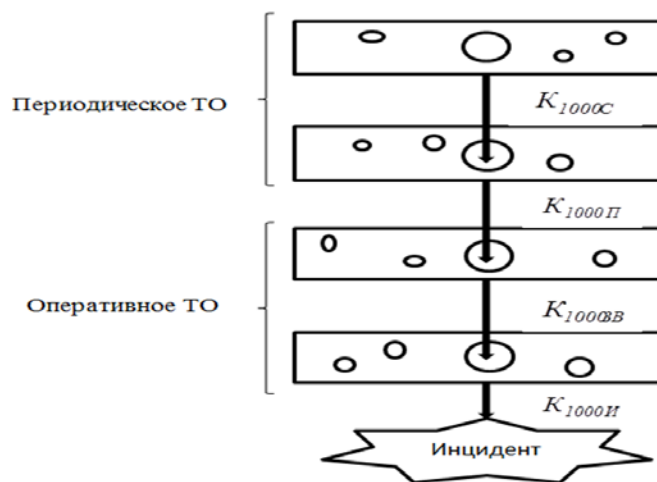


Рис. 1. Модифицированная модель Д. Ризона

Потоком Эрланга k -го порядка называется поток Пальма, у которого интервалы между событиями представляют собой сумму $(k + 1)$ независимых случайных величин, распределенных одинаково по экспоненциальному закону с параметром λ . Параметр λ представляет собой интенсивность исходного простейшего потока Π . Величина k может принимать значения 0, 1, 2, ... При $k = 0$ получаем исходный простейший поток Π , так как никакого преобразования мы не делаем.

Предельная теорема для суммы нескольких потоков утверждает сходимость суммы независимых, ординарных, стационарных, потоков к простейшему. При этом на суммируемые потоки налагаются следующие условия: среди суммируемых потоков не должно быть потоков с очень большой интенсивностью (по сравнению с суммарной интенсивностью всех остальных); интенсивности складываемых потоков не должны становиться по мере увеличения номера потока исчезающе малыми; кроме этого, должны быть наложены некоторые несущественные ограничения на последствие внутри каждого потока. Сходимость суммарного потока к простейшему осуществляется очень быстро. Практически можно считать, что сложение четырех-пяти стационарных, ординарных, независимых потоков, сравнимых по интенсивности, достаточно для того, чтобы суммарный поток был близок к простейшему.

Потоки событий, встречающиеся на практике, часто подвергаются операции «разрежения». Она состоит в том, что под влиянием случайных причин те или иные события выпадают из потока. В отличие от потока Эрланга k -го порядка, который получался путем строго закономерного разрежения простейшего потока (k точек выбрасывалось, а $(k + 1)$ -я точка оставлялась), в данном случае осуществляется случайное разрежение исходного потока событий, когда каждое событие с определенной вероятностью p исключается из потока независимо от того, исключены другие частицы или нет. Рассмотрим подробнее такое случайное разрежение. В качестве исходного потока событий \dot{I} рассмотрим стационарный поток Пальма. К этому потоку событий применим операцию разрежения, состоящую в том, что каждое событие, независимо от других, переносится из исходного потока в разреженный поток \ddot{I}_ρ с неизменной вероятностью p , следовательно, выбрасывается с вероятностью $q = 1 - p$. Такую операцию разрежения будем называть «операцией» и обозначим $R_\rho\{\dot{I}\}$

$$\ddot{I}_\rho = R_\rho\{\dot{I}\}. \tag{1}$$

Допустим, что в исходном потоке Пальма интервал между соседними событиями T имел характеристическую функцию $g(x)$. Найдем характеристическую функцию интервала T_ρ между соседними событиями в разреженном потоке \ddot{I}_ρ .

Если суммируется не определенное число слагаемых n , а случайное число слагаемых Y , то суммой случайного числа случайных слагаемых будет выражение

$$Z = \sum_{i=1}^Y X_i, \quad (2)$$

где случайная величина Y может принимать только положительные целочисленные значения (1, 2, 3 ...). Число возможных значений случайной величины Y может быть либо ограничено некоторым конечным числом n , либо равно бесконечности.

Случайная величина T_p может быть представлена как сумма случайного числа случайных слагаемых

$$T_p = \sum_{i=1}^Z T_i, \quad (3)$$

где случайные величины T_i ($i = 1, 2, \dots$) взаимно независимы и каждая имеет характеристическую функцию $g(x)$.

Случайная величина Z представляет собой число просуммированных интервалов в исходном потоке \dot{I} и подчинена закону Паскаля

$$P(Z = k) = pq^{k-1} \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad (4)$$

где $q = 1 - p$ ($0 < p < 1$).

Для нахождения характеристической функции $q_{T_p}(x)$ случайной величины T_p выдвинем гипотезу, состоящую в том, что случайная величина $Z=k$. В предположении, что эта гипотеза имела место, получим выражение для условной характеристической функции

$$q_{T_p}(x) = (g(x))^k. \quad (5)$$

Следовательно, безусловная характеристическая функция величины T_p будет

$$q_{T_p}(x) = \sum_{k=0}^{\infty} pq^{k-1} (g(x))^k = \frac{p}{q} \sum_{k=1}^{\infty} (g(x)q)^k = \frac{p}{q} * \frac{qg(x)}{1 - qg(x)} = \frac{pg(x)}{1 - qg(x)}, \quad (6)$$

так как $0 < q < 1$.

Найдем числовые характеристики случайной величины, и учитывая, что

$$M(Z) = \sum_{k=0}^{\infty} kpq^{k-1} = p \frac{\partial}{\partial q} \sum_{k=0}^{\infty} q^k = p \frac{\partial}{\partial q} * \left(\frac{1}{1-q} \right) = \frac{1}{p}; \quad (7)$$

$$D(Z) = M(Z^2) - M(Z)^2 = \sum_{k=0}^{\infty} k^2 pq^{k-1} - \frac{1}{p^2} = p \frac{\partial}{\partial q} q \sum_{k=0}^{\infty} kq^{k-1} - \frac{1}{p^2} = \frac{q}{p^2}, \quad (8)$$

получим

$$(g'_{T_p}(x))_{x=0} = \left(\frac{pg'(x)(1 - pg(x)) + pg(x)qg'(x)}{(1 - pg(x))^2} \right)_{x=0} = \frac{g'(0)}{p}. \quad (9)$$

Откуда

$$M(T_p) = -ig'_{T_p}(0) = -\frac{ig'(0)}{p}, \quad (10)$$

но $ig'(0) = M(T)$.

Следовательно, $M(T_p) = M(T)M(Z)$.

Найдем дисперсию случайной величины

$$D(T_p) = -g''_{T_p}(0) + (g'_{T_p}(0))^2 = -\left(\frac{pg''(x)(1- qg(x))^2 + 2(1- qg(x))qg'(x)pg'(x)}{(1- qg(x))^4}\right)_{x=0} + \frac{(g'(0))^2}{p} =$$

$$= \frac{-g''(0) + (g'(0))^2}{p} - (g'(0))^2 \frac{q}{p} = D(T)M(Z) + (M(T))^2 D(Z),$$

зная характеристическую функцию

$$q_{T_p}(x) = \sum_{k=0}^{\infty} pq^{k-1}(g(x))^k = \frac{p}{q} \sum_{k=1}^{\infty} (g(x)q)^k = \frac{p}{q} * \frac{qg(x)}{1- qg(x)} = \frac{pg(x)}{1- qg(x)}.$$

Можно по формуле плотности распределения случайной величины T , которая выражается через ее характеристическую функцию преобразованием Фурье

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-itx} g(x)dx, \tag{11}$$

найти плотность распределения $f_{T_p}(t)$

$$f_{T_p}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-itx} \frac{pg(x)}{1- qg(x)} dx. \tag{12}$$

Затем найти функцию распределения случайной величины T

$$F_{T_p}(t) = \int_0^t f_{T_p}(t)dt. \tag{13}$$

Анализ формулы (10) приводит к естественному выводу, что интенсивность λ_p разреженного потока \dot{I} , умноженная на вероятность сохранения события в потоке p

$$\lambda_p = \frac{1}{M[T_p]} = \frac{1}{M[T]M[Z]} = \lambda p, \tag{14}$$

где λ - интенсивность исходного потока.

Рассмотрим случай, когда разрежению подвергается простейший поток с интенсивностью λ . При разрежении без сжатия (R_p) преобразованный поток остается стационарным пуассоновским с параметром λ_p

$$q_{T_p}(x) = \frac{pg(x)}{1- qg(x)} = \left(p \frac{\lambda}{\lambda - ix}\right) \left(1 - \frac{q\lambda}{\lambda - ix}\right)^{-1} = \frac{\lambda p}{\lambda p - ix}. \tag{15}$$

Найти плотность распределения $f_{T_p}(t)$

$$f_{T_p}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-itx} \frac{\lambda p}{\lambda p - ix} dx. \tag{16}$$

Затем найти функцию распределения случайной величины T

$$F_{T_p}(t) = \int_0^t f_{T_p}(t)dt. \tag{17}$$

Таким образом, реализуется механизм защиты при проведении различных видов ТОиР в программе ПЛГ ВС, представленных в виде барьеров в модифицированной модели Д. Ризона.

Такой подход к моделированию редующего потока событий предназначен для формирования программ ПЛГ ВС и может быть обобщен для системы управления безопасностью полетов воздушных судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по управлению безопасностью полета. Doc. 9859 AN/474//. ICAO, 2009.
2. Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания. - М.: Машиностроение, 1969.
3. Ицкович А.А., Файнбург И.А., Титов И.В. Модель редящих потоков отказов / Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: сб. тезисов докладов междунар. науч.-техн. конф., посвященной 90-летию гражданской авиации. - М.: МГТУ ГА, 2013.

THINNING OCCURRENCE FLOW MODELING FOR AIRCRAFT CONTINUED AIRWORTHINESS PROGRAM DEVELOPMENT PROCESS**Itskovich A.A., Titov I.V., Faynburg I.A.**

The paper highlights the D. Risons renovation model, the mathematical modeling thinning occurrence flows in term of aircraft continued airworthiness program development process.

Key words: the D. Risons modified model, the modeling of thinning flows, continued airworthiness program.

Сведения об авторах

Ицкович Александр Абрамович, 1934 г.р., окончил УАИ (1957), профессор, доктор технических наук, профессор кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей, автор более 270 научных работ, область научных интересов - эксплуатационная надежность и эффективность эксплуатации авиационной техники, управление процессами технической эксплуатации и поддержания летной годности летательных аппаратов.

Титов Игорь Владимирович, 1985 г.р., окончил МГТУ ГА (2010), аспирант МГТУ ГА, область научных интересов – поддержания лётной годности воздушных судов.

Файнбург Инна Александровна окончила МИИВТ (1989), доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 60 научных работ, область научных интересов - управление процессами технической эксплуатации и поддержания летной годности летательных аппаратов.

УДК 629.735.017.083

АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕДЕЮЩИХ ПОТОКОВ СОБЫТИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОГРАММ ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ

И.В. ТИТОВ, А.А. ИЦКОВИЧ

В статье приведен анализ вероятностно-статистических характеристик модифицированной модели Д. Ризона и редящих потоков событий при формировании программ поддержания летной годности воздушных судов.

Ключевые слова: модифицированная модель Д. Ризона, редящие потоки событий, оценка вероятностно-статистических характеристик при формировании программ поддержания летной годности воздушных судов.

Система менеджмента безопасности полетов воздушных судов (ВС) должна предусматривать многоуровневую защиту от возникающих в процессе эксплуатации отказов. Одним из элементов средств защиты может являться программа поддержания летной годности (ПЛГ) ВС. Реализуется такая защита при проведении различных видов технического обслуживания и ремонта (ТОиР), рассматриваемых в качестве барьеров в модели профессора Д. Ризона [1].

Главную роль в осуществлении этих задач играют оперативное и периодическое ТО. Оперативное ТО предназначено в основном для поддержания исправного состояния ВС, и как следствие, состояния его готовности к вылету. Периодическое ТО предназначено в основном для ПЛГ ВС.

Статистических данных, которые напрямую отражали бы, сколько отказов было выявлено и устранено в ходе проведения работ по оперативному и периодическому ТО ВС, как правило, в авиапредприятиях не ведется, однако для оценки вероятностно-статистических характеристик модифицированной модели Д. Ризона и редящих потоков событий может быть использована информация о количестве отказов, выявленных в полете n_{Π} , количестве отказов, приведших к задержкам вылетов ВС $n_{ЗВ}$, количестве отказов, приведших к инцидентам $n_{ИНЦ}$, суммарном количестве отказов n_C на 1000 ч налета [2; 3]:

а) количество отказов, выявленных в полете на 1000 ч налета

$$K_{1000\Pi} = n_{\Pi} * 1000/H, \quad (1)$$

где n_{Π} - суммарное количество отказов, выявленных в полете; H - наработка парка ЛА;

б) количество отказов, приведших к задержке вылета на 1000 ч налета

$$K_{1000ЗВ} = n_{ЗВ} * 1000/H, \quad (2)$$

где $n_{ЗВ}$ - суммарное количество отказов, приведших к задержке вылета на 1000 ч налета;

в) количество отказов, приведших к инцидентам на 1000 ч налета

$$K_{1000ИНЦ} = n_{ИНЦ} * 1000/H, \quad (3)$$

где $n_{ИНЦ}$ - суммарное количество отказов, приведших к инцидентам;

г) суммарное количество отказов и повреждений, выявленных в полете и на земле на 1000 ч налета

$$K_{1000C} = n_C * 1000/H, \quad (4)$$

где n_c - суммарное количество отказов и повреждений, выявленных в полете и на земле на 1000 ч налета.

Оценка вероятностно-статистических характеристик модифицированной модели Д. Ризона и редующего потока отказов осуществляется поэтапно:

1) оценка зависимостей показателей безотказности: $K_{1000П}(K_{1000С})$; $K_{1000И}(K_{1000П})$; $K_{1000ЗВ}(K_{1000П})$;

2) оценка вероятностей сохранения (не сохранения) событий в редующем потоке, соответственно:

а) вероятность того, что отказ из потока суммарного количества отказов перейдет в редующий поток отказов, выявленных в полете

$$P_{СП} = K_{1000П} / K_{1000С}; \quad (5)$$

б) вероятность того, что отказ из потока, выявленных в полете, перейдет в редующий поток отказов, приведших к инцидентам

$$P_{ПИ} = K_{1000И} / K_{1000П}; \quad (6)$$

в) вероятность того, что отказ из суммарного потока отказов, не перейдет в редующий поток отказов, выявленных в полете

$$q_{СП} = 1 - (K_{1000П} / K_{1000С}); \quad (7)$$

г) вероятность того, что отказ из потока отказов, выявленных в полете, не перейдет в редующий поток отказов, приведших к инцидентам

$$q_{ПИ} = 1 - (K_{1000И} / K_{1000П}). \quad (8)$$

Для оценки вероятностно-статистических характеристик используем данные динамики показателей надежности парка самолетов Ил 96-300 ОАО «Аэрофлот» за 1994-2005 гг., приведенные в табл. 1 [3].

Таблица 1

Показатели надежности парка самолетов Ил 96-300 ОАО «Аэрофлот» за 1994-2005 гг.

Показатели	Годы											
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
$K_{1000С}$	278	300,4	247	198,2	182,5	198,2	203,9	200,5	164	134,9	114	137,1
$K_{1000П}$	160,2	192,7	152,6	132,1	125,9	123,9	130	96,6	79	62,5	52,6	58,3
$K_{1000ЗВ}$	39,2	34,6	37,3	39,1	36,1	29,5	20,7	19,7	26,8	34,7	22,3	26,3
$K_{1000И}$	1,79	0,69	0,97	0,44	0,45	0,55	0,898	0,88	0,86	0,47	0,4	0,69

По данным табл. 1 получены регрессионные зависимости и коэффициенты корреляции, приведенные на рис. 1-3.

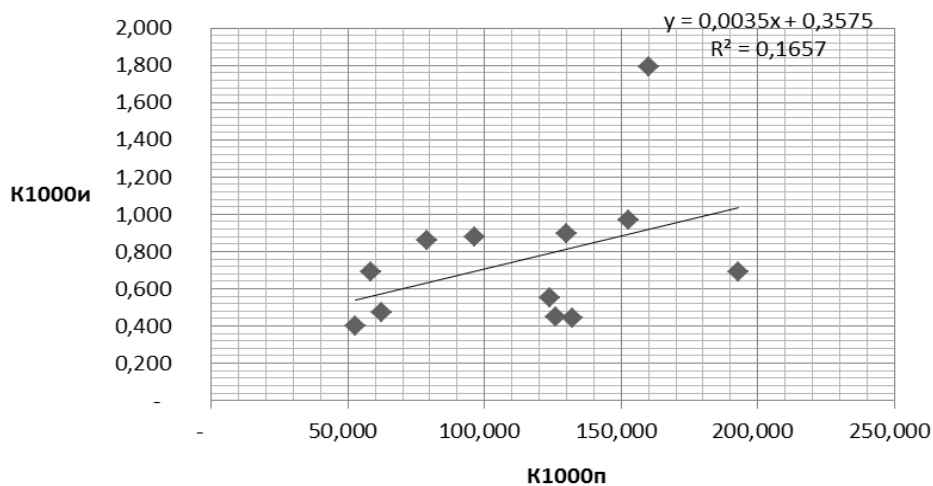


Рис. 1. Зависимость $K_{1000И}$ от $K_{1000П}$ для парка самолетов Ил 96-300 ОАО «Аэрофлот» за 1994-2005 гг.

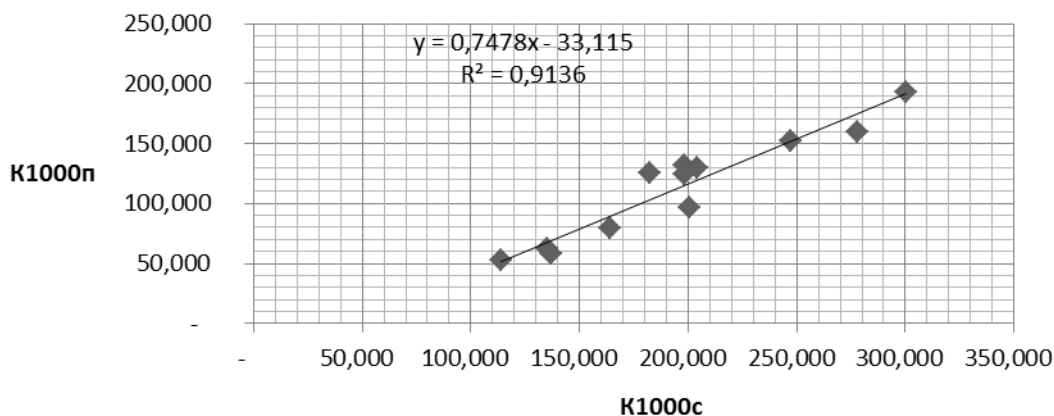


Рис. 2. Зависимость $K_{1000П}$ от $K_{1000С}$ для парка самолетов Ил 96-300 ОАО «Аэрофлот» за 1994-2005 гг.

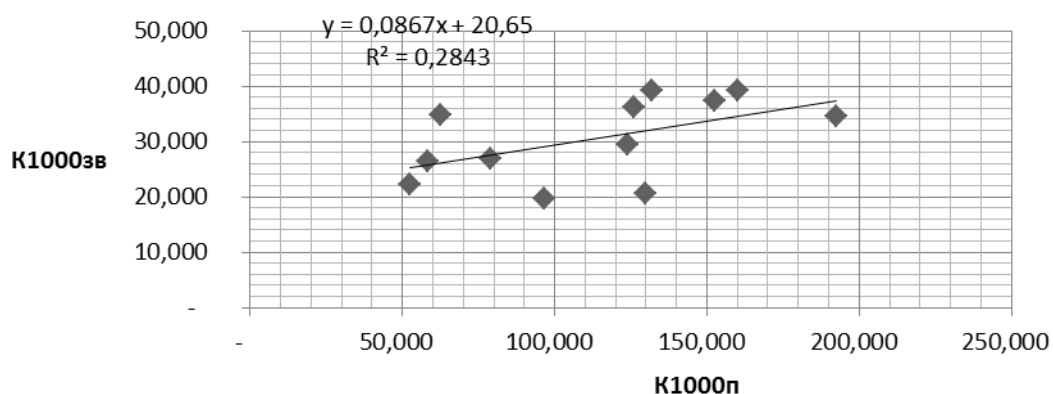


Рис. 3. Зависимость $K_{1000ЗВ}$ от $K_{1000П}$ для парка самолетов Ил 96-300 ОАО «Аэрофлот» за 1994-2005 гг.

Анализ этих зависимостей показывает, между этими показателями существует корреляционная взаимосвязь (с коэффициентами корреляции от R^2 от 0,1657 до 0,9136), что подтверждает наличие модифицированной модели Д. Ризона и правильность построения модели редующих потоков событий [5].

Оценка вероятностей сохранения (не сохранения) событий в редуящем потоке, соответственно, выполнена по формулам (5 - 6) и (7 - 8) по данным табл. 1. Определены регрессионные зависимости этих вероятностей от года эксплуатации парка самолетов Ил-96-300 ОАО «Аэрофлот» за 1994-2005 гг. (рис. 4 - 7).

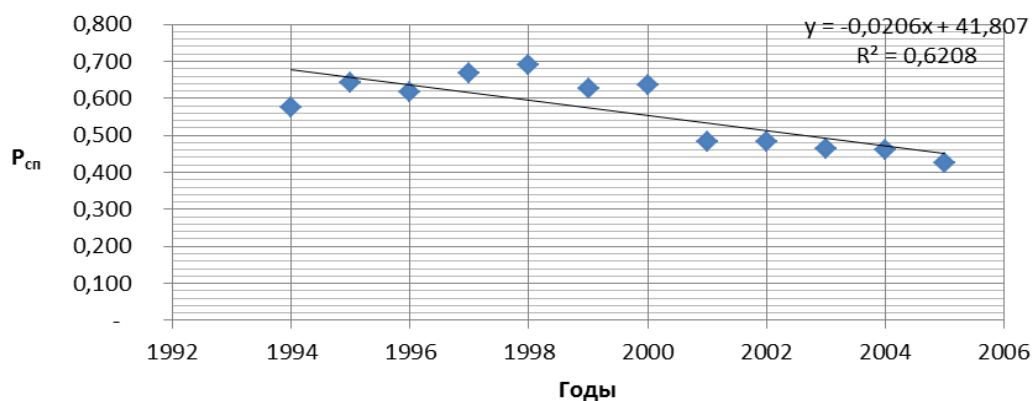


Рис. 4. Зависимость $P_{сп}(t)$ для парка самолетов Ил 96-300 ОАО «Аэрофлот» за 1994-2005 гг.

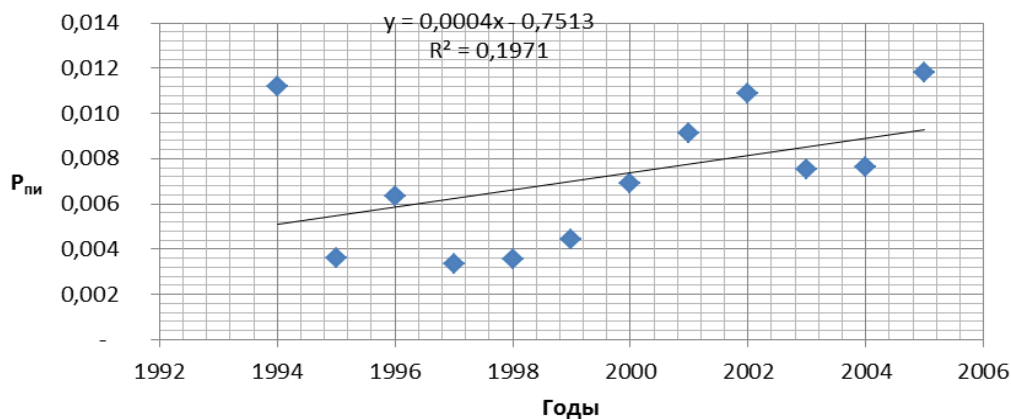


Рис. 5. Зависимость $P_{пн}(t)$ для парка самолетов Ил 96-300 ОАО «Аэрофлот» за 1994-2005 гг.

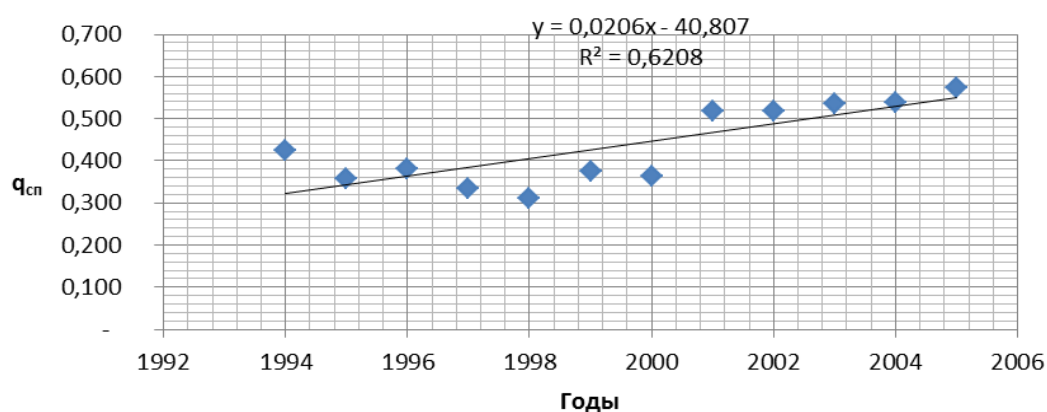


Рис. 6. Зависимость $q_{сп}(t)$ для парка самолетов Ил 96-300 ОАО «Аэрофлот» за 1994-2005 гг.

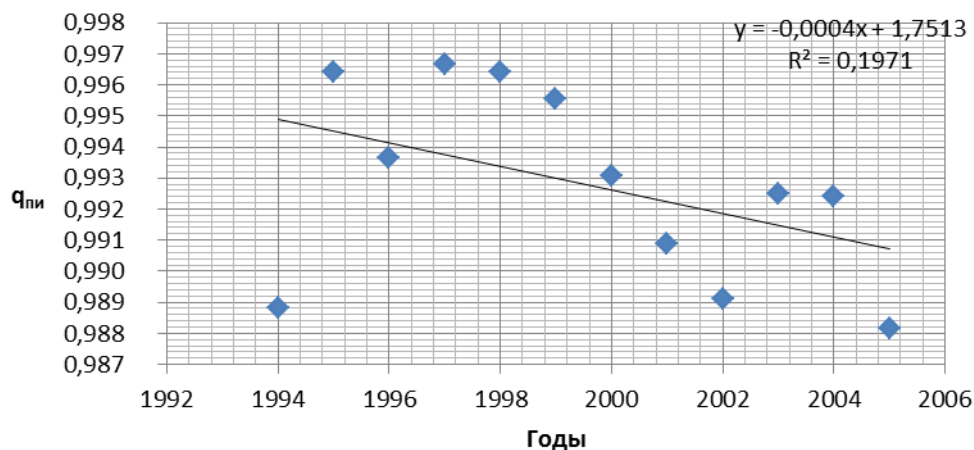


Рис. 7. Зависимость $q_{III}(t)$ для парка самолетов Ил 96-300 ОАО «Аэрофлот» за 1994-2005 гг.

Анализ этих зависимостей показывает следующее:

а) полученные вероятности можно использовать при расчетах модели редующих потоков событий [4];

б) зависимость $P_{СИ}(t)$ имеет тенденцию убывания, а $q_{СИ}(t)$ - возрастания, что говорит о том, что со временем в результате совершенствования процессов технической эксплуатации ВС удалось снизить количество отказов проявляющих себя в полете;

в) зависимости $P_{ШИ}(t)$ и $q_{ШИ}(t)$, имеющие возрастающий и убывающий характер соответственно, показывают, что число отказов, приводящие к инцидентам, со временем нарастает и в связи с этим необходимы управляющие воздействия по их снижению;

г) полученные вероятности можно использовать при моделировании редующих потоков событий [4];

д) вероятность того, что отказ преодолет барьер, выраженный в виде различных форм ТОиР, и будет обнаружен в полете, колеблется в пределах от 0,425 до 0,69, это означает, что во время проведения работ по ТОиР устраняется от 30 до 70 % отказов;

е) вероятность того, что отказ, обнаруженный в полете, приведет к инциденту, колеблется в пределах от 0,003 до 0,012, это означает, что от 3 до 12 % отказов, обнаруженных в полете, приводит к инцидентам.

Аналогичным образом, можно проследить зависимости не только по типам ВС, но и по парку ВС всего предприятия в целом.

Таким образом, появляется возможность использования модели редующих потоков событий и ее вероятностно-статистических характеристик при формировании программ ПЛГ ВС в рамках системы управления безопасностью полетов ВС [5].

Дальнейшее совершенствование методического обеспечения формирования программ ПЛГ на основании модели потока редующих событий и анализа ее вероятностно-статистических характеристик направлено на повышение безопасности полетов и повышение эффективности процессов ПЛГ ВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по управлению безопасностью полета. Doc. 9859 AN/474//. ICAO, 2009.
2. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Эффективность процессов эксплуатации летательных аппаратов: пособие по выполнению лабораторных работ. - М.: МГТУ ГА, 2010.
3. Эксплуатационная надежность АТ и ее влияние на безопасность и регулярность полетов самолетов ОАО «Аэрофлот» 1994-2005 гг.: Отчет.

4. Ицкович А.А., Файнбург И.А., Титов И.В. Моделирование редуящих потоков событий при формировании программ поддержания летной годности воздушных судов // Статья в настоящем Вестнике.

5. Титов И.В. Проблема методического обеспечения формирования программ поддержания летной годности воздушных судов на этапе эксплуатации // Статья в настоящем Вестнике.

ANALYSIS OF THINNING FLOWS PROBABILISTICALLY-STATISTICS CHARACTERISTICS IN TERMS OF AIRCRAFT CONTINUED AIRWORTHINESS PROGRAMS DEVELOPMENT

Itskovich A.A., Titov I.V.

The paper highlights the analysis of **probabilistically-statistics characteristics** of the D. Risons modified model and the thinning flows in terms of aircraft continued airworthiness program development.

Key words: the D. Risons modified model, the thinning flows, the analysis of probabilistically-statistics characteristics in case of creating the airworthiness maintenance of aircrafts.

Сведения об авторах

Титов Игорь Владимирович, 1985 г.р., окончил МГТУ ГА (2010), аспирант МГТУ ГА, область научных интересов – поддержание лётной годности воздушных судов.

Ицкович Александр Абрамович, 1934 г.р., окончил УАИ (1957), профессор, доктор технических наук, профессор кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 270 научных работ, область научных интересов – эксплуатационная надежность и эффективность эксплуатации авиационной техники, управление процессами технической эксплуатации и поддержания летной годности ЛА.

УДК 629.7.017.1

К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ ОТКАЗОБЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

С.А. КРОТОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Смирновым Н.Н.

Рассматриваются аспекты надёжности и безопасности функционирования систем воздушных судов. Сделан обзор существующих методов определения перечня функциональных отказов систем. Приводятся основные процессы оценки безопасности функционирования систем и предпосылки к созданию концепции эксплуатационной модели отказобезопасности.

