

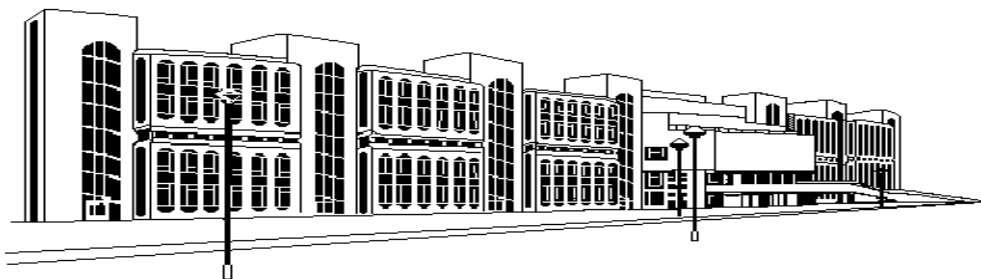


ISSN 2079-0619

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

# НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК МГТУ ГА

№ 178



Москва  
2012

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

---

# **НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК МГТУ ГА**

**№ 178 (4)**

Издается с 1998 г.

**Москва  
2012**

*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,  
проф. Б.П. Елисеев (*МГТУ ГА*)
- Зам. главного редактора -** д-р техн. наук, проф. Е.Е. Нечаев (*МГТУ ГА*)
- Ответственный секретарь главной редакции -** д-р техн. наук, доц. О.Г. Феоктистова  
(*МГТУ ГА*)
- Члены главной редакции -** д-р экон. наук, проф. Б.В. Артамонов (*МГТУ ГА*);  
д-р филос. наук, проф. О.Д. Гаранина (*МГТУ ГА*);  
д-р техн. наук, проф. Л.Н. Елисов (*МГТУ ГА*);  
д-р экон. наук, проф. В.А. Казаков (*МГУ им. М.В. Ломоносова*);  
заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук,  
проф. В.Т. Калугин (*МГТУ им. Н.Э. Баумана*);  
заслуженный деятель науки и техники РФ,  
д-р физ.-мат. наук, проф. А.И. Козлов (*МГТУ ГА*);  
д-р техн. наук, проф. В.Л. Кузнецов (*МГТУ ГА*);  
д-р техн. наук, проф. С.В. Кузнецов (*МГТУ ГА*);  
заслуженный деятель науки и техники РФ,  
д-р физ.-мат. наук, проф. Д.С. Лукин (*МФТИ*);  
д-р техн. наук, проф. В.В. Соломенцев (*НТЦ «Промтехаэро»*);  
заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук,  
проф. В.Г. Ципенко (*МГТУ ГА*);  
д-р техн. наук, проф. В.С. Шапкин (*ГосНИИ ГА*)

### **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 -** канд. техн. наук, доц. Е.Д. Герасимова (*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(495)459-07-34

ISBN 978-5-86311-826-0

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

---

---

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

---

---

№ 178 (4)

2012

**СОДЕРЖАНИЕ**

|                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Чинючин Ю.М., Смирнов Н.Н., Кирдюшкин В.С.</b> Проблемы совершенствования системы поддержания летной годности воздушных судов.....                                                       | 7   |
| <b>Ицкович А.А., Чинючин Ю.М., Смирнов Н.Н., Файнбург И.А.</b> Анализ состояния и тенденций развития центров технического обслуживания и ремонта воздушных судов.....                       | 13  |
| <b>Ицкович А.А., Файнбург И.А.</b> Показатели эффективности процессов поддержания летной годности воздушных судов .....                                                                     | 21  |
| <b>Любомиров И.С.</b> Эффективность стратегий каннибализации в системе технического обслуживания с ограничениями по запасным частям, ремонту и ресурсам .....                               | 27  |
| <b>Жильцов П.Д., Кирдюшкин В.С., Никитин Н.С.</b> Стратегии обеспечения авиакомпаний съемными компонентами воздушных судов .....                                                            | 33  |
| <b>Еникеев Р.В., Прозоров С.Е.</b> Проблемы внедрения системы управления риском в организации по техническому обслуживанию и ремонту .....                                                  | 39  |
| <b>Бехтина Н.Б., Кубланов М.С., Чернигин К.О.</b> Реализация системы управления безопасностью полетов с помощью математического моделирования .....                                         | 46  |
| <b>Любомиров И.С.</b> Система управления безопасностью полетов в организациях по техническому обслуживанию .....                                                                            | 51  |
| <b>Чинючин Ю.М., Додонов К.Н.</b> Построение имитационной модели процесса функционирования системы наземного обслуживания воздушных судов в штатной ситуации.....                           | 58  |
| <b>Бурматов С.В.</b> Информационная поддержка жизненного цикла изделий как основа системы менеджмента безопасности авиационной деятельности авиационного комплекса России.....              | 65  |
| <b>Ицкович А.А., Смирнов Н.Н., Файнбург И.А.</b> Проверка адекватности полумарковской модели управляемых процессов поддержания летной годности воздушных судов .....                        | 71  |
| <b>Алексанян А.Р.</b> Маршрутная технология поэтапного формирования процедур поддержания летной годности воздушных судов .....                                                              | 78  |
| <b>Кирдюшкин Ю.С.</b> Построение модели сравнительного анализа для выбора альтернативных видов авиатоплив .....                                                                             | 85  |
| <b>Губерман И.Б.</b> Оценка соответствия радиоэлектронной аппаратуры, предназначенной для различных условий эксплуатации, установленным требованиям на основе теории нечетких множеств..... | 92  |
| <b>Кузнецов И.Б.</b> Оценка эффективности использования пилотом системы отображения информации самолета .....                                                                               | 96  |
| <b>Дудник В.В., Черановский В.О.</b> Построение упрощенной математической модели короткопериодического движения экспериментального сверхлегкого вертолета соосной схемы...                  | 101 |
| <b>Новиков В.В., Машошин О.Ф.</b> Прогнозирование технического состояния авиационных конструкций, работающих под действием циклических нагрузок .....                                       | 109 |
| <b>Дасковский М.И., Машошин О.Ф.</b> Эффективность комплексного применения различных методов трибодиагностики при эксплуатации двигателя ПС-90А .....                                       | 115 |



|                                                                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Соколов Д.А.</b> Перспективы использования метода сканирующей зондовой микроскопии в процессе диагностирования авиационной техники (АТ) .....                                             | 123 |
| <b>Чумаченко Д.Е.</b> Практические аспекты подготовки воздушного судна к рейсу на примере работы департамента управления производственной деятельностью .....                                | 127 |
| <b>Гаглюев Э.П.</b> "Руление" – подразделение управления воздушным движением (УВД).....                                                                                                      | 131 |
| <b>Никитин И.В., Асади М.Д.</b> Анализ основных характеристик и классификация легких самолетов-амфибий и гидросамолетов .....                                                                | 135 |
| <b>Пивоваров В.А., Белоусов Г.Г., Белоусов М.Г.</b> Кинетика разрушения лопаток компрессоров                                                                                                 | 142 |
| <b>Найда В.А., Позолотин А.С.</b> Обобщение опыта разработки электронных тренажеров для инженерных специальностей .....                                                                      | 148 |
| <b>Петрунин С.В., Большедворская Л.Г.</b> Математическая модель организации курсов повышения квалификации.....                                                                               | 153 |
| <b>Санчугов В.И., Показеев В.П., Батанов Н.В.</b> Ускоренные испытания на прочность гидрорепневмооборудования.....                                                                           | 158 |
| <b>Санчугов В.И., Показеев В.П., Батанов Н.В.</b> Сущность и существующие схемы ускоренных эквивалентных испытаний (УЭИ).....                                                                | 166 |
| <b>Губерман И.Б.</b> Установление допусков на оцениваемые параметры радиоэлектронной аппаратуры с учетом рисков заказчика и изготовителя .....                                               | 173 |
| <b>Тимошенко А.Н., Урявин С.П., Козлов А.Н.</b> FAME – прямая угроза безопасности полетов                                                                                                    | 178 |
| <b>Санчугов В.И., Показеев В.П., Батанов Н.В.</b> Анализ напряженно-деформированного состояния дросселя постоянного расхода НУ5810-40М-1 при ускоренных эквивалентных испытаниях (УЭИ) ..... | 183 |

*Научно-технический прогресс в гражданской авиации России в значительной степени обусловлен дальнейшим развитием эксплуатации авиационной техники как науки. Теоретические и экспериментальные исследования в сфере технической эксплуатации отечественных гражданских воздушных судов (ВС) направлены прежде всего на обеспечение и повышение эффективности их эксплуатации, сохранение летной годности и повышение уровня безопасности полетов.*

*Эффективная техническая эксплуатация авиационной техники невозможна без проведения научных исследований, применения современных стратегий и программ эксплуатации ВС, методов управления эффективностью производственных процессов, обеспечения и поддержания летной годности ВС в течение всего жизненного цикла, а также без создания необходимых условий для эффективного и безопасного использования ВС по назначению.*

*Обеспечение безопасности полетов является главной задачей деятельности авиапредприятий и авиационных федеральных органов страны. Новые экономические, политические и социальные отношения, характерные для нашей страны в целом, диктуют необходимость учета ряда принципиальных особенностей при решении актуальных проблем дальнейшего развития гражданской авиации и повышения эффективности использования воздушного транспорта и его безопасности.*

*Государственная научно-техническая политика в области обеспечения безопасности полетов строится в России на базе соответствующего законодательства. Ее основными целями являются прежде всего:*

- 1. Достижение мирового уровня обеспечения безопасности и эффективности эксплуатации ВС.*
- 2. Создание необходимых условий для привлечения инвестиционных средств в сферу поддержания летной годности ВС и обеспечения безопасности полетов.*

*3.Обеспечение равноправного участия российских авиапредприятий в коммерческой деятельности в области авиации на мировых рынках авиационных услуг.*

*В настоящем выпуске Научного Вестника представлены результаты наиболее актуальных научных исследований, проводимых учеными, аспирантами и ведущими специалистами отрасли и связанных с дальнейшим развитием и совершенствованием теоретической и технико-экономической, научной и научно-прикладной отечественной базы авиационной транспортной системы.*

*В Вестнике нашли отражение такие проблемные вопросы, как: моделирование процессов и систем управления безопасностью полетов, обеспечения и поддержания летной годности ВС; управление техническим состоянием авиационной техники, качеством и эффективностью процессов летно-технической и технической эксплуатации ВС; повышение эксплуатационно-технических свойств, надежности и ресурсных параметров авиационной техники.*

*Материалы Научного Вестника представляют интерес для ученых, аспирантов и специалистов, занимающихся решением проблем по дальнейшему развитию и повышению эффективности авиационной транспортной системы и системы технической эксплуатации гражданской авиационной техники.*

**Ответственный редактор –**

*действительный член Академии наук авиации  
и воздухоплавания, зав. кафедрой ТЭЛА и АД МГТУ ГА,  
доктор технических наук, профессор*

**Ю.М. Чинючин**

УДК 629.735.017.83

## ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Ю.М. ЧИНЮЧИН, Н.Н. СМЕРНОВ, В.С. КИРДЮШКИН

Рассмотрены проблемные вопросы и рекомендации по совершенствованию Системы поддержания летной годности воздушных судов на современном этапе развития гражданской авиации России.

**Ключевые слова:** воздушные суда, летная годность, пирамида поддержания летной годности, нормативная база, рекомендации.

### Характеристика состояния парка воздушных судов

Структура парка эксплуатируемых самолетов гражданской авиации (ГА) характеризуется приблизительным балансом между воздушными судами (ВС) отечественного производства - 52% и ВС западного производства - 48%. В структуре парка отечественных самолетов, по данным ГосНИИ ГА [1], преобладают аттестованные ВС (79,8%), большая часть которых (более 60%) разработки 1960...1970 гг.

ВС следующего поколения разработки - 1985...1990 гг. (типа Ту-204 и Ил-96) составляют 12,3%, а нового поколения (Ан-148 и SSJ-100) - 2,8%.

Безопасная эксплуатация парка отечественных ВС долгие годы обеспечивалась и обеспечивается действующей в ГА межведомственной Системой поддержания летной годности (ПЛГ) ВС. Вместе с тем новые условия развития ГА РФ определяют необходимость ее дальнейшего совершенствования, в первую очередь в части нормативно-правовой базы ПЛГ ВС.

В Государственном реестре ГА РФ на 01.09. 2011 г. было зарегистрировано всего 7442 экз. ВС, в том числе:

- коммерческий парк — 6140 экз. — 83%;
- авиация общего назначения — 1302 экз. — 17%.

В состав **действующего** парка ВС России входят: пассажирские — 1326 экз.; грузовые — 121 экз., при этом действующий парк новых типов российских пассажирских самолетов пока составляет 42 экз.

Численность магистральных пассажирских самолетов иностранного производства за 10 лет выросла более чем в 10 раз. Доля западных ВС в объеме поставок пассажирских самолетов приблизилась к 90%. В 2009 году в парк ГА России поступило 129 пассажирских самолетов, в том числе 116 — западных ВС. В 2010 году из 91 поставленного самолета 78 — западные ВС.