Ключевые слова: надёжность, отказобезопасность, методы, анализ функциональных отказов.

В современных условиях эксплуатации воздушных судов при бурном росте пассажиропотока на рынке авиаперевозок актуальность обеспечения безопасности функционирования технических систем не требует доказательств. Процесс эксплуатации самолетов сопровождается изменениями характеристик надёжности как планера, так и функциональных систем. Интенсивность этого изменения определяется большим числом факторов, многие из которых прямо связаны с авиакомпанией-эксплуатантом. Говоря об отказобезопасности систем, следует понимать, что это свойство технической системы при отказе некоторых её частей переходить в режим работы, не представляющий опасности для людей, окружающей среды или материальных ценностей, а также позволяющее безопасно завершить полет. Функциональные системы самолетов состоят из большого числа агрегатов и комплектующих изделий, имеющих частичное или полное резервирование. Их влияние на безопасность полетов весьма значительно. Вопросы резервирования и перехода системы в случае отказа к дублирующим агрегатам неизменно связаны с двумя главными аспектами - надёжностью агрегатов и анализом функциональных отказов, о которых в дальнейшем пойдет речь. Глубокий анализ опыта эксплуатации отечественных и зарубежных самолетов является одним из направлений по обеспечению требуемых характеристик надёжности и безопасности полета самолета. Такой анализ начал выполняться у нас и за рубежом в 60-70-х гг. Целью анализа являлось обеспечение на этапе проектирования характеристик надёжности и безопасности полета разрабатываемых воздушных судов. В дальнейшем появилось понимание, что такой анализ необходим для многих работ, выполняемых на всех этапах жизненного цикла ВС.

Надёжность самолетов гражданской авиации является неременным условием обеспечения безопасности полетов. Она обеспечивается разработчиком и изготовителем в соответствии с Нормами летной годности самолетов (НЛГС) [1]. В НЛГС выражены минимальные требования государства к надёжности авиационной техники. Они определены в виде вероятности возникновения в течение 1 часа полета особых (неблагоприятных) ситуаций, вызванных отказами авиационной техники. В эксплуатационных подразделениях, в соответствии с отраслевыми документами, для контроля за надёжностью авиационной техники используются отличные от НЛГС показатели. Это, прежде всего, средняя наработка на отказ либо неисправность и K_{1000} – количество отказов на 1000 часов полета. Анализ динамики этих показателей, безусловно, обеспечивает возможность контроля надёжности авиационной техники и планирования мер по ее поддержанию. Так, в настоящее время существует методика управления надёжностью изделий функциональных систем [2]. Особенность данной методики заключается в том, что она позволяет гибко определять спектр управляющих воздействий для поддержания летной годности и экономичности эксплуатации в условиях использования действующего парка ВС. Мето-

дика рассматривает номенклатуру изделий функционирования систем (ФС), эксплуатируемых различными методами (до отработки ресурса, по состоянию), а также при корректировке этих методов эксплуатации. Предусмотрено рассмотрение двух групп изделий, отказы которых обуславливают летную годность (ЛГ) и обуславливают только экономичность эксплуатации. Методика позволяет выделить две категории авиакомпаний по принципу представления ими объема и состава информации (численность парка ВС, налет, номенклатура отказавших изделий). Предлагаемый алгоритм надёжности позволяет использовать следующие методы управления надёжностью: управление надёжностью изделий функциональных систем расчетно-статистическим методом, управление на основе анализа динамики безотказности изделий, а также статистическое регулирование надёжности изделий ФС. При этом средняя наработка на отказ и K_{1000} применительно к НЛГС являются косвенными оценками надёжности. Интегрирование гражданской авиации в международное авиационное сообщество сопряжено с гармонизацией отечественной нормативной базы ГА с нормами ИКАО и использованием рекомендуемых практик [3].

На сегодняшний день, в век информационных технологий, дали развитие различные программные продукты. Для создания высококачественных изделий авиационной техники (АТ) в условиях растущей конкуренции на рынке жизненно важно эффективно обеспечивать надёжность на протяжении всего жизненного цикла. Одним из важнейших средств обеспечения надёжности является система FRACAS (Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System – система регистрации отказов, анализа и корректирующих действий), позволяющая постоянно выявлять, отслеживать и устранять причины отказов и неисправностей, возникающих на этапе производства и эксплуатации. Программные процессы системы FRACAS предоставляют дополнительные преимущества встроенных аналитических возможностей, позволяя организациям отслеживать основные показатели системы, включая частоту отказов, СВМО (среднее время между отказами), СВР (среднее время ремонта), доступность, стоимость, а также выполнять определяемые пользователями расчеты. Встроенные функции создания отчетов и построения графиков позволяют использовать полученные показатели для вычисления динамики развития по времени, серьезности и прочим параметрам. Кроме того, эффективность работы самой системы FRACAS можно отслеживать по степени общего улучшения показателей работы системы в результате ее применения. Абсолютное большинство иностранных авиационных предприятий используют системы FRACAS. Необходимость применения и преимущества таких систем являются очевидными.

Одним из методов, позволяющим на ранних этапах проектирования обеспечивать требуемый уровень надёжности и безопасности, является расчетно-аналитический метод прогнозирования всех возможных потенциальных отказов с оценкой частоты их появления, определением возможных последствий. Следует отметить, что исторически первым методом проведения анализа надёжности и безопасности был экспертный. Экспертный метод получения перечня функциональных отказов (ФО) сводится к следующей технологии. На основании имеющейся в распоряжении технической документации эксперт определяет перечень функций рассматриваемой системы. Для каждой функции эксперт устанавливает виды возможных их нарушений, которые образуют перечень исходных ФО. Затем также экспертно определяются причины установленных ФО. В качестве причин рассматриваются виды отказов элементов анализируемой системы. После выявления причин исходных ФО определяется возможность совместного возникновения двух и более исходных ФО и формируется результирующий перечень ФО. Для этого причины ФО желательно записывать в форме логического уравнения (булевой функции). Для определения вероятности ФО логические уравнения преобразуются в вероятностные. Описанный процесс является достаточно трудоемким и требует высокой квалификации экспертов.

Позже был предложен метод приведения [4; 5]. Главным отличием и достоинством метода приведения по сравнению с экспертным методом является то, что перечни функций и функциональных отказов системы однозначно определяются конструкцией системы, т.е. являются объ-

ективным свойством системы. В данном методе рассматриваются понятия функциональной системы, функции системы, функционального отказа. Для каждого агрегата системы определяется модель технического состояния (МТС). МТС агрегатов описывает нормальные входные и выходные сигналы агрегата (модель нормального функционирования) и нарушенные входные и выходные сигналы агрегата (модель нарушения функционирования). Модель нормального функционирования включает: элементы связи агрегата; входные и выходные сигналы; параметры входных и выходных сигналов; характерные значения параметров входных и выходных сигналов. Модель нарушенного функционирования дополнительно включает виды нарушений значений параметров входных и выходных сигналов и их причины. В качестве элементов связи рассматриваются все элементы агрегата, воспринимающие или передающие рассматриваемые для агрегата входные и выходные сигналы и воздействия. Параметры входных и выходных сигналов в рамках МТС классифицированы в соответствии со стандартными формализованными типами. Типы параметров агрегатов играют важную роль при определении полного перечня функциональных отказов системы.

В совокупности модели нормального и нарушенного функционирования образуют МТС. В рамках МТС каждый параметр входных и выходных сигналов, характерные значения параметров, а также виды их нарушений имеют стандартную модель. В качестве вида отказа агрегата рассматривается конкретное нарушение работоспособности агрегата в целом или его элементов.

Источником информации о видах отказов служат испытания и опыт эксплуатации агрегата и его аналогов. Возникновение вида отказа агрегата должно обязательно приводить к нарушению хотя бы одного выходного сигнала агрегата.

Полный перечень функциональных отказов системы однозначно определяется моделями состояний агрегатов системы, т.е. определяется перечнем агрегатов системы. Соединение агрегатов в системе не влияет на перечень исходных ФО системы, а определяет наличие общих причин возникновения исходных ФО и, следовательно, определяет наличие общих причин возникновения двух и более исходных ФО. Кроме того, от соединения агрегатов зависят последствия ФО для системы и самолета в целом.

На отечественном рынке хорошо представлен программный продукт для проведения анализа надёжности и безопасности полета самолета. Авторами метода приведения на основе вышеописанной теории был разработан программно-технологический комплекс (ПТК) ФАНАТ, который охватил многолетний методический и практический опыт АК им. С.В. Ильюшина. Данный комплекс включил в себя следующие отличительные свойства:

1. Ключевым понятием является модель функционирования каждого элемента анализируемой системы. Эта модель не зависит от использования элемента в конкретной конструкции и включает описание входных и выходных сигналов и их нарушений. Частью модели элемента являются и традиционные виды отказов.

2. С помощью моделей элементов и их соединений в конкретной конструкции моделируется анализируемая система в целом.

3. Нарушения функционирования системы алгоритмически связаны с нарушениями функционирования составляющих систему элементов.

Функционально система состоит из двух независимых частей: модуля единого каталога агрегатов (ЕКА) и модуля анализа функциональных отказов (АФО). Группы моделей объединяют модели по видам входных и выходных сигналов. Входные и выходные сигналы могут быть электрическими, механическими, гидравлическими, звуковыми, речевыми, видео, фото и т.д. Типы моделей объединяют модели по характеру преобразования входных сигналов в выходные. Рассматриваются следующие типы моделей:

- соединитель – входной сигнал без преобразования (или преобразованием пренебрегаем) передается на выход;

- переключатель – входной сигнал без преобразования (или преобразованием пренебрегаем) передается на выход при определенных условиях;

- преобразователь – в агрегате происходит любого вида преобразование входных сигналов в выходные. Для каждого типа модели определены стандартные типы входных и выходных сигналов (типы сигналов определяют назначение сигнала, например, управление, сигнализация, тест и т.д.). Модели одной группы и одного типа отличаются количеством входных и выходных сигналов одного типа. Таким образом, МТС содержит следующие атрибуты:

1. Количество входных и выходных сигналов каждого вида и типа.
2. Параметры каждого сигнала.
3. Возможные характерные значения параметров.
4. Возможные типовые нарушения значений параметров входных и выходных сигналов.
5. Возможные виды отказов агрегатов и диапазон значений их интенсивностей.
6. Причины нарушений параметров выходных сигналов. В качестве причин рассматриваются виды отказов и нарушения параметров входных сигналов.

Порядок проведения АФО излагается исходя из предположения, что единый каталог агрегатов сформирован, т.е. для каждого комплектующего изделия (КИ) определена его модель технического состояния. При проведении АФО формируются:

1. Перечни функциональных систем (в дальнейшем – «систем») ВС.
2. Спецификации систем ВС.
3. Каталоги систем ВС.
4. Перечни выходных агрегатов систем ВС.
5. Перечни функциональных отказов ВС.
6. Анализ взаимовлияния систем.
7. Анализ взаимосвязи систем.

Программа имеет несколько основных модулей. Дополнительно каждый из модулей имеет свои функции и свои атрибуты. Так, например, для модуля "АФО" выделяются следующие функции:

1. Определение полного перечня функциональных отказов систем изделия с учетом объединений и сочетаний ФО, этапов и режимов полета, режимов работы системы.
2. Определение информации, предоставляемой экипажу о ФО.
3. Определение последствий ФО.
4. Определение действий экипажа.
5. Определение логического уравнения ФО.
6. Определение вероятности возникновения ФО.
7. Определение степени опасности ФО.

Благодаря вышеописанным действиям программный комплекс позволяет формировать доказательную документацию по отказобезопасности в соответствии с рядом отечественных и зарубежных авиационных правил. Стоит отметить, что для обеспечения соответствия нового самолета гражданской авиации требованиям по надежности и отказобезопасности необходимо проводить анализ безопасности систем и оборудования воздушного судна на всех этапах жизненного цикла. Процесс анализа и методы оценки безопасности систем и оборудования ВС определяются руководством R4761 (ARP4761) [6].

К основным процессам оценки безопасности относятся:

- Оценка функциональных опасностей — ОФО (Functional Hazard Assessment — FHA). В ходе FHA рассматриваются функции ВС и его систем с целью определения их возможных отказов, а также проводится классификация опасностей, связанных с ними отказных состояний.

- Предварительная оценка безопасности системы (Preliminary System Safety Assessment - PSSA). Результаты FHA используются как исходные данные для проведения PSSA, в ходе которой устанавливаются конкретные требования к безопасности системы и составляющих ее изделий, а также дается первоначальное подтверждение того, что предполагаемая архитектура

системы сможет удовлетворить эти требования. Предварительная оценка безопасности уточняется в процессе проектирования системы.

PSSA может выполняться в форме:

- анализа дерева неисправности (FTA);
- анализа логической схемы (DD);
- марковского анализа (МА).

• Оценка безопасности систем (System Safety Assessment - SSA). В ходе SSA собираются, анализируются и документируются доказательства того, что реализованная система удовлетворяет количественным и качественным требованиям безопасности, установленным в процессах FHA и PSSA. SSA объединяет результаты различных анализов для проверки безопасности системы в целом с учетом охвата всех конкретных особенностей обеспечения безопасности, определенных в PSSA. Процесс документирования SSA при необходимости включает доказательства и результаты уместных анализов.

• Анализ общих причин отказов (Common Cause Analysis - CCA). Для удовлетворения требований по безопасности может потребоваться обеспечение независимости между функциями, системами или оборудованием комплекса бортового оборудования (КБО). Следовательно, требуются гарантии, что такая независимость существует, или, что риск, связанный с наличием зависимости, считается приемлемым. Анализ CCA предлагает методы для проверки такой независимости и/или для выявления конкретных зависимостей. В ходе анализа CCA устанавливаются и оцениваются требования по физическому и функциональному разделению и изоляции комплектующих КБО, а также проверяется, как эти требования выполняются.

Из вышеизложенного следует, что вопросам отказобезопасности функциональных систем основное внимание уделяется на этапах проектирования и сертификации. Однако стоит понимать, что в процессе эксплуатации самолет попадает под воздействие множества факторов авиационно-транспортной системы (АТС). В связи с этим необходимо развить и выделить эксплуатационный контроль отказобезопасности. Такой контроль необходимо осуществлять на уровне агрегата, функциональной системы и самолета в целом [5]. Для этого необходимы:

- организация сбора данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов;
- оценка эксплуатационной надёжности агрегатов и систем с учетом наработки (летные часы, посадки, срок службы) парка и отдельного самолета;
- информация об отказах и неисправностях авиационной техники по парку самолетов данного типа;
- анализ инцидентов с самолетом в эксплуатации с учетом наработки парка и отдельного самолета;
- информация о времени и сроках выполнения форм ТО в привязке к каждому самолету, а также календарные сроки выполнения доработок по бюллетеням для каждого борта;
- разработка структуры и методов оценки технического состояния систем самолета при различных видах подготовки самолета к полетам.

Вышеперечисленные компоненты необходимо заложить в концепцию эксплуатационной модели отказобезопасности.

В том числе не стоит забывать про человеческий фактор. Отказобезопасность системы неизменно связана с состояниями самой системы и переходами между этими состояниями. Выявление признаков перехода системы ложится на летный и инженерно-технический состав. При этом стоит понимать, что если экипаж имеет дело с отказом j -й системы в целом, то техник контролирует состояние каждого i -го элемента (агрегата) этой системы. Таким образом, появляется необходимость расчета вероятности невыявления инженерно-техническим составом функционального отказа i -го элемента j -й ФС, т.е. вероятность ошибочной оценки инженерно-техническим составом состояния i -го элемента j -й ФС. В рамках АТС необходимо разработать

модель "ФС – ИТС - анализ состояния ФС". В случае успешной реализации вышеупомянутых критериев возможно рассмотрение использования концепции эксплуатационной модели отказозабезопасности в рамках системы управления безопасностью полетов эксплуатанта.

ЛИТЕРАТУРА

1. АП-25. Авиационные правила // Нормы летной годности. - М.: Межгос. авиац. комитет, 1989.
2. Методика управления надёжностью изделий функциональных систем с целью поддержания уровня летной годности и экономичности эксплуатации ВС. - М.: ГосНИИ ГА, 2005.
3. Руководство по летной годности // Организация и процедуры. Doc. 9760. ICAO.
4. Метод приведения - метод определения полного перечня функциональных отказов технической системы // По материалам Второго Международного семинара по АНИ.
5. **Новожилов Г.В., Неймарк М.С., Цесарский Л.Г.** Безопасность полета самолета // Концепция и технология. - М.: Машиностроение, 2003.
6. Руководство по методам оценки безопасности систем и бортового оборудования воздушных судов гражданской авиации: Руководство Р-4761. АР МАК, 2010.

ON AIRCRAFT FUNCTIONAL SYSTEMS FAIL SAFE FEATURES INSPECTION DURING OPERATION

Krotov S.A.

Aircraft functional systems reliability and safe operation aspects are considered in the paper. Represented the review of methods of systems functional failures list definition. Describes the basic system safety assessment processes and approaches to operation fail safe model conception.

Key words: reliability, fail safe feature, method, functional failure analysis.

Сведения об авторе

Кротов Станислав Александрович, 1989 г.р., окончил МГТУ ГА (2011), инженер ЗАО "ПП ВЗлет", область научных интересов – эксплуатация воздушного транспорта, поддержание летной годности воздушных судов.

УДК 629.735.45

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ВЗЛЕТА В УСЛОВИЯХ ОТКАЗА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

С.В. ЛЕВИЦКИЙ, Е.В. ЛЕВИЦКАЯ

В статье предложена математическая модель взлета с имитацией отказов, учитывающая возможность трансформирования аэродинамической конфигурации самолета, особенности функционирования тормозной системы и иные эксплуатационные факторы.

Ключевые слова: взлет самолета, имитационная математическая модель.

Взлет является одним из наиболее сложных и потенциально опасных режимов полета. Поведение и пилотирование самолета на этих режимах существенно отличаются от поведения и пилотирования на всех других режимах. Переход от контакта с землей к свободному полету, изменение аэродинамической конфигурации самолета, взлетный режим работы силовой установки, большие ускорения при малых скоростях полета существенно трансформируют динамические свойства самолета. В итоге, несмотря на скоротечность данного этапа полета, значительная доля тяжелых летных происшествий происходит именно на взлете.

В летных испытаниях и в Руководстве по летной эксплуатации самолета обычно в качестве стандартной причины прекращения взлета рассматривается отказ критического двигателя. Данный случай специально исследуется, потребные характеристики самолета нормируются, действия экипажа подробно расписываются.

Реальная эксплуатация безмерно многообразней любых инструкций и для её исследования эффективным инструментом является математическое моделирование. Цель этих исследований может быть следующей:

- определение характеристик прерванного – продолженного взлета, скорости принятия решения при различных видах отказов авиационной техники и эксплуатационных факторах;
- оптимизация управления самолетом при взлете и продолженном взлете с учетом ограничений на длину ВПП, взлетную дистанцию и градиент набора высоты;
- оптимизация управления аэродинамической конфигурацией и системами торможения самолета при прекращенном взлете с учетом ограничений на длину ВПП и концевую полосу безопасности;
- разработка алгоритмов информационной поддержки принятия решения летчиком о действиях во внештатной ситуации в процессе взлета.

Условием безопасного выполнения взлета является его завершение или продолжение в рамках заданных полетных и эксплуатационных ограничений.

Математическая модель взлета [1], блок-схема которой представлена на рис. 1, включает модель пространственного движения самолета и модель системы торможения колес шасси, как основного средства рассеивания кинетической энергии самолета при прерванном взлете.

Модель пространственного движения самолета составлена при допущении, что угол скольжения $\beta = 0$ и включает следующую систему дифференциальных уравнений:

- динамические уравнения движения центра масс самолета, записанные в связанной системе координат:

$$\dot{V} = g(n_{x_a} + l_{ygy} \sin \alpha - l_{ygx} \cos \alpha), \quad \dot{\alpha} = \omega_z - g(n_{y_a} - l_{ygx} \sin \alpha - l_{ygy} \cos \alpha) \frac{1}{V},$$

- кинематические уравнения движения центра масс самолета, записанные в нормальной земной системе координат:

$$\begin{aligned}\dot{x}_g &= V(\cos \alpha l_{xgx} - \sin \alpha l_{xgy}), & \dot{y}_g &= V(\cos \alpha l_{ygx} - \sin \alpha l_{ygy}), \\ \dot{z}_g &= V(\cos \alpha l_{zgx} - \sin \alpha l_{zgy}),\end{aligned}$$

• кинематические уравнения движения вокруг центра масс самолета, записанные в связанной системе координат:

$$\begin{aligned}\dot{\lambda}_0 &= 0,5(-\omega_x \lambda_1 - \omega_y \lambda_2 - \omega_z \lambda_3), & \dot{\lambda}_1 &= 0,5(+\omega_x \lambda_0 - \omega_y \lambda_3 - \omega_z \lambda_2), \\ \dot{\lambda}_2 &= 0,5(+\omega_x \lambda_3 - \omega_y \lambda_0 - \omega_z \lambda_1), & \dot{\lambda}_3 &= 0,5(-\omega_x \lambda_2 - \omega_y \lambda_1 - \omega_z \lambda_0),\end{aligned}$$

• уравнение изменения массы самолета $\dot{m}_{\text{топл.}} = -c_s = -\frac{c_{y0}P}{3600}$.

здесь V – истинная воздушная скорость самолета; α – угол атаки самолета; $l_{xgx} \dots l_{zgz}$ – направляющие косинусы осей связанной системы координат относительно осей нормальной земной системы координат; $\lambda_0 \dots \lambda_3$ – компоненты кватерниона преобразований; x_g, y_g, z_g – координаты самолета в нормальной земной системе координат; C_{y0} – удельный расход топлива; P – тяга силовой установки.

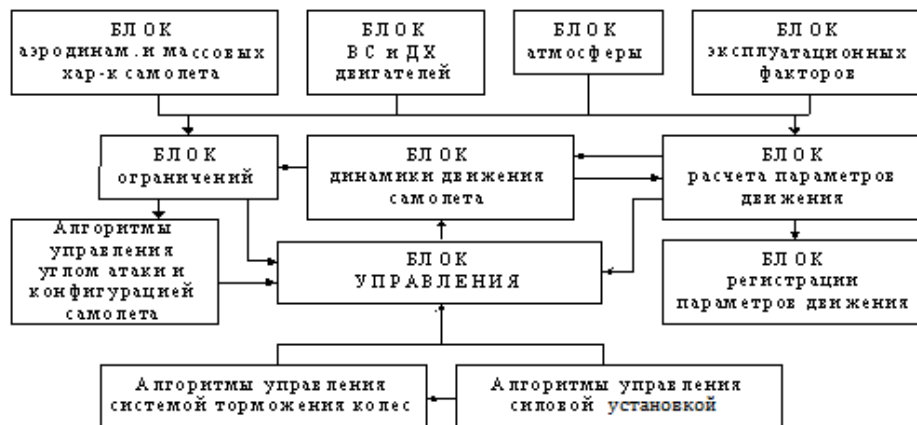


Рис. 1. Блок-схема математической модели

Проекция вектора угловой скорости на оси связанной системы координат определяются по формулам:

$$\begin{aligned}\omega_x &= \dot{\gamma}_n + tgV(\omega_y \cos \gamma - \omega_z \sin \gamma), & \omega_y &= (gl_{ygz} - V\omega_x \sin \alpha) \frac{1}{V \sin \alpha}, \\ \omega_z &= \dot{\alpha}_n + g(n_{ya} - l_{ygx} \sin \alpha - l_{ygy} \cos \alpha) \frac{1}{V}.\end{aligned}$$

Проекция вектора перегрузки на оси скоростной системы координат рассчитываются по формулам:

$$n_{xa} = [\bar{u}_p P_{\text{макс.}} \cos(\alpha + \varphi_p) - X_a] \frac{1}{mg}, \quad n_{ya} = [\bar{u}_p P_{\text{макс.}} \sin(\alpha + \varphi_p) + Y_a] \frac{1}{mg}.$$

Угол φ_p – учитывает отклонение вектора тяги от продольной оси самолета.

При движении по поверхности ВПП добавляются компоненты перегрузок, обусловленные действием сил трения (F) и реакции земли, приложенных к опорам шасси (N):

$$\Delta n_{xa} = -\frac{F}{mg}, \quad \Delta n_{ya} = \frac{N}{mg}.$$

При отклонении аэродинамических поверхностей, изменении положения шасси нормальная и тангенциальная перегрузки получают дополнительные приращения за счет изменения подъемной силы ΔY_a и лобового сопротивления ΔX_a :

$$\Delta n_{x_a} = -\frac{\Delta X_a}{mg}; \quad \Delta n_{y_a} = \frac{\Delta Y_a}{mg}.$$

В модель включен специальный блок, описывающий функционирование тормозных колес шасси. В процессе торможения на колесо действуют два момента (рис. 2): момент от силы сцепления $F_{сц.}$ пневматика с ВПП ($M_{сц.}$), вращающий колесо, и тормозной момент (M_T), препятствующий вращению колеса. Момент сцепления колеса с ВПП определяется по формуле:

$$M_{сц.} = 0,5\mu_{сц.} N_{осн.} R_{эфф.},$$

здесь $\mu_{сц.}$ – коэффициент сцепления пневматика, определяемый состоянием ВПП и величиной путевой скорости движения самолета; $N_{осн.}$ – нагрузка на основные опоры шасси; $R_{эфф.}$ – эффективный радиус тормозного колеса, который определяется диаметром и величиной прогиба пневматика ($\delta_{пн.}$).

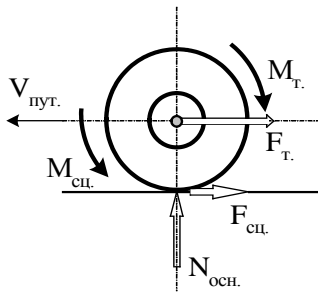


Рис. 2. Силы и моменты, действующие на колесо

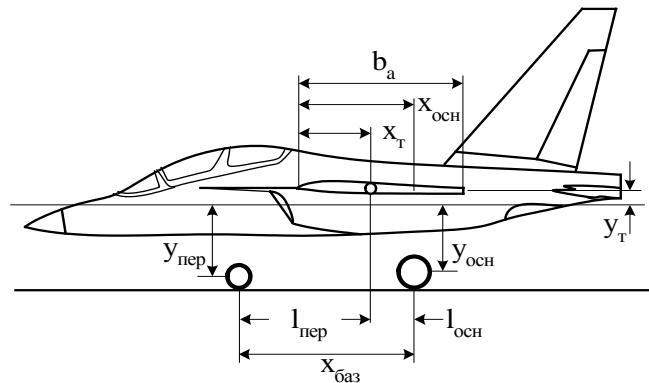


Рис. 3. Геометрические параметры самолета, определяющие нагрузки на шасси

Прогиб пневматика $\delta_{пн.}$ определяется нагрузкой на стойку шасси и давлением накачки пневматика, которое в свою очередь определяется взлетной массой самолета.

Располагаемый тормозной момент определяется давлением в гидроцилиндрах тормозов. Величина фактического тормозного момента M_T определяется соотношением располагаемого момента и момента сцепления. Если $M_{сц.} \leq M_{T,расп.}$, то в работу включается антиюзовая система и фактический тормозной момент снижается до уровня $0,7 \cdot M_{сц.}$. Если угрозы юза нет ($M_{сц.} > M_{T,расп.}$) фактический тормозной момент может поддерживаться на уровне $0,9 \cdot M_{T,расп.}$. Возможны и иные алгоритмы функционирования антиюзовой системы, данные алгоритмы могут быть предметом исследования.

Суммарная сила торможения будет складываться из силы трения колеса передней стойки, а также сил трения и торможения колес, основных стоек шасси:

$$F_{T\Sigma} = f_{мп.} N_{пер.} + (f_T + f_{мп.}) N_{осн.}, \text{ где } f_T = \frac{F_T}{N_{осн.}} = \frac{M_T}{N_{осн.} R_{эфф.}}.$$

Распределение нагрузки между передним и основными колесами определяется геометрическими параметрами самолета и фактическим положением центра масс самолета (рис. 3). Нагрузка на стойки шасси определяется их расстояниями ($l_{пер.}$ и $l_{осн.}$) от центра масс (x_T):

$$N_{пер.} = [G - P \sin(\alpha + \varphi_p) - Y_a - \Delta Y_a] l_{осн.} / l_{пер.};$$

$$N_{осн.} = G - P \sin(\alpha + \varphi_p) - Y_a - \Delta Y_a - N_{пер.}.$$

Величины $l_{пер.}$ и $l_{осн.}$ определяются базой шасси ($x_{баз.}$) и центровкой самолета:

$$l_{пер.} = x_{баз.} - l_{осн.}; \quad l_{осн.} = b_a (\bar{x}_{осн.} - \bar{x}_T),$$

где $\bar{x}_{осн.}$, \bar{x}_T - относительные координаты основных стоек шасси и центра масс самолета в долях средней аэродинамической хорды крыла.

После начала энергичного торможения происходит перераспределение нагрузки с основных на переднюю стойку шасси за счет возникновения моментов от сил трения и торможения колес. Величина этой перераспределенной нагрузки определяется по формуле

$$\Delta N = [F_{пер.} (y_{пер.} + y_T) + F_{Т.осн.} (y_{осн.} + y_T)] / l_{пер.}.$$

Заметное влияние на ускорение разбега и пробега оказывает величина аэродинамического момента тангажа $\Sigma M_{Z аэп.}$. Если $\Sigma M_{Z аэп.} \neq 0$, то происходит перераспределение нагрузки на стойки шасси. При $\Sigma M_{Z аэп.} > 0$ происходит догружение основных стоек шасси ($\Delta N_{осн.} > 0$), увеличивается сила трения и отрицательное ускорение самолета. Величина этой перераспределенной нагрузки определяется по формуле

$$\Delta N_{осн.} = \frac{\Sigma M_{Z аэп.}}{l_{осн.}}.$$

Управление самолетом формируется путем задания потребных угловых скоростей изменения угла атаки $-\dot{\alpha}_n$ и угла крена $-\dot{\gamma}_n$, а также степени дросселирования двигателей $-\bar{u}_p$, давления в тормозной системе и команд на выпуск или уборку различных аэродинамических поверхностей, на включение реверса и т.д. При нормальном взлете, когда все движение самолета происходит в одной вертикальной плоскости $\dot{\gamma}_n = 0$.

Угол отклонения стабилизатора ($\varphi_{ст.}$) при движении самолета на трех опорах может соответствовать некоторому заданному или нейтральному положению, либо положению, обеспечивающему $\Sigma M_{Z аэп.} = 0$. При отрыве передней стойки балансирующее положение стабилизатора определяется суммой моментов тангажа от сил трения колес шасси $-M_Z(F_{осн.})$, реакции опор $-M_Z(N_{осн.})$ и $\Sigma M_{Z аэп.}$:

$$\varphi_{ст.бал.} = \frac{\Sigma M_{Z аэп.} + M_Z(F_{осн.}) + M_Z(N_{осн.})}{m_z^\varphi q S b_a},$$

здесь m_z^φ - показатель эффективности управляемого стабилизатора; q - скоростной напор; S - расчетная площадь крыла самолета; b_a - средняя аэродинамическая хорда.

На некоторых типах самолетов значительный момент тангажа создает силовая установка, если суммарный вектор тяги не проходит через центр масс самолета. В этом случае необходимо учитывать $-M_Z(P)$. После отрыва самолета от ВПП $M_Z(F_{осн.}) = 0$ и $M_Z(N_{осн.}) = 0$.

Проведено моделирование взлетов учебно-тренировочного самолета (УТС) с двухдвигательной силовой установкой при различных вариантах отказов авиационной техники, произошедших при скорости $V_{отк.} = 170$ км/ч.

Рассмотрены три варианта отказов:

- отказ-1 - выход из строя одной из важных систем самолета, не влияющей на работоспособность силовой установки;
- отказ-2 - самопроизвольное падение оборотов и тяги одного двигателя с взлетного режима до малого газа за время $\Delta t = 5$ с;
- отказ-3 - самовыключение одного двигателя с уменьшением тяги с взлетного режима до нуля за время $\Delta t = 2$ с и потеря работоспособности одной из гидросистем со снижением в два раза располагаемого тормозного момента в системе торможения колес шасси.

Для оценки безопасности взлета результаты моделирования сопоставляются с параметрами ВПП, высотой и удаленностью препятствий по курсу взлета. Видно, что при базировании УТС на аэродроме III-го класса (длина ВПП - 1200 м) при возникновении любого из рассмотренных

отказов на скорости $V_{\text{отк.}} \geq 170$ км/ч продолженный взлет в условиях равнинной местности может быть выполнен. Прекращение же взлета в указанных условиях возможно только при втором виде отказа.

Вывод. Создан математический инструмент, позволяющий глубоко исследовать параметры взлета с разбегом любого самолета в различных условиях эксплуатации и решать следующие задачи:

- определять характеристики сбалансированного взлета самолета при заданных условиях базирования и характеристиках отказов авиатехники;
- разрабатывать мероприятия и законы управления системами самолета, направленные на повышение безопасности продолженного или прерванного взлета;
- разрабатывать алгоритмы автоматизации процесса принятия решения о возможности безопасного продолжения или прекращения взлета в различных условиях эксплуатации на основе знания законов изменения скорости и точного позиционирования самолета относительно конца ВПП и препятствий по курсу взлета с помощью системы ГЛОНАС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левицкий С.В., Свиридов Н.А. Динамика полета. - М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2008.

TAKE-OFF SAFETY MODELING AND ASSESSMENT OF AVIATION EQUIPMENT FAILURE CONDITIONS

Levickiy S.V., Levickaya E.V.

Simulating failures mathematical model, on take-off stage, which takes into consideration the possibility of transforming the aerodynamic aircraft configuration, braking system specific features and other operational factors are considered in the article.

Key words: aircraft take-off, simulating mathematical model.

Сведения об авторах

Левицкий Сергей Владимирович, 1955 г.р., окончил Рижское ВВАИУ (1977), академик Академии наук авиации и воздухоплавания, профессор, доктор технических наук, ведущий инженер конструктор НПК «Иркут», автор более 120 научных работ, область научных интересов – оптимизация технических характеристик и режимов полета летательных аппаратов на основе математического моделирования динамики движения.

Левицкая Елена Валерьевна, окончила МАИВТ (1994), методист учебно-методического управления МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – динамика полета летательных аппаратов, организация и методическое обеспечение учебного процесса.

УДК 347.471.33

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ АВИАЦИОННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ РОССИЙСКИХ АВИАКОМПАНИЙ

Ю.М. ЧИНЮЧИН, В.П. БЕРЛЕВ, Д.К. ГОРБУНОВА

Анализируются основные международные требования к системе подготовки авиационных специалистов по техническому обслуживанию воздушных судов с учетом развития мировой гражданской авиации.

Ключевые слова: авиаспециалисты, система обучения, международные требования, национальные стандарты, гармонизация требований.

Согласно статистике Международной ассоциации воздушного транспорта (IATA), каждый год наблюдается прирост пассажиропотока и перевозок грузов авиационным коммерческим транспортом. Так, в период с марта 2012 г. по март 2013 г. мировой прирост объема авиаперевозок, выраженный в пассажиро-километрах, составил 5,9 % [1]. Наблюдающееся активное развитие мировой гражданской авиации требует наличия высококвалифицированных профессиональных кадров, вовлечённых во все процессы конструирования, производства и эксплуатации воздушных судов, в том числе, их технического обслуживания.

Основой высокого уровня профессионализма, необходимого для осуществления авиационной деятельности в современных условиях, является качественная первоначальная подготовка специалистов, учитывающая быстроизменяющиеся тенденции развития гражданской авиации. Рассмотрим соответствующие международные требования, действующие в настоящее время.

Международная организация гражданской авиации (ИКАО), созданная в 1944 г. и объединяющая сегодня 191 страну, включая Россию, разрабатывает и утверждает основополагающие требования в области гражданской авиации, которым страны-члены ИКАО обязаны следовать при разработке национальных стандартов. Однако стоит отметить, что государственные органы при этом не должны строго ограничиваться требованиями ИКАО, а должны учитывать все сопутствующие факторы, включая те, которые характерны для той или иной страны.

Данный факт подчеркивается в «Руководстве по обучению. Часть D-1. Техническое обслуживание воздушных судов (техник/инженер/механик)», где говорится о том, что в нем «...изложены требования к обучению, которые, однако не являются всеохватывающими, и представляют собой рекомендуемые минимальные требования, используемые при подготовке персонала к техническому обслуживанию воздушных судов» [2]. Данный документ представляет собой базис, следуя которому каждая страна, являющаяся действующим членом ИКАО, обязана разработать и принять правила подготовки инженерно-технического персонала, а после этого строго следовать им.

Рассмотрим основные положения, принятые ИКАО в отношении подготовки специалистов, осуществляющих техническое обслуживание (ТО) воздушных судов (ВС).

Исходя из сложности и объёма задач, решаемых авиационными техническими специалистами, процесс их подготовки рекомендуется разбить на 3 этапа:

Этап 1. Знания. Данный этап включает базовую подготовку, после прохождения которой слушатель должен иметь необходимые исходные знания для перехода ко второму этапу подготовки.

Этап 2. Умения. Данный этап включает общую практическую подготовку по процедурам ТО, необходимым для освоения основных навыков до начала работ на действующем парке ВС.

Этап 3. Опыт. Данный этап включает практическую подготовку по выполнению работ непосредственно на рабочих местах, на конкретных типах авиационной техники и видах обслуживания.

В свою очередь, теоретическую подготовку подразделяют на составляющие элементы, которые можно объединить в 4 группы (рис. 1): изучение авиационного законодательства; изучение конструкции и технического обслуживания воздушных судов; изучение естественных наук; анализ возможностей человека.



Рис. 1. Компоненты Программы теоретической подготовки специалистов по ТО ВС

В зависимости от рода деятельности (например, оперативное ТО) и специализации базовые дисциплины изучаются будущими техниками и инженерами в разном объёме. Для градации глубины изучения предмета приняты коды с 1 по 3 (табл. 1) по мере возрастания объёма изучаемых дисциплин.

Любопытно отметить, что разделение на три уровня глубины изучения предметов пересекается с теорией инженерного творчества, разработанной в начале XX века российским учёным П.К. Энгельмейером (1855-1942). Ученый выделил три этапа, или три акта, сопутствующих любому процессу изобретения: появление замысла; выработка плана реализации замысла; практическое воплощение изобретения согласно намеченному плану.

Будучи по профессии инженером, П.К. Энгельмейер рассматривает, в первую очередь, инженерное творчество, при этом механизм такого вида творчества представляет собой, во-первых, появление замысла – выработку основного принципа работы будущего изобретения или открытия, во-вторых, выработку плана-схемы или чертежа осуществления данного замысла, в-третьих, конструктивное исполнение изобретения. Данная теория, созданная, в первую очередь, в качестве базиса для патентоведения, получила широкое распространение и в других областях науки и техники, в том числе её с успехом можно перенести и на образовательную сферу.

Таблица 1

Коды, обозначающие глубину изучения дисциплин

Код (этап)	Уровень способностей/требований
1	Означает базовое понимание предмета. От слушателей ожидается понимание предмета на начальном уровне, но не способность применять его на практике
2	Означает понимание предмета и способность (если это применимо) применять его на практике с помощью справочного материала и инструкций
3	Означает хорошее понимание предмета и способность применять его с той оперативностью, точностью и осмотрительностью, которых требуют конкретные обстоятельства

Выделив три этапа творческого процесса, проведём аналогию по отношению к содержанию учебных программ. Действительно, в зависимости от необходимых в практической деятельности знаний, можно каждый технический учебный предмет или его составляющую разделить на три уровня и преподавать их в зависимости от специальности и рода деятельности.

Данная концепция, как отмечалось ранее, лежит в основе законодательства ИКАО.

Идентичный подход применяется и в Европейском авиационном законодательстве по подготовке инженерно-технического персонала, изложенном в приложении 3 (Part-66) к Решению Европейской комиссии 2042/2003 от 20 ноября 2003 г.

Законодательство Европейского агентства авиационной безопасности (EASA), изложенное в Part-66, в частности включает в себя требования по базовому образованию, которое состоит из 17 дисциплин (модулей), изучаемых в зависимости от специализации и рода деятельности. При этом каждая дисциплина делится, в свою очередь, на подразделы. Содержание каждого подраздела распределено на три уровня, а именно: уровень 1 – общее знакомство с принципиальными основами изучаемого предмета; уровень 2 – общее знание теоретических и практических аспектов; уровень 3 – детальное знание теоретической и практической части предмета (п. 1 приложения I к требованиям Part-66) [4].

Набор предметов предопределён упомянутыми выше рекомендациями ИКАО и состоит из: авиационного законодательства (модуль 10); предметов по конструированию и техническому обслуживанию ВС (авиационные материалы – модуль 6, стандартные операции по ТО – модуль 7 и т.д.); естественных наук (математика – модуль 1, физика – модуль 2, основы электричества – модуль 3 и т.д.); возможностей человека (аспекты человеческого фактора – модуль 9).

В приложении к требованиям Part-66 приведены данные, отображающие необходимый уровень подготовки авиационного техника/инженера по каждому предмету и его подразделам в зависимости от специализации и типа ВС (самолеты/вертолёты с различными типами двигателей). Например, дисциплина «Цифровая техника/Электронные приборные системы» (модуль 5), а именно её первый подраздел - «5.1. Электронные приборные системы» представляется в виде табл. 2.

Таблица 2

Пример распределения глубины изучения предметов по EASA – Part-66
(Module 5. Digital Techniques/Electronic Instrument Systems)

MODULE 5	LEVEL				
	A	B1-1 B1-3	B1-2 B1-4	B2	B3
5.1. Electronic Instrument Systems Typical systems arrangements and cockpit layout of electronic instrument systems	1	2	2	3	1

Как видно из приведенной таблицы, инженеры категории «В2», работающие на авиационном и радиоэлектронном оборудовании, изучают данный подраздел по самому глубокому 3-му уровню, в то же время инженеры категории «В1», специализирующиеся на техническом обслуживании планера и двигателей – по 2-му уровню, наконец, техники категории «А», осуществляющие простое оперативное техническое обслуживание – по 1-му уровню, представляющему из себя общее знакомство с предметом.

Выводы

Таким образом, Европейское законодательство коррелирует с теми рекомендациями, которые разработаны и приняты Международной организацией гражданской авиации (ИКАО).

В нашей стране программы базовой подготовки авиационных специалистов разрабатываются на основе национальных образовательных стандартов и отраслевых требований, в свою очередь, учитывающих рекомендации ИКАО. Стоит отметить, что в последнее время наблюдается тенденция по гармонизации российских авиационных правил с Европейским законодательством, в основном, в связи с использованием авиакомпаниями России ВС иностранного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Http://www.iata.org](http://www.iata.org).
2. **Международная организация гражданской авиации**. Дос. 7192, Руководство по обучению. – Ч. D-1. Техническое обслуживание воздушных судов (техник/инженер/механик). - 2-е изд. - 2003.
3. **Энгельмейер П.К.** Теория творчества / с предисл. Д.Н. Овсяннико-Куликовского, Э. Маха. - изд. 2-е. - М.: Изд-во ЛКИ, 2007.
4. **Commission Regulation (EC) No 2042/2003 of 20 November 2003** on the continuing airworthiness of aircraft and aeronautical products, parts and appliances, and on the approval of organisations and personnel involved in these tasks. – Brussels, 2003.

INTERNATIONAL MAINTENANCE PERSONNEL TRAINING REQUIREMENTS CHARACTERISTICS FOR RUSSIAN AIRLINES AIRCRAFT OPERATING

Chinyuchin Y.M., Berlev V. P., Gorbunova D.K.

The international maintenance personal training requirements are considered and analyzed with regards to continuous civil aviation worldwide growth.

Keywords: aircraft maintenance personnel, training system, international requirements, national standards, harmonization of requirements.

Сведения об авторах

Чинючин Юрий Михайлович, 1941 г.р., окончил КуАИ им. академика С.П. Королева (1965), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 350 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация и поддержание летной годности воздушных судов, анализ и синтез конструктивно-эксплуатационных свойств авиационной техники.

Берлев Владислав Павлович, 1983 г.р., окончил МГТУ ГА (2005), соискатель МГТУ ГА, автор 11 научных работ, область научных интересов – подготовка авиационных специалистов, философия науки и техники.

Горбунова Дарья Константиновна, окончила МГТУ ГА (2011), аспирантка МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация ЛА.

УДК 629.735.017

ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС АВИАЦИОННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ЗАПАДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.А. НАЙДА, С.Н. ЯБЛОНСКИЙ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Чинючиным Ю.М.

В статье обсуждаются методические вопросы подготовки и проведения учебных занятий с применением авиационных тренажеров.

Ключевые слова: тренажер, метод, обучение на основе компьютерных технологий.

В настоящее время основная доля авиaperевозок на средних и дальних авиалиниях российских авиакомпаний осуществляется на ВС зарубежного производства. В связи с этим становится актуальной задача внедрения в учебный процесс авиационных учебных заведений учебных материалов о конструкции и правилах технической эксплуатации зарубежной авиационной техники (АТ). Московский государственный технический университет ГА в настоящее время обладает современной тренажерной базой, включающей в себя:

Специализированный тренажер для подготовки студентов (курсантов) по специальностям «Техническая эксплуатация ЛА и двигателей», «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов», «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» (изготовитель – фирма FAROS, программное обеспечение – фирма «НИТА», г. Санкт-Петербург);

авиационный тренажер для обучения пилотированию и техническому обслуживанию самолета А-320 (дисплейный класс на 12 автоматизированных рабочих мест студентов, изготовитель – фирма FAROS);

авиационные тренажеры для полноразмерной имитации кабины экипажа самолетов А-320 м Б-737 (изготовитель – фирма FAROS) для обучения пилотированию и техническому обслуживанию.

Основными видами учебных занятий с применением тренажерной техники могут быть лабораторные и практические занятия. При проведении лекционных занятий в поточных аудиториях возможно использование материалов из базового теоретического курса, который разрабатывают авиационные учебные центры по типам зарубежных ВС. Для этого необходимо переписать учебные материалы из этого курса на видеокамеру с последующим показом видеоролика в поточной аудитории с помощью визуально-проекционного устройства.

Наиболее рациональным видом учебных занятий, проводимых с использованием тренажерной техники, являются лабораторные работы. В данном случае полностью обоснован статус данного вида занятий, поскольку применяется авиационная техника. Исследовательская часть лабораторной работы связана с применением нестандартных режимов функционирования бортовой системы самолета и поиском причины отказов. Практическая реализация лабораторной работы обеспечивается наличием дисплейного класса с 12-ю автоматизированными рабочими местами для студентов (по два студента на каждом рабочем месте). Тренажер в виде имитационной кабины экипажа ВС имеет меньше дидактических возможностей. Его целесообразно использовать для подготовки студентов к проведению практических занятий или лабораторных работ под руководством преподавателя (инструктора).

К сожалению, тренажеры, разработанные фирмой FAROS, не позволяют получить навыки выполнения технологических операций при проведении технического обслуживания самолета.

Такую возможность представляет специализированный тренажер фирмы НИТА. Однако для этого требуется доработка прикладного программного обеспечения тренажера. Тренажер должен иметь два режима работы: режим обучения (режим тренировки) и зачетный режим. В режиме обучения должны фиксироваться ошибки обучаемого, а также должны быть гиперссылки на автоматизированную базу учебных материалов, где указаны учебные материалы, изучение которых позволит исправить допущенную ошибку. В режиме обучения на экране дисплея присутствует поле подсказок, на котором в текстовом формате индицируется содержание следующего шага алгоритма проверки функциональной системы самолета. После безошибочного выполнения теста обучаемый переходит к зачетному режиму работы тренажера. Данный режим работы, кроме ошибок, фиксирует также общее время работы на тренажере. Такая методика выполнения учебного занятия позволяет обучаемому получить не только знания, но и практические навыки по проверке правильности функционирования бортовых систем самолета. В настоящее время разработано техническое задание на модификацию прикладного программного обеспечения тренажера.

Методика проведения лабораторных (практических) занятий с применением тренажерной техники имеет ряд особенностей. Учебное пособие по проведению занятий готовит преподаватель с участием инструктора тренажера. Общая часть учебного пособия должна включать краткое описание исследуемой системы самолета, а также штатных режимов функционирования системы. Исходные материалы для пособия могут быть получены из базового теоретического курса по данному типу ВС (Training Manual). Желательно использовать анимированные схемы функциональной системы. Наименования конструктивных элементов, органов контроля и управления системы должны быть представлены на английском языке с переводом на русский. Поэтому в качестве приложения к учебному пособию преподаватель должен разработать глоссарий в объеме тематики учебного занятия. Глоссарий должен содержать кроме дословного перевода термина также краткое его толкование. Например: actuator – исполнительный механизм: механическое устройство, управляемое электрически, гидравлически, пневматически или механически для передачи движения между различными компонентами.

Порядок проведения практического занятия (лабораторной работы) может быть следующим. После проверки готовности студентов (в т.ч. и языковой) выделяется время для ознакомления студента под руководством инструктора (преподавателя) с органами контроля и управления системы самолета. После допуска к работе студент проверяет правильность функционирования системы в штатном режиме с фиксацией функциональных параметров системы в протоколе испытаний. После ввода инструктором условий отказа студент проверяет правильность функционирования системы с фиксацией признака ее отказа в протоколе испытаний. Затем студент приступает к поиску причины отказа и ее устранению, пользуясь технологией trouble shooting (поиск и устранение отказов), а также технической документацией: АММ (Руководство по техническому обслуживанию), SRM (Руководство по ремонту конструкции), TASK CARD (Технологические карты). После устранения причины отказа вновь проверяется правильность функционирования системы самолета.

В настоящее время существует ряд проблем, от решения которых зависит успешное внедрение в учебный процесс обучения на зарубежной АТ с применением тренажеров. Одной из основных проблем является языковая профессионально-ориентированная подготовка студентов. Формой такой подготовки может быть изучение и последующее тестирование в авиационных учебных центрах (например, в учебном центре авиакомпания «Трансаэро»). Для студента достаточно знание английского языка на уровне понимания технического текста (Reading Comprehension). Преподаватель и инструктор должны знать английский язык на уровне интервью (Speaking).

Другая проблема связана с допуском к работе на тренажере. Допуск оформляется выдачей сертификата после 16 часов обучения представителем фирмы-поставщика тренажера. Пока не решен вопрос о возможности модификации прикладного программного обеспечения специали-

зированной тренажера фирмы НИТА. Для успешного базового обучения преподавателей, инструкторов и авиатехников требуется приобретение УМК (учебно-методического комплекса) в сертифицированных зарубежных учебных центрах. Остается нерешенным вопрос легитимности использования учебных материалов, разработанных учебными центрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Найда В.А.** Пособие по применению электронного тренажера для запуска вспомогательной силовой установки на самолете Ил-86. - М.: МГТУ ГА, 2009.

ORGANIZATIONAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF INTRODUCTION IN TRAINING PROCESS WESTERN MADE MAINTENANCE PROCEDURE SIMULATORS

Naida V.A., Iablonskij S.N.

The article is review the experience of training preparation with trainer assistance.

Key words: trainer, method, computer based training.

Сведения об авторах

Найда Владимир Акимович, 1938 г.р., окончил КИИГА (1961), кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиационных двигателей МГТУ ГА, автор более 20 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация ЛА, совершенствование системы обучения в вузах.

Яблонский Сергей Николаевич, 1955г.р., окончил Рижское ВВИАУ им. Я. Алксниса (1977), ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского (ПРИС, 1993), кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 30 научных работ, почетный работник ВПО РФ (2009), область научных интересов – техническая эксплуатация ЛА.

УДК 621.89+665.6

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ АВИАТОПЛИВА К ПРИМЕНЕНИЮ

А.Н. ТИМОШЕНКО, К.И. ГРЯДУНОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Коняевым Е.А.

Представлена математическая модель седиментации частиц кварца в авиатопливе.

Ключевые слова: седиментация, скорость оседания, отстаивание.

Одним из самых длительных этапов процесса подготовки топлива к заправке в баки ВС является седиментация - отстаивание частиц загрязнения в расходных резервуарах.

Процессы седиментации широко используются во многих отраслях производства (обогащение полезных ископаемых, нефтепереработка, металлургия, химические технологии, атомная промышленность, очистка сточных вод, производство продуктов питания, фармацевтика, медицина и т.д.). В различных областях науки и техники главной практической целью исследователей процессов седиментации является определение скорости седиментации. Знание этого параметра позволяет оперативно управлять ходом технологического процесса отстаивания.

В настоящее время в гражданской авиации используется фиксированный норматив времени отстаивания авиатоплива: 4 часа на 1 м уровня, введенным указанием МГА СССР в 1966 г. Скорость оседания частиц для данного норматива – 0,07 мм/с.

Применение фиксированного норматива порождает ряд проблем:

- проблема оценки качества очистки авиатоплива после отстаивания. Так как критерии степени очистки авиатоплива при отстаивании не установлены, то в принципе невозможно оценить качество очистки авиатоплива после отстаивания любой продолжительности. Соответственно, невозможно оценить завершенность процесса отстаивания;
- проблема прогнозирования дисперсного состава системы «авиатопливо – механические примеси» в ходе отстаивания. Отсутствие знаний о закономерностях отстаивания дисперсной системы «авиатопливо – механические примеси» (зависимости времени отстаивания от вязкости и плотности авиатоплива и природы частиц механических примесей) не позволяет прогнозировать дисперсный состав системы в различное время в различных точках резервуара для хранения авиатоплива. Технические средства для измерения дисперсного состава системы в реальных резервуарах для хранения авиатоплива не разработаны;
- проблема оценки эффективности процесса отстаивания. Так как критерии степени очистки авиатоплива при отстаивании не установлены и закономерности отстаивания дисперсной системы «авиатопливо – механические примеси» не известны, то оценить точность и эффективность процесса отстаивания авиатоплива невозможно. То есть, фиксированный норматив времени отстаивания может оказаться как избыточным (при высоких значениях температуры), так и недостаточным (при низких);
- проблема возможного необоснованного завышения времени подготовки авиатоплива к применению вследствие низкой эффективности действующего норматива отстаивания авиатоплива. Это обстоятельство является потенциальным фактором либо увеличения продолжительности ожидания заправки самолетов авиатопливом при руководстве нормативом (вплоть до срыва регулярности полетов в ряде случаев), либо принятия научно неподкрепленных экспертных решений руководством аэропортов и авиакомпаний о заправке воздушных судов неотстоявшимся авиатопливом.

Поэтому управление процессом отстаивания на основе применения математической модели седиментации частиц загрязнения в авиатопливе представляется актуальным.

Скорость оседания частиц дисперсной фазы в значительной степени определяется вязкостью и плотностью дисперсионной среды, которые, в свою очередь, зависят от температуры, а также природой частиц, под которой понимается большое количество физико-химических факторов, обусловленных происхождением и строением частиц.

Известно большое число математических моделей седиментации. Общим в рассмотренных моделях является то, что расчет силы сопротивления основан на решении системы уравнений Навье-Стокса для движения шарообразного тела. Отличительной особенностью моделей является диапазон чисел Рейнольдса, для которых они построены.

Открывает этот ряд моделей для самых малых значений числа Рейнольдса Re формула Стокса, которую можно представить в виде

$$v = \frac{2 \cdot g \cdot r_{\text{ч}}^2}{9 \cdot \nu} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{ч}}}{\rho_{\text{т}}} - 1 \right) = \frac{2180 \cdot r_{\text{ч}}^2}{\nu} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{ч}}}{\rho_{\text{т}}} - 1 \right), \quad (1)$$

где $r_{\text{ч}}$ – радиус частицы, мм; ν – кинематический коэффициент вязкости, мм²/с; $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частицы, кг/м³; $\rho_{\text{т}}$ – плотность авиатоплива, кг/м³.

Однако в рамках авиационной химмотологии считается, что возможности использования формулы Стокса в практических целях для расчета времени очистки авиатоплива ограничены [1; 2]. Это объясняют допущениями и упрощениями, принятыми при выводе формулы.

В работах Дж. Хаппеля и Г. Бреннера [4], Б.В. Кизевальтера [5] выполнен детальный анализ аналитических и эмпирических формул для расчета скорости осаждения несферических тел при различных значениях числа Рейнольдса Re . В работах содержатся одинаковые выводы и рекомендации об использовании для практических расчетов скорости осаждения v несферических и коэффициента сопротивления изометрических частиц при числах Рейнольдса $Re < 0,05$ эмпирических формул Петтиджона и Кристиансена, основанных на использовании закона Стокса:

$$v = C_{\Psi'} \cdot \frac{2180 \cdot r_{\text{сф}}^2}{\nu} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{ч}}}{\rho_{\text{т}}} - 1 \right); \quad (2)$$

$$C_{\Psi'} = 0,843 \cdot \lg \frac{\Psi'}{0,065}, \quad (3)$$

где $C_{\Psi'}$ – коэффициент сферичности (коэффициент формы), который представляет собой отношение поверхности эквивалентной сферы $S_{\text{сф}}$, равной по объему измеряемой частице, к поверхности частицы $S_{\text{ч}}$; коэффициент $C_{\Psi'}$ для некоторых частиц простой неправильной формы определяют расчетно-опытным путем; Ψ' – коэффициент сопротивления реальной частицы, форма которой отличается от шара.

Единственным возможным способом определения вязкостно-температурной характеристики авиатоплива $\nu = f(t)$ является эксперимент с последующей аппроксимацией полученных данных.

Обобщенные данные о вязкостно-температурных характеристиках авиатоплив марок ТС-1 и РТ, рекомендованные для использования в гражданской авиации, приведены в справочнике «Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив» [6] табл. 1.

Известно большое число эмпирических формул, связывающих вязкость жидкостей с их температурой. Чаще всего они представляют собой аппроксимационные формулы, в основе которых используется показательная (экспоненциальная) зависимость типа

$$y = c \cdot a^{bx}, \quad (4)$$

где b, c – константы.

Таблица 1

Зависимость коэффициента кинематической вязкости ν авиатоплив от температуры

Температура авиатоплива, °С	Коэффициент кинематической вязкости ν авиатоплив марок ТС-1, РТ и смеси авиатоплив ТС-1 и РТ, мм ² /с		
	ТС-1	РТ	Смесь ТС-1 и РТ
-60	13,33	11,45	13,33
-50	8,09	7,24	8,09
-40	5,42	5,00	5,42
-30	3,89	3,68	3,89
-20	2,95	2,83	2,95
-10	2,32	2,26	2,32
0	1,89	1,86	1,89
20	1,34	1,34	1,34
40	1,01	1,03	1,03
60	0,802	0,824	0,824
80	0,658	0,682	0,682
100	0,555	0,580	0,580
120	0,479	0,503	0,503
140	0,420	0,443	0,443
160	0,373	0,396	0,396
180	0,336	0,358	0,358
200	0,305	0,327	0,327

Константы, входящие в аппроксимирующие формулы (b, c), не имеют физического смысла. Широкое распространение за рубежом [ASTM D 341] и в российской химмотологии [6] для аппроксимации кинематического коэффициента вязкости ν нефтепродуктов в зависимости от температуры t получили различные варианты формулы Вальтера (вариант формулы определяется ожидаемым диапазоном изменения вязкости нефтепродукта). Для авиатоплив авторами работы [7] рекомендован один из таких вариантов формулы Вальтера

$$\lg(\lg(\nu + 1)) = \frac{A}{t + 273} - B, \quad (5)$$

где ν – мм²/с; t – °С; A и B – эмпирические коэффициенты (индивидуальные для каждого вида и марки нефтепродукта).

Значение коэффициентов A , B в уравнении (5) определяются по следующим формулам:

$$B = \frac{(\lg \lg(\nu_2 + 1)) \cdot T_2 - (\lg \lg(\nu_1 + 1)) \cdot T_1}{T_1 - T_2}, \quad (6)$$

$$A = (\lg(\lg(\nu_2 + 1)) + B) \cdot T_2, \quad (7)$$

где T_1 , T_2 – температуры топлива в точках, достаточно отстоящих друг от друга, К; ν_1 , ν_2 – коэффициенты кинематической вязкости при температурах T_1 и T_2 , мм²/с; рассчитанные коэффициенты для авиатоплив ТС-1 и РТ: $A = 379,839$; $B = 1,72$.

Из формулы (5) расчетное значение коэффициента кинематической вязкости ν для заданной температуры t авиатоплива будет определяться по формуле:

$$\nu = 10^{10} \left(\frac{A}{t+273} - B \right) \quad (8)$$

Авторами работы по результатам выполненных расчетов получены данные, приведенные на рис. 1, 2, 3.

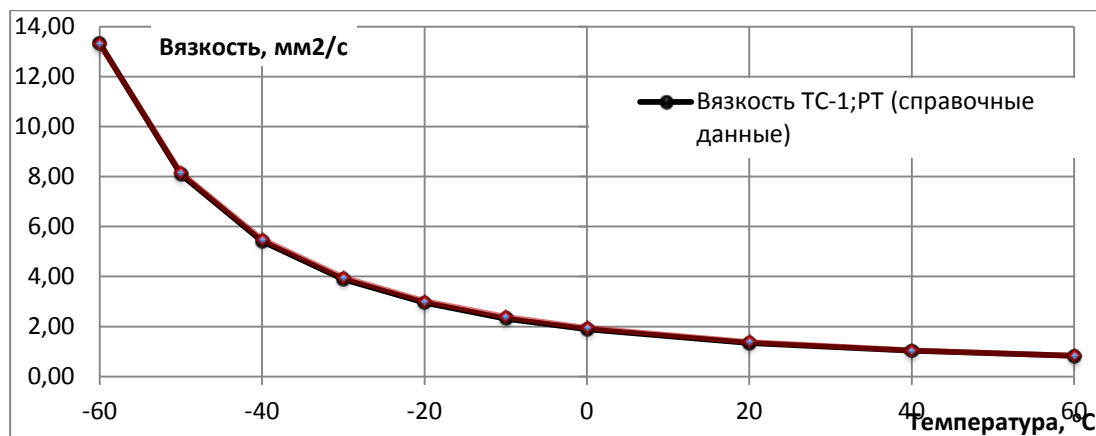


Рис. 1. Вязкостно-температурная характеристика смеси авиатоплива ТС-1 и РТ по эмпирическим данным и её аппроксимация по формуле Вальтера

Приведенные данные на рис. 1 показывают приемлемую аппроксимацию справочных данных формулой Вальтера.