В 2011 году Объединенная авиационная корпорация (ОАК) произвела один самолет Ту-214, три самолета SSJ-100, два Ан-148 и 36 вертолетов (33 из них на экспорт).

В 2010 году по сравнению с 2000 годом суммарный налет часов самолетов:

- отечественного производства — сократился в 1,7 раза;
- зарубежного производства — увеличился в ~10,7 раз.

В 2010 году на самолетах зарубежного производства было выполнено 83% пассажирооборота и 74% грузооборота.

Рост объемов авиаперевозок определяет потребность в увеличении провозной мощности парка воздушных судов. Хотя темпы роста численности действующего парка самолетов будут уступать темпам роста объемов авиаперевозок, развитие грузового парка будет происходить в основном за счет самолетов большой грузоподъемности. В пассажирском парке также заметно

вырастет доля широкофюзеляжных самолетов, но лидерами по численности по-прежнему остаются узкофюзеляжные магистральные самолеты.

Наиболее конкурентоспособные российские самолеты семейства **Ту-204/214** обеспечивают сопоставимый с западными самолетами уровень экономичности перевозок (при существующей системе господдержки). Действующий парк самолетов этого семейства по сравнению с 2000 годом увеличился почти в 4 раза, а объем ежегодно выполняемой им транспортной работы – в 12 раз. Доля самолетов Ту-204/214 в общем пассажирообороте воздушного транспорта России увеличивается.

Самолет **Ту-204 СМ** – это развитие самолета Ту-204, направленное на повышение конкурентоспособности данного семейства, в том числе за счет снижения себестоимости авиаперевозок, что сделает предложение этих самолетов более привлекательным для эксплуатантов.

Самолет Ту-204 СМ выполнил первый полет 29 декабря 2010 года. Завершение работ по проекту возможно к 2012 году.

Начало поставок новых самолетов **Ан-148** (Ан-148-100а, -100в, -100е) российского производства - 2009 год; его пассажироместимость - 70...80 чел. на дальность до 4500 км. Ан-148 разработан с учетом российских условий эксплуатации ВС. По транспортным возможностям и уровню технического совершенства Ан-148 существенно превосходит заменяемый Ту-134 и сопоставим с зарубежными аналогами (CRJ-700/705, ERJ-170/175).

В 2009-2010 гг. в авиакомпанию «Россия» было поставлено 6 ед. Ан-148.

Самолет **SSJ-100** по летно-техническим характеристикам и системе технического обслуживания конкурентоспособен с современными зарубежными аналогами. Самолет SSJ-100 получил сертификат типа АР МАК 28 января 2011 г. В 2011 году началась его коммерческая эксплуатация в авиакомпаниях Арм-Авиа и Аэрофлот.

Наиболее амбициозным проектом является семейство самолетов **МС-21**, включающее варианты на 150, 181 и 212 пассажиров. За счет прогрессивных инновационных решений МС-21 по технико-экономическому уровню будет существенно превосходить современные самолеты семейств А-320 и В-737 NG. В ноябре 2010 года проведен макет самолета. Эксплуатация базовой модели МС-21-200 должна начаться в 2016 году. Самолеты класса МС-21, судя по всему, будут наиболее востребованы в России и в мире.

### Летная годность воздушных судов и безопасность полетов

Наибольшее количество инцидентов, как по самолётам отечественного, так и зарубежного производства, обусловлено отказами авиационной техники – около 50...65%, при этом 15...25% инцидентов связаны с ошибками экипажей ВС. По данным Государственного Центра «Безопасность полетов на воздушном транспорте» [2]:

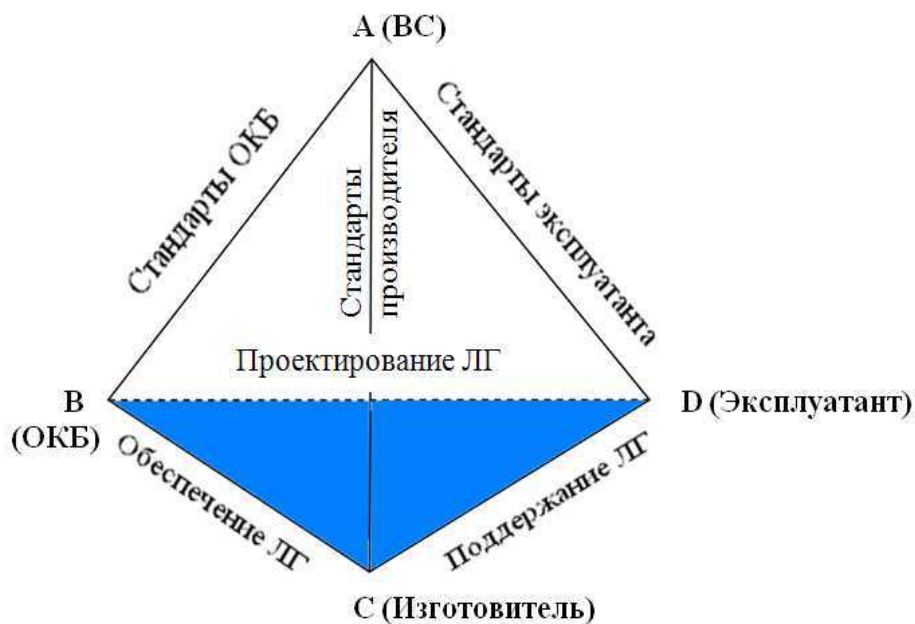
- на всех отечественных самолетах, как «стареющего» парка, так и нового поколения, отчетливо прослеживается тенденция ухудшения (уменьшения) показателя  $T_C$  – наработки на отказ (повреждение), выявленный в полете и при техническом обслуживании. Исключение составляют лишь самолеты Ту-154М ("выброс" значения показателя  $T_C$  за 2010 год) и Ан-148 (малый период эксплуатации);
- у большинства ВС зарубежного производства значения показателя  $T_C$  улучшаются (повышаются);
- в целом наработка на отказ (повреждение) по самолетам отечественного производства более чем в 3 раза меньше соответствующей наработки самолетов зарубежного производства;
- наибольшее влияние на изменение показателя  $T_C$  для каждого типа ВС оказывают повреждения и отказы лишь нескольких функциональных систем.

Проблема обеспечения и поддержания летной годности воздушных судов решалась на всех этапах становления и развития российской ГА. На каждом из этапов в соответствии с требованиями своего времени действовала определенная система регулирования и управления в сфере технической эксплуатации ВС и система правовой и нормативно-технической документации.

В соответствии с Поправкой 102 Приложения 8 ИКАО пригодным к выполнению полетов необходимо считать состояние воздушного судна, двигателя, воздушного винта или части, при котором они соответствуют их утвержденной конструкции и способны обеспечивать безопасную эксплуатацию. Поддержание летной годности - это комплекс мер, посредством которых обеспечивается соответствие всех воздушных судов действующим требованиям летной годности и их поддержание в состоянии, необходимом для безопасной эксплуатации на протяжении эксплуатационного срока службы.

Лучшей иллюстрацией общего механизма обеспечения и поддержания летной годности ВС может быть «*Модель летной годности*», представленная в виде «пирамиды», на вершине которой находится экземпляр воздушного судна (точка А), а в основании пирамиды стоят **Разработчик - ОКБ** (точка В), **Изготовитель** (точка С) и **Эксплуатант** (точка D). Они и являются основными участниками Системы обеспечения и поддержания летной годности ВС.

В работе [3] указанная модель была ранее построена недостаточно корректно. На рис. 1 представлен уточненный вариант модели.



**Рис. 1.** Модель (пирамида) летной годности ВС:

вершина пирамиды – экземпляр ВС (А); основание пирамиды: разработчик - ОКБ (В), изготовитель (С), эксплуатант (D) - участники Системы обеспечения и ПЛГ ВС

Понятно, что если убрать любую из граней, пирамида потеряет устойчивость.

В основании пирамиды лежат три составляющие летной годности, прописанные в Воздушном кодексе РФ: **обеспечение** летной годности ВС при проектировании (разработке) - **ДВ**, **обеспечение** летной годности ВС при изготовлении (производства) **(ВС)** и поддержание летной годности при эксплуатации ВС **(CD)**.

Помимо основания ( $S_{ДВС}$  - летная годность), данная пирамида имеет три плоскости: разработки (проектирования) ВС ( $S_{АДВ}$ ), изготовления (производства) ВС ( $S_{АВС}$ ) и технической эксплуатации ВС ( $S_{АCD}$ ).

В плоскостях **обеспечения** летной годности ВС действуют стандарты ОКБ на проектирование (разработку) и стандарты производителя на производство (изготовление) ВС. В плоскости технической эксплуатации действуют Федеральные авиационные правила - ФАП-145 «Организации технического обслуживания и ремонта авиационной техники» и соответствующие стандарты.

Распоряжением Правительства РФ от 06 мая 2008 г. №641-р утверждена «Государственная программа обеспечения безопасности полетов ВС гражданской авиации». В рамках данной программы разработана и в настоящее время активно реализуется «Целевая комплексная программа поддержания летной годности воздушных судов гражданской авиации», рассчитанная до 2020 года (утверждена Минпромторгом России и Минтрансом России 18.08. – 12.10.2010г).

Воздушным кодексом РФ установлено, что в основе эксплуатации гражданских ВС должны лежать Федеральные авиационные правила, в том числе по поддержанию летной годности (послепродажной поддержке), которых сегодня, к сожалению, нет. Необходимо приложить максимум усилий, чтобы ликвидировать противоречия между промышленностью и эксплуатацией, наладить более тесное их сотрудничество, причем процесс взаимодействия авиационной промышленности с гражданской авиацией должен рассматриваться в рамках единой системы поставки авиационных ресурсов.

Состояние проблемы обеспечения безопасности полетов во многом определяется эффективностью действующей Системы поддержания летной годности ВС. Задачи совершенствования данной Системы решались на всех этапах становления и развития гражданской авиации и в настоящее время находятся в центре внимания международных авиационных организаций и государственных органов.

### **Совершенствование нормативной базы по поддержанию летной годности воздушных судов**

На каждом из этапов в соответствии с требованиями своего времени действовала определенная Система ПЛГ ВС и соответствующая ей законодательная, нормативно-правовая и нормативно-техническая база. Новые экономические отношения в России, а следовательно изменение принципов, правил и форм государственного регулирования и управления в авиационной сфере обусловили существенное изменение требований в части нормативного обеспечения и контроля летной годности ВС при их создании, испытаниях и эксплуатации.

Современные требования нормативного обеспечения и контроля летной годности ВС реализуются при их разработке в виде свойств безотказности, долговечности, живучести, сохраняемости, эксплуатационной и ремонтной технологичности, контролепригодности и др. Однако облик и содержание Системы ПЛГ ВС в процессе длительной эксплуатации в значительно большей степени зависит от стратегий, методов, режимов ТО и ремонта, от экономических и организационных мер и других аспектов, связанных с ПЛГ ВС.

Предполагается, что реализация предложений по дальнейшему совершенствованию нормативной базы РФ позволит в двухсторонних договорах в рамках статьи 83bis Конвенции ИКАО ставить вопрос о передаче России всех функций (и ответственности) по надзору за поддержанием летной годности воздушных судов иностранного производства иностранной регистрации при их эксплуатации в авиакомпаниях РФ. Такая возможность предусмотрена статьей 83bis Конвенции ИКАО и в полной мере соответствует Воздушному кодексу РФ.

Согласно ВК РФ (ст. 37) соблюдение правил летной эксплуатации и ТО гражданских ВС возлагается на **Эксплуатанта**, обеспечение соответствия требованиям летной годности типа ВС – на **Разработчика**, соответствия экземпляра ВС – на его **Производителя**, а государственный контроль за летной годностью на всех этапах жизненного цикла ВС – на **федеральные органы** исполнительной власти (АП МАК, ФСБТ, ФСНСТ, Минпромторг).

Поэтому особенно важно четко регламентировать взаимоотношения поставщиков авиатехники и эксплуатантов. Во всем мире данная система хорошо отлажена и базируется на основе «Руководства для поставщиков авиационной техники и авиакомпаний». В России такого документа нет. Некоторым подобием ему является «Договор купли-продажи...», эффективность которого, к сожалению, невелика. В результате сегодня в РФ нет системы послепродажной поддержки самолетов в том виде, в котором она существует в других странах.

Закон «О техническом регулировании» вносит целый ряд весьма существенных изменений в систему подтверждения соответствия. Следует разделять изменения, прямо закрепленные в тексте закона, и возможные изменения системы, «идеологически» вытекающие из подходов, заложенных в данном нормативном акте, но пока не имеющие законодательного закрепления.

Система государственной стандартизации, сформированная на протяжении многих десятилетий, в ходе реформы технического регулирования должна быть заменена на национальную систему стандартизации, которая призвана обеспечить баланс интересов государства, хозяйствующих субъектов, общественных организаций и потребителей, повысить конкурентоспособность российской экономики, создать условия для развития предпринимательства на основе повышения качества товаров, работ и услуг.