График зависимости скоростей оседания частиц кварца различных диаметров от температуры авиатоплива представлен на рис. 2.

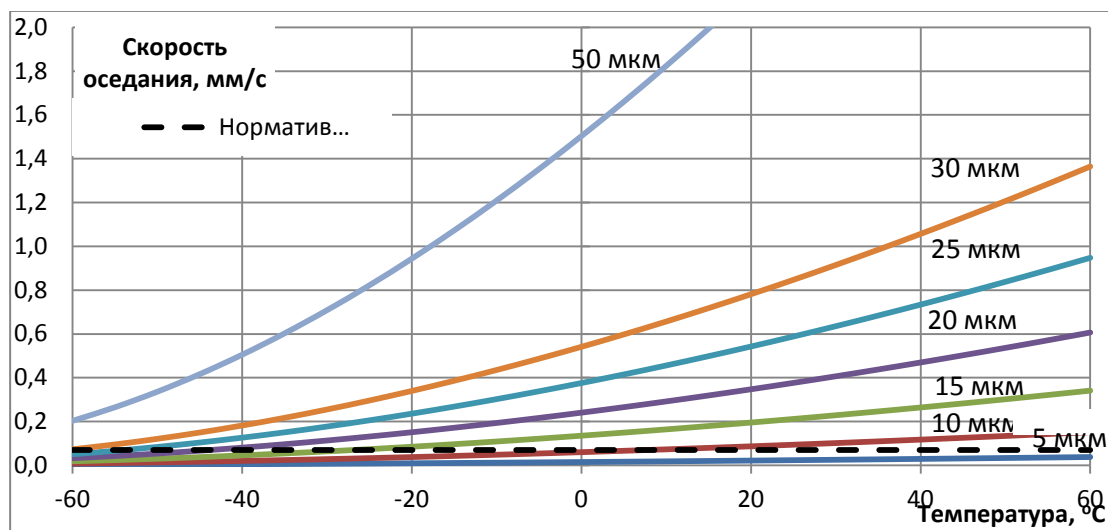


Рис. 2. Зависимости скоростей оседания частиц кварца различных диаметров от температуры авиатоплива

Анализ данных, приведенных на рис. 2, показывает, что при температуре топлива +20°С скорость седиментации частиц кварца диаметром 20 мкм в 4,4 раза выше нормативной скорости; во столько же раз будет меньше время отстаивания этих частиц.

Зависимость диаметров частиц кварца, оседающих с нормативной скоростью 0,07 мм/с при различных температурах авиатоплива показана на рис. 3.

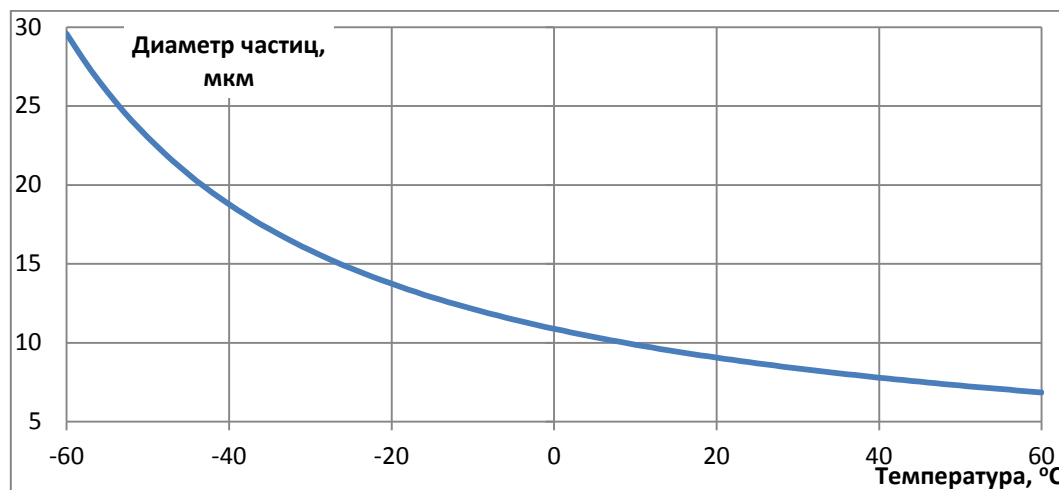


Рис. 3. Диаметры частиц кварца, оседающих с нормативной скоростью 0,07 мм/с, при различных температурах авиатоплива

Анализ данных, приведенных на рис. 3 показывает, что при температурах ниже -43°C норматив не обеспечивает оседания частиц размером 20 мкм.

Таким образом, применение математической модели Петтиджона-Кристиансена (2) позволяет повысить точность определения параметров технологического процесса очистки авиатоплива методом отстаивания при различных температурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. - Л.: Недра, 1982.
2. Коваленко В.П. Загрязнения и очистка нефтяных масел. - М.: Химия, 1978.
3. Чертков Я.Б., Рыбаков К.В., Зрелов В.Н. Загрязнения и методы очистки нефтяных топлив. - М.: Химия, 1970.
4. Хаппель Дж., Бреннер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса / пер. с англ. - М.: Мир, 1976.
5. Кизевальтер Б.В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения. - М.: Недра, 1979.
6. Дубовкин Н.Ф., Маланичева В.Г., Массур Ю.П., Федоров Е.П. Справочник: физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив. - М.: Химия, 1985.
7. Коваленко В.П., Ильинский А.А. Основы техники очистки жидкости от механических загрязнений. - М.: Химия, 1982.

AVIATION FUEL USAGE PREPARATION TECHNOLOGICAL PROCESS EFFICIENCY IMPROVEMENT

Gryadunov K.I., Timoshenko A.N.

The mathematical model of particles quartz sedimentation in aviation fuel is presented.

Key words: sedimentation, rate of sedimentation.

Сведения об авторах

Тимошенко Андрей Николаевич, 1958 г.р., окончил МИИ ГА (1981), зам. директора ЦС ГСМ ГосНИИ ГА, автор 22 научных работ, область научных интересов – эксплуатация воздушного транспорта, обеспечение качества авиационных ГСМ.

Грядунув Константин Игоревич, 1986 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), ведущий инженер МГТУ ГА, автор 11 научных работ, область научных интересов – эксплуатация воздушного транспорта, техническое диагностирование пар трения ГТД.

УДК 621.89+665.6

СЕДИМЕНТАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ИЗНАШИВАНИЯ В МАСЛАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

К.И. ГРЯДУНОВ, А.Н. ТИМОШЕНКО

Статья представлена доктором технических наук, профессором Коняевым Е.А.

Представлена математическая модель седиментации металлических частиц в масле МС-8п.

Ключевые слова: продукты износа пар трения, седиментация, скорость оседания.

Результаты анализа проб масел на наличие продуктов износа существенно зависят от методики и времени отбора проб. Методики отбора проб предусматривают ограничение времени отбора проб не более 30 минут. Представляет интерес определение размеров и материалов частиц загрязнений, оседающих в указанный временной интервал.

Гранулометрические анализы показывают, что при нормальном изнашивании (двигатель исправен) размер частиц редко превышает размер 1 мкм [1; 2] и не превышают 5 мкм [3; 4; 5]. В случае повреждаемости деталей и узлов размер частиц возрастает до 10-80 мкм [1; 6]. Большие размеры частиц характеризуют начало схватывания металлов, большие усталостные повреждения, коррозию и при размерах частиц более 30 мкм - неисправный двигатель.

В связи с этим, принято решение оценивать параметры при оседании частиц размерами от 1 до 300 мкм. Скорость оседания частиц износа зависит от их размера и плотности, а также вязкости масла.

Для оценки вязкостно-температурных свойств масел используют зависимость вязкости от температуры по уравнению Вальтера [8]

$$\ln \ln(v + 0.8) = A - B \lg T. \quad (1)$$

Величина В - тангенса угла наклона прямой - характерна для каждого масла.

Зная кинематические вязкости v_1 и v_2 при температурах T_1 и T_2 , можно вычислить В по следующему уравнению [8]

$$B = \frac{\ln \ln(v_1 + 0.8) - \ln \ln(v_2 + 0.8)}{\lg T_2 - \lg T_1}. \quad (2)$$

Из табл. 1 для масла МС-8п берем значения v_1 , v_2 , T_1 , T_2 и по формуле (2) вычисляем значение В

$$B=4,099.$$

Таблица 1

Вязкостно-температурные характеристики минеральных масел
для турбореактивных двигателей

Показатели	МС-8п	МС-8рк	МК-8п	МК-8
Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре 50 °С, не менее	8,0		8,3	
-40 °С, не более	4000	5000	6500	6500
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	875	900	885	885

Коэффициент A определяем по формуле (1) при известных из табл. 1 [9] значениях вязкости и температуры

$$A=24,457.$$

Таким образом, окончательное уравнение вязкостно-температурной характеристики для масла МС-8п, полученное из уравнения (1) подстановкой вычисленных коэффициентов

$$\ln \ln(\nu + 0.8) = 24,457 - 4,099 \lg T. \quad (3)$$

В явном виде зависимость вязкости от температуры соответственно

$$\nu = 2,718^{2,718^{(24,457 - 4,099 \lg T)}} - 0,8, \quad (4)$$

где ν – вязкость масла, мм²/с; T – температура масла, К.

Вязкостно-температурная характеристика масла МС-8п по формуле (4) будет выглядеть, как показано на рис. 1-2.

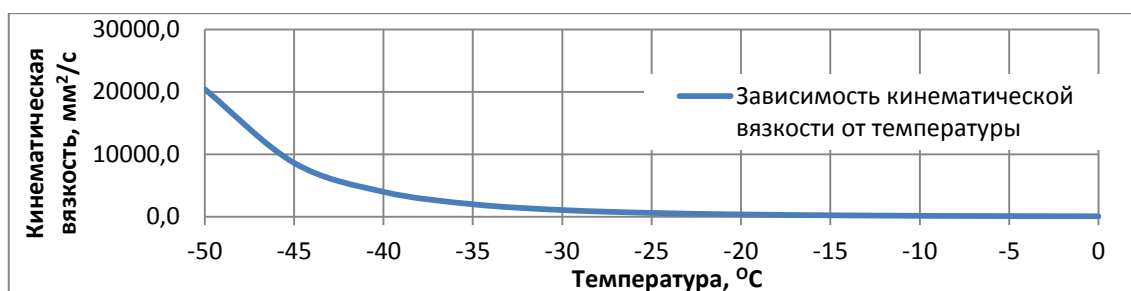


Рис. 1. Вязкостно-температурная характеристика масла МС-8п для диапазона температур от -50 до 0 °C

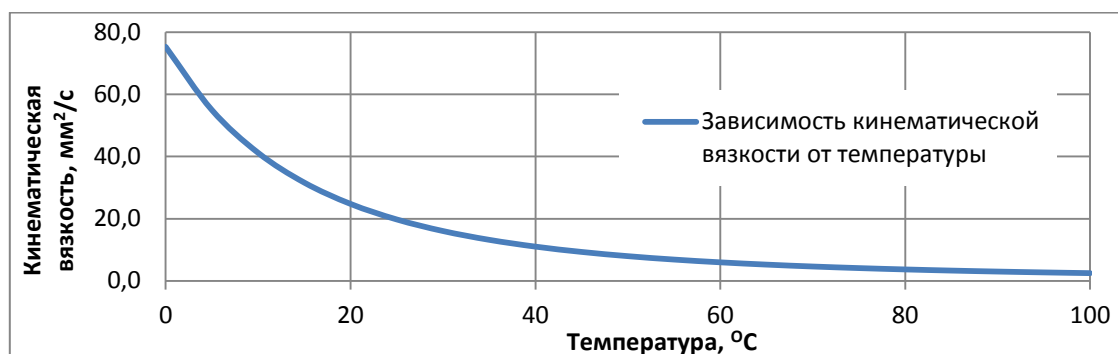


Рис. 2. Вязкостно-температурная характеристика масла МС-8п для диапазона температур от 0 до 100 °C

Проведем оценку времени осаждения различных частиц в масле МС-8п.

Уравнение для установившейся скорости оседания [10]

$$V_0 = \frac{2180 r_3^2}{\nu_M} \cdot \left(\frac{\rho_3}{\rho_M} - 1 \right). \quad (5)$$

Формула (5) получена при использовании следующих размерностей: V_0 - м/с; r_3 - м; ν_M - м²/с.

Из формулы (5) очевидно, что скорость оседания частицы V_0 зависит от вязкости масла ν_M и его плотности ρ_M , которые, в свою очередь, зависят от температуры масла t .

Для расчетного определения плотности масла ρ_M в зависимости от температуры используется выражение [7]

$$\rho_M = (1 + 0,001317(t - 20))\rho_{20} - 0,001825(t - 20), \quad (6)$$

где t – температура, °C; $\rho_{20} = 875$ кг/м³ - плотность масла МС-8п при 20 °C.

Зависимость скорости оседания частиц диаметром 3 мкм от температуры масла показана на рис. 3.

Из формулы (5) очевидно, что скорость оседания меньше у частиц из материалов с меньшей плотностью. Из рассматриваемых частиц загрязнения наименьшую плотность имеет Al (2700 кг/м^3). Поэтому и время оседания у него будет наибольшим. Учитывая, что уровень масла в коробке приводов составляет примерно 40 см, на рис. 4, 5 показаны зависимости времени оседания частиц алюминия различных диаметров от температуры (диапазон 30-90°C).

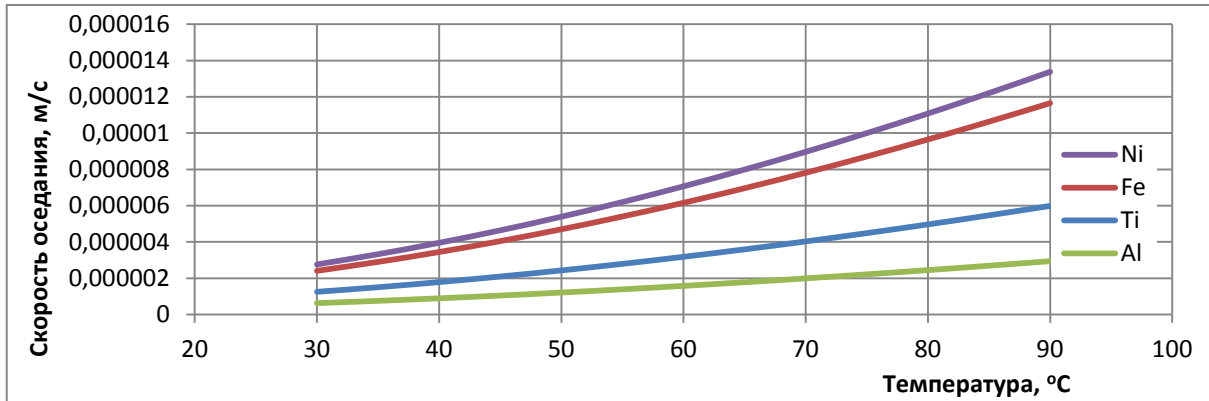


Рис. 3. Зависимость скорости оседания от температуры

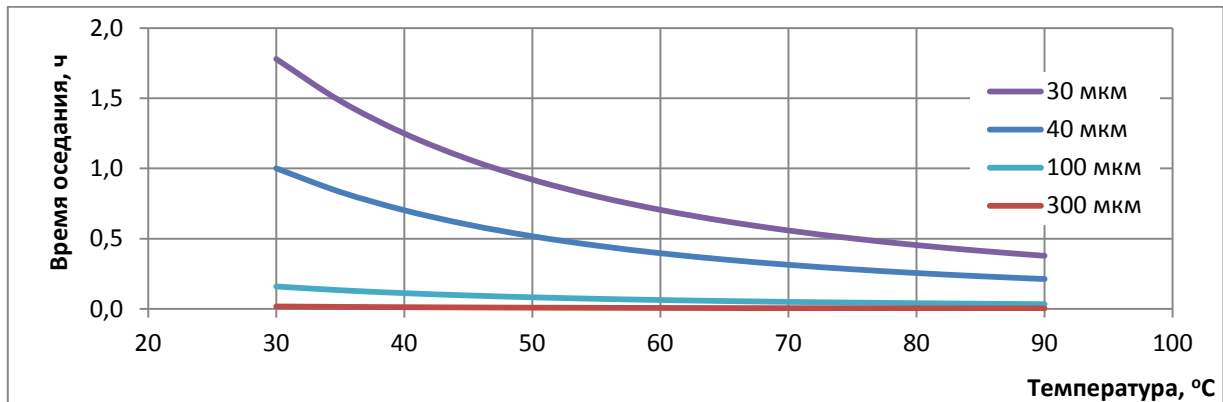


Рис. 4. Зависимость времени оседания частиц Al от температуры

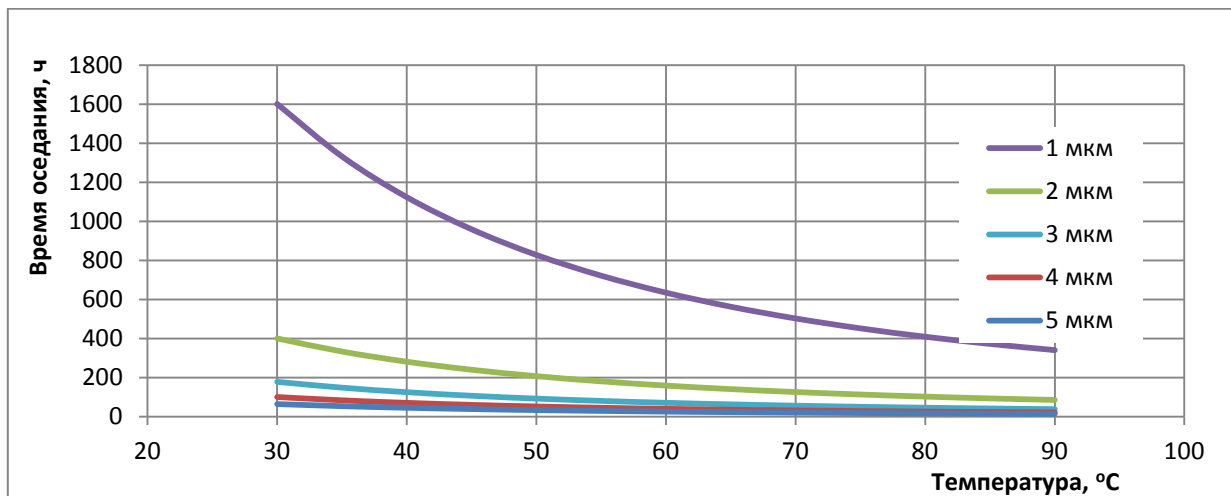


Рис. 5. Зависимость времени оседания частиц Al от температуры

Учитывая, что характерная температура после останова двигателя составляет 70°C , на рис. 6, 7 показаны зависимости времени оседания частиц (уровень масла 40 см) от их радиуса при данной температуре.

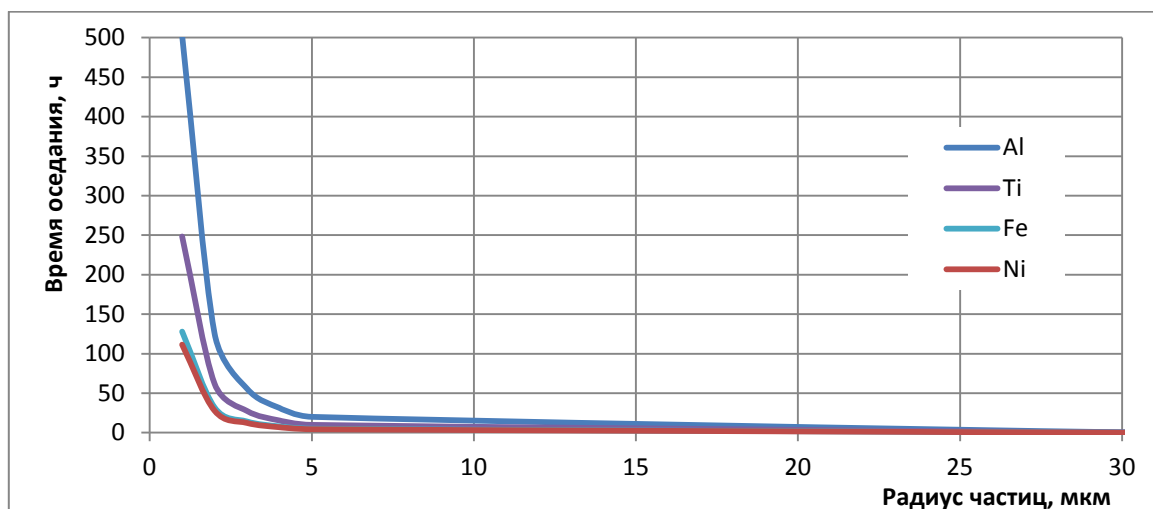


Рис. 6. Зависимость времени оседания частиц от их радиуса при $t=70^{\circ}\text{C}$

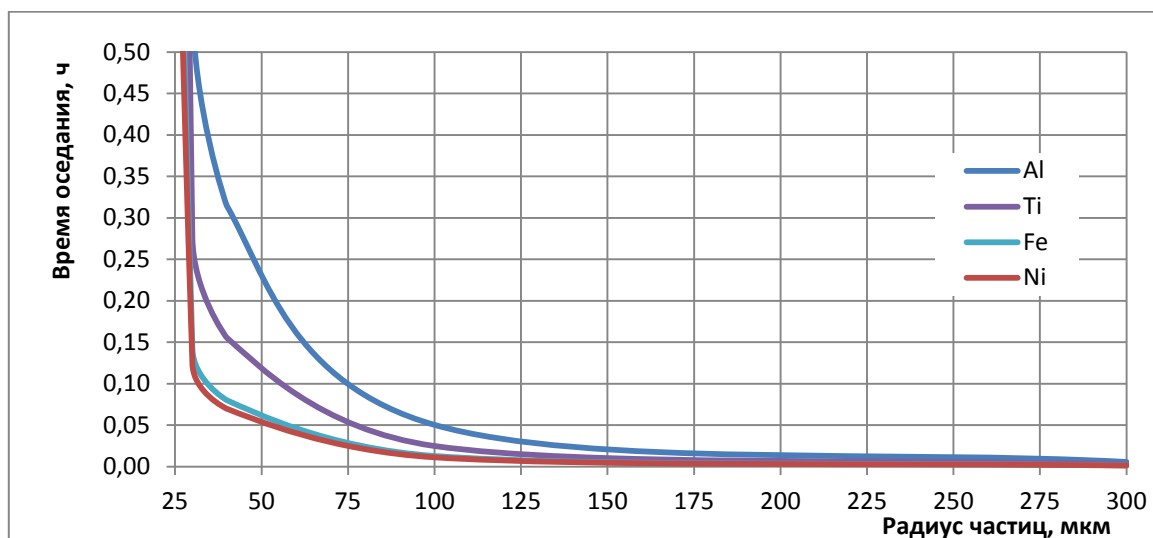


Рис. 7. Зависимость времени оседания частиц от их радиуса при $t=70^{\circ}\text{C}$

Проведенные расчеты позволяют сделать следующие выводы:

1. Частицы размерами более 25 мкм оседают на дно полостей отбора проб за время порядка 15...20 минут (рис. 7). До отбора проб большинство частиц данного размера улавливаются фильтрами тонкой очистки (ФТО), стружкосигнализаторами и магнитными пробками ГТД. Ячейки сеток ФТО имеют размер от 15 до 30 мкм [5; 6].

2. Частицы размером менее 15 мкм оседают с уровня в 40 см более 2-х часов. Мелкие частицы (1-5 мкм), содержание которых в исправном двигателе составляет 99% от общего числа частиц, оседают в масле очень медленно, время оседания измеряется десятками и сотнями часов, учитывая, что в расчетах температура масла составляет 70°C . При остывании масла, время оседания значительно увеличивается (рис. 5).

3. Экспериментальные исследования на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 показали, что при сливе масла самотеком частицы любых размеров удерживаются в полостях и не попадают в пробу вместе с маслом. Даже если они находятся на максимально близком расстоянии к месту слива.

4. Таким образом, в отбираемую в течение 30 минут пробу попадают частицы размерами 1-10 мкм, не успевшие осесть на дно, а также другие более крупные частицы, попавшие в место точно над кранами слива, не задержанные контрольными элементами двигателя. Очевидно, что «поймать» данные частицы, выброс которых в малом количестве характеризует начало разрушения деталей и узлов ГТД, представляется практически не возможным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К. Поверхностная прочность материалов при трении. - Киев: Техника, 1976.
2. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. - М.: Машиностроение, 1968.
3. Толмачева А.Г., Еременко В.М., Трейгер М.И. Теория трения, износа и смазки. - Ташкент, 1976.
4. Петров С.Н. Исследование и разработка метода раннего диагностирования неисправностей в узлах трения авиационных двигателей и редукторов по концентрации металлов в масле: дисс. ... канд. техн. наук. - Петропавловск-Камчатский: в/ч 75368, 1974.
5. Крагельский И.В. Трение и износ. - М., 1968.
6. Старосельский А.А., Гаркунов Д.Н. Долговечность трущихся деталей и машин. - М.: Машиностроение, 1976.
7. <http://www.tehnoinfo.ru/plastichnostnefteproduktov/29.html>.
8. <http://www.geolib.ru/OilGasGeo/1989/11/Stat/stat08.html#ris01>.
9. http://tavot-spb.ru/aviacionnye_masla.
10. Тимошенко А.Н., Грядунов К.И. Математическая модель гравитационной очистки топлив от механических загрязнений. Ассоциация ОАО ВС ГА. 2010. - С. 46-47.
11. Иноземцев А.А., Коняев Е.А., Медведев В.В., и др. Авиационный двигатель ПС-90А. - М.: Либра-К, 2007.
12. Лозицкий Л.П., Авдошко М.Д., Березлев В.Ф., и др. Авиационные двухконтурные двигатели Д-30КУ и Д30КП (конструкция, надежность и опыт эксплуатации). - М.: Машиностроение, 1988.

TEMPERATURES IMPACT ON SEDIMENTATION METAL CHIPS IN OIL

Gryadunov K.I., Timoshenko A.N.

Metal chips sedimentation mathematical model in oil MC-8п is presented.

Key words: sedimentation, rate of sedimentation.

Сведения об авторах

Грядунов Константин Игоревич, 1986 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), аспирант МГТУ ГА, автор 10 научных работ, область научных интересов – эксплуатация летательных аппаратов, диагностирование пар трения ГТД.

Тимошенко Андрей Николаевич, 1958 г.р., окончил МИИ ГА (1981), зам. директора ЦС ГСМ ГосНИИ ГА, автор 20 научных работ, область научных интересов – эксплуатация воздушного транспорта, обеспечение качества авиационных ГСМ.

УДК 656.7:658

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ АЭРОПОРТОВ МОСКОВСКОГО АВИАЦИОННОГО УЗЛА

А.С. БОРЗОВА, И.П. ЖЕЛЕЗНАЯ

Статья представлена профессором, доктором технических наук Воробьевым В.В.

В статье описывается современное состояние инфраструктуры аэропортов Московского авиационного узла и возможные проекты развития.

Ключевые слова: инфраструктура, аэропорт, Московский авиационный узел, аэродром, светосигнальное оборудование.

Развитие транспортной системы страны в целом и системы воздушного транспорта, в частности, становится не только необходимым условием реализации инновационной модели экономического роста Российской Федерации, но и фактором повышения качества жизни населения и конкурентоспособности национальной экономики.

Воздушный транспорт имеет особое значение для Российской Федерации как средство обеспечения дальних магистральных пассажирских сообщений и конкурирует с железнодорожным транспортом на дальних и средних пассажирских перевозках.

Аэропорты как часть транспортной системы являются важнейшим компонентом национальной, региональной и местной инфраструктуры. Аэропорт – не просто поставщик авиационных услуг, чья деятельность регулируется государством, но и самостоятельный коммерческий комплекс с собственными бизнес-целями и стратегией развития, направленной на рост и экономическую эффективность функционирования.

Российский рынок авиатранспортных услуг стал формироваться в начале 1990-х годов, и первые этапы его развития характеризовались беспрецедентным падением объемов авиаперевозок, приведшем к закрытию многих региональных и местных аэропортов. Общее количество аэропортов сократилось с 1302 в 1992 году до 351 в 2007 году.

В настоящее время инфраструктура выполняет не только вспомогательные функции в сфере производства и оказания услуг, но и может рассматриваться как самостоятельный вид предпринимательской деятельности.

Инфраструктура транспортной отрасли представляет собой важнейшую составную часть производственной инфраструктуры, а её устойчивое и эффективное функционирование является необходимым условием высоких и устойчивых темпов экономического роста государства, обеспечения целостности его территории, пространственной безопасности и повышения качества жизни населения. Вместе с тем, в настоящее время состояние и темпы модернизации транспортной отрасли, а также достигнутый технический и экономический уровень транспортной инфраструктуры в Российской Федерации не удовлетворяют возросшие общественные потребности в их развитии. Это проявляется, в частности, в несоответствии между недостаточным уровнем развития транспортной инфраструктуры, эффективностью и качеством её функционирования и возрастающим спросом экономики и общества на транспортные услуги.

Однако состояние объектов наземной авиатранспортной инфраструктуры российских аэропортов неудовлетворительно. Уровень оснащения оборудованием авиационной безопасности в аэропортах России в настоящее время также недостаточен. Незрелость производственной инфраструктуры аэропортов снижает развитие рынка авиатранспортных услуг и реализацию транзитного потенциала России.

Состояние объектов наземной авиатранспортной инфраструктуры аэропортов характеризуется значительным износом. Особенно это касается искусственных покрытий взлетно-посадочных полос, рулежных дорожек, мест стоянок воздушных судов и светосигнального оборудования. Лишь две трети имеют взлетно-посадочные полосы с искусственным покрытием, известно, что срок службы асфальтобетонного покрытия взлетно-посадочных полос и других элементов аэродрома составляет 10 лет, цементобетонного - 20-25 лет. Искусственные покрытия аэродромов в аэропортах Московского авиаузла имеют износ, существенно превышающий 50 %.

Наиболее значимыми проектами развития объектов инфраструктуры аэропортов Московского авиаузла являются:

- аэропорт Шереметьево - расширение и реконструкция взлетно-посадочных полос со строительством рулежных дорожек скоростного схода;
- аэропорт Внуково - реконструкция взлетно-посадочных полос, рулежных дорожек и перронов аэропорта, замена светосигнального оборудования;
- аэропорт Домодедово - реконструкция взлетно-посадочных полос, рулежных дорожек и мест стоянок самолетов.

В настоящее время осуществляется государственное финансирование в развитие инфраструктуры аэропортов, но при этом необходимы дополнительные капитальные вложения для создания опорной сети узловых аэропортов. Как показано на рис. 2 в аэропорты МАУ в 2006-2011 гг. инвестировано 171805 млн. руб. В 2006-2011 гг. на 1 руб. бюджетных средств привлечено 3,3 руб. дополнительных средств.