В целях совершенствования законодательных основ национальной системы стандартизации необходимо подготовить предложения о внесении изменений в законодательство Российской Федерации, в том числе в Федеральный закон "О техническом регулировании" в части:

- уточнения положений, определяющих понятие, структуру, статус участников национальной системы стандартизации, приоритетное применение национальных стандартов, вопросов финансирования деятельности по разработке межгосударственных стандартов;
- уточнения правовых вопросов, связанных с применением национальных стандартов при государственных заказах и использованием прав на объекты интеллектуальной собственности в стандартизации.

Таким образом, следует отметить, что система стандартов на воздушном транспорте недостаточно развита и практически не ведутся работы по разработке (переработке) имеющихся отраслевых стандартов в национальные стандарты или своды правил и положения международных стандартов. Рекомендуемая практика не в полной мере находит свое применение в деятельности гражданской авиации России. При этом наиболее готовой в качестве базы модернизации отраслевой системы стандартизации являются отраслевые стандарты в области поддержания летной годности ВС, их технического обслуживания и ремонта, эксплуатации наземной авиационной техники.

## Выводы

В целях обеспечения приоритетного развития гражданской авиации в Российской Федерации, дальнейшего совершенствования Системы поддержания летной годности воздушных судов и ее нормативно-технического сопровождения целесообразно в качестве основных выводов предложить следующее:

1. Уполномоченный орган в области гражданской авиации должен быть один, так как функции по нормотворчеству, государственному надзору и контролю, а также выполнение услуг в области ГА не могут выполняться и дублироваться несколькими органами.

2. Нормативно-правовая база Системы поддержания летной годности ВС ГА России нуждается в совершенствовании, доработке и значительном пополнении. В соответствии с Воздушным кодексом РФ необходимо разработать в первую очередь следующие Федеральные авиационные правила (ФАП):

- Требования к проведению обязательной сертификации;
- Требования к проведению обязательной аттестации;
- Лицензирование деятельности в области гражданской авиации;



➤ Общие правила и порядок выполнения работ по поддержанию летной годности гражданского воздушного судна.

3. Восстановить Систему авторского сопровождения авиационной техники в соответствии с международной практикой и стандартами ИКАО.

4. Обеспечить дальнейшее развитие Системы мониторинга летной годности ВС.

Перечень предложений по данному направлению далеко не исчерпан.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шапкин В.С. Количественно-качественная характеристика парка отечественных самолетов раннего и нового поколений. Состояние и пути дальнейшего совершенствования Системы поддержания их летной годности. – М.: ГосНИИ ГА, 2011.

2. Лившиц Г.Л. Анализ надежности и безопасности полетов «стареющих» отечественных воздушных судов в сравнении с зарубежными и отечественными самолетами нового поколения. – М.: Государственный центр «Безопасность полетов на воздушном транспорте», 2011.

3. Гипич Г.Н. К вопросу формирования нормативной базы обеспечения летной годности воздушных судов // Инженерно-авиационный вестник. – М.: Информационно-аналитическое агентство «РУСАЭРО - ИНФО». – 2004. – Вып. № 6. – С. 32-34.

4. Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Поддержание летной годности воздушных судов. – М.: МГТУ ГА, 2012.

5. Поддержание летной годности – основа безопасной эксплуатации ВС / под ред. М.С. Громова, Г.Я. Полтарина, В.С. Шапкина. – М.: ГосНИИ ГА, 2002.

6. Чинючин Ю.М., Тарасов С.П. Нормативная база технической эксплуатации и сохранения летной годности воздушных судов. – М.: МГТУ ГА, 2003.

## PROBLEMS OF AIRCRAFT AIRWORTHINESS KEEPING SYSTEM DEVELOPMENT

Chinyuchin Y.M., Smirnov N.N., Kirdyushkin V.S.

Major issues regarding to aircraft airworthiness keeping system development at the modern stage of civil aircraft evolution are observed.

**Key words:** aircraft, airworthiness, airworthiness keeping pyramid, regulatory system, recommendations.

## Сведения об авторах

**Чинючин Юрий Михайлович**, 1941 г.р., окончил КуАИ (1965), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 300 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), заслуженный деятель науки и техники РСФСР, академик Академии транспорта РФ, 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.

**Кирдюшкин Владимир Сергеевич**, 1983 г.р., окончил МГТУ ГА (2006), старший инженер отдела 173 ЦАТБ ГосНИИ ГА, автор 22 научных работ, область научных интересов – ресурсное поддержание летной годности воздушных судов.

УДК 629.735.017.083

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ЦЕНТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

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

На основе обобщения опыта создания Центров технического обслуживания и ремонта авиационной техники выявлено состояние и рассмотрены тенденции развития на основе требований нормативных документов.

**Ключевые слова:** авиационная техника, центры технического обслуживания и ремонта, опыт создания, состояние, тенденции развития, требования нормативных документов.

1. Мировой рынок технического обслуживания и ремонта (ТОиР) воздушных судов (ВС) в 2010 году составил около \$43 млрд, к 2015-му его объем при среднегодовом росте 4,1% оценивается на уровне \$55 млрд. России принадлежит непропорционально низкая доля этого рынка, и даже самолеты российских перевозчиков обслуживаются за рубежом [1].

Объем рынка ТОиР гражданских ВС в странах СНГ, Прибалтики и Грузии в 2010 году составил около \$830 млн - такую оценку сделала аналитическая компания AeroStrategy. Из этой суммы более 60% приходится на Россию, ежегодно на ТОиР эксплуатируемых здесь гражданских самолетов западного производства тратится более \$500 млн, еще \$250 млн. расходуется на эти цели в странах СНГ и Грузии, а рынок стран Балтии оценивается приблизительно в \$70 млн. Распределение по видам деятельности примерно соответствует мировым стандартам, расходы делятся на три основные категории: двигатели (примерно 40%), линейное обслуживание и ремонт компонентов (по 25% каждое), за которыми следуют тяжелые формы обслуживания (проще говоря - капитальный ремонт, на него приходится около 10%) и модернизация (примерно 5%).

До 60% технического обслуживания самолетов зарубежного производства российских авиакомпаний выполняют примерно десять зарубежных фирм, на долю отечественных технических центров, соответственно, приходится примерно 40% объема этих работ. Парк самолетов западного производства, эксплуатирующихся в России, удвоился всего за два года. По предварительным прогнозам их количество в 2011 году может превысить число самолетов отечественного производства, находящихся в эксплуатации. В сегменте вместимостью более 120 кресел число ВС западного производства практически достигло 400 единиц, в основном это узкофюзеляжные самолеты семейств Boeing 737 и Airbus A320. Именно эти машины и формируют основу для рынка ТОиР.

Конкурентами российских компаний, занимающихся ТОиР, являются не только европейские предприятия, но и компании из бывших советских республик, которые освоили необходимые виды работ и получили соответствующие сертификаты. Их конкурентное преимущество - меньшая, чем в России, стоимость работ, а также владение специалистами всех уровней русским языком, что упрощает деловое общение. В частности, наиболее сильными конкурентами российских организаций по ТОиР являются Uzbekistan Airways Technics в Ташкенте и FL Technics в Вильнюсе.

К российским организациям по ТОиР относятся подразделения авиакомпаний: авиационно-технические базы (АТБ), авиационно-технические центры (АТЦ) - «Аэрофлот», «ИСТ ЛАЙН Текник», «ЮТэйр-Инжиниринг», «Сибирь Техник»; традиционные авиационные ремонтные заводы (АРЗ) гражданской авиации (ГА) - ОАО «Омский завод ГА», ОАО «Уральский завод гражданской авиации», ОАО «Новосибирский АРЗ», ЗАО «Московский АРЗ РОСТО»; АРЗ Министерства обороны - ОАО «123 АРЗ», ОАО «360 АРЗ», ОАО «356 АРЗ»; заводы авиационной

промышленности - ОАО «Авиакор», ОАО «КАПО», ОАО «КВЗ», ОАО «Климов», ОАО «Пермский моторный завод»).

2. Проблема создания Центров технического обслуживания и ремонта авиационной техники (ТОиР АТ) возникла в конце 80-х годов прошлого века с началом эксплуатации самолетов отечественного производства Ил-86, Як-42, а затем в 90-е годы - самолётов Ил-96-300, Ту-204, Ту-214, Ил-114, спроектированных по принципам безопасной повреждаемости (Fail Safe) и допустимого повреждения (Damage tolerant), для которых предусматривалось применение эффективной стратегии ТОиР по состоянию без капитального ремонта [2-6].

В начале 2000-х годов был создан первый Центр ТОиР АТ на базе ЗАО «АТБ Домодедово» по самолётам семейства Ил. Затем в соответствии с «Рекомендациями по созданию Центров ТОиР», введенными Распоряжением Минтранса РФ, были созданы Центры ТОиР АТ на базе эксплуатационных и ремонтных предприятий (табл. 1) [7].

**Таблица 1**

Центры технического обслуживания и ремонта АТ

| №  | Название организации                       | Тип ВС                                                                                    | Распоряжение  |          |
|----|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------|
|    |                                            |                                                                                           | №             | Дата     |
| 1  | 2                                          | 3                                                                                         | 4             | 5        |
| 1  | ОАО «ВАРЗ-400»                             | Ту-154Б, М                                                                                | НА-43-р       | 01.02.02 |
| 2  | ЗАО «БАСКАО»                               | Як-42, Ил-76                                                                              | НА-105-р      | 05.05.03 |
| 3  | ОАО «Ростовский завод ГА № 412»            | Ан-12, Ан-24, Ан-26, Ту-134                                                               | НА-25-р(фс)   | 03.08.04 |
| 4  | ОАО «СПАРК» (С.- Петербург)                | Ми-8Т, Ми-8П, Ми-8ПС, Ми-8МТ, Ми-8МТВ-1, Ми-8АМТ, Ми-17, Ми-17-1В, Ми-171, Ка-32Т, Ка-32С | НА-28-р(фс)   | 13.08.04 |
| 5  | ЗАО «АТБ «Домодедово»                      | Ил-18Д, Ил-62М, Ил-76Т(ТД), Ил-86, Ил-96-300, Ту-134, Ту-154Б(С), Ту-154-М                | АН-173-р(фс)  | 05.08.05 |
| 6  | ООО «Сибирь Техник»                        | Ту-154Б (М), Ил-86, Ту-204-100                                                            | АН-174-р(фс)  | 05.08.05 |
| 7  | ЗАО «Авиакор-Сервис»                       | Ан-74, Ан-74-100Д                                                                         | АН-198а-р(фс) | 12.09.05 |
| 8  | ФГУАП «Пулково»                            | ТУ-154Б (М), Ту-134, Ил-86                                                                | ВС-239-р(фс)  | 17.11.05 |
| 9  | ОАО «Авиакомпания «Красноярские авиалинии» | Ту-154Б (М), Ту-204-100, Ту-214                                                           | ВС-240-р(фс)  | 18.11.05 |
| 10 | ООО «ЮТэйр-Техник»                         | Ту-154Б, Ту-154М, Ту-134, Ан-24Б, РВ, Ан-26, Як-40                                        | ВС-63-р(фс)   | 12.05.06 |
| 11 | ГУП «Дальавиа»                             | Ту-214, Ил-62Б, Ту-154Б, Ту-154М, Ту-134, Ан-24, Ан-26, Ан-26-100                         | ВС-78-р(фс)   | 02.06.06 |

Центры ТОиР являются организациями по ТОиР нового типа, предназначенными для поддержания летной годности, обеспечения безопасности полета и рентабельной эксплуатации парка ВС на основе реализации эффективных программ ТОиР, и должны иметь в своём составе современные инженерные центры и диагностические комплексы по управлению техническим состоянием и режимами ТОиР ВС, хорошо развитую производственно-техническую базу с концентрацией больших объёмов работ по ТОиР ВС на основе специализации и кооперирования [2].

Часть созданных Центров ТОиР АТ (табл. 1) прекратила свое существование вместе с предприятиями, на базе которых они были организованы (ОАО «Авиакомпания «Красноярские авиалинии», ГУП «Дальавиа»).

Некоторые Центры ТОиР АТ перепрофилированы на АТ иностранного производства: ОАО «ВАРЗ-400», ООО «Сибирь Техник», ООО «ЮТэйр-Техник».

ОАО «ВАРЗ-400» выполняет линейное и базовое техническое обслуживание воздушных судов иностранного производства (Boeing B-737-300/400/500, B-757, Airbus A-319/A-320/A321, Bombardier CL-600-2B16/BD-700).

ООО «Сибирь Техник» выполняет линейное ТО ВС Airbus 319/320/321, Airbus 310, Boeing 737-300/400/500, Boeing 737-600/700/900/1000, Boeing 767-200/300 и базовое ТО ВС Airbus 320 Family, Boeing 737NG, Boeing 737-300/400/500, Airbus 310-200/300, Boeing 767.

ООО «Домодедово Техник» - Центр ТОиР ВС иностранного производства был основан в сентябре 2002 года при поддержке компании Boeing, сертифицирован на право проведения линейного ТО ВС Boeing 737, Boeing 757, Boeing 767, Airbus 320 Family и базового ТО ВС Boeing 737, Boeing 757, Boeing 767. ООО «ЮТэйр-Техник» сертифицирован по PART-145 на проведение ТО ВС ATR-42, ATR-72, Boeing-737-500, Gulfstream IV-SP, Gulfstream V-SP.

На российском рынке ТОиР АТ работают иностранные Центры ТОиР АТ.

Авиапредприятие "Uzbekistan Airways Technics" в Ташкенте выполняет все виды линейного и базового ТО (включая C-4 Check и Structure program, замену двигателей и ВСУ) самолетов Boeing -757, Boeing -767, A-310, RJ-85. Помимо основного заказчика, компании "Узбекистон Хаво Йуллари", UAT выполняет работы для туркменской "Туркменхавоеллары" и Kam Air из Афганистана. Среди российских авиакомпаний клиентами UAT уже стали ОАО "ВИМ-авиа" (Boeing 757), "КрасЭйр" (Boeing 757 и 767), "Сибирь" (Airbus A310). Кроме того в прошлом году UAT получило первого западноевропейского заказчика - итальянскую авиакомпанию Air Italy.

Компания flyLAL Technics объявила об открытии нового ангара для производства работ по ТОиР в международном аэропорту г. Вильнюса, владеет сертификатом по EASA Part 145 на производство работ по ТОиР самолетов Boeing 737 - до D-check включительно. Услугами литовского провайдера пользуются ОАО "Трансаэро", ОАО "КД авиа", ОАО "Сибирь", ГТК "Россия", ОАО "Аэрофлот-Дон" и ОАО "Скай Экспресс", а также латвийская airBaltic, грузинская Airzena - Georgian Airways, украинская "Аэросвит" и белорусская Belavia. Среди западных заказчиков - французские Air Mediteranee и Regional (дочерняя компания Air France), немецкая Narag Lloyd Express, польская SKY Express.

3. Тенденции развития Центров ТОиР АТ связаны с созданием Авторизованных Центров ТОиР АТ (АЦ ТОиР АТ).

Требования к АЦ ТОиР АТ были разработаны и утверждены ГосНИИ ГА 26.05.2008 г. в рамках Системы добровольной сертификации объектов гражданской авиации [8].

Сравнение основных характеристик Центров ТОиР АТ, создаваемых в соответствии с Распоряжением Минтранса РФ от 20.05.2002 г. № НА-169-р и АЦ ТОиР АТ, соответствующих Требованиям к АЦ ТОиР АТ, утвержденным ГосНИИ ГА 26.05.2008 г., приведены в табл. 2. Сравнение осуществляется по следующим характеристикам: целям создания Центров, определениям понятия Центров, основным признакам Центров, задачам и функциям Центров, порядку создания Центров.

Основным отличием АЦ ТОиР АТ является их авторизация Разработчиком, Изготовителем АТ и ГосНИИ ГА в заявленную сферу деятельности.

*Авторизация* - это предоставление производителем права осуществлять гарантийный и послегарантийный ремонт и ТОиР продукции, которую он выпускает. Для того чтобы получить авторизацию, СЦ должен соответствовать определенным требованиям.

В своей деятельности Авторизированный Центр ТОиР руководствуется действующим законодательством, Воздушным кодексом, Постановлениями Правительства РФ, ФАП-145, нормативно-правовыми актами Авиационной Администрации (АА) РФ, Положением об авторизованном центре и более поздними поправками к нему.

Таблица 2

## Сравнение характеристик Центра ТОиР АТ и Авторизованного центра ТОиР АТ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Рекомендации по созданию Центров ТОиР АТ. Распоряжение Минтранса РФ от 20.05 2002 г. № НА-169-р.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Требования к АЦ ТОиР АТ, утв. ГосНИИ ГА 26.05.2008 г.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 1. Цели создания Центров                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <p>Подготовка организаций по ТОиР АТ к массовой эксплуатации ВС нового поколения, у которых заложена стратегия поддержания летной годности (ПЛГ) без капитальных ремонтов.</p> <p>Концентрация трудоемких работ по ПЛГ стареющего парка ВС в наиболее крупных организациях по ТОиР АТ.</p> <p>Создание условий для более высокого уровня ПЛГ ВС в авиакомпаниях по сравнению с действующими требованиями.</p> <p>Проведение работ по дальнейшей гармонизации российской системы ПЛГ с международными стандартами и рекомендуемой практикой ИКАО.</p> <p>Расширение номенклатуры работ, выполняемых в ГА России на ВС западного производства.</p> | <p>Повышение уровня безопасности полетов (БП) и экономической эффективности ТОиР гражданских ВС, что достигается путем обеспечения комплексного подхода к решению задач ПЛГ, внедрения прогрессивных методов и средств ТОиР, снижения себестоимости и сокращения сроков выполнения работ при одновременном повышении качества; производственной деятельности, основанной на интеграции процессов ТОиР ВС и их компонентов, включая обеспечение послепродажной поддержки эксплуатации АТ; государственного контроля специально уполномоченным органом в области ГА; авторского надзора со стороны разработчика АТ; научно - методического сопровождения эксплуатации АТ ГосНИИ ГА и ГосНИИ АН.</p> |
| 2. Определение понятия Центров                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <p><i>Центр ТОиР АТ</i> - организация по ТОиР АТ, способная выполнять все виды ТО, определенные организационно - распорядительной документацией конкретных типов ВС, доработки по бюллетеням промышленности, полный комплекс или отдельные элементы капитального ремонта, а также соответствующая основным признакам, присущим только Центру ТОиР АТ. Производственная деятельность Центра ТОиР АТ основывается на интеграции процессов ТОиР ВС, их компонентов в рамках единой организации.</p>                                                                                                                                                 | <p><i>АЦ ТОиР АТ</i> - юридическое лицо любой формы собственности, осуществляющее ТОиР АТ, соответствующее требованиям Федеральных авиационных правил ФАП-145, авторизованное Разработчиком, Изготовителем АТ и ГосНИИ ГА, в заявленную сферу деятельности которого входят все виды ТОиР одного или нескольких типов ВС, соответствующие достигнутому максимальному налету по парку базового типа ВС (наработке двигателя), а также осуществляющее ряд дополнительных функций, присущих только АЦ ТОиР АТ.</p>                                                                                                                                                                                    |
| 3. Основные признаки Центров                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <p>Внедрение системы ПЛГ с проведением всех видов ТО, отдельных видов ремонта, доработок, продления ресурсов и сроков службы конкретных типов ВС в условиях одной организации.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>Внедрение системы технической эксплуатации с комплексным проведением ТОиР и совершенствование форм организации и управления производственными процессами ТОиР.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Продолжение табл. 2

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Совершенствование форм организации и управления производственными процессами ТОиР АТ.</p> <p>Повышение технической и экономической эффективности за счет использования интегрированных производственных процессов, специализации, увеличения объемов и снижения себестоимости.</p> <p>Разработка совместно с разработчиками и изготовителями АТ, заинтересованными эксплуатантами, отраслевыми научно-исследовательскими организациями (при одобрении Авиационной администрации) новых прогрессивных методов, технологий ТОиР, изменений в регламентах ТО и руководствах по технической эксплуатации, предложений по повышению надежности парка ВС и изменению ресурсов и сроков службы.</p> <p>Апробация новых нормативных документов по вопросам ТОиР АТ.</p> <p>Создание современной системы ведения "дела" ВС, проходящих ТОиР в Центре ТОиР АТ, с целью технической поддержки процессов эксплуатации ВС для авиапредприятий, пользующихся услугами Центра ТОиР АТ.</p> <p>Создание для эксплуатантов благоприятных условий для заключения договоров по осуществлению квалифицированной технической поддержки со стороны Центра ТОиР АТ на период всего жизненного цикла конкретных ВС.</p> <p>Центр ТОиР АТ должен иметь в наличии собственные отапливаемые ангары, места стоянок, летно-испытательную станцию, необходимое количество производственных и вспомогательных помещений для размещения лабораторий, ремонтных мастерских, подготовки производства, хранения материалов и комплектующих изделий, административные помещения.</p> | <p>Повышение технической и экономической эффективности процесса ТОиР за счет использования интегрированных производственных процессов ТОиР, увеличения объемов и снижения себестоимости работ.</p> <p>Обеспечение технической базы контроля летной годности экземпляров ВС и поэтапного увеличения ресурсов ВС и его компонентов.</p> <p>Создание системы мониторинга технического состояния ВС, проходящих ТОиР в АЦ ТОиР АТ с целью технологической поддержки процессов ТОиР Заказчиков и обоснования ресурсов и сроков службы.</p> <p>Внедрение новых прогрессивных методов и средств ТОиР АТ.</p> <p>Апробирование новой нормативной и технической документации уполномоченного органа в области ГА по ТОиР.</p> <p>Создание системы представительств Разработчика и Изготовителя АТ в АЦ ТОиР АТ с целью оперативного решения технических и правовых вопросов.</p> <p>Для решения поставленных задач АЦ ТОиР АТ проводит ТОиР ВС и его компонентов в соответствии с заявленной сферой деятельности как организации по ТОиР, сертифицированной по ФАП-145; осуществляет реализацию дополнительных функций, одобренных Разработчиком, Изготовителем АТ и ГосНИИ ГА; обеспечивает проведение работ по установлению ресурсов и сроков службы ВС и их компонентов.</p> <p>АЦ ТОиР АТ должен иметь в наличии собственные отапливаемые ангары, места стоянок, летно-испытательную станцию, необходимое количество производственных и вспомогательных помещений для размещения лабораторий, ремонтных мастерских, подготовки производства, хранения материалов и комплектующих изделий, административные помещения.</p> |
| 4. Порядок создания Центров                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <p>Начало производственной деятельности Центров ТОиР АТ обуславливается наличием распорядительного документа ГСГА МТ.</p> <p>Центр ТОиР АТ, как правило, образуется на основании заявления юридического лица и одобрения комиссией, назначаемой Авиационной администрацией.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>Руководство АЦ ТОиР АТ должно подтвердить документально и при инспекционной проверке продемонстрировать способность выполнять работы в соответствии с заявленной сферой деятельности как организации по ТОиР АТ по ФАП-145 и осуществлять дополнительные функции АЦ ТОиР АТ.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Продолжение табл. 2

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Деятельность Центра ТОиР АТ курируется непосредственно ГСГА МТ РФ.</p> <p>Организация - заявитель, как правило, осуществляет свою деятельность на основании следующих документов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- положения о Центре ТОиР АТ;</li> <li>- руководства по деятельности Центра ТОиР;</li> <li>- руководства по качеству Центра ТОиР.</li> </ul> <p>Названная документация одобряется Авиационной администрацией РФ.</p> | <p>Заявитель на одобрение Разработчика и ГосНИИ ГА в качестве АЦ ТОиР АТ должен разработать и представить в качестве доказательной документации:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- действующий Сертификат соответствия, выданный в соответствии с требованиями ФАП-145;</li> <li>- Положение об АЦ ТОиР АТ;</li> <li>- Руководство (дополнение к Руководству) по деятельности АЦ ТОиР АТ.</li> </ul> <p>АЦ ТОиР АТ создаются при условии выполнения организацией требований ФАП-145 и ряда дополнительных требований по следующим направлениям деятельности: организация и управление производством; подтверждение годности ВС и их компонентов; производственная база; система управления качеством.</p> |

Одобрение Организации по ТОиР АТ в качестве Авторизованного Центра ТОиР ВС производится на основании заключения по анализу заявительной и доказательной документации и результатов инспекционной проверки организации комиссией Разработчика, Изготовителя АТ и ГосНИИ ГА.

Учитывая положительные выводы комиссии и в целях совершенствования системы поддержания летной годности самолетов Ту-154М принято решение одобрить АЦ ТОиР АТ самолета Ту-154М ООО «411-Техник», созданный на базе ОАО «Завод № 411», на право выполнения технического обслуживания самолета Ту-154М с использованием перспективных технологий в соответствии с действующими сертификатами.

Отличительные признаки Авторизованного центра ТОиР:

- Наличие одобрения (авторизации) со стороны Разработчика/Изготовителя АТ и НИИ гражданской авиации на выполнение функций в соответствии с ФАП-145, «Временного положения о Центре ТОиР» и дополнительных функций, присущих АЦ ТОиР:

- мониторинг ТС ВС, проходящих ТО или КВР, с использованием компьютерных технологий;
- назначение или изменение системы технической эксплуатации по согласованию с Разработчиком, в том числе Программы ТОиР;
- технологическое сопровождение конкретных ВС для организаций-заказчиков в соответствии с заключенными договорами;
- осуществление функций сертифицированного поставщика АТИ, наличие консигнационного склада комплектующих изделий;
- распространение системы управления качеством на клиентов и субконтракторов;
- выполнение работ по гарантийному обслуживанию АТ и технической поддержке Заказчика по поручению Изготовителя АТ.

- Наличие постоянного представительства Разработчика АТ, Изготовителя АТ и ГосНИИ ГА для обеспечения правового и оперативного решения вопросов ТОиР.

- Апробирование новой нормативной и технической документации Авиационной администрации, связанной с ТОиР.

- Обеспечение периодической отчетности о деятельности АЦ ТОиР перед Авиационной администрацией, Разработчиком и Изготовителем АТ.