Перевезено пассажиров в 2011 году

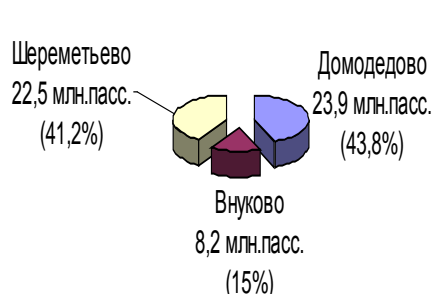


Рис. 1. Показатели работы аэропортов Московского авиационного узла

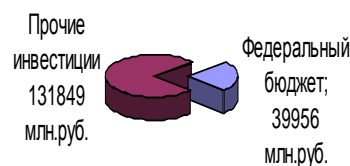


Рис. 2. Инвестиции в аэропорты Московского авиационного узла (в целом)

В результате недостаточного финансирования аэропортовой и аэродромной инфраструктуры на протяжении длительного времени не решаются проблемы физического и морального износа. Одной из основных причин создавшегося положения в наземной базе гражданской авиации является недостаточный объем инвестиций, направляемых на поддержание и развитие аэропортов.

Реконструкция аэродромов крупных узловых аэропортов Шереметьево, Домодедово и Внуково, выполняющих около 60 % объемов авиаперевозок, позволит увеличить международный транзит через аэропорты, повысить их конкурентоспособность на рынке авиационных услуг, привлечь дополнительные пассажиропотоки и внебюджетные средства на расширение аэровокзальных и топливозаправочных комплексов.

При изменении состава парка воздушных судов российских авиакомпаний и росте интенсивности их движения через аэропорты МАУ недостаточный объем инвестиций в развитие объектов наземной инфраструктуры неизбежно приведет к тому, что аэропорты не смогут обеспечивать сбалансированное развитие авиатранспортной системы России.

Уровень оснащения оборудованием авиационной безопасности в аэропортах России в настоящее время недостаточен, при этом наблюдается значительный его износ (около 75 %). Без неотложного переоснащения материально-технической базы аэропортов в этой сфере возрастает вероятность террористической угрозы в гражданской авиации. Одновременно значительных дополнительных инвестиций требует обновление материально-технической базы обеспечения безопасности полетов гражданской авиации.

В табл. 1 показано современное состояние аэропортов Московского авиационного узла.

Таблица 1

Наименование показателей	Характеристика		
	Внуково	Домодедово	Шереметьево
Аэродромная инфраструктура	2 зависимые пересекающиеся ВПП: ИВПП-1:3000х60 ИВПП -2:3060х45	2 независимые параллельные ВПП между осями 2000м: ИВПП-1:3500х60 ИВПП -2:3794х60	2 зависимые параллельные ВПП между осями 283м: ИВПП-1:3550х60 ИВПП -2:3700х60
Состояние аэродромной инфраструктуры	Требуется реконструкция ВПП-1	Требуется реконструкция ВПП-2	Требуется реконструкция ВПП-1
Пропускная способность ВПП, млн.пасс в год	14,95	30,0	19,95
Пропускная способность пассажирских терминалов, млн.пасс. в год	15,0	21,0	33,0
Баланс пассажирских терминалов к аэродромной инфраструктуре	Соответствует	Не соответствует	Соответствует с запасом
Ограничение пропускной способности аэродромной инфраструктуры	Бизнес авиация и литерные рейсы	Отсутствует	Отсутствует
Доступность автомобильного транспорта	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Требуется «дублер» Ленинградскому шоссе
Доступность железнодорожного транспорта	Обеспечена	Обеспечена	Обеспечена
Приближение аэропорта к городским застройкам и населенным пунктам	Высокая плотность застройки	Отсутствует	Незначительная

Для поэтапного развития объектов наземной инфраструктуры аэропортов в увязке с перспективой развития транспортной системы страны, а также парка воздушных судов, реализации приоритетных мероприятий, включающих реконструкцию взлетно-посадочных полос и замену светосигнального оборудования, а также модернизацию имеющихся мощностей объектов для эффективного транспортного обслуживания и удовлетворения спроса населения и хозяйствующих субъектов на авиаперевозки и приравненных к ним местностях, необходимо обеспечить:

- формирование опорной сети аэропортов федерального значения, в том числе крупных пересадочных узлов и региональных аэропортов;

- расширение, реконструкцию и техническое перевооружение объектов наземной инфраструктуры в аэропортах для осуществления перевозок на самолетах нового поколения российского производства, приема зарубежных самолетов, внедрения современных технологий и новых типов наземной техники для обслуживания пассажиров, грузоотправителей и грузополучателей;

- привлечение внебюджетных средств и средств бюджетов субъектов Российской Федерации для развития объектов наземной инфраструктуры аэропортов, в том числе на основе совершенствования управления имуществом, находящимся в федеральной собственности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Левитин И.Е.** Современное состояние и перспективы развития Московского авиационного узла: доклад Министра транспорта Российской Федерации Игоря Левитина 28 марта 2011 г. на совещании в аэропорту Шереметьево, проводимом В.В. Путиным.

2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г., утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р.

THE MOSCOW HUB AIRPORTS INFRASTRUCTURE CONDITION ANALYSIS**Borzova A.S., Zheleznaia I.P.**

The article treats the Moscow hub airports infrastructure existing condition.

Key words: infrastructure, airport, Moscow air traffic, airfield, lights-signal equipment.

Сведения об авторах

Борзова Анжела Сергеевна, окончила Московский государственный университет экономики, статистики и информатики (1993), кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики ГА, автор 20 научных работ, область научных интересов – экономика гражданской авиации.

Железная Ирина Петровна, окончила МГТУ ГА (2002), кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок на воздушном транспорте МГТУ ГА, автор 16 научных работ, область научных интересов – организация перевозок и коммерческая работа авиакомпаний.

УДК 656.7:658

ОСОБЕННОСТИ НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ ЛИЗИНГОВЫХ ОПЕРАЦИЙ В РОССИЙСКИХ АВИАКОМПАНИЯХ

А.С. БОРЗОВА, И.П. ЖЕЛЕЗНАЯ

Статья представлена профессором, доктором технических наук Воробьевым В.В.

В статье рассматриваются вопросы налогообложения лизинговых операций при лизинге воздушных судов в российских авиакомпаниях.

Ключевые слова: авиаперевозки, авиакомпания, лизинг, налог, воздушные суда, лизингополучатель.

В настоящее время на рынке авиаперевозок лидируют 4 крупнейших авиакомпании «Аэрофлот», «Трансаэро», «S7 Airlines», «ЮТэйр». На долю этих перевозчиков приходится 52% пассажиров, они обеспечили за год прирост на 6 млн. человек, в том числе 4 млн. - на международных воздушных линиях и 2 млн. - на внутренних воздушных линиях.

Современный рынок авиаперевозок нуждается в масштабном обновлении парка воздушных судов, идет активная работа по привлечению российскими авиакомпаниями западных поставщиков (таких, как Boeing, Airbus, Embraer, ATR), и в то же время авиакомпании ждут разработки новых моделей самолетов от российских конструкторских бюро.

В соответствии со ст. 31 Федерального закона «О финансовой аренде (лизинге)» предмет лизинга, переданный лизингополучателю по договору, учитывается на балансе лизингодателя или лизингополучателя по соглашению сторон. Исходя из того, что Российские авиакомпании выступают в роли лизингополучателя, то в статье будет рассмотрен вопрос о бухгалтерском учете и налогообложении в том случае, когда предмет лизинга учитывается на балансе лизингополучателя.

На момент принятия предмета лизинга к учету сумма НДС, исчисленная с его стоимости, к вычету не принимается, поскольку счет-фактуру лизингодатель не выставляет и сумму НДС лизингополучателю не предъявляет.

В случае, если договор заключен с иностранным лизингодателем, не являющимся членом Таможенного союза, то лизингополучатель, который при ввозе предмета лизинга на территорию РФ (и иные территории, находящиеся под ее юрисдикцией) уплатил НДС вправе принять соответствующую сумму налога к вычету. Вычет производится на основании документов, подтверждающих фактическую уплату налога при ввозе, после принятия полученного в лизинг имущества на учет. При этом счет, на котором будет отражено имущество, не имеет значения. Предмет лизинга, учитываемый на балансе лизингополучателя, признается им амортизируемым имуществом, первоначальная стоимость которого определяется как сумма расходов лизингодателя на приобретение этого предмета лизинга.

Таким образом, лизингополучатель в соответствии с пп. 10 п. 1 ст. 264 НК РФ вправе начислять амортизацию по предмету лизинга, который числится у него на балансе. При этом он может применять к основной норме амортизации специальный коэффициент не выше 3 (кроме основных средств первой - третьей амортизационных групп).

Согласно п. 3 ст. 272 НК РФ при применении метода начисления амортизация относится на расходы ежемесячно в размере начисленных сумм.

Тем не менее, лизингополучатель, который использует кассовый метод, не вправе начислять амортизацию, поскольку предмет лизинга, учитываемый на его балансе, им не оплачен. Поэтому в расходах у такого лизингополучателя учитывается вся сумма лизинговых платежей без корректировки на сумму амортизации.

В соответствии с п. 1 ст. 374 НК РФ лизингополучатель должен уплачивать налог на имущество в отношении предмета лизинга, который числится на его балансе в качестве основного средства. Однако существует и противоположное мнение по этому вопросу.

В целях налогообложения прибыли сумма налога на имущество включается в расходы на дату начисления (если лизингополучатель применяет метод начисления) или на день уплаты (если лизингополучатель применяет кассовый метод).

Так как в рассматриваемой статье предметом лизинга является воздушное судно, то в случае, если оно зарегистрировано на имя лизингополучателя, последний признается плательщиком транспортного налога (ст. 357, п. 1 ст. 358 НК РФ, п. 2 ст. 20 Федерального закона № 164-ФЗ). При расчете налога на прибыль сумма транспортного налога включается в расходы на дату начисления (если лизингополучатель применяет метод начисления) или на день уплаты (если лизингополучатель применяет кассовый метод) (пп. 1 п. 1 ст. 264, пп. 1 п. 7 ст. 272, пп. 3 п. 3 ст. 273 НК РФ).

В соответствии с пп. 1 п. 2 ст. 171, п. 1 ст. 172 НК РФ при получении счета-фактуры от лизингодателя у лизингополучателя возникает право на вычет "входного" НДС с лизинговых платежей за соответствующий период.

При этом у лизингополучателя должен быть также первичный документ, подтверждающий приобретение услуг. Это может быть, например, акт приемки-передачи предмета лизинга.

Ситуация может быть иной, если договор заключен с иностранным лизингодателем.

В ст. 148 НК РФ, которая определяет место реализации работ (услуг) для целей гл. 21 НК РФ, договор лизинга не упоминается. В силу ст. 625 ГК РФ лизинг является отдельным видом аренды. Поэтому при решении вопроса о том, признается ли территория РФ местом предоставления имущества в лизинг, нужно руководствоваться соответствующими положениями ст. 148 НК РФ об аренде.

Таким образом, территория РФ признается местом предоставления имущества в лизинг, если предметом договора, заключенного с иностранным лизингодателем, является движимое имущество (в нашем случае – это воздушное судно), за исключением наземных автотранспортных средств.

Следовательно, при выплате лизинговых платежей по таким договорам лизингополучатель должен удерживать НДС как налоговый агент. После уплаты соответствующей суммы в бюджет у него возникает право на вычет (при условии использования предмета лизинга в операциях, облагаемых НДС).

Если сумма лизинговых платежей установлена в иностранной валюте (у.е.), а оплата производится в рублях по курсу на день оплаты, то налогообложение будет выглядеть следующим образом.

С 01.10.2011 г. в Налоговом кодексе РФ предусмотрена прямая норма, согласно которой после перечисления лизинговых платежей, установленных в иностранной валюте (у.е.), налоговые вычеты не корректируются. На дату принятия к учету услуг у лизингополучателя есть все основания для вычета при наличии счета-фактуры лизингодателя.

Если счет-фактура до вступления в силу Постановления Правительства РФ № 1137 выставлен лизингодателем в условных единицах, то сумма НДС, указанная в этом счете-фактуре, пересчитывается в рубли по курсу, действующему на дату принятия к учету услуг.

После вступления в силу Постановления Правительства РФ № 1137 счета-фактуры в таком случае оформляются только в рублях.

При перечислении лизинговых платежей за услуги, оказанные до 01.10.2011 г., сумма налогового вычета также не корректировалась ни в большую, ни в меньшую сторону, поскольку какого-либо механизма корректировок налоговых вычетов в Налоговом кодексе РФ не было.

И наоборот, если сумма лизинговых платежей установлена и фактически оплачивается в иностранной валюте, то налогообложение будет выглядеть следующим образом.

Сумма НДС, принимаемая к вычету, пересчитывается в рубли по курсу на дату удержания НДС налоговым агентом (п. 3 ст. 171, абз. 2, 3 п. 4 ст. 174 НК РФ). Следовательно, разницы в связи с колебанием курса валюты не возникают.

Налог на прибыль. В данном случае лизинговые платежи относятся на расходы за вычетом суммы амортизации по имуществу, полученному в лизинг. При методе начисления сумма лизинговых платежей включается в состав прочих расходов, связанных с производством и реализацией, на последнее число отчетного периода (пп. 3 п. 7 ст. 272 НК РФ).

Если лизингополучатель использует кассовый метод, соответствующая сумма признается расходом в момент фактической уплаты лизинговых платежей после оказания услуг по договору лизинга (пп. 1 п. 3 ст. 273 НК РФ).

Если договор заключен с иностранным лизингодателем, то доход иностранного лизингодателя в виде лизинговых платежей относится к доходам иностранной организации от источников в РФ и облагается налогом на прибыль, удерживаемым у источника выплаты дохода. Следовательно, по общему правилу российский лизингополучатель признается налоговым агентом, который обязан удерживать налог на прибыль из доходов иностранного лизингодателя по ставке 20 процентов.

Исключение составляют случаи, когда в порядке, предусмотренном п. 1 ст. 312 НК РФ, лизингодатель подтвердит, что является резидентом государства, с которым Россия заключила соглашение, предусматривающее иной порядок налогообложения. При наличии такого подтверждения в зависимости от конкретных условий международного соглашения налог на прибыль не удерживается либо удерживается по пониженным ставкам.

Если сумма лизинговых платежей установлена в иностранной валюте (у.е.), а оплата производится в рублях по курсу на день оплаты, то при применении метода начисления положительные суммовые разницы учитываются в составе внереализационных доходов, а отрицательные - в составе внереализационных расходов. Суммовые разницы включаются в доходы или расходы на дату перечисления лизинговых платежей (пп. 2 п. 7 ст. 271, абз. 3 п. 9 ст. 272 НК РФ).

С 01.10.2011 г. в Налоговом кодексе РФ установлена прямая норма, согласно которой суммовые разницы в части НДС, возникающие у лизингополучателя при последующей оплате, учитываются в составе внереализационных доходов или в составе внереализационных расходов. До 01.10.2011 г. вопрос об учете суммы НДС при определении величины суммовой разницы являлся спорным.

При кассовом методе суммовые разницы не возникают, поскольку в расходах учитываются именно те суммы, которые фактически уплачены (п. 5 ст. 273 НК РФ). Если сумма лизинговых платежей установлена и фактически оплачивается в иностранной валюте, то расходы в виде лизинговых платежей, подлежащих уплате в иностранной валюте, должны быть пересчитаны в рубли (абз. 1, 3 п. 5 ст. 252 НК РФ).

При методе начисления соответствующие суммы пересчитываются на последний день отчетного (налогового) периода и на дату выплаты (пп. 3 п. 7, п. 10 ст. 272 НК РФ). Таким образом, в связи с колебанием курса иностранной валюты на указанные даты у лизингополучателя могут возникать как положительные, так и отрицательные курсовые разницы, которые включаются соответственно в состав внереализационных доходов или внереализационных расходов.

При применении кассового метода курсовые разницы не возникают, так как пересчет в рубли производится только на дату фактического перечисления лизинговых платежей или погашения задолженности по их уплате иным способом (п. 3 ст. 273 НК РФ).

В учете лизинговые операции отражаются следующим образом:

Вариант 1. Имущество на балансе у лизингодателя:

- учет у лизингодателя - все операции по учету лизингового имущества осуществляются согласно ПБУ 6/01 в составе доходных вложений в материальные ценности (счет 03), при этом амортизация начисляется в общеустановленном порядке. Доходы от лизинга отражаются в составе доходов по обычным видам деятельности: Дт 62 "Расчеты с покупателями и заказчиками"

Кт 90.1 "Выручка" (если они составляют существенную величину - более 5% от общей выручки или другого лимита, установленного учетной политикой организации) или в составе прочих доходов: Дт 62 "Расчеты с покупателями и заказчиками" Кт 91.1 "Прочие доходы". Поступление оплаты за предоставленное в лизинг имущество: Дт 51 "Расчетные счета" Кт 62 "Расчеты с покупателями и заказчиками".

Вариант 2. При учете лизингового имущества на балансе у лизингополучателя:

- учет у лизингодателя - после передачи предмета лизинга, отраженной по счету 91 "Прочие доходы и расходы" в общем порядке (Дт 91.2 Кт 03 - списана стоимость лизингового имущества, Дт 76, субсчет "Задолженность по лизинговому имуществу", Кт 91.1) в бухгалтерском учете отражаются только начисления и поступления платы за оказание услуг по лизинговому соглашению: Дт 90.1 Кт 76, субсчет "Задолженность по лизинговым платежам", - начислен процентный доход от предоставления в финансовую аренду имущества; Дт 51 Кт 62 - получена оплата лизингового имущества;

- учет у лизингополучателя - после принятия лизингового имущества на баланс (Дт 08 Кт 76, субсчет "Арендные обязательства") и введения в эксплуатацию (Дт 01 "Основные средства", субсчет "Арендованное имущество") в бухгалтерском учете отражается начисление амортизации согласно условиям договора (Дт 20 (26) Кт 02). Процентные платежи по договору лизинга отражаются по дебету счета 76 "Расчеты с разными дебиторами и кредиторами", субсчет "Арендные обязательства", в корреспонденции со счетом 76 "Расчеты с разными дебиторами и кредиторами", субсчет "Задолженность по лизинговым платежам". Расходы на уплату процентов учитываются в составе расходов по обычным видам деятельности (Дт 20 (26) Кт 76 "Расчеты с разными дебиторами и кредиторами", субсчет "Арендные обязательства"). Оплата лизинговых платежей в части процентов осуществляется записями: Дт 76 "Расчеты с разными дебиторами и кредиторами", субсчет "Задолженность по лизинговым платежам", Кт 51, в части оплаты лизингового имущества: Дт 76 "Расчеты с разными дебиторами и кредиторами", субсчет "Арендные обязательства", Кт 51.

TAXATION PECULIARITIES OF RUSSIAN AIRLINES LEASING TRANSACTIONS

Borzova A.S., Zheleznaia I.P.

The article deals with taxation of leasing transaction for leasing aircraft in Russian airlines.

Key words: air transportation, airlines, leasing, tax, aircraft, lessee.

Сведения об авторах

Борзова Анжела Сергеевна, окончила Московский государственный университет экономики, статистики и информатики (1993), кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики ГА, автор 20 научных работ, область научных интересов – экономика гражданской авиации.

Железная Ирина Петровна, окончила МГТУ ГА (2002), кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок на воздушном транспорте МГТУ ГА, автор 16 научных работ, область научных интересов – организация перевозок и коммерческая работа авиакомпаний.

УДК 629.735.017

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА ПЕРСОНАЛА АВИАПРЕДПРИЯТИЙ НА РИСКИ В АВИАТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССАХ

Н.И. НИКОЛАЙКИН, Ю.Г. ХУДЯКОВ

В статье впервые излагается новая методология выявления и учёта причин, а также комплексной оценки рисков в процессах авиаперевозок. Подчеркивается, что связанный с условиями труда уровень производственного риска персонала, выполняющего техническое обслуживание и ремонт авиатехники, влияет на риски безопасности полётов и на экологические риски в гражданской авиации.

Ключевые слова: риск, опасный производственный объект, условия труда.

Введение

Техническое обслуживание воздушных судов (ВС) — важный составной элемент процесса оказания авиатранспортной услуги, ошибка персонала при техническом обслуживании оказывает такое же критическое влияние на безопасность выполнения полета, как и ошибки пилотов или диспетчеров. Воздушные суда по ряду признаков можно отнести к категории опасных производственных объектов (ОПО), эксплуатация которых регламентируется Федеральным законом от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Далеко не идеальные условия работы, встречающиеся на эксплуатационных авиационных предприятиях гражданской авиации (ГА), в свою очередь, оказывают влияние на профессиональные характеристики технического персонала, осуществляющего техническое обслуживание и ремонт таких ОПО. В итоге, как показано в [1], негативное воздействие проявляется и в увеличении экологической опасности авиаперевозок. Однако до недавнего времени характеристики производственной среды и качество обслуживания ВС не рассматривались исследователями с позиций взаимного влияния.

Статистические значения рисков в текущей социально - производственной среде оцениваются величиной порядка 10^{-4} , эти значения в той или иной мере, переносятся на объекты производственной деятельности, в том числе, и на воздушное судно. Таким образом, уровень риска авиатранспортной услуги не может быть меньше уровня риска составляющих процесса подготовки ВС к полёту, включая и условия труда обслуживающего персонала. Вместе с тем, Международная организация гражданской авиации ИКАО рекомендует в качестве приемлемого значения величины рисков травматизма потребителя авиатранспортной услуги принимать значение – не выше 10^{-6} [2].

Методика проведения аттестации рабочих мест по условиям труда [3] позволяет оценить степень профессионального риска в производственной деятельности и риски объекта этой деятельности при наземной подготовке воздушного судна к реализации авиатранспортной услуги. Экспертный анализ факторов травмоопасности производственной среды позволяет сформировать области коммуникаций, содержащие потенциальные риски для трёх категорий персонала: рабочие, специалисты, администрация.

Последующие преобразования рисков и их анализ реализуются нами с использованием иерархической структуры – «дерева критериев». На каждом уровне этой иерархической структуры происходит построение агрегированных в каждом узле двух оценок по критериям предыдущего уровня с помощью логических матриц свертки, анализ которых, в свою очередь, позволяет оптимизировать выявленные риски по заданным критериям.

Оценка рисков производственной деятельности при наземной подготовке ВС

Профессиональные риски $R_{пр}$ представляют собой некоторую функцию [4] рисков профессиональных заболеваний $R_{пз}$ и рисков травматизма $R_{тр}$: $R_{пр} = f(R_{пз}, R_{тр})$.

Оценка факторов, формирующих области рисков профессиональных заболеваний проводится инструментальными методами с использованием регламентированных методик на основе гигиенических критериев допустимых норм рассматриваемых физических факторов. Шкала значений воздействия физических факторов в соответствии с Руководством [3] имеет классы условий труда, представленные в табл. 1, классам условий труда ставятся в соответствие индексы профзаболеваний. Первый и четвёртый классы далее исключаются нами из рассмотрения, т.к. первый не ведёт к профзаболеваниям, а четвёртый практически недопустим. Остальным классам присваивается рейтинг согласно 5-ти балльной шкале.

Таблица 1

Оценочная шкала условия труда

	Оптимальные	Допустимые	Вредные				Опасные
			3.1	3.2	3.3	3.4	
Класс условий труда	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Индекс профзаболеваний ($I_{пз}$)	–	<0,05	0,05-0,1	0,12-0,24	0,25-0,49	0,5-1,0	>1
Рейтинг по шкале в 5 баллов	–	1	2	3	4	5	–
Оценка (категория) риска	Отсутствует	Пренебрежимый	Малый	Средний	Высокий	Очень высокий	Чрезвычайно высокий

Для рисков травматизма в качестве методологической основы оценки используются экспертные методы оценки травмобезопасности в процессе аттестации рабочих мест по условиям труда (табл. 2, 3).

Таблица 2

Оценочная шкала частоты событий риска

Категории частоты событий риска (классы)	Числовое значение (степень частоты)
Частое	5
Периодическое	4
Редкое	3
Маловероятное	2
Практически невозможное	1

Таблица 3

Оценочная шкала тяжести последствий событий риска

Категории ущерба событий риска		Числовое значение (степень ущерба)
Наименование	Обозначение	
Катастрофические	Е	5
Опасные	D	4
Значительные	C	3
Незначительные	B	2
Ничтожные	A	1

Для согласования двух категорий профессиональных рисков будем оценивать риски по каждому критерию по единой пятибалльной шкале. Отдельной составляющей будем учитывать компетентность и информированность персонала (табл. 4).

Таблица 4

Оценочная шкала компетентности персонала

Баллы	Результат оценки готовности к работе и уровня необходимого контроля
5	Полная некомпетентность и неинформированность: допуск к работе запрещён, необходимо обучение
4	Недостаточная компетентность при достаточной информированности: может работать под руководством и непрерывным контролем
3	Достаточная компетентность и недостаточная информированность: может работать под руководством и периодическим контролем
2	Компетентность и информированность, достаточные для самостоятельной работы: самоконтроль
1	Полная компетентность и информированность: может руководить других и контролировать себя и других

Формирование свертки рисков производственной деятельности

Большинство подходов к решению задач многокритериальной оптимизации связаны с формированием рейтинговой оценки, которая в агрегированном виде отражает все цели системы. Специфика рассматриваемой системы состоит в том, что она не является статической ни во времени, ни в пространстве рисков. Для достижения поставленных целей (минимизация риска авиатранспортной услуги) разрабатываются мероприятия (проекты), оцениваются требуемые ресурсы и сроки реализации. Кроме того, каждое мероприятие оценивается по вкладу (эффекту), который оно вносит в достижение поставленных целей. Заметим, что ряд критериев взаимосвязаны: мероприятие, улучшающее значение одного критерия, одновременно улучшает (или ухудшает) значение другого.

Дихотомическое представление позволяет решать задачу комплексной оценки по n критериям путем последовательного решения ряда задач с двумя критериями [4]. Три вида критериев (профзаболевания, травматизм, компетентность) рассматриваются нами по трем категориям персонала (рабочий, специалист, руководитель), в итоге имеем 9 критериев. На основе экспертных оценок, полученных на авиапредприятиях ГА при аттестации рабочих мест по условиям труда, выявлено влияние критериев друг на друга (табл. 5). В исследовании принимали участие 57 экспертов, в таблице представлены средние значения из оценок 0 (влияет) и 1 (не влияет), округленные до 0, если среднее $< 0,5$, или до 1, если среднее $\geq 0,5$.

Согласно табл. 5 определяем пары для свертки первого и следующих уровней (экспертным методом с учетом числа взаимосвязей). Итоговая схема «дерева критериев» представлена на рис. 1. Экспертным же методом проводим свертки матриц (рис. 2): округленные усредненные значения экспертных оценок сведены в таблицах, наглядное представление о которых дают соответствующие диаграммы на рис. 2.

Анализ свертки матриц профессиональных рисков

Простейшей нелинейной оценкой (сложение в двумерном пространстве (k_1, k_2)) является квадратичная свертка с весовыми коэффициентами (α_1, α_2) . Если критерии коррелируют между собой, необходимо учесть смешанные произведения, где коэффициентами будут коэффициенты корреляции δ_{12} соответствующей пары: $F(\vec{K}) = \sqrt{\alpha_1 k_1^2 + 2\delta_{12} k_1 k_2 + \alpha_2 k_2^2}$.

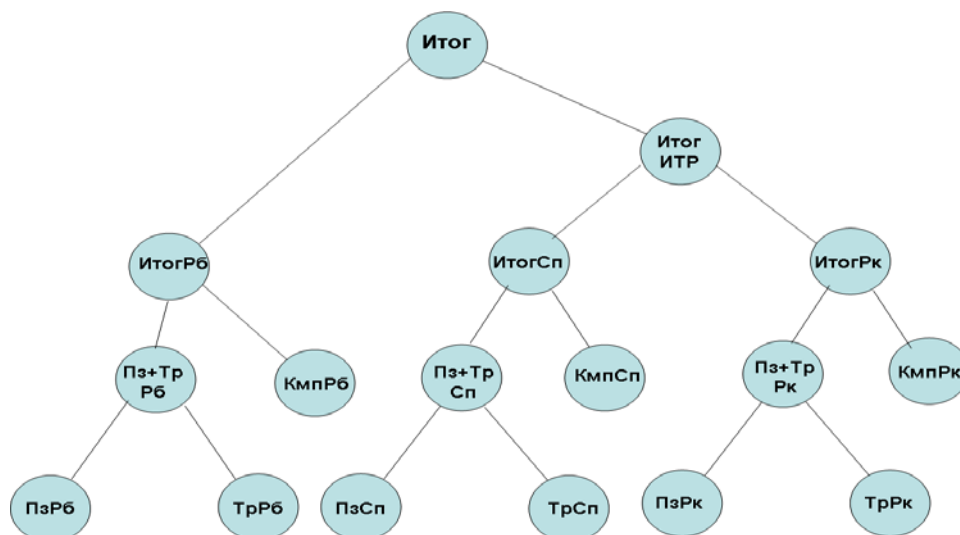


Рис. 1. Схема «дерева критериев» для свертки матриц

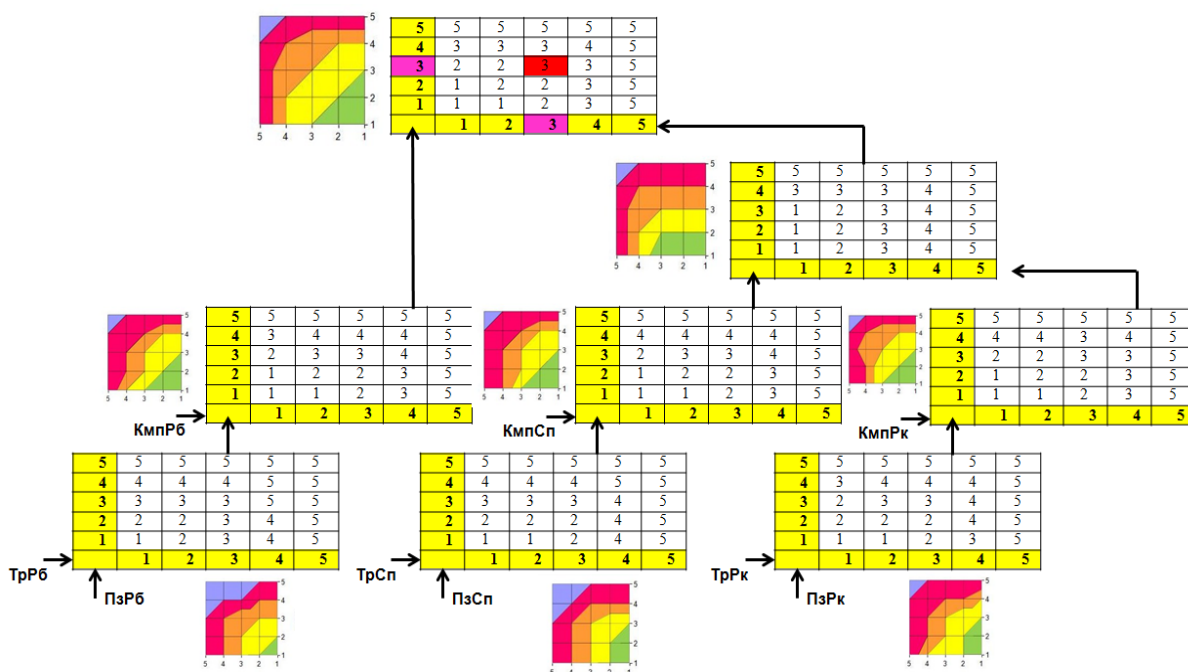


Рис. 2. Схема свертки матриц в соответствии со схемой «дерева критериев» (на итоговой матрице цветом выделено граничное значение, за пределы которого смещение нежелательно)

Такое представление корреляционной взаимосвязи позволяет оценить оптимальные маршруты движения по дереву свертки как вверх, так и вниз. Изменение одного из критериев на единицу приводит к изменению оптимального маршрута. Изменение критерия верхнего уровня (вершины дерева свертки) представляет собой изменение численной величины риска авиатранспортной услуги. Прогноз и методика снижения риска строятся на основе численного моделирования движения по свертке матриц с помощью программной среды Visual Basic.