• Обобщение опыта создания и анализ состояния Центров ТОиР АТ позволил выявить тенденции их развития. Нормативная база создания Центров ТОиР АТ содержит международные и отечественные документы [7-13].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сеницкий А. Просроченный техосмотр / Коммерсант - Business Guide (Авиастроение). Приложение №38 (93). - М., 16.08.2011.
2. Абрамов Б.А., Волчек В.А., Громов М.С., Шапкин В.С. Концепция создания Центров технического обслуживания и ремонта // Научный Вестник МГТУ ГА. - М.: МГТУ ГА. - 2001. - № 34.
3. Ицкович А.А., Смирнов Н.Н. Научно-методическое обеспечение создания Центров технического обслуживания и ремонта воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов. - М.: МГТУ ГА. - 2002. - № 49. - С. 27-34.
4. 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. - М.: МГТУ ГА. - 2011. - № 173. - С. 12-18.
5. Шапкин В.С., Ицкович А.А., Семин А.В., Файнбург И.А. Анализ эффективности программы поддержания летной годности самолетов Ту-154М в Центре технического обслуживания и ремонта на основе прогрессивных технологий // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность, поддержание летной годности воздушных судов. - М.: МГТУ ГА. - 2008. - № 130 (6). - С. 192 - 201.
6. Файнбург И.А. Управление процессами поддержания летной годности воздушных судов в Центрах технического обслуживания и ремонта авиационной техники // Научный Вестник МГТУ ГА. - М.: МГТУ ГА. - 2006. - № 100. - С. 29-36.
7. Рекомендации по созданию Центров технического обслуживания и ремонта авиационной техники: утв. распоряжением Минтранса России от 20.05.2002 г. № НА-169-р.
8. Требования к Авторизованным центрам технического обслуживания и ремонта авиационной техники. - М.: ГосНИИ ГА, 2008.
9. Летная годность воздушных судов. Международный стандарт. Приложение 8 к Конвенции о международной гражданской авиации. - ICAO, 2001.
10. Авиационные правила. Часть 145-1А. Ремонтные организации. - М.: МАК, 2008.
11. Федеральные авиационные правила ФАП- 145: Приказ ФАС РФ 19.02.1999 №41.- М.: ФАС РФ, 1999.
12. Федеральные авиационные правила. Экземпляр воздушного судна. Требования и процедуры сертификации: утв. Приказом Минтранса России от 16.05.2003 г. № 132. – М.: Минтранс России, 2003.
13. Наставление по технической эксплуатации и ремонту авиационной техники гражданской авиации. НТЭРАТ ГА-93: Приказ ДВТ 20.09.94 № ДВ - М.: ДВТ, 1994.

#### THE ANALYSIS OF THE CONDITION AND DEVELOPMENT TENDENCIES OF THE CENTERS OF SERVICING AND REPAIR OF AIRCRAFTS

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

On the basis of requirements of standard documents and generalization of the creation experience of the Centers of servicing and repair of aviation technics the condition and tendencies of their development are revealed.

**Key words:** the aviation technics, servicing and repair centers, creation experience, a condition, tendencies of development, the requirement of standard documents.

#### 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 250 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 (1965), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 300 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), заслуженный деятель науки и техники РСФСР, академик Академии транспорта РФ, 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 44 научных работ, область научных интересов – управление процессами технической эксплуатации и поддержания летной годности летательных аппаратов.

УДК 629.735.017.083

## ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А.А. ИЦКОВИЧ, И.А. ФАЙНБУРГ

Приведена система показателей эффективности процессов поддержания летной годности воздушных судов, предложены новые показатели эффективности использования воздушных судов.

**Ключевые слова:** воздушные суда, процессы поддержания летной годности, эффективность, показатели эффективности использования.

В теории эффективности систем формализация цели осуществляется путем введения множества параметров целеполагания  $Y_{mp}$ , задающих желаемый (требуемый) результат, который может быть получен путем выполнения определенных действий по преобразованию некоторых ресурсов в требуемый результат [127]. Такую совокупность действий называют *операцией*. Реальный результат операции  $Y$  может отличаться от требуемого  $Y_{mp}$ . *Эффективность операции* есть степень соответствия реального результата требуемому или степень достижения цели операции.

*Показатель эффективности* – мера степени соответствия реального результата операции требуемому и мера достижения цели операции.

Для оценки эффективности операции определяют следующие величины:

показатель качества реального результата операции  $m$  – мерный вектор  $Y^{(m)}$ , состоящий из целевого эффекта  $g^{(m)}_1$ , затрат ресурсов  $C^{(m)}_2$ , затрат времени  $T^{(m)}_3$

$$Y^{(m)} = \{g^{(m)}_1, C^{(m)}_2, T^{(m)}_3\};$$

вектор параметров целеполагания, задающий область допустимых значений показателей качества

$$Y^{(m)}_{mp} = \{g^{(m)}_{mp}, C^{(m)}_{mp}, T^{(m)}_{mp}\};$$

функция соответствия, характеризующая в некоторой матричной шкале степень достижения цели операции

$$\rho = \{Y^{(m)}, Y^{(m)}_{mp}\};$$

показатель эффективности операции  $W$ , являющийся матожиданием общей функции соответствия

$$W = M[\rho(Y^{(m)}, Y^{(m)}_{mp})].$$

Целевой подход к управлению процессами ПЛГ ВС позволяет определить главную цель управления и расчленить ее на ряд подцелей с учетом иерархической структуры процесса эксплуатации ВС.

*Главной целью управления процессами ПЛГ ВС* является полное и своевременное удовлетворение авиапредприятия в исправных, соответствующих нормам летной годности ВС, обеспечение безопасности и регулярности полетов, интенсивности использования ВС при минимальных затратах времени, труда и средств на реализацию процессов ПЛГ ВС.

Степень достижения главной цели управления процессами ПЛГ ВС характеризуется системой показателей эффективности, которая включает обобщенные, частные, относительные, единичные и комплексные показатели (табл. 1).

Обобщенные показатели характеризуют эффективность процесса в целом, не различая причин, вызвавших их изменение. Значения обобщенных показателей эффективности процессов ПЛГ ВС определяются по формулам, приведенным в табл. 2.

Таблица 1

## Показатели эффективности процессов ПЛГ ВС

| Наименование показателей                                                                      | Обозначения показателей |                    |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
|                                                                                               | обобщенные              | частные            | относительные       |
| 1                                                                                             | 2                       | 3                  | 4                   |
| 1. Безотказность АТ и безопасность полетов                                                    |                         |                    |                     |
| 1.1 Количество отказов, выявленных в полете на 1000 ч налета                                  | $K_{1000П}$             | $K_{1000П\ ikj}$   | $\bar{K}_{1000П}$   |
| 1.2. Количество отказов, приведших к инцидентам на 1000 ч налета                              | $K_{1000инц}$           | $K_{1000инц\ ikj}$ | $\bar{K}_{1000инц}$ |
| 1.3. Вероятность безотказной работы на j-м уровне управления                                  | $P_j(t)$                |                    | $\bar{P}_j(t)$      |
| 1.4. Нарботка на отказ на j-м уровне управления                                               | $T_{Oj}$                |                    | $\bar{T}_{Oj}$      |
| 1.5. Вероятность не возникновения особой ситуации i-го вида в полете                          | $P_{Oci}(t)$            |                    | $\bar{P}_{Oci}(t)$  |
| 2. Регулярность отправления ВС в рейсы                                                        |                         |                    |                     |
| 2.1. Вероятность регулярности отправок ВС в рейсы с учетом задержек по техническим причинам   | $P_{Pom}(t)$            |                    | $\bar{P}_{Pom}(t)$  |
| 2.2. Средняя продолжительность задержки вылета по техническим причинам                        | $t_{3cp}$               | $t_{3ikcp}$        | $\bar{t}_{3cp}$     |
| 3. Использование ВС по времени                                                                |                         |                    |                     |
| 3.1 Коэффициент использования на j-м уровне управления                                        | $K_{Иj}$                |                    | $\bar{K}_{Иj}$      |
| 3.2. Коэффициент исправности                                                                  | $K_{испрj}$             |                    | $\bar{K}_{испрj}$   |
| 3.3. Среднее время восстановления                                                             | $t_{Bcp}$               |                    | $\bar{t}_{Bcp}$     |
| 3.4. Вероятность восстановления в заданное время                                              | $P_B(t)$                |                    | $\bar{P}_B(t)$      |
| 3.5. Удельные простои ВС по техническим причинам на j-м уровне управления                     | $K_{П}$                 | $K_{Пikj}$         | $\bar{K}_{П}$       |
| 4. Экономичность поддержания летной годности                                                  |                         |                    |                     |
| 4.1. Удельные трудовые затраты на поддержание летной годности ВС на j-м уровне управления     | $\tau_{уд}$             | $\tau_{удikj}$     | $\bar{\tau}_{уд}$   |
| 4.2. Удельные материальные затраты на поддержание летной годности ВС на j-м уровне управления | $c_{удM}$               | $c_{удM\ kij}$     | $\bar{c}_{удM}$     |
| 4.3. Удельная себестоимость работ по поддержанию летной годности ВС на j-м уровне управления  | $c_{уд}$                | $c_{удikj}$        | $\bar{c}_{уд}$      |
| 5. Комплексные показатели эффективности                                                       |                         |                    |                     |
| 5.1. Коэффициент готовности                                                                   | $K_{Г}$                 |                    | $\bar{K}_{Г}$       |

Продолжение табл. 1

| 1                                                                     | 2          | 3 | 4                |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|---|------------------|
| 5.2. Коэффициент оперативной готовности                               | $K_{ог j}$ |   | $\bar{K}_{ог}$   |
| 5.3. Коэффициент оперативного использования на j-м уровне управления  | $K_{ои j}$ |   | $\bar{K}_{ои j}$ |
| 5.4. Коэффициент эффективности использования на j-м уровне управления | $K_{эи j}$ |   | $\bar{K}_{эи j}$ |

К единичным показателям, характеризующим достижение отдельных целей управления, относятся следующие группы показателей:

показатели безотказности АТ и безопасности полетов ВС;  
показатели регулярности отправления ВС в рейсы;  
показатели использования ВС по времени;  
показатели экономичности процессов ПЛГ ВС.

Частные показатели  $P_{ikj}$  дифференцированно оценивают степень влияния отдельных (частных) причин на эффективность процесса в целом (i-й функциональной системы по k-й причине на j-м уровне управления).

Относительные показатели  $\bar{P}$  используются для оценки достигнутого уровня эффективности процесса ПЛГ ВС

$$\bar{P} = P / P_0, (a), \quad \bar{P} = P_0 / P, (b), \quad (1)$$

где  $P, P_0$  - значение оцениваемого и базового показателей соответственно.

Применяется та формула, по которой значение относительного показателя увеличивается при повышении эффективности процесса ПЛГ ВС. Например, для показателей  $P(t), K_{и j}$  используется формула (1 а), а для показателей  $K_{1000П}, \tau_{уд}$  формула (1 б).

Комплексные показатели эффективности процессов ПЛГ ВС характеризуют достижение нескольких целей или всех целей.

По сравнению с известной системой показателей эффективности процесса технической эксплуатации [1] в табл. 1, 2 введены дополнительно показатели (выделены курсивом):

- единичные показатели - вероятность безотказной работы на j-м уровне управления  $P_j(t)$ , наработка на отказ на j-м уровне управления  $T_{Oj}$ , среднее время восстановления  $t_{в ср}$ , вероятность восстановления в заданное время  $P_{ОСi}(t)$ ;

- комплексные показатели - коэффициент готовности  $K_r$ , коэффициент оперативной готовности  $K_{ог j}$ , коэффициент оперативного использования на j-м уровне управления  $K_{ои j}$ , коэффициент эффективности использования на j-м уровне управления  $K_{эи j}$ ; причем показатели  $K_{ои j}, K_{эи j}$  предложены впервые.

Оценка показателей эффективности производится по уровням иерархической структуры процесса ПЛГ ВС. Пусть  $s_{01}$  - целевое состояние (полет), тогда для любого из уровней коэффициент использования  $J_i, i = 0, 3$  будет определяться как доля времени пребывания ВС в полете в фонде календарного времени за рассматриваемый период [2]:

на 0-м уровне управления  $U_0$  (цикл использования по назначению) - коэффициент использования имеет вид  $J_0 = P(s_{01}/S_0)$ ;

на 1-м уровне  $U_1$  управления (оперативный цикл) -  $J_1 = P(s_{01}/S_0 \cup S_1)$ ;

на 2-м уровне  $U_2$  управления (периодический цикл) -  $J_2 = P(s_{01}/S_0 \cup S_1 \cup S_2)$ ;

на 3-м уровне  $U_3$  управления (ремонтный цикл) -  $J_3 = P(s_{01}/S_0 \cup S_1 \cup S_2 \cup S_3)$ .

Предложенный коэффициент эффективности использования на  $j$ -м уровне управления представляет собой отношение календарного фонда времени на предыдущем  $(j-1)$ -м уровне управления к фонду времени на текущем  $j$ -м уровне управления [2].