Таким образом, имея систему комплексного оценивания профессиональных производственных рисков, можно на основании изложенной методологии далее разрабатывать методику оценки, нацеленную на уменьшение комплексных рисков производственной среды в процессе оказания авиатранспортных услуг до уровня, который соответствует международным рекомендациям, а также минимизировать требуемые для этого ресурсы.

Таблица 5

Взаимосвязь критериев риска авиатранспортной услуги*

Влияет на →	ПзРб	ПзСп	ПзРк	ТрРб	ТрСп	ТрРк	КмпРб	КмпСп	КмпРк	Число связей
ПзРб	xxx	0	0	1	0	0	1	1	1	4
ПзСп	1	xxx	0	1	0	0	0	1	1	4
ПзРк	1	1	xxx	1	1	1	0	0	1	6
ТрРб	1	0	0	xxx	1	1	1	1	1	6
ТрСп	0	1	0	0	xxx	0	0	1	1	3
ТрРк	0	0	1	0	0	xxx	0	0	1	2
КмпРб	1	0	0	1	0	0	xxx	0	0	2
КмпСп	1	1	0	1	1	0	1	xxx	0	5
КмпРк	1	1	1	1	1	1	1	1	xxx	8

* Используемые сокращения и обозначения: Пз – профзаболевание, Тр – травматизм, Кмп – компетентность, Рб – рабочий, Сп – специалист, Рк – руководитель; 1 – влияет, 0 – не влияет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николайкин Н.И., Худяков Ю.Г., Макаров В.П. Предупреждение аварий на объектах химии, нефтехимии и транспорта – эффективный метод защиты экосистем от загрязнения // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего // Научно-методический журнал, серия Экология. - 2012. - С. 183-186.
2. Руководство по управлению безопасностью полётов (РУБОП). Док. 9859 AN/460: изд. 2-е. - Монреаль (Канада): ИКАО, 2009.
3. Р 2.2.1766-03. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. - М.: Минздрав России, 2003.
4. Николайкин Н.И., Худяков Ю.Г. Моделирование системы управления рисками при эксплуатации опасных производственных объектов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2012. - № 10. - С. 35-40.
5. Модели и методы оптимизации региональных программ развития // Н.Г. Андронникова, С.А. Баркалов, В.Н. Бурков и др. - М.: ИПУ РАН, 2001.

**AIRLINES STAFF WORKING CONDITIONS METHODOLOGY
ASSESSMENT IMPACT AT RISK OF AIR TRANSPORT PROCESSES**

Nikolaykin N.I., Khudyakov Yu.G.

The article contains the description of a new methodology of revealing and the reasons account, and also a complex estimation of risks in air service processes. It is underlined that the industrial risk level of the personnel, which is carrying out aircraft maintenance and repair and is closely connected with the work environment, influences safety of flights risks and ecological risks in civil aviation.

Keywords: the risk, dangerous industrial object, work environment.

Сведения об авторах

Николайкин Николай Иванович, 1950 г.р., окончил МИХМ (1972), доктор технических наук, доцент, профессор кафедры БП и ЖД МГТУ ГА, автор более 220 научных работ, область научных интересов – инженерная экология, экологическая безопасность ГА, организация производства на транспорте.

Худяков Юрий Григорьевич, 1948 г.р., окончил КАИ (1972), Военную академию им. Ф.Э. Дзержинского (1983), сотрудник службы охраны труда МГТУ ГА, автор 5 научных работ, область научных интересов – обеспечение безопасности производственных процессов в промышленности, на транспорте, в ГА.

УДК 658.66.01.0146: 629.73

НЕКОТОРЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАЧЕСТВ СПЕЦИАЛИСТА-ОПЕРАТОРА В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

С.В. ГРОМОВ, Р.С. ФАДЕЕВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Елисовым Л.Н.

В работе рассматриваются некоторые математические модели и методы оценки профессиональных качеств авиационного персонала как методологическая основа компетентностного подхода.

Ключевые слова: математическая модель, методы оценки, профессиональные качества, специалист-оператор.

Гражданская авиация относится к тем отраслям промышленности, которые работают в условиях повышенных требований к показателям их производственной деятельности. Это связано, прежде всего, с безопасностью полетов.

Безопасность полетов обеспечивается комплексом средств, включая экономические, технические, организационные, нормативно-правовые, юридические и социальные аспекты. Решение этих проблем осуществляется авиационным персоналом.

Авиационный персонал воздушного транспорта включает в свой состав специалистов, способных решать поставленные задачи в условиях специфических требований к их профессиональной деятельности. Особенно это касается представителей летного состава.

Проблема профессиональной подготовки авиационных специалистов решается в рамках системы профессионального образования гражданской авиации, которая сегодня представляет собой достаточно развитую, иерархическую структуру, включающую высшие учебные заведения, средние профессиональные учебные заведения (колледжи) и разветвленную сеть авиационных учебных центров, обеспечивающих все ступени повышения квалификации и переподготовки, включая тренажерную подготовку.

Одна из проблем тренажерной подготовки находится в сфере организации технологического процесса обучения и связана с вопросами оценки результатов и заключается в определенном противоречии между форматом итоговых результатов, которые обеспечивают современные методики тренажерной подготовки, и теми требованиями к авиационному персоналу, которые выдвигают эксплуатанты авиационной техники и современные нормативы и стандарты безопасности.

В первом приближении вопрос заключается в следующем: практически все современные методики тренажерной подготовки предполагают этапность в организации учебного процесса, которая состоит в пооперационном освоении обучающего алгоритма. При этом итог подводится также пооперационно, а конечный результаты просто суммируются. В условиях существенного усложнения процедур профессиональной деятельности авиационного персонала, увеличения их наукоемкости, требующих для успешной реализации включения творческих операций, необходимо изменить подход к оценке итогов тренажерной подготовки. Авторы полагают, что здесь необходим компетентностный подход [1].

Ниже рассматриваются некоторые модели и методы оценки профессиональных качеств авиационного персонала как методологическая основа компетентностного подхода [2].

Использование метода статистического анализа предполагает предварительное накопление информации о значениях показателей $\{q_n\}$, характеризующих возможности специалистов [3].

Для этого создаются две экспериментальные группы А и В, соответственно пригодности (А) и непригодности (В) к данной деятельности. Накопление информации заключается в получении одномерных распределений вероятностей для группы А и группы В:

$$f_A(q_1) \dots f_A(q_n);$$

$$f_B(q_1) \dots f_B(q_n).$$

Информативность показателей оценивается по критерию Пирсона χ^2 , а затем с помощью корреляционных матриц выявляется взаимозависимость показателей. Затем рассчитываются диагностические коэффициенты, которые используются как весовые коэффициенты показателей. Расчет ведется по формуле

$$D = \lg \frac{A_j N_A}{\sigma_j N_B}, \quad (1)$$

где A_j и σ_j - частоты появления соответствующего показателя в группах; N_A и N_B - число субъектов в каждой из групп.

Для определения пригодности задают порог пригодности в виде вероятностей отбора непригодного кандидата (α) и отсева пригодного (β). Тогда порог пригодности: $P_A = \ln(1-\beta)/\alpha$, порог непригодности $P_B = \ln \beta / (1-\alpha) \ell$.

К методам многофакторного анализа можно отнести метод группового учета аргументов (МГУА) [4]. Он представляет собой автоматизированный поиск оптимальной модели с помощью последовательного анализа определяемых по определенным правилам усложняющихся моделей-претендентов, отбираемых по внешним критериям. Внешний критерий при усложнении моделей имеет минимум, что дает возможность найти единственную оптимальную модель. В качестве внешнего критерия обычно используется критерий регулярности следующего вида

$$\Delta = \sqrt{\sum_{t=m+1}^{m+n} (y(t) - \bar{y}(t))^2 n^{-1}}, \quad (2)$$

где n - число наблюдений обучающей выборки; m - число наблюдений проверочной выборки; $y(t)$ - табличные исходные значения входной переменной; $\bar{y}(t)$ - значения, рассчитанные по модели, коэффициенты которой определялись по обучающей выборке наблюдений.

Алгоритм МГУА основывается на определении оптимальной по сложности модели из некоторого класса моделей. Наиболее часто исходное множество людей представлено в виде многочлена

$$y = \sum_{i=1}^l a_i \prod_{k=1}^m x_k^{a(i,k)}, \quad (3)$$

где y - выходная, а X - входная переменные; m - количество входных переменных; ℓ - число слагаемых в модели; i - 0,1,2 ...

Заданы таблицы исходных данных $Y(n)$ и $X(m, n)$. Параметры i , l и a определяются в ходе моделирования.

Обобщенный алгоритм МГУА основывается на полном переборе всех возможных комбинаций аргументов, что возможно лишь при малом числе аргументов. Для сокращения перебора можно использовать принцип многорядной селекции. Метод наименьших квадратов можно рассматривать как операцию проектирования вектора выходной величины на плоскость аргументов, поэтому вместо полного перебора для уменьшения размерности задачи обычно применяется поиск, основанный на принципах самоорганизации.

Другой подход к решению проблемы - использование вероятностных моделей, наиболее полно учитывающих стохастическую природу динамики человека. Случайные процессы описывают динамику специалиста с помощью теории непрерывных марковских процессов.

Метод динамики средних оперирует понятием эшелона - группы специалистов, объединенных по определенному признаку. Понятие эшелона интерпретируется в зависимости от подхода к структуризации системы и в случае специалиста предполагает различные квалификационные уровни или место специалиста внутри одного квалификационного уровня. Специалисты в силу ряда причин могут переходить из одного эшелона в другой [5].

Пусть имеется сложная система S , состоящая из большого числа N однородных элементов, каждый из которых может случайным образом переходить из состояния в состояние. Предположим, что все потоки событий, переводящие систему S из одного состояния в другое - пуассоновские, тогда процесс, протекающий в системе будет марковским. Если известны вероятности состояний одного элемента P_1, P_2, \dots, P_n , как функции времени, то известны и средние численности состояний m_1, \dots, m_n и их дисперсии $\sigma_1, \dots, \sigma_n$.

Вероятности могут быть найдены путем решения дифференциальных уравнений Колмогорова для вероятностей состояний, для чего надо знать интенсивности потоков событий, переводящих каждый элемент из состояния в состояние. Чаще вместо дифференциальных уравнений для вероятностей состояний используют уравнения непосредственно для средних численностей состояний.

При этом считают, что средняя численность каждого состояния пропорциональна вероятности этого состояния и удовлетворяет тем же дифференциальным уравнениям, но интегрированным при начальных условиях, соответствующих численностям состояний.

Введем в рассмотрение случайную величину $X_k(t)$ - число единиц, находящихся в момент t в состоянии E_k . Для любого момента t сумма численностей всех состояний равна общей численности элементов, т.е.

$$\sum_{k=1}^n X_k(t) = N. \quad (4)$$

Для любого t можно найти основные характеристики случайной величины $X_k(t)$:

- математическое ожидание $m_k(t) = M[X_k(t)]$;

- дисперсию $D_k(t) = D[X_k(t)]$. (5)

Чтобы определить эти характеристики надо знать интенсивности потоков событий, переводящих элемент из состояния в состояние. Пусть интенсивности λ_{ij} нам известны, тогда численность каждого состояния $X_k(t)$ можно представить как сумму случайных величин, каждая из которых связана с отдельным i -м элементом

$$X_k^{(i)}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й элемент в момент } t \text{ находится в состоянии } E_k t; \\ 0, & \text{если не находится.} \end{cases}$$

Для любого момента t общая численность состояния E_k равна сумме случайных величин

$$X_k(t) = \sum_{i=1}^k X_k^{(i)}(t) \quad (6)$$

Если интенсивности λ_{ij} не случайны, то величины $X_k^{(1)}(t), X_k^{(2)}(t), \dots, X_k^{(N)}(t)$ для отдельных элементов независимы между собой, тогда по теореме сложения математических ожиданий и теореме сложения дисперсий

$$m_k(t) = \sum_{i=1}^N M[X_k^{(i)}(t)];$$

$$D_k(t) = \sum_{i=1}^N D[X_k^{(i)}(t)].$$

Для любого t математическое ожидание и дисперсия численности любого состояния E_k выражаются через число элементов N и вероятность R -состояния по формулам:

$$m_k(t) = NP_k(t);$$

$$D_k(t) = N_1 P_k(t)(1 - P_k(t)).$$

Зная дисперсию $D_k(t)$, находим среднее квадратическое отклонение численности состояния E_k

$$\sigma_k(t) = \sqrt{NP_k(t)(1 - P_k(t))} \quad (7)$$

При этом можно указать диапазон практически возможных значений численности $m_k(t) \pm \sigma_k(t)$.

Таким образом, решается задача определения вероятностей состояния одного отдельного элемента. Эти вероятности могут быть найдены как решения дифференциальных уравнений Колмогорова для вероятностей состояний. Для этого достаточно знать интенсивности потоков событий, переводящих каждый элемент из состояния в состояние. Суть метода динамики средних заключается в том, что вместо дифференциальных уравнений Колмогорова для вероятностей состояний составляют уравнения непосредственно для средних численностей состояний и интегрируют их при других начальных условиях, соответствующих начальным численностям состояний.

Вероятности нахождения объекта в том или ином состоянии описываются дифференциальными уравнениями Колмогорова [4]:

$$\frac{dp_1}{dt} = \lambda_{12}p_1 + \lambda_{31}p_3;$$

$$\frac{dp_2}{dt} = -(\lambda_{23} + \lambda_{24})p_2 + \lambda_{12}p_1;$$

$$\frac{dp_3}{dt} = -\lambda_{32}p_3 + \lambda_{23}p_2 + \lambda_{43}p_4;$$

$$\frac{dp_4}{dt} = -\lambda_{43}p_4 + \lambda_{24}p_2. \quad (8)$$

Умножая левую и правую часть каждого уравнения на число элементов N и вводя в левых частях N под знак производной, имеем:

$$\frac{d(Np_1)}{dt} = \lambda_{12}Np_1 + \lambda_{31}Np_3;$$

$$\frac{d(Np_2)}{dt} = -(\lambda_{23} + \lambda_{24})p_2N + \lambda_{12}p_1N;$$

$$\frac{d(Np_3)}{dt} = -\lambda_{32}Np_3 + \lambda_{23}Np_2 + \lambda_{43}Np_4;$$

$$\frac{d(Np_4)}{dt} = -\lambda_{43}Np_4 + \lambda_{24}Np_2. \quad (9)$$

Или, переходя к средним состояниям:

$$\frac{d(m_1)}{dt} = \lambda_{12}m_1 + \lambda_{31}m_3;$$

$$\frac{d(m_2)}{dt} = -(\lambda_{23} + \lambda_{24})m_2 + \lambda_{12}m_1;$$

$$\frac{d(m_3)}{dt} = -\lambda_{32}m_3 + \lambda_{23}m_2 + \lambda_{43}m_4;$$

$$\frac{d(m_4)}{dt} = -\lambda_{43}m_4 + \lambda_{24}m_2. \quad (10)$$

Интегрируя эти уравнения, можно получить средние численности состояний $m_1(t)$, $m_2(t)$, $m_3(t)$, $m_4(t)$ и дисперсии $D_k(t) = N \cdot P_k(t)(1 - P_k(t))$, или с учетом, $m_k(t) = NP_k(t)$ получим

$$D_k(t) = m_k(t) \left(1 - \frac{m_k(t)}{N}\right); \sigma_k(t) = \sqrt{D_k(t)}. \quad (11)$$

Зная математические ожидания и СКО состояния, можно оценивать и вероятности различных состояний системы в целом, например, вероятность того, что численность какого – то состояния будет заключена в определенных пределах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елисов Л.Н., Шмельков А.В. Компетентностный подход в системе менеджмента качества образовательных учреждений гражданской авиации: монография. - М.: МГТУГА, ЕАТК, 2007.
2. Фадеев Р.С. Организация производственной деятельности САБ аэропорта на основе прогнозирования уровня мобилизационной готовности персонала: дисс. ... канд. наук. - М.: МГТУГА, 2009.
3. Елисов Л.Н. Качество профессиональной подготовки авиационного персонала и безопасность воздушного транспорта: монография. - М.: ИЦППС, 2006.
4. Елисов Л.Н., Баранов В.В. Управление и сертификация в авиационной транспортной системе: монография. - М.: Воздушный транспорт, 1999.
5. Елисеев Б.П., Елисов Л.Н. Системотехническое управление образовательными комплексами: монография. - М.: МГТУГА, 2012.

SOME MATHEMATICAL COMPETENCY ASSESMENT MODEL FOR CIVIL AVIATION SPECIALIST - OPERATOR

Gromov S.V., Fadeev R.S.

In this paper there are some mathematical competency models and methods for aeronautical personnel competencies evaluation as methodological basis for competent approach.

Keywords: mathematical model, competency model, specialist operator.

Сведения об авторах

Громов Сергей Владимирович, 1974 г.р., окончил МГТУ ГА (2003), соискатель ученой степени МГТУ ГА, начальник отдела ОАО «Аэрофлот», автор 4 научных работ, область научных интересов - квалиметрия, системы тренажерной подготовки авиационного персонала, системотехника.

Фадеев Руслан Сергеевич, 1961 г.р., кандидат технических наук, автор 14 научных работ, область научных интересов - квалиметрия, человеческий фактор, системотехника.

УДК 629.735.067

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГРУПП АТОМОВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ МОЛЕКУЛ НА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АВИАТОПЛИВА

Ю.С. КИРДЮШКИН

Статья представлена доктором технических наук, профессором Чинючиным Ю.М.

В данной статье приведены принципы расчета термодинамических показателей авиатоплив, связанных с их производством и эксплуатацией, произведенных на основе альтернативных (возобновляемых) источников энергии (биомассы).

Ключевые слова: метод влияния групп атомов, построение суррогатной модели, альтернативные авиатоплива, биотоплива для реактивных двигателей, термодинамические параметры топливных смесей.

Введение

В статье [1] изложен принцип построения суррогатной модели и предложен метод расчета термодинамических параметров углеводородных смесей на основе анализа групп атомов, составляющих молекулы углеводорода, принятые за основу суррогатных (упрощенных) моделей альтернативных топливных смесей. Представлен алгоритм теоретического определения термодинамических параметров углеводородных топливных смесей, раскрыт принцип применения метода Джобэка. Отмечено, что очередным шагом при проведении сравнительного анализа доступных альтернативных топливных смесей является оценка влияния групп атомов, составляющих углеводородные молекулы, на термодинамические свойства авиатоплива.

Характеристика метода Джобэка

Такие показатели, как энтальпия образования – $H_{formation}$ и свободная энергия Гиббса – $G_{formation}$ сравниваемых альтернативных видов топлива были вычислены с использованием метода воздействия групп атомов и атомарных связей на термодинамические свойства молекул топлива. Метод, принятый для теоретического обоснования термодинамических параметров молекул углеводорода, принято называть методом Джобэка.

Согласно методу Джобэка основные термодинамические свойства вещества, состоящего из углеводородных соединений, могут быть рассчитаны, исходя из его молекулярной структуры. В зависимости от типов атомарных связей в молекулах (насыщенные и ненасыщенные углеводороды, ароматические углеводороды и т.д.), а также количества атомов, составляющих топливную смесь, определяются искомые значения.

Расчеты с использованием метода воздействия групп атомов – метода Джобэка подразумевают определение заданного термодинамического значения, исходя из принятых коэффициентов, соответствующих количеству и типу связей атомов угля, входящих в состав углеводородных молекул топливных смесей, табл. 1.

На основе приведенных в табл. 1 коэффициентов энтальпия образования – « $H_{formation}$ », принятой молекулы углеводорода, рассчитывается по следующей формуле

$$H_{formation} = 68.29 + \sum H_i, \quad (1)$$

где 68,29 – коэффициент, добавляющийся к суммарному значению, полученному при составлении теоретической модели молекулы углеводорода.

Таблица 1

Коэффициенты, принятые в расчете термодинамических параметров образования (энтальпия и энергия Гиббса) комплексных углеводов

Group	T _c	P _c	V _c	T _b	T _m	H _{form}	G _{form}	a	b	c	d
	Critical State Data			Temperatures of Phase Transitions		Chemical Caloric Properties		Ideal Gas Heat Capacities			
Non-ring groups											
-CH ₃	0.0141	-0.0012	65	23.58	-5.10	-76.45	-43.96	1.95E+1	-8.08E-3	1.53E-4	-9.67E-8
-CH ₂ -	0.0189	0.0000	56	22.88	11.27	-20.64	8.42	-9.09E-1	9.50E-2	-5.44E-5	1.19E-8
>CH-	0.0164	0.0020	41	21.74	12.64	29.89	58.36	-2.30E+1	2.04E-1	-2.65E-4	1.20E-7
>C<	0.0067	0.0043	27	18.25	46.43	82.23	116.02	-6.62E+1	4.27E-1	-6.41E-4	3.01E-7
=CH₂	0.0113	-0.0028	56	18.18	-4.32	-9.630	3.77	2.36E+1	-3.81E-2	1.72E-4	-1.03E-7
=CH-	0.0129	-0.0006	46	24.96	8.73	37.97	48.53	-8.00	1.05E-1	-9.63E-5	3.56E-8
=C<	0.0117	0.0011	38	24.14	11.14	83.99	92.36	-2.81E+1	2.08E-1	-3.06E-4	1.46E-7
=C=	0.0026	0.0028	36	26.15	17.78	142.14	136.70	2.74E+1	-5.57E-2	1.01E-4	-5.02E-8
=CH	0.0027	-0.0008	46	9.20	-11.18	79.30	77.71	2.45E+1	-2.71E-2	1.11E-4	-6.78E-8
=C-	0.0020	0.0016	37	27.38	64.32	115.51	109.82	7.87	2.01E-2	-8.33E-6	1.39E-9
Ring groups											
-CH ₂ -	0.0100	0.0025	48	27.15	7.75	-26.80	-3.68	-6.03	8.54E-2	-8.00E-6	-1.80E-8
>CH-	0.0122	0.0004	38	21.78	19.88	8.67	40.99	-2.05E+1	1.62E-1	-1.60E-4	6.24E-8
>C<	0.0042	0.0061	27	21.32	60.15	79.72	87.88	-9.09E+1	5.57E-1	-9.00E-4	4.69E-7
=CH-	0.0082	0.0011	41	26.73	8.13	2.09	11.30	-2.14	5.74E-2	-1.64E-6	-1.59E-8
=C<	0.0143	0.0008	32	31.01	37.02	46.43	54.05	-8.25	1.01E-1	-1.42E-4	6.78E-8

Свободная энергия Гиббса – « $G_{formation}$ » процесса образования вещества рассчитывается как

$$G_{formation} = 53.88 + \sum G_i . \quad (2)$$

В свою очередь, удельная теплоемкость при постоянном давлении – « C_p » согласно методу Джобэка рассчитывается следующим образом

$$C_p = \sum a_i - 37.93 + [\sum b_i + 0.210]T + [\sum c_i - 3.91 \times 10^{-4}]T^2 + [\sum d_i + 2.06 \times 10^{-7}]T^3 . \quad (3)$$

Таким образом, при помощи метода Джобэка были рассчитаны термодинамические параметры образования отдельных молекул углеводорода. Рассчитанные значения для определенных топливных смесей были получены на основе предложенной их суррогатной модели (табл. 2) и их определение оказалось необходимым для последующего расчета таких эксплуатационных параметров топлива, как:

- температура пламени при адиабатических условиях;
- топливная теоретическая эффективность;
- максимальная теоретическая работа топлива;
- минимальная работа, затраченная на производство топлива.

Таблица 2

Принятый молекулярный состав
сравниваемых альтернативных топлив

Name of molecular groups	Fuel types surrogated			
	Jet A-1	Bio-SPK	Sasol SPK	Sasol GTL
N-paraffin				
n-Nonane		3.5%		20%
n-decane	27%	2.5%		20%
u-undecane		2%		5%
n-dodecane	27%	2%		
Cycloparaffin				
Methyl cyclohexane	27%			
Cyclododecane			5%	
Cyclotridecane			5%	
Iso-paraffin				
Dimethyl C9-C14		45%	55%	55%
Pentamethyl C9-C14		45%	35%	
Polyaromatic				
Acenaphthene	19%			

Теоретическая эффективность топлива

Понятие теоретической эффективности топлива связано с анализом распределения энергии в процессе его сжигания. В процессе сжигания топлива – переводе энергии из потенциальной (химической) в кинетическую вырабатывается энтропия. Как показано на рис. 1, теоретическая эффективность топлива рассчитывается на основе полученной энергии в процессе сжигания топлива и с учетом вырабатываемой энтропии.

В общем случае выражение теоретической эффективности выводится через выражения энергетического баланса и баланса энтропии

$$DE^A + DE^R = W_{out}; DS^A + DS^R = DS_{Irr}. \quad (4)$$

Откуда

$$W_{max} = DE_A^R - T^0 \times DS_{Irr}, \quad (5)$$

а следовательно,

$$W_{max} = (-\varepsilon^0 \Delta h^0) - T^0 (-\varepsilon \Delta S^0). \quad (6)$$

Формула (6) выражает понятие Экзэргии.

Баланс энергии сводится к общему значению выработанной энтропии, при этом последняя рассчитывается по формуле

$$DS_{Irr} = DS^A + DS^R. \quad (7)$$

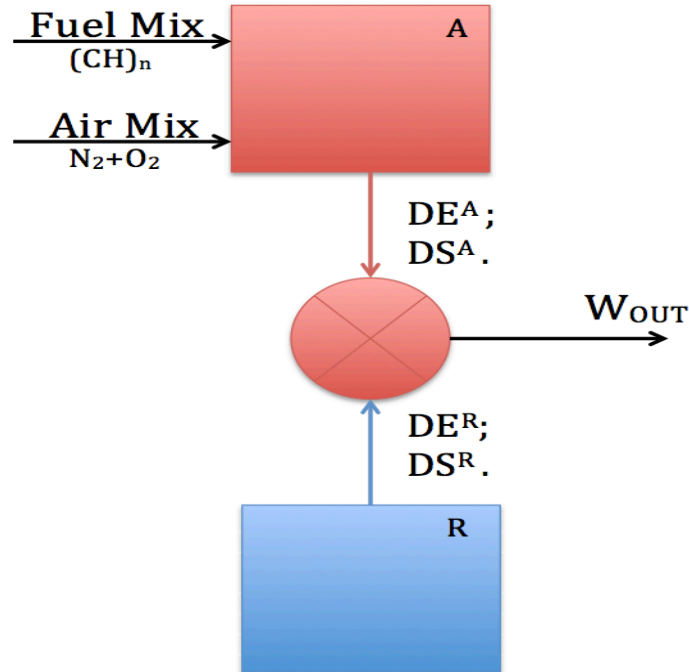


Рис. 1. Распределение энергии в процессе сжигания топлива:

DE^A – энергия топлива, высвобождающаяся при сжигании;

DE^R – энергия, затраченная на поддержание резервуара

Под резервуаром (рис. 1) подразумевается система с определенными термодинамическими условиями и границами и соответствующая им формирующаяся энтропия.

Таким образом, энтропия образования определенного вещества, определяется по формуле

$$\dot{\epsilon}\Delta S_f^0 = \sum_{i=1}^r \Delta S_{f,i}^0 v \frac{n_{iP}}{n_{1a}} + \sum_{i=1}^r \Delta S_{f,i}^0 v \frac{n_{iR}}{n_{1a}}. \quad (8)$$

Следовательно, и значение теоретической эффективности топлива рассчитывается по формуле

$$\eta_t = \frac{-\left(\sum_{i=1}^r \dot{\epsilon}\Delta g_{f,i}^0 v \frac{n_{iP}}{n_{1a}} + \sum_{i=1}^r \dot{\epsilon}\Delta g_{f,i}^0 v \frac{n_{iR}}{n_{1a}}\right) - T_0 \Delta S_{Irr}}{-\left(\sum_{i=1}^r \dot{\epsilon}\Delta g_{f,i}^0 v \frac{n_{iR}}{n_{1a}} - \sum_{i=1}^r \dot{\epsilon}\Delta g_{f,i}^0 v \frac{n_{iP}}{n_{1a}}\right)}. \quad (9)$$

В последующих публикациях будет приведен сам расчет, на основе которого был сделан сравнительный анализ наиболее приемлемого авиатоплива, произведенного на основе альтернативных (устойчивых) источников энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирдюшкин Ю.С. Построение модели сравнительного анализа для выбора альтернативных видов авиатоплив // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2012. - № 178.

2. Kinder J., Rahmes T. Evaluation of Bio-Derived Synthetic Paraffinic Kerosene (Bio-SPK). The Boeing Company. Sustainable Biofuels Research Technology Program. USA. - 2009.

3. Клиффорд А.М. и др. Сравнительный анализ полусинтетических топлив для реактивных двигателей, 2008 // Clird A. Moses. Comparative evaluation of semi-synthetic Jet fuels. Texas, USA. - 2008.

COMPARATIVE ANALYSIS FOR ALTERNATIVE JET FUELS

Kirdyushkin Y.S.

The article shows fundamental of the comparative analysis for modern alternative jet fuels based on comparison of thermodynamic properties for their production and application, providing description for the group contribution method – so called Joback method used to obtain thermodynamical properties of hydrocarbons theoretically.

Key words: comparative analysis, group contribution method, alternative jetfuel, biojet HEFA fuel, biofuel for aircraft.

Сведения об авторе

Кирдюшкин Юрий Сергеевич, 1985 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), аспирант МГТУ ГА, автор 13 научных работ, область научных интересов – применение альтернативных видов топлив в сфере гражданской авиации.

УДК 629.735.017.1.004.6

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ПОДШИПНИКОВ 83700 СЕРИИ

В.К. ХАРИНА

Статья представлена доктором технических наук, профессором Машошиным О.Ф.

В данной статье рассматриваются этапы и порядок проведения испытания подшипников и подшипниковых узлов, проходящих программу испытаний на специализированных стендах.

Ключевые слова: подшипники, порядок проведения испытаний.

Надежность работы подшипников в агрегатах летательных аппаратов не может не влиять на безопасность полетов, поэтому прилагаются основные усилия по исследованию подшипников для выявления причин выхода их из строя, определение экспериментальным путем допустимых нагрузок, которые эти подшипники смогут выдержать при эксплуатации ЛА. Определение ресурса подшипников имеет большое значение для их выбора при работе на заданных режимах, разработки мероприятий по применению и мер, предусмотренных для увеличения ресурса, при необходимости.

Для определения работоспособности подшипников часто требуется проведение натуральных испытаний подшипников и агрегатов, исследование качества материала, проведение измерений деталей подшипников, определение действующих нагрузок опытным путем и т.д.

Срок ресурсоспособности подшипников зависит от степени износа рабочих поверхностей.

Величина и характер износа деталей подшипника непосредственно определяет срок службы подшипника в эксплуатации.

На срок службы подшипников большое влияние оказывает правильность выбора их конструкции, величина и направление нагрузки, скорость вращения, точность формы деталей, смазка, технология изготовления подшипников и т.д.

Условия работы подшипников, полностью соответствующие эксплуатационным условиям, моделируются в лабораторных условиях на испытательных стендах, выполненных в полном соответствии с конструкцией агрегатов ЛА. Стендовые испытания проводятся с целью выявления фактической долговечности подшипников определенного типа, при заданных рабочих режимах, анализа причин выхода подшипников из рабочего состояния и анализа повреждений подшипниковых узлов и самих подшипников. Испытания проводятся на специальных испытательных стендах. Для проведения подобных стендовых испытаний создаются разнообразные конструкции испытательных машин.

Основными требованиями, предъявляемыми к испытательным стендам, являются: жесткость конструкции; обеспечение постоянства и точности числа оборотов, а также радиальной и осевой нагрузок на подшипники в процессе испытаний. Также стенд должен обеспечивать возможность: регулирования нагрузок, скоростей вращения; изменения рабочей температуры; автоматическое отключение стенда при повреждении подшипников.

Методика испытания подшипников

Методика испытаний подшипников обобщает опыт работы авиационных предприятий и организаций. Она состоит из лабораторных испытаний подшипников по различным схемам нагружений и зависит от типа подшипников и условий эксплуатации [1; 2].

Схемы полностью идентичны схемам установки подшипников в составе ЛА.

Учитывая разброс наработки подшипников аналогичных конструкций, результаты проведенных испытаний подшипников, а также данные зарубежных производителей, указанные в каталогах [6] и, принимая запас долговечности 1,5 – 2 по отношению к наименьшей наработке, можно установить (табл. 1):

- 1) допустимое число повторных нагружений, рекомендуемых для подшипников с отверстием до 10 мм включительно не более 18000; свыше 10 мм – не более 12000;
- 2) при работе в 4 этапа на 100000 нагружений под нагрузками $P_{доп.}$; $0,7 P_{доп.}$ и $0,33 P_{доп.}$

Таблица 1

Отверстия подшипника, мм	Нагрузка	Допустимое число повторных нагружений, кач.	Отверстия подшипника, мм	Нагрузка, кг	Допустимое число повторных нагружений, кач.
$d \leq 10$	$P_{доп.}$	12000	$d < 10 \leq 50$	$P_{доп.}$	6000
	$0,7 P_{доп.}$	20000		$0,7 P_{доп.}$	10000
	$0,33 P_{доп.}$	До 100000		$0,33 P_{доп.}$	До 100000

Перед испытаниями проводятся необходимые расчеты:

- 1) Определение контактного напряжения у подшипника 83702 (рис. 1) при заданных значениях

$$d_{ср.} = 0,5 \text{ см}; R_{р.сф} = 1,42 \text{ см}; d = 2,42 \text{ см}; \frac{d}{2} = 1,21;$$

$$\cos \beta = 13^\circ 57' 30'' = 0,97047; 2Z = 26; R_{дор.кач.} = 1,72; R = 5550 \text{ кг.}$$

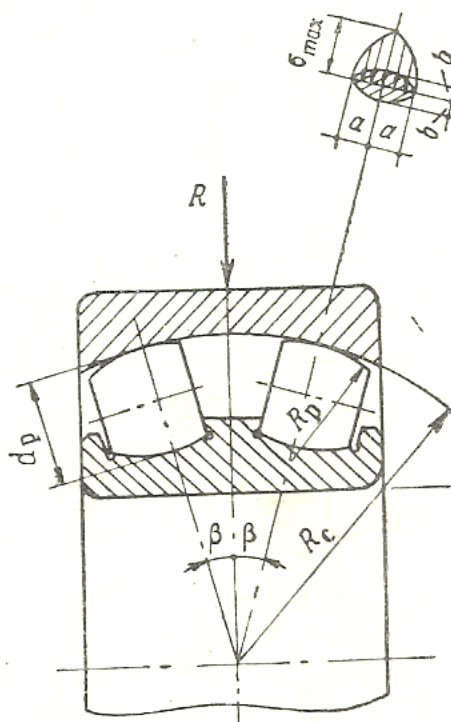


Рис. 1. Подшипник роликовый радиальный сферический двухрядный

Расчет, проведенный по внутреннему кольцу (рис. 2) подшипника [2].

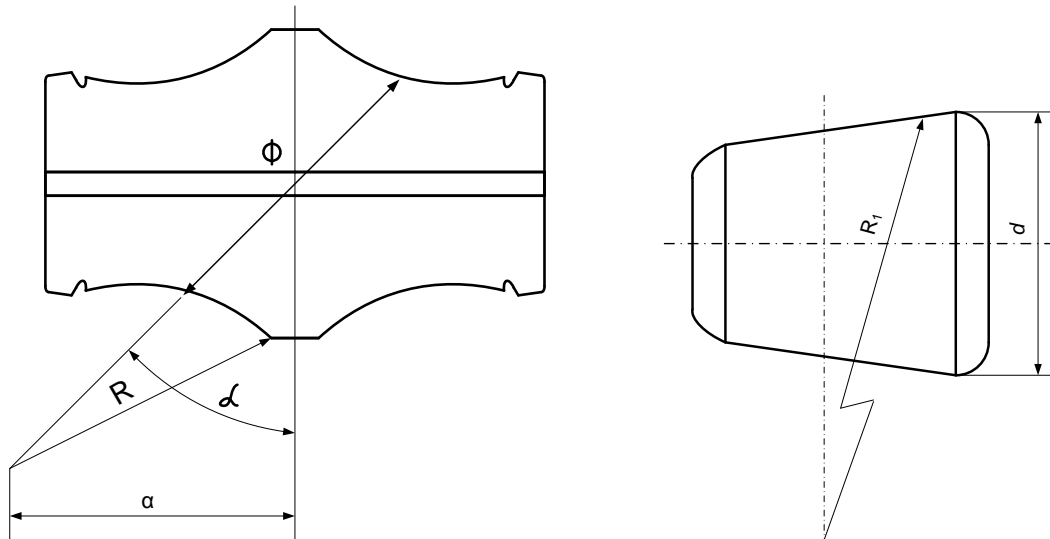


Рис. 2. Схематическое изображение внутреннего кольца и ролика подшипника 83700 серии

$$\sigma = \frac{4100}{\mu\nu} \sqrt[3]{P \left[(\Sigma P)^2 = \left(\frac{1}{d_p} + \frac{1}{Rp.cp} + \frac{1}{d/2} - \frac{1}{R_{дор.кач.}} \right)^2 \right]};$$

$$P = \frac{5R}{2Z \cos \beta}; \quad \cos \tau = \frac{\left(\frac{2}{d_p} - \frac{1}{Rp.cp} + \frac{1}{d/2} + \frac{1}{R_{дор.кач.}} \right)}{\left(\frac{1}{d_p} + \frac{1}{Rp.cp} + \frac{1}{d/2} - \frac{1}{R_{дор.кач.}} \right)};$$

$$P = \frac{5 \cdot 5550}{2 \cdot 13 \cdot 0,97047} = \frac{27,750}{25,232} = 1098 \text{ кг};$$

$$\cos \tau = \frac{\left(\frac{1}{0,25} - \frac{1}{1,42} + \frac{1}{1,21} + \frac{1}{1,72} \right)}{\left(\frac{1}{0,25} + \frac{1}{1,42} + \frac{1}{0,21} - \frac{1}{1,72} \right)} = \frac{4,7029}{4,9501} = 0,95;$$

$$\mu\nu = 1,643;$$

$$\sigma = \frac{410}{\mu\nu} \sqrt[3]{1098 \cdot 4,9501^2}.$$

Максимальное контактное напряжение по внутреннему кольцу:

$$\sigma_{\max} = \frac{4000}{\mu\nu} \sqrt[3]{P \left[\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right)^2 \right]};$$

$$\cos \tau = 0,99432;$$

$$\mu\nu = 2,485;$$

$$\sigma_{\max} = \frac{4000}{2,485} \sqrt[3]{1098 \cdot 5,018^2}; \quad P = \frac{5 \cdot 4200}{2 \cdot z \cdot \cos \beta} = 1096 \text{ кг};$$

$$\sigma_{\max} = 51480 \text{ кг/см}^2.$$

Расчет, проведенный по наружному кольцу подшипника [2]:

$$\sigma_{\max} = \frac{4000}{2,485} \sqrt[3]{P (\Sigma P)^2};$$

$$P = \frac{5 \cdot 4200}{20 \cdot \cos 16^{\circ} 40' 32''} = \frac{21000}{20 \cdot 0,9795} = 1071,97 \text{ кг};$$

$$\Sigma P = 3,31213;$$

$$\text{Cos } \tau = \frac{4 - 0,7042}{3,31213} = 0,99507;$$

$$\mu\nu = 2,677.$$

Максимальное контактное напряжение по наружному кольцу

$$\sigma_{\max} = \frac{4000}{2,677} \sqrt[3]{1071,97 \cdot 3,31213^2} = 35670 \text{ кг/см}^2.$$

Цели испытания

При испытании подшипников ставятся определенные цели:

1. Определение причин разрушения подшипников 83700 в эксплуатации.
2. Определение работоспособности подшипников при повторных нагружениях.

Параметры подшипников рассчитываются на контактные напряжения по внутреннему и наружному кольцу. Подшипники осматриваются и замеряются.

Методика испытаний подшипников 83700 серии, устанавливаемых в агрегатах управления ЛА

Испытаниям подвергаются подшипники, заделанные в стальные образцы (рис. 3). Образцы специально изготавливаются таким образом, чтобы можно было воссоздать условия работы подшипника в составе ЛА. Материал и размеры соответствуют тем условиям эксплуатации, которые определены для данного подшипника техническим заданием. Конструкция образца для испытания создается так, чтобы можно варьировать нагружения в разном диапазоне.

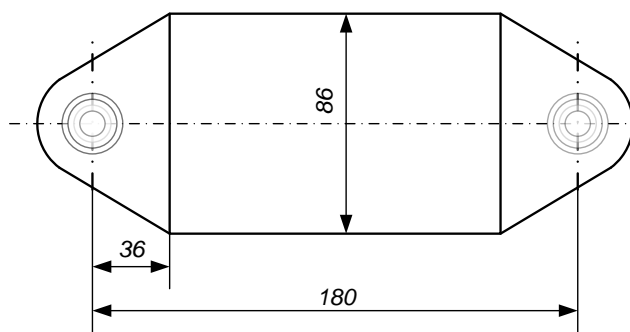


Рис. 3. Тяга, имитирующая работу подшипника в составе ЛА

1. Часть подшипников подвергаются статическим испытаниям (рис. 4) до разрушения и воздействию повторной знакопеременной нагрузки.

Темп нагружения при испытаниях при повторных нагрузках распределен таким образом, что время нарастания нагрузки от 0 до 14000 кг – 1,3 секунды и после каждых 200 циклов нагружений проводится осмотр и замер подшипников.

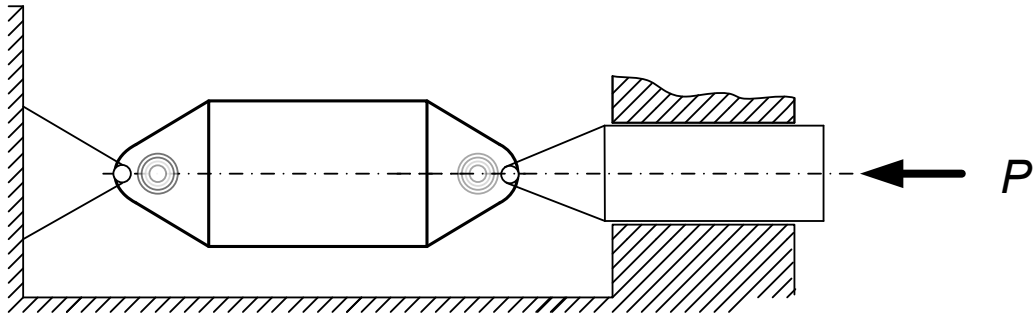


Рис. 4. Схема стана для проведения статических испытаний

2. Часть подшипников подвергается действию повторной знакопеременной нагрузки 14000 кг (рис. 5). После каждых 200 циклов нагружения проводится осмотр и, при необходимости, замер подшипников.

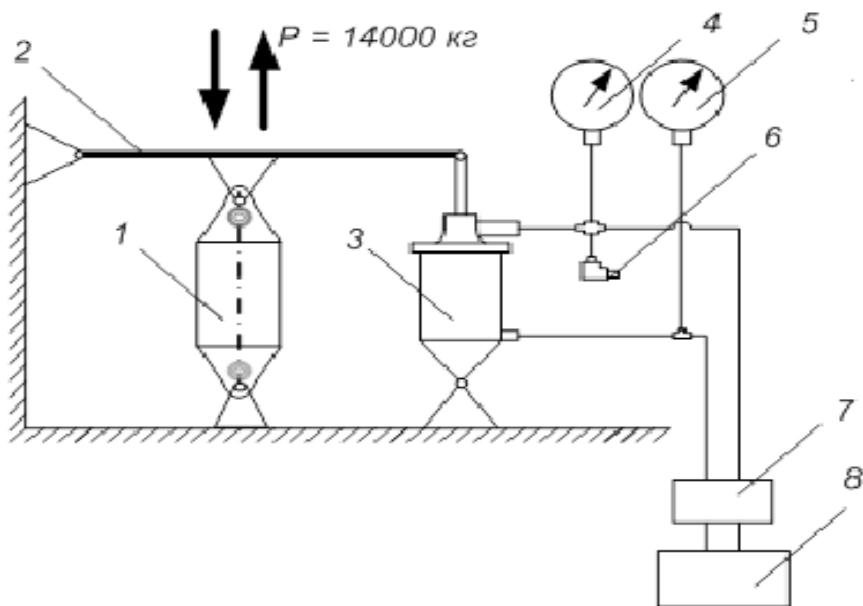


Рис. 5. Схема стана для проведения повторных нагружений: 1 – образец с подшипниками; 2 – рычаг; 3 – гидравлический цилиндр; 4, 5 – манометры; 6 – датчик давления для записи осциллограммы; 7 – электромагнитный кран; 8 – насос

Результаты испытаний

При осмотре подшипников после снятия разовой нагрузки 14000 кг выявляются следы вмятин и деформаций на внутренних кольцах подшипника, а также на сфере наружных колец. Фиксируется и определяется разрушающая нагрузка, определяется характер разрушения подшипников, данные сводятся в табл. 2.

Таблица 2

Кол-во подшипников одной серии	10	12	13	15	12	16
Разрушающая Нагрузка (ср.) кг	31800	33100	33000	21800	27800	28800

В результате проведенных испытаний подшипников устанавливаются временные рекомендации по выбору подшипников для работы при качательном движении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спришевский А.И. Подшипники качения. - М.: Машиностроение, 1989.
2. Зайцев А.М. Коросташевский Р.В. Авиационные подшипники качения. - М.: Машиностроение, 1999.
3. Коросташевский Р.В., Нарышкин В.Н. Подшипники качения. - М.: Машиностроение, 1984.
4. Бейзельман Р.Д., Цыпкин Б.В., Перель Л.Я. Подшипники качения: справочник. - М.: Машиностроение, 1975.
5. Спицын Н.А. Исследования в области подшипников качения. - М.: Вестник машиностроения, 1998.
6. Трейер В.Н. Расчеты деталей машин на долговечность. - М.: Машгиз, 1986.

METODOLOGY FOR THE BEARIBG 83700 SERIES TESTING

Kharina V.K.

This article discusses the stages and procedure of bearings and bearing units testing, passing test program on specific stands.

Key words: roller bearing, tests order.

Сведения об авторе

Харина Вера Константиновна, окончила МЭИ (1982), инженер-конструктор ОАО ВНИПП, доцент кафедры технической механики МГТУ ГА, автор 12 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация, повышение долговечности подшипниковых узлов авиационной техники.

УДК 629.735.33.015.4.077

ОПЫТНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ НЕРОВНОСТЕЙ АЭРОДРОМНОГО ПОКРЫТИЯ

В.П. ФИЛИПОВ

На примере 18 ИВПП СНГ и США продемонстрированы многократные расхождения между оценками просвета под трехметровой рейкой, полученными по известному из литературы соотношению, и реальными значениями. Вместо этой некорректной формулы выявлена другая статистическая зависимость.

Ключевые слова: аэродромное покрытие, неровности, критерий ровности R, спектральная плотность, просвет под трехметровой рейкой.

Нормы годности к эксплуатации аэродромов предусматривают два типа характеристик неровностей поверхности покрытия. Во-первых, это критерий ровности R [1], определяемый на основе данных об аппроксимирующей зависимости [2] вида

$$S = \frac{c}{F^k}, \quad (1)$$

их спектральной плотности S [мм²/м] от пространственной частоты F [1/м], где c [мм²м^{1-k}] и k - постоянные для рассматриваемой поверхности коэффициенты. Получение таких данных связано с существенными трудовыми и материальными затратами. Во-вторых, это максимальный просвет под трехметровой рейкой. Очевидно, что его нахождение существенно менее трудоемко по сравнению с R. В свое время были опубликованы работы [3; 4], в которых выявлена функциональная связь между двумя этими типами характеристик. В этих работах указано, что, если для конкретного аэродромного покрытия зависимость спектральной плотности S [мм²/рад] неровностей поверхности этого покрытия от их круговой пространственной частоты Ω [рад/м] представлена аппроксимирующим соотношением [2]

$$S = \frac{c_1}{\Omega^2}, \quad (2)$$

где c_1 [мм²рад/м] – константа данного покрытия, то максимальный просвет δ [мм] между ним и рейкой длиной L [м] должен составить

$$\delta = (\pi c_1 L)^{0.5}. \quad (3)$$

Попытки проверить корректность обозначенных в [3; 4] при обосновании зависимости (3) теоретических выкладок не дали однозначного положительного результата. В связи с этим было решено убедиться в правомочности формулы (3), используя характеристики продольных профилей ряда ИВПП СНГ и США. Указанные характеристики были получены в разное время в результате нивелирной съемки соответствующих аэродромных покрытий с шагом 0,5 м (для аэропортов США шаг съемки был равен 2 футам). Далее для каждой ИВПП массив высотных отметок точек поверхности аэродромного покрытия (ап) обрабатывался согласно п. 3.4.4 Методов определения соответствия (МОС) требованиям Норм годности к эксплуатации аэродромов (НГЭА) с целью выявления оценок, поясненных выше значений c , c_1 , k и R. Кроме того, этот же массив использовался в качестве исходных данных для разработанной в свое время автором программы “reika”, как раз и предназначавшейся для определения по значениям упомянутых отметок величин просветов h между ап и рейкой произвольной, но постоянной длины.

Один из результатов обработки с помощью программы “reika” информации по продольному сечению в 6 м слева от оси ИВПП а/п Новосибирск представлен на рис. 1, где показан максимальный вдоль всего этого сечения просвет DK под трехметровой рейкой AJ.

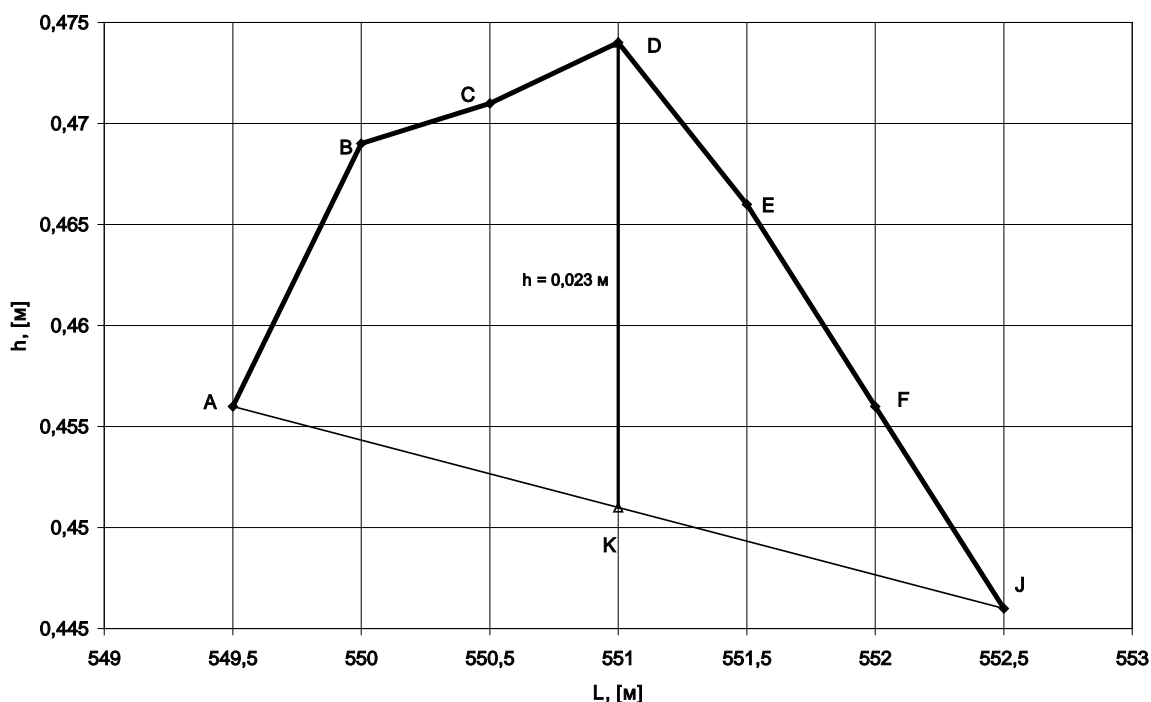


Рис. 1. Участок ИВПП а/п Новосибирск (продольное сечение в 6 м слева от оси), где имеет место максимальный просвет DK под рейкой

Для указанных в предыдущем абзаце ВПП величины s , s_1 , k и R приведены в табл. 1, где также представлены значения максимальных просветов между соответствующим профилем поверхности покрытия и трехметровой рейкой, найденные как s с использованием программы “reika” (h_r), так и по формуле (3) ($h_{(3)}$). Из сопоставления чисел, помещенных в колонках 8 и 9 таблицы, очевидно, что достоверность оценок, получаемых с помощью формулы (3), не выдерживает никакой критики. Таким образом пользоваться этой формулой нельзя.

В то же время информация колонок 6 и 8 (табл. 1) была обработана с использованием методов линейного регрессионного анализа [5] с целью возможного выявления закономерности вида

$$R = f(h_r). \quad (4)$$

В результате была получена значимая статистическая зависимость типа (4), которая имеет вид полинома

$$R = 4,569 - 0,0000040291h_r^4 + 0,00000007711h_r^5. \quad (5)$$

В графической форме соотношение (5) представлено на рис. 2, где также квадратиками показаны точки с координатами (h_r , R), соответствующие значения которых приведены в таблице. Как видно из этого рисунка, формула (5) достаточно хорошо описывает экспериментальные данные и в связи с этим может использоваться в практике вместо некорректного выражения (3) для получения в первом приближении оценок критерия ровности R по результатам оперативных измерений просветов между трехметровой рейкой и поверхностью аэродромного покрытия.

Таблица 1

№ п/п	Аэродром	Сечение	c , [мм ² м ^{1-k}]	k	R	c_1 , [мм ² рад/м]	h_r , [мм]	$h_{(3)}$, [мм]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Чкаловский	4 м вправо от оси ИВПП при МК 121	1,81	1,97	3,36	11,06	26,0	10,21
2	Остафьево	3 м вправо от оси ИВПП при МК 256	0,35	2,49	4,0	3,53	16,0	5,76
3		3 м влево от оси ИВПП при МК 256	0,37	2,53	3,50	3,88	19,67	6,05
4	Анкоридж	-	0,19	2,52	4,74	2,21	16,42	4,57
5	Пенза	5 м вправо от оси ИВПП при МК 107	0,08	3,03	4,71	1,34	13,0	3,56
6	Пенза	5 м влево от оси ИВПП при МК 107	0,16	2,99	3,08	2,68	30,0	5,02
7	Пенза	ось ИВПП	0,09	3,07	4,29	1,62	19,5	3,91
8	Домодедово, ИВПП-2	ось ИВПП	1,10	1,93	4,26	6,41	24,0	7,77
9	Домодедово, ИВПП-2	6 м влево от оси ИВПП при МК 137	1,0	2,03	4,14	6,42	20,67	7,78
10	Домодедово, ИВПП-2	6 м вправо от оси ИВПП при МК 137	0,89	2,12	4,08	6,25	21,33	7,63
11	Новосибирск	ось ИВПП	0,73	2,18	4,14	5,45	15,5	7,16
12	Новосибирск	6 м влево от оси ИВПП	0,71	2,27	3,87	5,85	23,0	7,43
13	Новосибирск	6 м вправо от оси ИВПП	0,75	2,19	4,05	5,69	17,5	7,32
14	Бухара	ось ИВПП	1,81	2,16	2,36	13,24	38,0	11,17
15	Бухара	3,75 м влево от оси ИВПП при МК 5	1,90	2,16	2,14	14,03	43,0	11,50
16	Бухара	3,75 м вправо от оси ИВПП при МК 5	1,58	2,22	2,25	12,32	37,0	10,78
17	Сан-Франциско	ось ИВПП	0,52	2,29	4,27	4,63	24,79	6,61
18	Раменское, ВПП-4	ось ИВПП	0,38	2,22	4,72	2,97	14,3	5,29

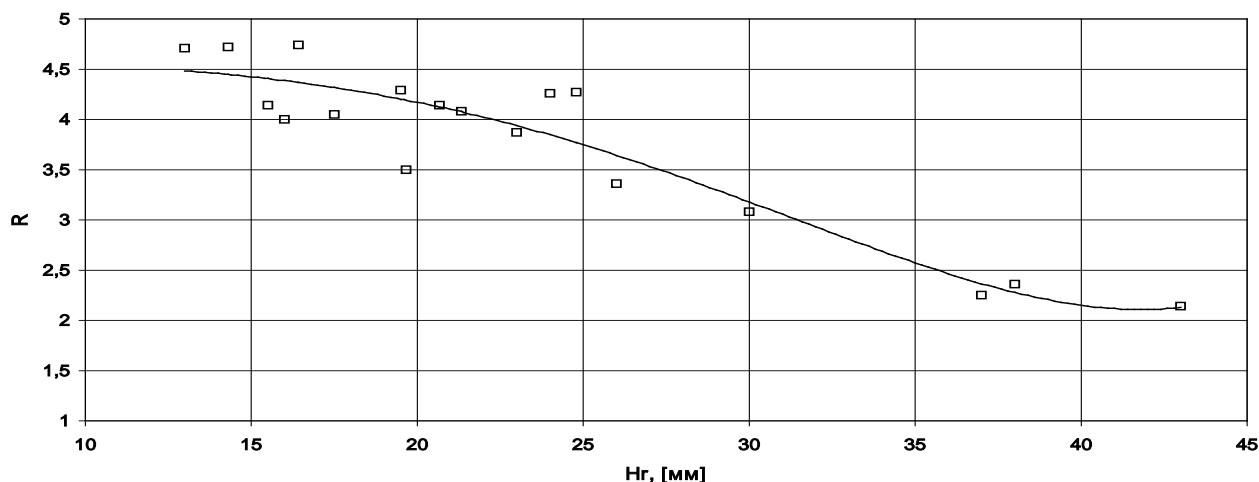


Рис. 2. Рекомендуемая зависимость критерия ровности R аэродромного покрытия от максимального просвета между его поверхностью и трехметровой рейкой

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппов В.П. Обоснование и разработка единых нормативов ровности поверхности аэродромных покрытий // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 173. - С. 174-179.
2. Филиппов В.П. Обоснование выбора вида аппроксимирующей функции для зависимости спектральной плотности неровностей аэродромного покрытия от их пространственной частоты: в сб. материалов XXXXII Всероссийского симпозиума по механике и процессам управления. - 2012. - Т. 4. - С. 73-78.
3. Ромашов В.М., Мзареулашвили Р.У., Назаров В.В. К вопросу оценки ровности покрытий аэродромов гражданской авиации: труды ГосНИИ ГА. - 1977. - Вып. 159.
4. Клячко М.Д., Арнаутов Е.В. Летные прочностные испытания самолетов // Статические нагрузки. - М.: Машиностроение, 1985.
5. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Наука, 1979.

EXPIRIENCED AND THEORETICAL RUNWAY ROUGHNESS SPECTRAL DENSITY CHARACTERISTICS

Filippov V.P.

Based on 18 CIS&USA runway roughness data investigation, is demonstrated difference between real and theoretical figures. Instead of this incorrect formula revealed other statistical dependence.

Key words: runway surface, roughness, roughness criteria R , spectral density of runway roughness, gap between runway surface and three meter lath.

Сведения об авторе

Филиппов Валентин Павлович, 1950 г.р., окончил МАТИ (1972), доцент, кандидат технических наук, начальник отдела исследований динамики полета, систем управления и прочности Авиационного сертификационного центра ГосНИИ ГА, автор более 40 научных работ, область научных интересов - нагруженность, прочность конструкций самолетов и ее поддержание в условиях эксплуатации.

УДК 629.735.33.015.4

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ САМОЛЕТА С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК АКСЕЛЕРОМЕТРА ИНЕРЦИОННОГО ТИПА

С.В. ДАЛЕЦКИЙ, В.П. ФИЛИППОВ

Изложен методический подход, позволяющий выявлять реальный процесс динамического нагружения конструкции самолета в эксплуатации по записи штатного бортового акселерометра, характеристики которого известны. Анализируется вклад в нагруженность отдельных гармонических составляющих зафиксированной акселерометром записи. Разработана методика, используемая при анализе наиболее серьезных случаев посадочных ударов.

Ключевые слова: самолет, динамическая нагруженность, акселерометр, посадочный удар, гармоники.

Нагруженность конструкции самолета в условиях эксплуатации наиболее часто оценивается в настоящее время по показаниям датчиков перегрузки инерционного типа, которые являются элементами штатных бортовых систем регистрации полетной информации. Эти датчики обладают хорошими точностными характеристиками в случае измерения перегрузки, медленно меняющейся во времени. Однако при регистрации процессов динамического нагружения имеют место существенные погрешности.

Анализ работы такого акселерометра, установленного в одной из зон упругой конструкции самолета, позволил выявить два вида факторов, оказывающих преобладающее влияние на величину динамической погрешности измерений.