Таблица 2

Оценка обобщенных показателей эффективности процессов поддержания летной годности ВС, наименования которых приведены в табл. 1

| Обозначения показателей                    | Оценка показателей                          |                                                                                                                          |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                            | Расчетные формулы                           | Исходные данные                                                                                                          |
| 1                                          | 2                                           | 3                                                                                                                        |
| 1. Безотказность АТ и безопасность полетов |                                             |                                                                                                                          |
| 1.1 $K_{1000П}$                            | $K_{1000П} = \frac{n_{П} 1000}{H}$          | $n_{П}$ - суммарное количество отказов, выявленных в полете; $H$ - наработка (налет) парка ВС                            |
| 1.2. $K_{1000инц}$                         | $K_{1000инц} = \frac{n_{инц} 1000}{H}$      | $n_{инц}$ - суммарное количество отказов, приведших к инцидентам                                                         |
| 1.3. $P_j(t)$                              | $P(t) = 1 - \frac{n(t)}{N}$                 | $n(t)$ - количество отказов за время (наработку) $t$ ; $N$ - общее количество наблюдаемых изделий                        |
| 1.4. $T_{Oj}$                              | $T_{Oj} = \frac{t_{сум}}{n(t)}$             | $t_{сум}$ - суммарная наработка                                                                                          |
| 1.5. $P_{Oci}(t)$                          | $P_{Oci}(t) = 1 - \frac{n_{Oci}(t)}{N_{П}}$ | $n_{Oci}$ - количество особых ситуаций $i$ -го вида за время $t$ ; $N$ - общее количество полетов                        |
| 2. Регулярность отправления ВС в рейсы     |                                             |                                                                                                                          |
| 2.1. $P_{Pom}(t)$                          | $P_{Pom}(t) = 1 - \frac{n_3(t)}{N_B}$       | $n_3(t)$ - количество задержек отправок ВС в рейсы по техническим причинам; $N_B$ - общее количество отправок ВС в рейсы |
| 2.2. $t_{3cp}$                             | $t_{3cp} = \frac{t_{3сум}}{n_3(t)}$         | $t_{3сум}$ - суммарное время задержки рейсов                                                                             |
| 3. Использование ВС по времени             |                                             |                                                                                                                          |
| 3.1. $K_{Иj}$                              | $K_{Иj} = \frac{H_j}{\Phi_j}$               | $H_j$ - налет парка ВС на $j$ -м уровне управления; $\Phi_j$ - календарный фонд времени парка ВС                         |
| 3.2. $K_{испрj}$                           | $K_{испрj} = \frac{t_{испрj}}{\Phi_j}$      | $t_{испрj}$ - суммарное время пребывания парка ВС в исправном состоянии на $j$ -м уровне управления                      |

Продолжение табл. 2

| 1                                            | 2                                                      | 3                                                                                                                           |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.3. $t_{B\text{ ср}}$                       | $t_{B\text{ ср}} = \frac{t_{B\text{ сум}}}{n_B(t)}$    | $t_{B\text{ сум}}$ - суммарное время восстановления; $n_B(t)$ - общее количество восстановлений                             |
| 3.4. $P_B(t)$                                | $P_B(t) = 1 - \frac{n_B(t \leq t_{\text{зад}})}{N_B}$  | $n_B(t \leq t_{\text{зад}})$ - количество восстановлений за время меньше заданного; $N_B$ - общее количество восстановлений |
| 3.5. $K_{\Pi}$                               | $K_{\Pi} = \frac{t_{\Pi\text{ сум}}}{H}$               | $t_{\Pi\text{ сум}}$ - суммарные простои парка ВС по техническим причинам                                                   |
| 4. Экономичность поддержания летной годности |                                                        |                                                                                                                             |
| 4.1. $\tau_{\text{уд}}$                      | $\tau_{\text{уд}} = \frac{\tau_{\text{сум}}}{H}$       | $\tau_{\text{сум}}$ - суммарные трудовые затраты на поддержание летной годности ВС                                          |
| 4.2. $c_{\text{уд}M}$                        | $c_{\text{уд}M} = \frac{C_{\text{сум}M}}{H}$           | $C_{\text{сум}M}$ - суммарные материальные затраты на поддержание летной годности ВС                                        |
| 4.3. $c_{\text{уд}}$                         | $c_{\text{уд}} = \frac{C_{\text{сум}}}{H}$             | $C_{\text{сум}}$ - суммарные затраты на поддержание летной годности ВС                                                      |
| 5. Комплексные показатели эффективности      |                                                        |                                                                                                                             |
| 5.1. $K_{\Gamma}$                            | $K_{\Gamma} = \frac{T_{Oj}}{T_{Oj} + t_{B\text{ ср}}}$ |                                                                                                                             |
| 5.2. $K_{O\Gamma j}$                         | $K_{O\Gamma j} = K_{\Gamma} P(t)$                      |                                                                                                                             |
| 5.3. $K_{OИ j}$                              | $K_{OИ j} = K_{И j} P(t)$                              |                                                                                                                             |
| 5.4. $K_{ЭИ j}$                              | $K_{ЭИ j} = \frac{T_{j-1}}{T_j}$                       | $T_{j-1}, T_j$ - фонд календарного времени на $j-1, j$ уровне управления соответственно                                     |

Использование приведенной системы показателей эффективности процесса ПЛГ ВС в авиапредприятиях направлено на сокращение непроизводительных простоев ВС на каждом уровне управления и повышение эффективности использования ВС.

Рассмотренная система показателей эффективности процесса ПЛГ ВС внедрена в учебный процесс в МГТУ ГА при подготовке бакалавров по направлению «Эксплуатация авиационной и космической техники» [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ицкович А.А. Управление процессами технической эксплуатации летательных аппаратов: учеб. пособие. - М.: МГТУ ГА. - 1994. - Ч. 1. - 2002. - Ч. 2, 3.
2. Файнбург И.А. Метод оценки эффективности процесса поддержания летной годности воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. - М.: МГТУ ГА. - 2007. - № 123 (13). - С. 153-157.

**3. Ицкович А.А., Файнбург И.А.** Эффективность процессов эксплуатации летательных аппаратов: пособие по выполнению лабораторных работ. - М.: МГТУ ГА, 2010.

## **INDICATORS OF THE EFFICIENCY OF PROCESSES OF MAINTENANCE OF THE AIRCRAFTS AIRWORTHINESS**

**Itskovich A.A., Faynburg I.A.**

The system of indicators of the efficiency of processes of maintenance of aircrafts airworthiness is resulted, new indicators of the using efficiency of aircrafts are offered.

**Key words:** aircrafts, processes of maintenance of the airworthiness, the efficiency, indicators of using efficiency.

### **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 250 научных работ, область научных интересов – эксплуатационная надежность и эффективность эксплуатации авиационной техники, управление процессами технической эксплуатации и поддержания летной годности летательных аппаратов.

**Файнбург Инна Александровна**, окончила МИИВТ (1989), доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор 44 научных работ, область научных интересов – управление процессами технической эксплуатации и поддержания летной годности летательных аппаратов.

УДК 629.735

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТРАТЕГИЙ КАННИБАЛИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ПО ЗАПАСНЫМ ЧАСТЯМ, РЕМОНТУ И РЕСУРСАМ

И.С. ЛЮБОМИРОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Гипичем Г.Н.

В статье рассматриваются результаты анализа системы поддержания лётной годности в условиях дефицита запасных частей, а также некоторые вопросы теории "каннибализма".

**Ключевые слова:** теория "каннибализма", комплектующие изделия, запасные части, ремонт.

В современных условиях функционирования авиационной транспортной системы (АТС) актуальной остается задача структурирования парка ВС и как составная часть этой задачи - формирование функциональной схемы потребного парка ВС. Решение задачи о выборе конкретного варианта состава и структуры парка ВС осуществляется при условиях, когда ряд исходных данных (количество ВС для конкретного маршрута, количество перевозимых пассажиров) известен приблизительно или вообще неизвестен, т.е. в условиях значительной неопределенности.

Проблема запасных частей состоит в обеспечении требуемого уровня качества устанавливаемых на ВС агрегатов и комплектующих изделий, соблюдении заданных сроков их поставки и надлежащем контроле за их использованием и хранением в процессе эксплуатации и ремонта ВС. При рассмотрении систем ЗЧ и ОФ прежде необходимо пояснить, что понимается под запасной частью и под обменным фондом применительно к АТ.

Запасная часть – это агрегат, узел, деталь (изделие), соответствующее требованиям технической документации, предназначенное для замены в процессе эксплуатации и ремонта установленного на ВС изделия после его отказа или отработки ресурса (срока службы). Запчасти, представляющие собой новые изделия, принято считать изделиями 1-й категории. В теоретическом плане определение потребного количества ЗЧ для изделий, заменяемых по отказам, может быть проведено на основе математического моделирования. При этом модели, описывающие замену изделий в эксплуатации, отличаются от моделей, используемых при ремонте.

При расчете запчастей учитываются также плановые замены изделий, предусмотренные эксплуатационной и ремонтной документацией.

Необходимая исходная информация: планируемое время эксплуатации  $T_{пл}$ ; количество изделий одного типа  $N$ ; количество комплектующих одного типа в одном изделии  $n$ ; среднее время безотказной работы комплектующего  $T_0$ ; среднее время ремонта комплектующего  $t_{рем}$ ; среднее время транспортировки комплектующего до места ремонта и обратно, включая время оформления документов на отправку  $t_{тр}$ .

Общее среднее время оборачиваемости складывается из  $t_{рем}$  и  $t_{тр}$

$$t_0 = t_{рем} + t_{тр}. \quad (1)$$

Среднее количество снятий комплектующих определяется исходя из среднего времени безотказной работы

$$d_c = T_{пл} N / T_0 \quad (2)$$



Ежедневное среднее количество комплектующих, находящихся в процессе транспортировки, ремонта или оформления  $d_{\Sigma} = t_0 d_c / 365$ . Считая распределение указанных комплектующих пуассоновским с математическим ожиданием  $\mu$  и дисперсией  $d_z$  и используя нормальную аппроксимацию пуассоновского распределения, получим необходимое количество комплектующих запасных частей на складе

$$N_{\text{зап}} = d_{\Sigma} + u\gamma\bar{d}_{\Sigma}, \quad (3)$$

где  $u\gamma$  -  $\gamma$ -квантиль стандартного нормального распределения.

*Пример 1.* Исходные данные:  $T_{\text{план}} = 2000$  ч;  $N = 5$ ;  $n = 3$ ;  $t_{\text{рем}} = 20$  сут.;  $t_{\text{тр}} = 15$  сут.;  $t_0 = 1500$  ч;  $\gamma = 0,95$ .

*Результаты расчета:*  $t_0 = 20 + 15 = 35$  сут.;  $d_c = 2000 \cdot 5 \cdot 3 / 1500 = 20$ ;  $d_{\Sigma} = 35 \cdot 20 / 365 = 2$ ;  $N_{\text{зап}} = 2 + 1,65\sqrt{2} = 4,31$ . Принимаем  $N_{\text{зап}} = 5$ .

Проведем анализ основных факторов, влияющих на количество запасных частей. Факторы  $T_{\text{пл}}$ ,  $N$ ,  $\gamma$  находятся в компетенции эксплуатирующей организации. Время ремонта "замораживает" вложенные средства и наносит экономический ущерб эксплуатирующей организации. Выбор ремонтной организации и связанного с ним времени транспортировки обычно производится эксплуатирующей организацией.

Среднее время безотказной работы играет главную роль в экономике эксплуатации при большом парке изделий и длительном планируемом времени эксплуатации. Увеличение этого времени должно стать основным направлением деятельности как организаций разработчика и изготовителя, так и эксплуатирующей организации.

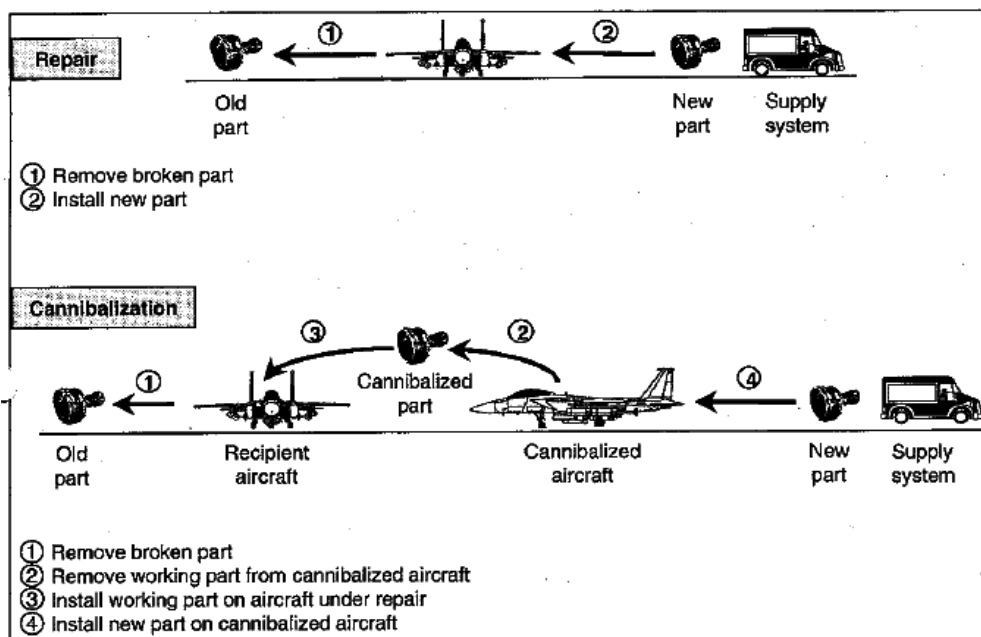
В процессе эксплуатации некоторых видов техники ощущается хронический дефицит запасных частей. В этих условиях для ремонта техники используют детали (элементы, блоки и т.д.) комплексов, простаивающих по причине отказа какой-либо одной детали.