1. Акселерометры инерционного типа достаточно точно фиксируют перегрузки, изменяющиеся по гармоническому закону с частотами, которые не превышают $0,7 \omega_0$, где ω_0 – собственная круговая частота колебаний чувствительной массы прибора [1]. Ускорения, действующие с частотой, близкой к ω_0 , измеряются с завышением, а при частотах $\omega \gg \omega_0$ – с занижением. Таким образом возникают ошибки первого рода.

2. Наряду с полезным сигналом акселерометры регистрируют высокочастотные составляющие ускорения в месте их установки. Эти составляющие не вызывают существенного деформирования (нагружения) конструкции. Воздействующая на датчик j -я гармоника колебательного процесса может быть описана соотношением

$$y_j = A_j \sin(\omega_j t - \varphi_j), \quad (1)$$

где y_j – перемещение точки установки акселерометра, вызванное действием данной гармоники; A_j , ω_j , φ_j – соответственно амплитуда, круговая частота и начальная фаза гармоники; t – время.

В таком случае вызываемое этой составляющей ускорение a_j равно

$$a_j = -\omega_j^2 A_j \sin(\omega_j t - \varphi_j). \quad (2)$$

Согласно (2), зарегистрированная акселерометром j -я высокочастотная составляющая процесса измерения ускорения, имеющая амплитуду $D_j = \omega_j^2 A_j$, будет вызывать максимальное смещение точки установки датчика, равное

$$A_j = D_j / \omega_j^2. \quad (3)$$

В случае больших ω_j величина A_j может оказаться настолько малой, что практическое отсутствие влияния j -й гармоники на процесс нагружения конструкции будет очевидно.

Таким образом, регистрация акселерометром подобных высокочастотных составляющих процесса колебаний также является причиной дополнительных методических погрешностей (второго рода) оценки с его помощью динамической нагруженности в месте установления датчика.

На основе проведенных исследований в целях снижения рассматриваемых погрешностей была разработана «Методика определения перегрузок, действующих на конструкцию самолета при

посадке, по данным КЗ-63 (при отсутствии признаков непостоянной скорости протяжки КЗ-63)”. Методика широко используется в настоящее время в практике эксплуатации самолетов ГА.

Алгоритм, используемый в методике, заключается в цифровой фильтрации, позволяющей исключить из рассматриваемого процесса изменения перегрузки гармонические составляющие с частотами выше 5 Гц. Предполагается, что гармоники с большими частотами не вносят существенного вклада в реальную нагруженность конструкции, что в некоторой степени позволяет устранить указанные погрешности второго рода. Гармоники с частотами до 5 Гц регистрируются датчиками перегрузок штатных бортовых систем типа КЗ-63 и МСРП без существенных амплитудных искажений (собственная частота колебаний чувствительных элементов датчиков 10-11 Гц). Следовательно, в первом приближении фильтрация позволяет также исключить из результатов измерений амплитудные погрешности.

В то же время методика фильтрации не позволяет учесть ряд причин, вызывающих динамическую погрешность измерения перегрузки. Это связано с тем, что, во-первых, сигнал, представляющий совокупность нескольких гармоник, регистрируется акселерометром инерционного типа таким образом, что начальные фазы каждой из них искажаются, причем в разной степени для различных составляющих. Во-вторых, подавление высокочастотных гармоник производится независимо от вклада каждой из них в реальную нагруженность конструкции в данном конкретном случае. При этом некоторые гармоники с частотой менее 5 Гц могут также оказаться незначительными с точки зрения влияния на нагруженность.

Например, неучтенная ошибка оценки перегрузок в случаях, когда они близки к разрушающим, может достигать 30 % как в сторону завышения, так и занижения.

Предлагается методика, учитывающая комплекс перечисленных факторов, оказывающих закономерное влияние на динамическую погрешность измерения перегрузки акселерометрами инерционного типа. В целях обеспечения учета амплитудных и фазовых искажений гармонических составляющих процесса изменения во времени перегрузки (ускорения) в месте установки датчика полученную на регистраторе запись следует проанализировать с помощью алгоритма Фурье [2]. В результате выявляются амплитуды y_{1j} , начальные фазы ϕ_{1j} и частоты ω_j ($j = 1, 2, \dots, N$) гармоник рассматриваемого процесса, а также его постоянная составляющая y_0 .

Если бы j -я гармоническая составляющая процесса регистрировалась акселерометром без искажений, ее амплитуда D_j могла бы быть найдена из соотношения

$$D_j = k y_{1j}, \quad (4)$$

где k – постоянный коэффициент, получаемый в процессе градуировки датчика.

Величина коэффициента k , которая имеет место в действительности, k_d , может быть оценена с помощью выражений:

$$k_\alpha = k \sqrt{\left(1 - \frac{\omega_j}{\omega_0}\right)^2 + \frac{4b^2 y_{1j}^{2(n-1)} \omega_j^{2n} I^2(n)}{\pi^2 m^2 \omega_0^4}}; \quad (5)$$

$$I(n) = \frac{2^{n-2} n \Gamma^2\left(\frac{n}{2}\right)}{(n+1) \Gamma(n)}, \quad (6)$$

где $\Gamma(n)$ – гамма-функция [3].

Соотношение (5) получено путем трансформации приведенного в [4] решения, найденного в результате исследования математической модели функционирования акселерометра инерционного типа, в которой принята зависимость обобщенной силы трения $F_{тр}$ от скорости перемещения V чувствительного элемента (массой m) датчика, имеющая вид степенного закона

$$F_{тр} = -b |V|^n \text{Sgn}V + C, \quad (7)$$

где C – постоянная составляющая силы трения, имеющая место в случае, когда регистрация сигнала датчика на носителе информации осуществляется с использованием механического принципа (например, царапание).

Начальная фаза действовавшей на датчик гармонике может быть получена из соотношения

$$\varphi_j = \arctg \left[\frac{(\omega_0^2 - \omega_j^2) \operatorname{tg} \varphi_{1j} - 2h\omega_j}{(\omega_0^2 - \omega_j^2) + 2h\omega_j \operatorname{tg} \varphi_{1j}} \right], \quad (8)$$

где

$$h = \frac{2b(y_{1j} \omega_j)^{n-1} I(n)}{\pi m}. \quad (9)$$

В свою очередь, статическая составляющая действовавшего на датчик процесса может быть найдена как

$$D_{ST} = y_0 k + \frac{C}{m}. \quad (10)$$

Фигурирующая в (5) и (10) величина m содержится в паспортных данных акселерометра. Для определения входящих в (5) - (9) значений постоянных ω_0 , b , n и C применительно к прибору КЗ-63 в ГосНИИ ГА и филиале ЦАГИ разработаны и успешно используются специальные методики.

Акселерометр инерционного типа является линейной системой. В связи с этим использование принципа суперпозиции [4] позволяет выявить действовавший на датчик процесс изменения ускорения (перегрузки) за счет суммирования его статической и гармонических составляющих, параметры которых получены с помощью (4) – (10) на основе аналогичных характеристик, выявленных при анализе процесса

$$a = D_{ST} + \sum_{j=1}^N D_j \sin(\omega_j t - \varphi_j). \quad (11)$$

Как указано выше, значимое влияние на нагруженность конструкции самолета оказывают лишь низкочастотные гармонические составляющие процесса изменения ускорения (с частотами менее 5 Гц). В указанной частотной области разработанный алгоритм восстановления входного сигнала датчика по его выходному сигналу является устойчивым в том смысле, что этот алгоритм представляет собой решение корректно поставленной задачи [5].

Колебательная система планера самолета и акселерометр инерционного типа – типичные механические и консервативные системы, для которых потенциальная энергия в положении устойчивого равновесия является минимальной [4]. В связи с этим амплитуды составляющих колебательного процесса должны подчиняться общей тенденции уменьшения с ростом частоты гармоник.

Нарушение этой тенденции для амплитудных смещений, выявленных с помощью (4) – (9) гармоник входного сигнала датчика, имеющих повышенные частоты колебаний, является признаком того, что в этой области частот задача выявления действовавшего на датчик колебательного процесса становится некорректной. Смысл некорректности заключается в том, что при малых погрешностях определения характеристик акселерометра ω_0 , b , n , C погрешности параметров выявленных гармоник могут выводить получаемое с помощью (11) решения задачи за рамки физического смысла [5].

Поэтому очевидно, что составляющие действовавшего на датчик процесса, выявленные в результате решения некорректно поставленной задачи, должны быть исключены из дальнейшего рассмотрения, так как их совокупность не отражает реальную нагруженность конструкции, а представляет собой “шум”, полученный вследствие ошибок, накапливающихся в процессе решения.

При этом необходимо иметь в виду, что исключение подобных составляющих можно производить лишь в том случае, когда уровень их амплитудных смещений оказывается ниже некоторого порогового значения. В качестве такого выбирается величина δA_j^{\max} , где A_j^{\max} - максимальное из амплитуд смещений гармонических составляющих действовавшего на акселерометр процесса, а δ - некоторый коэффициент. На основе опыта проведенных ранее исследований при решении практических задач принимается, что $\delta = 0,02$.

Оставшиеся после исключения "шума" гармоники действующего на датчик процесса, количество которых равно $N1$ должны быть проанализированы с точки зрения вклада каждой из них в нагруженность (деформацию) в месте установки средства измерения. Для этого предлагается специальный алгоритм. Он заключается в том, что указанные гармоники упорядочиваются по возрастанию вызываемого ими амплитудного смещения (деформации) в зоне крепления акселерометра A_k ($k = 1, 2, \dots, N1$). Рассчитывается сумма этих смещений S , а также последовательно отношения к S величин S_j ($j = 1, \dots, N1 - 1$), где

$$S_j = \sum_{k=1}^j A_k. \quad (12)$$

Гармоники, для которых величина S_j оказывается меньше некоторого малого порогового значения Δ , очевидно оказывают незначимое влияние на суммарную нагруженность (деформации) в месте установки акселерометра. В связи с этим их также следует исключить из рассмотрения, т.е. при $S_j < \Delta$ не учитываются составляющие с амплитудами A_k ($k = 1, \dots, j$). На основе результатов исследований установлено, что величина Δ может быть принята равной $\Delta = 0,01$.

В конечном счете действующий на акселерометр динамический процесс изменения ускорения во времени может быть восстановлен с помощью аналогичной (11) модели

$$a = D_{ST} + \sum_{k=j+1}^{N1} D_k \sin(\omega_k t - \varphi_k), \quad (13)$$

где D_k , ω_k , φ_k - параметры значимых для нагруженности составляющих процесса изменения ускорения с соответствующими характеристиками A_k .

В формулах (11) и (13) отсутствуют составляющие, учитывающие быстро затухающие собственные колебания [4] чувствительной массы акселерометра [4].

Это объясняется тем, что данные колебания имеют частоту, близкую собственной частоте ω_0 чувствительной массы акселерометра, т.е. для всех имеющих практическое значение случаев нагружения планера самолета $\omega > \omega_{N1}$. Таким образом, предлагаемый алгоритм оценки значимости вклада составляющих в нагруженность обеспечивает исключение таких колебаний из итогового соотношения (13).

Работоспособность и эффективность предложенного подхода, реализованного в виде программы ЭВМ, проверена на практике при анализе нескольких сложных и ответственных случаев динамического нагружения конструкции самолетов в эксплуатации, в том числе связанных с ее разрушением.

В качестве иллюстрации на рис. 1 приведены результаты выявления на основе записи самописца КЗ-63 (сплошная тонкая линия) уточненного процесса изменения во времени (толстая линия). При сопоставлении графиков (в том числе изображенного тонкой прерывистой линией процесса, полученного после обработки этой записи методом фильтрации) отчетливо виден эффект учета погрешностей, связанных с амплитудными и фазовыми искажениями процесса при его регистрации акселерометром, а также ошибок, вносимых вибрационными составляющими.

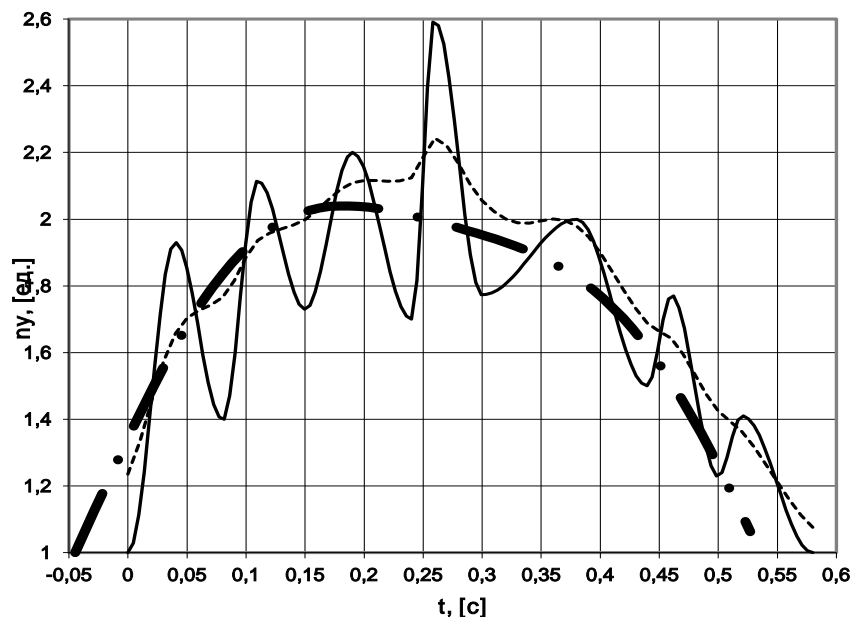


Рис. 1. Изменение нормальной перегрузки при посадочном ударе самолета Ту-134А

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудков А.И. Методы и техника испытаний ВС на прочность. - М.: Машиностроение, 1972.
2. Введение в цифровую фильтрацию / под ред. Р. Богнера: пер. с англ. - М.: Мир, 1976.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников / пер. с англ. - М.: Наука, 1970.
4. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. - М.: Наука, 1970.
5. Рабинович С.Г. Погрешности измерений. - Л.: Энергия, 1978.

AIRCRAFTS DYNAMIC LOAD FACTORS DETERMINATION, TAKING INTO ACCOUNT THE CHARACTERISTICS OF INERTIAL TYPE ACCELEROMETER

Daletskiy S.V., Filippov V.P.

The article reflects methodical approach for the actual aircraft structure dynamic loading process identification by the on-Board accelerometer record data, which characteristics are known, and stress loading contribution analysis of individual harmonic components in accelerometer records data with used methodology hard landing analysis.

Key words: airplane, dynamic loading, accelerometer, hard landing, harmonics.

Сведения об авторах

Далецкий Станислав Владимирович, 1944 г.р., окончил МАИ (1969), доктор технических наук, начальник отдела ГосНИИ ГА, заслуженный работник транспорта РФ, почетный авиастроитель РФ, академик Российской академии транспорта и Российской академии проблем качества, эксперт Госстандарта РФ и Межгосударственного авиационного комитета, автор более 100 научных работ, область научных интересов - разработка, испытания и техническая эксплуатация воздушного транспорта.

Филиппов Валентин Павлович, 1950 г.р., окончил МАТИ (1972), доцент, кандидат технических наук, начальник отдела исследований динамики полета, систем управления и прочности Авиационного сертификационного центра ГосНИИ ГА, автор 40 научных работ, область научных интересов - нагрузка, прочность конструкций самолетов и ее поддержание в условиях эксплуатации.

УДК 629.735.015

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЁТОВ АВИАКОМПАНИЙ НА ОСНОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СУММАРНЫХ ЗАТРАТ

О.О. МОРОЗОВА

Статья представлена доктором технических наук, профессором Зубковым Б.В.

В статье рассматривается математическая модель суммарных затрат авиакомпаний на обеспечение безопасности полётов и ликвидацию возможного ущерба от авиационных событий. Использование данной модели предлагается в рамках руководства по управлению безопасностью полётов (Doc. 9859 AN/474) для решения «дилеммы Защиты и Производства», что позволит усовершенствовать систему управления безопасностью полётов в части принятия решений по управлению рисками на основании критерия минимума суммарных затрат.

Ключевые слова: математическая модель, суммарные затраты, управление, безопасность полётов.

Проблема предупреждения возникновения авиационных событий имеет особую актуальность в авиации.

Управленческим инструментом авиакомпании для повышения безопасности полётов является система управления безопасностью полётов, которая должна [1]:

определять фактические и потенциальные угрозы для безопасности полетов и оценки соответствующих рисков;

включать процессы разработки и внедрения профилактических мероприятий, необходимых для поддержания приемлемого уровня безопасности полетов;

обеспечивать постоянный контроль и регулярную оценку адекватности, предпринимать эффективные меры по управлению безопасностью полетов.

При принятии решений по уменьшению и/или устранению рисков реализации авиационных событий важно учитывать «дилемму двух составляющих: Защиты и Производства» [2].

С целью повышения эффективности системы управления безопасностью полётов авиакомпании предлагается методика определения оптимального уровня вероятности предотвращения авиационных событий (по итогам внедрения предотвращающих мероприятий), обеспечивающего минимальные суммарные затраты на обеспечение безопасности полётов и ликвидацию последствий возможного ущерба.

В один момент времени вероятность реализации двух авиационных событий чрезвычайно мала (за исключением случаев столкновения двух воздушных судов), и, вводя допущение о стационарности авиационных происшествий и инцидентов за время налёта T и независимости появления авиационных событий на любых двух непересекающихся отрезках времени, поток событий является простейшим пуассоновским потоком [3].

Тогда вероятность реализации авиационных событий равна

$$P(AC) = \lambda_{AC} T, \quad (1)$$

где $P(AC)$ – вероятность реализации авиационного события; λ_{AC} – интенсивность потока авиационного события, $ч^{-1}$.

Любое авиационное событие может быть следствием нескольких факторов (причин). Каждый фактор имеет свою долю в возникновении авиационного события. В конкретном авиационном событии имеют место свои факторы, представляющие собой полную группу событий. Доля фактора представляет собой не что иное, как условную вероятность того, что событие произошло по причине этого фактора и обозначается $P(\Phi/AC)$.

Каждое авиационное событие, даже обусловленное одной и той же причиной (или несколькими причинами), будет происходить по своему, и будет приводить к своему ущербу. Поэтому из статистических данных следует получить для данного фактора среднюю величину ущерба как среднее выборочное или среднее арифметическое простое $\overline{C_{AC}}$.

При реализации авиационных событий собственные затраты в 2 или 3 раза выше страховых выплат [4]. Учитывая это, в работе рассматривается ущерб без учета страхования и уровня франшизы (для упрощения задачи и как первое приближение).

По каждому фактору предотвращающих мероприятий может быть несколько. Одно мероприятие может предотвращать несколько факторов.

Вероятность предотвращения авиационных событий по итогам внедрения предупреждающих мероприятий $P_{пр}$

$$P_{пр} = \frac{\lambda_{пред}}{\lambda_{пред} + \lambda_{непр}}, \quad (2)$$

где $\lambda_{пред}$ – интенсивность предотвращенных авиационных событий в результате внедрения предотвращающих мероприятий, $ч^{-1}$; $\lambda_{непр}$ – интенсивность непредотвращенных авиационных событий в результате внедрения предотвращающих мероприятий, $ч^{-1}$.

Важнейшей характеристикой случайной величины является его математическое ожидание, т.е. среднее значение, вокруг которого группируются все возможные его значения.

Учитывая вероятность предотвращения авиационных событий, математическое ожидание риска составит

$$R'_{AC} = \lambda_{AC} \cdot T \cdot P(\Phi/AC) \cdot \overline{C_{AC}} (1 - P_{пр}). \quad (3)$$

На основании статистических (экспериментальных) данных можно получить зависимость вероятности предотвращения авиационных событий от стоимости предотвращающих мероприятий K

$$P_{пр} = 1 - e^{-\frac{K}{C_0}}, \quad (4)$$

где C_0 – постоянная процесса (аналог постоянной времени), характеризующая скорость повышения вероятности предотвращения авиационных событий.

Обратная зависимость капиталовложений K от $P_{пр}$

$$K = -C_0 \ln(1 - P_{пр}). \quad (5)$$

При известных функциях капиталовложений на обеспечение безопасности полётов и риска авиационных событий, выраженного в виде оценки последствий опасности, искомая математическая модель суммарных затрат будет принимать вид (при дискретных величинах)

$$R + K = \lambda_{AC} \cdot T \cdot P(\Phi/AC) \cdot \overline{C_{AC}} (1 - P_{пр}) - C_0 \ln(1 - P_{пр}). \quad (6)$$

Точка экстремума определяется выражением

$$P_{пр\text{opt}} = 1 - \frac{C_0}{T \cdot \lambda_{AC} \cdot P(\Phi/AC) \cdot \overline{C_{AC}}}. \quad (7)$$

Вид экстремума - минимум.

Формулу (7) можно записать с учётом видов авиационных событий, факторов, типов воздушных судов.

В точке $P_{пр\text{opt}}$ затраты авиакомпании на обеспечение безопасности полётов равны возможному ущербу от авиационных событий ($K=R$). Если величина вероятности $P_{пр} < P_{пр\text{opt}}$, то будут расти расходы на ликвидацию последствий авиационных событий. Если величина вероятности $P_{пр} > P_{пр\text{opt}}$, то будут расти расходы на разработку предупреждающих мероприятий, причем этот

рост может быть большим при малой эффективности мероприятий, то есть в методике учитывается базовый принцип инвестирования [5].

Реализация представленной модели требует обработки большого количества данных и проведения множества соответствующих расчетов параметров модели. В связи с этим на основании данной методики может быть разработано программное обеспечение. Интеграция данной программы в систему управления безопасностью полётов авиакомпании позволит усовершенствовать процесс управления рисками возникновения авиационных событий и, таким образом, выстроить приоритетную стратегию повышения безопасности полётов при минимальных суммарных затратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении Федеральных авиационных правил «Подготовка и выполнение полётов в гражданской авиации Российской Федерации»: приказ № 128 от 31.07.2010 г.
2. Руководство по управления безопасностью полётов (РУБП). Doc 9859-AN/460. - 2-е изд. - ИКАО, 2009.
3. **Вентцель Е.С.** Теория случайных процессов и её инженерные приложения: учеб. пособие для студ. вузов / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательский центр «Академия», 2003.
4. Циркуляр ИКАО 247 – А № (148). Человеческий фактор: сб. материалов № 10. Человеческий фактор в управлении и организации, 1993.
5. **Кейлер В.А.** Экономика предприятия: курс лекций. - М.: ИНФРА, Новосибирск: НГАЭиУ, 1999.

AIRLINES FLIGHT SAFETY MANAGEMENT SYSTEM CONTROL DECISIONS OPTIMIZATION ON TOTAL COST MATHEMATICAL MODEL BASIS

Morozova O.O.

This article considered the mathematical model of airline safety total costs due to possible accident. The mathematical model takes into account all airlines aircraft types, aircraft accident types, their intensity, damages, and prevention action effectiveness. The use of this model is offered within the limits of the SMM ICAO to address «the dilemma of Protection and Production» that will allow SMS and decision-making process improving in term of risks management.

Key words: mathematical model, the total cost management, flight safety.

Сведения об авторе

Морозова Ольга Олеговна, окончила УВАУ ГА (2009), аспирантка УВАУ ГА (И), автор 6 научных работ, область научных интересов – математическое моделирование.

УДК 504.3.064:656.7

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНОГО СУДНА

С.Ю. СКРИПНИЧЕНКО, А.И. ПЛЕШАКОВ

Рассматривается вопрос определения комплексного показателя экологичности воздушного судна в эксплуатации, учитывающего выбросы парниковых газов, загрязнений, шумовых и электромагнитных воздействий на окружающую среду.

Ключевые слова: комплексный показатель, экология, воздушные суда, эксплуатация, парниковые газы, загрязнения атмосферы, шум и электромагнитное воздействие, экспертные оценки, весовые коэффициенты.

При эксплуатации воздушное судно оказывает воздействие на окружающую среду – акустическое, эмиссионное и электромагнитное.

Степень этого воздействия определяет экологичность воздушного судна.

При сравнении типов воздушных судов может быть применен комплексный относительный показатель экологичности эксплуатации, учитывающий влияние нижеследующих факторов (рис. 1).



Рис. 1. Факторы, определяющие экологичность ВС в эксплуатации

Комплексный показатель экологичности эксплуатации \tilde{e} , предназначенный для относительного сопоставления рассматриваемых типов воздушных судов и предложенный в [1], состоит из пяти составляющих:

$$\tilde{e} = \tilde{V}_n + \tilde{V}_z + \tilde{\eta}_{ш} + \tilde{\eta}_{ам} + \tilde{\eta}_{эм} - B, \quad (1)$$

где \tilde{V}_n , \tilde{V}_z , $\tilde{\eta}_{ш}$, $\tilde{\eta}_{ам}$, $\tilde{\eta}_{эм}$ – отношение показателей выбросов парниковых газов, загрязняющих веществ, шумового воздействия на взлете и посадке, акустического воздействия при полете по маршруту, электромагнитного воздействия, соответственно, i -го воздушного судна и их минимальному значению из рассматриваемой группы (аналитические значения каждого из этих параметров приведены в [1]).

Выражение комплексного показателя экологичности (1) соответствует случаю, когда весовые коэффициенты влияния каждого из рассматриваемых факторов равны друг другу и соответствуют.

Безусловно, в большинстве практических случаев эти коэффициенты могут отличаться друг от друга. Для этих случаев выравнивания для комплексного показателя экологичности эксплуатации может быть следующее:

$$\tilde{e} = \xi_n \tilde{V}_n + \xi_3 \tilde{V}_3 + \xi_{ш} \tilde{\eta}_{ш} + \xi_{шм} \tilde{\eta}_{шм} + \xi_{ам} \tilde{\eta}_{ам} + \xi_{эм} \tilde{\eta}_{эм} \dots, \quad (2)$$

где $\xi_n, \xi_3, \xi_{ш}, \xi_{ам}, \xi_{эм}$ – весовые коэффициенты для каждого из рассматриваемых факторов.

Каждый из этих коэффициентов определяется как величина средневзвешенных экспертных оценок, назначаемых экспертами в диапазоне от 0 до 1.

Ниже в табл. 1 приводятся значения весовых коэффициентов, полученных для группы из пяти экспертов.

Таблица 1

Вариант определения весовых коэффициентов

Весовой коэффициент	ξ_n	ξ_3	$\xi_{ш}$	$\xi_{ам}$	$\xi_{эм}$
	0,56	0,81	0,93	0,1	0,05

Таблица 2

Сравнение комплексных параметров экологичности \tilde{e} четырех типов магистральных самолетов с учетом весовых коэффициентов

№ п/п	Параметр	Тип самолета			
		№1	№2	№3	№4
1	\tilde{V}_n	1,00	1,15	1,22	1,17
2	\tilde{V}_3	1,05	1,00	1,12	1,07
3	$\tilde{\eta}_{ш}$	1,10	1,06	1,00	1,09
4	$\tilde{\eta}_{ам}$	1,11	1,05	1,07	1,00
5	$\tilde{\eta}_{эм}$	1,09	1,18	1,21	1,00
6	$\xi_n \tilde{V}_n$	0,560	0,644	0,683	0,655
7	$\xi_3 \tilde{V}_3$	0,850	0,810	0,931	0,866
8	$\xi_{ш} \tilde{\eta}_{ш}$	1,023	0,986	0,930	1,013
9	$\xi_{ам} \tilde{\eta}_{ам}$	0,111	0,101	0,101	0,107
10	$\xi_{эм} \tilde{\eta}_{эм}$	0,055	0,059	0,060	0,050
	\tilde{e}	2,599	2,60	2,705	2,584

Наименьшее значение \tilde{e}_x соответствует четвертому типу воздушного судна.

Использование комплексного критерия экологичности эксплуатации с учетом весовых коэффициентов позволяет более объективно проводить сравнение типов воздушных судов по комплексному воздействию на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скрипниченко С.Ю., Масленникова Г.Е., Плешаков А.И. О комплексном показателе экологичности эксплуатации воздушного судна // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2012. - № 179. - С. 100-103.
2. Скрипниченко С.Ю., Плешаков А.И., Скрипниченко Ю.С. К созданию системы квотирования выбросов парниковых газов на воздушном транспорте // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2012. - № 172. - С. 54-58.
3. Скрипниченко С.Ю. О создании системы повышения уровня экологичности эксплуатации по выбросам парниковых газов на воздушном транспорте // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2012. - № 177. - С. 55-58.

**ABOUT THE DEFINITION OF AIRCRAFT ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS
OPERATION COMPLEX INDEX****Skripnichenko S.Yu., Pleshakov A.I.**

The article is describes the aircraft operation complexity ecological index.

Key words: complex ecology index, aircraft, operation, emission.

Сведения об авторах

Скрипниченко Станислав Юрьевич, 1935 г.р., окончил МАИ (1959), доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ГосНИИ ГА, автор более 180 научных работ, область научных интересов – эксплуатация и проектирование воздушных судов, экономика и экология воздушного транспорта.

Плешаков Анатолий Иванович, 1950 г.р., окончил КИИГА (1973), кандидат технических наук, ученый секретарь ГосНИИ ГА, автор более 50 научных работ, область научных интересов – эксплуатация воздушного транспорта, экономика и экология гражданской авиации.

Editor-in-chief

Boris Eliseev, Rector, MSTU CA.

Deputy Editor-in-chief

Vadim Vorobyev, Vice Rector for Research and Innovations, MSTU CA.

Executive Secretary

Oksana Feoktistova, Professor, Chair of Safety and Life Activities, MSTU CA.

Member of the chief editorial Board

Olga Garanina, Professor, Chair of Humanitarian and Social-Political Sciences, MSTU CA, Moscow, Russia.

Anatoly Kozlov, Professor, Chair of Technical Operation of Radio/Electronic Systems in Air Transport, MSTU CA, Moscow, Russia.

Vladimir Tchipenko, Head of Chair of Aircraft Aerodynamics, Design and Strength, MSTU CA, Moscow, Russia.

Vladimir Kalugin, Dean, Department of Special Machine Design, Bauman University, Moscow, Russia.

Dmitry Lukin, Professor, Chair of Wave Processes, Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Russia.

Vacily Shapkin, General Director, State Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia.

Bruno Lamiscarre, Deputy Dean, French Civil Aviation University (ENAC), France.

Franco Persiani, Director, Interdepartmental Centre of Industrial Research in Aeronautics, University of Bologna, Italy.

Damian Rivas, Professor, Department of Aerospace Engineering, University of Seville, Spain.

ББК 05
Н 34
Св. план 2013 г.

Научный Вестник МГТУ ГА
№ 197

ISBN 978-5-86311-897-0

Свидетельство о регистрации в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) ПИ № ФС77-47989 от 27 декабря 2011 г.

Редакторы Т.М. Приорова, Е.В. Гаранина
Компьютерная верстка Т.Н. Котиковой

Подписано в печать 12.11.13 г.

Печать офсетная
19,00 усл. печ. л.

Формат 60x90/8
Заказ № 1666/

17,02 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20
Редакционно-издательский отдел
125493 Москва, ул. Пулковская, д. 6а

Подписной индекс в каталоге Роспечати 84254
© Московский государственный
технический университет ГА, 2013