Это тем более верно для старой техники. Для этой техники интенсивность отказов возрастает, запасные элементы становятся все более дефицитными (промышленность прекращает их выпуск), техника используется из-за простоев все меньше и меньше.

В этих условиях естественен переход к "каннибализму": выбираются одна или несколько единиц оборудования для того, чтобы обеспечить снабжение запасными элементами оставшихся единиц оборудования.

В ряде случаев для поддержания приемлемой эффективности работы техники используют детали работающей техники, помещая их на места отказавших деталей, которые выполняют в комплексе более важные функции. В этом случае, естественно, детали должны быть однотипными. За рубежом научное направление, связанное с поддержанием надежности техники за счет собственных ресурсов (при ограничении или отсутствии запасных элементов), называют теорией "каннибализма". В этой области имеется довольно большое число публикаций. Покажем основные "идеи" этой теории (рис. 1.)

Пусть имеем два различных типа оборудования (в частном случае два одинаковых типа) одного и того же назначения. Каждая единица оборудования состоит из многих элементов. Некоторые из этих элементов имеют также два типа оборудования (подэлементов), а остальные - единственный тип подэлементов. В принципе можно рассмотреть и более чем два типа оборудования, но мы для простоты рассмотрим случай двух типов оборудования. В каждый тип оборудования может входить различное число единиц однотипных элементов. Считаем, что отказавшие элементы не ремонтируются, замена осуществляется мгновенно, каннибализация совершенна (всегда можно на место более важного элемента поставить любой однотипный элемент оборудования).



**Рис. 1.** Каннибализация как стратегия поддержания лётной годности

("hearing before the subcommittee on national security, veterans affairs and international relations of the committee on government reform house of representatives one hundred seventh congress first session" may 22, 2001 serial no. 107-70)

Снятие любого элемента приводит к тому, что часть оборудования выключается из оперативной работы. Отказы элементов происходят по пуассоновскому закону внутри дискретного (заданного) временного интервала, при этом интенсивность отказов может быть функцией временного интервала. Полагаем, что общее планируемое время оперативной работы оборудования фиксировано для каждого дискретного интервала времени и вырабатывается независимо от числа единиц оборудования, имеющегося в наличии. Например, если планируется 200 ч работы оборудования и имеется 10 единиц оборудования, то каждая единица будет выполнять свои функции 20 ч, а если имеется 5 единиц оборудования, то каждая единица будет работать 40 ч. Введем следующие обозначения:

$C$  - число различных типов элементов оборудования;

$N$  - число имеющихся вначале в наличии единиц оборудования;

$N_j$  - число единиц оборудования типа  $j$  ( $j = 1, 2, N_1 < N_2$ , по предположению,  $N = N_1 + N_2$ );

$S_i$  - начальное число запасных элементов типа  $i$  ( $i = 1, \dots, C$ );

$Q_{ij}$  - количество элементов типа  $i$  в оборудовании типа  $j$  ( $i = 1, \dots, C; j = 1, 2$ );

$T(t)$  - общее планируемое время работы оборудования в течение дискретного интервала времени  $t$ ;

$\lambda_i(t)$  - функция интенсивности отказов элемента типа  $i$ ,  $i = 1, \dots, C$  (число отказов за час оперативной работы);

$D_i(t)$  - число отказов элемента типа  $i$  в течение дискретного интервала  $t$ ,  $i = 1, \dots, C$ ;

$$0 \leq D_i(t) \leq S_i + \sum_{j=1}^2 N_j Q_{ij}; \quad (4)$$

$X_i(t)$  - общее число отказов элементов типа  $i$  для всех дискретных интервалов времени от 1 до  $t$ ,  $i = 1, \dots, C$

$$0 \leq X_i(t) \leq S_i + \sum_{j=1}^2 N_j Q_{ij}; \quad (5)$$

$NC_j(t)$  - число единиц оборудования типа  $j$ , каннибализированных к концу дискретного периода времени  $t$ ,  $j=1,2$

$$0 \leq NC_j(t) \leq N_j; \quad (6)$$

$NA(t)$  - число единиц оборудования, имеющегося в наличии для использования в конце дискретного периода времени  $t$ ,

$$0 \leq NA(t) \leq N. \quad (7)$$

Задача заключается в том, чтобы определить вероятностное распределение, математическое ожидание и стандартное отклонение случайной величины  $NA(t)$  с учетом использования ограниченного числа запасных элементов и каннибализации. Так как часы оперативной работы распределяются между двумя типами оборудования (используем отношение  $N_j/N$ ), то для математического ожидания случайной величины  $D_i(t)$  имеем

$$M[D_i(t)] = \sum_{j=1}^2 \left(\frac{N_j}{N}\right) Q_{ij}(t) \quad (8)$$

Так как  $D_i(t)$  имеет пуассоновское распределение, то  $X_i(t)$  также распределена по закону Пуассона, ибо она есть сумма пуассоновских распределенных случайных величин, поэтому

$$M[X_i(t)] = \sum_{p=1}^t D_j(p). \quad (9)$$

Вероятностное распределение  $NA(t)$  зависит от числа каннибализируемых единиц  $NC_1(t)$  и  $NC_2(t)$ . В частности, для некоторого заданного  $K$  ( $0 \leq K \leq N$ )

$$P\{NC_1(t) + NC_2(t) \geq K\} = P\{NC_1(t) + NC_2(t) \leq K\}. \quad (10)$$

Чтобы вычислить значение

$$P\{NC_1(t) + NC_2(t) \leq K\}, \quad (11)$$

нужно перебрать все возможные события, приводящие к событию, заключенному в фигурные скобки. Эта идея использована для вычисления функции «оставшихся в живых» элементов  $NA(t)$  в приводимых ниже выражениях.

Если  $K \leq N_1$ , то

$$P\{NA(t) \geq N - K\} = P\{NC_1(t) \leq K \cap NC_2(t) \leq K - 1 \cap NC_2(t) \leq 1 \cup \dots \cup (NC_1(t) \leq 0 \cap NC_2(t) \leq K)\} \quad (12)$$

Если  $N_1 < K \leq N_2$ , то

$$P\{NA(t) \geq N - K\} = P\{NC_1(t) \leq K \cap NC_2(t) \leq K - N_1 \cup (NC_1(t) \leq N_1 - 1 \cap NC_2(t) \leq K - N_1 + 1) \cup \dots \cup (NC_1(t) \leq 0 \cap NC_2(t) \leq K)\} \quad (13)$$

Если  $N \leq K \leq N_1$ , то

$$P\{NA(t) \geq N - K\} = P\{NC_1(t) \leq N_1 \cap NC_2(t) \leq 0 \cup K - N_1 \cup (NC_1(t) \leq N_1 - 1 \cap NC_2(t) \leq K - N_1 + 1) \cup \dots \cup (NC_1(t) \leq K - N_2 \cap NC_2(t) \leq N_2)\} \quad (14)$$

Установим связь между событиями, содержащими случайные величины  $NC_1(t)$  и  $X(t)$ . Запишем для любых величин  $Z_1$  и  $Z_2$  ( $0 \leq Z_j, j = 1, 2$ )

$$NC_1(t) \leq Z_1 \cap NC_2(t) \leq Z_2 = ((X_1(t) \leq S_1 + Z_1 * Q_{11} + Z_2 * Q_{12}) \cap (X_2(t) \leq S_2 + Z_1 * Q_{21} + Z_2 * Q_{22}) \cap \dots \cap (X_c(t) \leq S_c + Z_1 * Q_{c1} + Z_2 * Q_{cr})) \quad (15)$$

С учетом (15) формулы (12)...(14) определяют соответственно искомое вероятностное распределение, математическое ожидание и стандартное отклонение случайной величины  $NA(t)$ :

$$P\{NA(t) = N - K\} = P\{NA(t) \leq N - K\} - P\{NA(t) \geq N - K + 1\}; \quad (16)$$

$$M[NA(t)] = \sum_{K=0}^N (N - K) P\{NA(t) = N - K\}; \quad (17)$$

$$\sigma[NA(t) = \text{SQRT}(\sum_{K=0}^N (N-K)^2 P\{NA(t) = N-K\} - M^2[NA(t)]). \quad (18)$$

Обобщение изложенной модели на три и более различных типа оборудования приводит к усложнениям непринципиального характера. Например, для трех типов оборудования формула (12) примет вид

$$\begin{aligned} P\{NA(t) \geq N-K\} &= P\{NC_1(t) \leq K \cap NC_2(t) \leq 0 \cap NC_3(t) \leq 0\} \cup \\ &(NC_1(t) \leq K-1 \cap NC_2(t) \leq 1 \cap NC_3(t) \leq 0) \cup (NC_1(t) \leq K-1 \cap NC_2(t) \leq \\ &0 \cap NC_3(t) \leq 1 \cup \dots \cup (NC_1(t) \leq 0 \cap NC_2(t) \leq 0 \cap NC_3(t) \leq K)\} \end{aligned} \quad (19)$$

Рассмотрим пример, иллюстрирующий описанную выше вычислительную процедуру.

Пусть имеем:  $N = 6$  единицам оборудования,  $N_1 = 2$  единицам оборудования первого типа и  $N_2 = 4$  единицам оборудования второго типа. Имеется  $C = 8$  установленным в оборудовании типам элементов.

Для каждого типа элементов известны: функция интенсивности отказов (в каждом временном интервале), первоначальное число запасных элементов и число элементов в каждом типе оборудования. Эти данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Тип элемента<br>$i$ | Интенсивность отказов<br>(в ч) $\lambda i(t) \cdot 10^{-4}$ | Начальное число запасных<br>элементов типа $i$ | Количество элементов в каж-<br>дом типе оборудования |     |
|---------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----|
|                     |                                                             |                                                | Qi1                                                  | Qi2 |
| 1                   | 8,1                                                         | 1                                              | 1                                                    | 1   |
| 2                   | 3,0                                                         | 2                                              | 3                                                    | 3   |
| 3                   | 6,5                                                         | 1                                              | 1                                                    | 3   |
| 4                   | 8,1                                                         | 0                                              | 1                                                    | 0   |
| 5                   | 10,1                                                        | 1                                              | 2                                                    | 0   |
| 6                   | 5,0                                                         | 1                                              | 0                                                    | 1   |
| 7                   | 7,9                                                         | 1                                              | 0                                                    | 1   |
| 8                   | 2,5                                                         | 1                                              | 0                                                    | 3   |

Общее планируемое время оперативной работы оборудования  $T(t)=100$  ч.

Ниже проиллюстрированы общие вычислительные процедуры для данного примера (результаты применения выражений (8)...(18) после  $t = 12$  интервалам работы оборудования; в рамках этих 12 интервалов работы оборудование функционировало 1200 ч:

$$M[D_3(12)] = (2/6) \cdot (1) \cdot (0.00065) \cdot (100) + (4/6) \cdot (3) \cdot (0.00065) \cdot (100) = 0.15167$$

$$M[D_i(12)], i = 1, \dots, 8:$$

$$0,81; 0,90; 0,1516; 0,027; 0,0673; 0,033; 0,0526; 0,050.$$

$$M[X_3(12)] = 12 \cdot (0,15167) = 1,82$$

$$M[X_i(12)], i = 1, \dots, 8;$$

$$0,972; 1,080; 1,820; 0,324; 0,808; 0,400; 0,632; 0,600.$$

$$P\{NA(12) \geq 6-1\} P\{(NC_1(12) \leq 1 \cap NC_2(12) \leq 0 \cup \cap (NC_1(12) \leq 0 \cap NC_2(12) \leq 1)\}.$$

$$P\{NA(12) \geq 6-1\} = P\{(X_1(12) \leq 2 \cap X_2(12) \leq 5 \cap (X_3(12) \leq 2 \cap$$

$$X_4(12) \leq 1 \cap X_5(12) \leq 3 \cap X_6(12) \leq 2 \cap X_7(12) \leq 2 \cap X_8(12) \leq 4 \cap)\} =$$

$$(0.9248) \cdot (0.9991) \cdot (0.7253) \cdot (0.9676) \cdot (0.9906) \cdot (0,9384) \cdot (0.8059) \cdot$$

$$(0.9921) \cdot (0.9736) \cdot (0.9996) \cdot (0.9248) \cdot (0.9991) \cdot (0.7253) \cdot (0.7232) \cdot$$

$$(0.8059) \cdot (0.9384) \cdot (0.8674) \cdot (0.8781) = 0.6755.$$

$$P\{NA(12) \geq 6 - K\},$$

$$K = 0, \dots, 6: 0.1284; 0.6755; 0.9450; 0.9927; 0.9990; 0.9999; 1.000.$$

$$M[NA(12)] = 4,744; \sigma[NZ(12)] = 0,77.$$

На рис. 2 проиллюстрировано изменение величин  $M[NA(t)]$  и  $P\{NA(t) \geq 3\}$  по 48 временным интервалам.

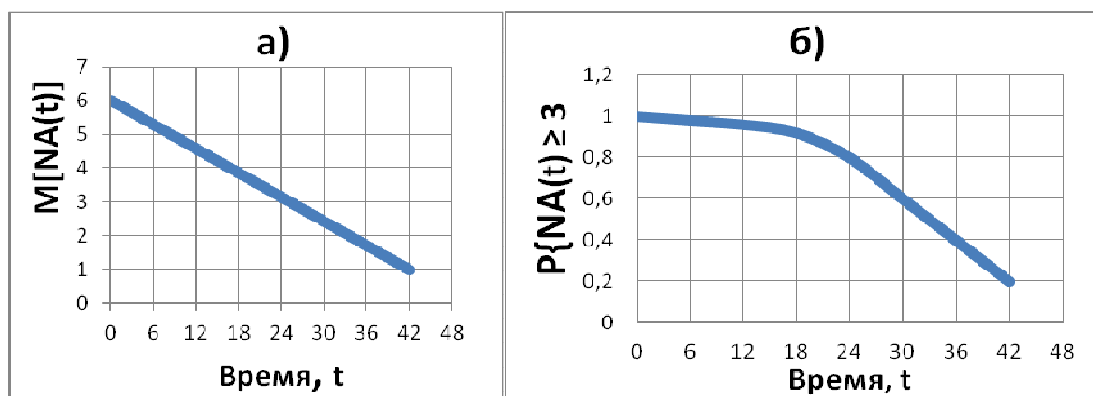


Рис. 2. Изменение величины  $M[NA(t)]$  (а)  $P\{NA(t) \geq 3\}$  (б)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гипич Г.Н. Концепция и модели прогнозирования и снижения рисков при обеспечении летной годности воздушных судов гражданской авиации: монография / под ред. Е.Ю. Барзиловича. - М.: Теис, 2005.
2. Александровская Л.Н., Аронов И.З., Круглов В.И. и др. Безопасность и надёжность технических систем. - М.: Университетская книга, Логос, 2008.
3. Burkett D.L. Units of equipment available using cannibalization for repair-part support // JEEE Trans. Reliab.1985.

#### EFFECTIVENESS OF STRATEGIES CANNIBALIZATION SYSTEM MAINTENANCE WITH RESTRICTIONS ON SPARE PARTS AND REPAIR RESOURCES

Lyubomirov I.S.

The article reviews the results of the analysis system for maintaining the airworthiness of the shortage of spare parts. The theory of "cannibalism".

**Key words:** theory of Kannibalizm, completing products, spare parts, repair.

#### Сведения об авторе

**Любомиров Иван Сергеевич**, 1985 г.р., окончил СПбГУ ГА (2009), аспирант СПбГУ ГА, ведущий инженер-инспектор Отдела расследований и контроля поддержания летной годности ОАО "Авиакомпания "Россия", автор 4 научных работ, область научных интересов – поддержание летной годности, безопасность полётов.

УДК 629.7.084

## СТРАТЕГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАКОМПАНИЙ СЪЕМНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

П.Д. ЖИЛЬЦОВ, В.С. КИРДЮШКИН, Н.С. НИКИТИН

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

В статье приведены основные принципы создания эффективной системы обеспечения компонентами ВС организаций-эксплуатантов. Рассматриваются различные стратегии организации процесса обеспечения, приведены преимущества и недостатки различных подходов. Даны основные принципы построения эффективной модели снабжения для предприятия.

**Ключевые слова:** стратегия обеспечения, изделия, компоненты, эффективность процесса, складское хранение.

### Общие положения

Процесс обеспечения предприятий гражданской авиации изделиями авиационной техники является неотъемлемой и важной составляющей процесса эксплуатации воздушных судов в целом. Система обеспечения оказывает существенное влияние на такие характеристики предприятий ГА, как регулярность полетов, исправность парка ВС, простои ВС из-за неисправностей. Ввиду этого к системе обеспечения должен быть выдвинут ряд требований, направленных на максимально эффективную ее работу, заключающихся в следующем:

- минимальное время для поставки требуемых компонентов;
- поддержание складских запасов изделий первой группы;
- максимальная экономическая эффективность процесса обеспечения в целом.

Соблюдение перечисленных основных требований не освобождает от необходимости следовать другим, не менее важным требованиям, таким как: контроль качества поставляемых изделий, грамотное распределение заказов по уровню срочности и др. Для достижения максимальной эффективности работы системы поставок необходимо не только добиться высокого качества работы элементов системы (департаментов, отделов, сотрудников), но и выбрать правильную стратегию снабжения. Ниже будут представлены различные подходы к организации работы структур снабжения, применимые к гражданской авиации. Так, предприятие может выбрать путь организации процесса обеспечения, при котором все потребности будут удовлетворяться за счет закупки новых или ремонта имеющихся у авиапредприятия изделий. Другая стратегия снабжения – использование обменных фондов сторонних предприятий. Существует также третья стратегия, совмещающая в себе оба подхода.

**Первая стратегия.** Она заключается в том, что предприятие, имея в начале своей деятельности минимальный складской запас изделий, базируясь на своих нуждах, проводит закупки изделий частично для целей производства (непосредственно для установки на ВС и устранения каких-либо повреждений), частично для хранения на складах и использования в последующем.

Снятые с ВС в процессе эксплуатации изделия в случае, если они являются восстанавливаемыми или ремонтпригодными, направляются в ремонтные организации. Затем после прохождения ремонта и восстановления изделия возвращаются на склад в исправном состоянии, где хранятся до следующего их использования. Таким образом, по истечении некоторого времени с начала функционирования Организации согласно такой схеме на складе образуется определенный фонд изделий, который будет «оборачиваться» через ремонт в случае использования компонентов для установки на ВС. Подразумевается, что фонд со временем будет допол-

няться редко отказывающимися изделиями. Изделия, отсутствующие на складе, невосстанавливаемые компоненты и расходные материалы будут закупаться у поставщиков.

**Вторая стратегия.** При использовании возвратно-обменных фондов подразумевается, что в процессе снабжения участвует Организация, предоставляющая услуги обменного фонда авиационно-технического имущества (АТИ). Как правило, возвратно-обменный фонд состоит из перечня ремонтпригодных и восстанавливаемых изделий. Объем фонда, правила и условия поставки изделий, сроки возврата обговариваются в соглашении сторон. При возникновении у Эксплуатанта потребности в изделии, входящем в перечень фонда, формируется заявка с указанием наименования, чертежного номера компонента, требуемых сроков поставки, места поставки.

Далее процесс обеспечения осуществляет Организация, управляющая фондом: получив заявку, она производит поиск изделия на складе, в ремонтных Организациях. В случае отсутствия требуемого изделия оно закупается у Производителя либо у Поставщиков. Далее изделие отправляется Эксплуатанту с учетом потребного срока, места поставки. Получив изделие, Эксплуатант устанавливает его на ВС; снятое (неисправное) изделие отправляется в Организацию, предоставляющую услуги из фонда, она направляет его в ремонт и по возвращению размещает на складе для хранения и последующего использования по запросу. Как показывает практика, при таком подходе удобны соглашения между сторонами, предусматривающие возможность расширения перечня предоставляемых компонентов по согласованию сторон.

Таким образом, перечень фонда в процессе деятельности будет дополняться, покрывая максимальное число потребных компонентов. Расходные материалы и невосстанавливаемые изделия при такой схеме будут закупаться у Производителей и Поставщиков.

**Третья стратегия** сочетает в себе элементы предыдущих двух. Она интересна с точки зрения оптимизации производства, снижения издержек. Так, подразумевается деление всех необходимых изделий на три группы.

**К первой группе** будут относиться изделия, наиболее часто применяемые в процессе эксплуатации, а также изделия, которые в случае отказа требуют немедленной замены (речь в основном идет о восстанавливаемых и ремонтпригодных изделиях). Эти изделия будут находиться на складах предприятия и в его собственности.

Перечень таких изделий определяется индивидуально каждым предприятием исходя из опыта эксплуатации, состояния и объема парка ВС, его разнородности, а так же наличия свободных средств для закупки изделий. При возникновении потребности в изделии, входящем в первую группу, оно используется, далее следует процесс ремонта снятого компонента в ремонтной Организации и возвращение его на склад для хранения и использования в дальнейшем (процесс соответствует циклу, описанному в первом подходе).

**Вторая группа** изделий – компоненты, используемые в процессе эксплуатации с меньшей частотой, не требующие срочной замены в случае отказа. Эти изделия будут предоставляться посредством задействования обменного фонда. Цикл заказа этих изделий будет полностью соответствовать циклу, применяемому при реализации второй описанной выше стратегии.

Таким образом, не будет необходимости закупать редко используемые изделия и изделия, которые не приводят к приостановке эксплуатации ВС по причине неисправности, но тем не менее предприятие будет иметь гарантированный доступ к ним с минимальными, четко определенными сроками поставки.

**К третьей группе** относятся изделия, редко используемые в процессе эксплуатации, которые при этом не требуют срочной замены при их отказе, расходные материалы. Эти изделия будут закупаться у Производителей и Поставщиков в случае необходимости, при этом, ввиду того, что используются редко, такие изделия могут быть закуплены по завышенной цене для ускорения процесса поставки.

При реализации такой стратегии важным фактором будет являться грамотное формирование групп компонентов, от этого в большой степени зависят показатели эффективности процесса обеспечения. Должны быть выработаны основополагающие принципы, позволяющие на ос-

нове анализа объема парка ВС, его разнородности, модификаций ВС, экономических резервов Организации сформировать группы компонентов, обозначить границы, в рамках которых возможны изменения объемов групп без резкого ухудшения показателей деятельности.

Следует также учесть факторы роста парка, изменения его состава. Так, при запланированных изменениях состава парка ВС целесообразны заблаговременные изменения состава групп изделий для приспособления процесса обеспечения нуждам Организации в переходные периоды. Для выработки таких принципов необходимо выявить все факторы, которые необходимо учесть при формировании групп, провести их анализ, определить количественные показатели, определяющие каждый фактор.

Далее необходимо с применением ЭВМ осуществить требуемые расчеты и на их основе сформировать границы групп, определить наиболее выгодные составы групп компонентов. Эти задачи требуют создания специальной методологии с применением современного математического аппарата.

### **Преимущества, недостатки и особенности стратегий**

**Первая стратегия** подразумевает максимальную независимость от сторонних Организаций. Она позволяет формировать большие складские запасы, что увеличивает вероятность наличия требуемого изделия у Организации и минимизирует время поставки изделия непосредственно к ВС. Наряду с этим, такая стратегия требует значительных финансовых вливаний, которые частично замораживаются в виде неиспользуемых и хранящихся на складах изделий; использования больших складских помещений (как следствие - возрастают затраты на хранение). Высока вероятность появления на складе изделий, использование которых в будущем крайне маловероятно (речь идет об изделиях, крайне редко выходящих из строя, замененных и вернувшихся на склад после ремонта).

**Стратегия, основанная на использовании возвратно-обменных фондов**, во многом упрощает процесс обеспечения, выводя его за пределы предприятия – Эксплуатанта (закупка изделий, хранение, ремонт неисправных – эти функции выполняет Организация, предоставляющая услуги из своего фонда), что позволяет иметь меньший штат персонала, обрабатывающий заказы, так как в большинстве случаев необходимо только грамотное оформление заявки на требуемое изделие.

Используются меньшие складские помещения. Не требуются большие мгновенные финансовые вливания, средства не замораживаются в виде неиспользуемых изделий, хранящихся на складах. Однако при такой стратегии Эксплуатант становится во многом зависимым от Организации, предоставляющей услуги фонда и в случае нестабильной его работы велика вероятность сбоев поставок. Ввиду этого весьма важным видится грамотный выбор Организации, которая будет предоставлять услуги фонда. Следует оценить надежность Организации, объемы фондов компонентов, возможности по их расширению в процессе деятельности. Такой подход к процессу обеспечения получил широкое распространение за рубежом, где на рынке услуг по снабжению осуществляют свою деятельность множество Организаций, предоставляющих услуги обменных фондов компонентов. Также подобные услуги предоставляются рядом крупных авиакомпаний, имеющих достаточные объемы изделий для такой деятельности.

**Стратегия, основанная на применении обоих подходов**, наиболее интересна с точки зрения оптимизации производства, снижения издержек. Она позволяет максимально гибко подойти к решению поставленных задач, учитывать объем парка ВС, возраст ВС, разнородность парка, учитывать проекты по развитию, изменению состава парка ВС. Так, изменяя и варьируя объемы групп изделий (первой, второй и третьей) можно максимально приспособить процесс обеспечения под нужды предприятия, добиться максимальной экономической эффективности и при этом гарантировать потребные сроки поставок.



Расширяя и увеличивая первую группу изделий, предприятие приобретает максимальную независимость от сторонних Организаций, при этом обеспечивается наибольшая вероятность нахождения требуемого изделия на складе.

В случае отсутствия достаточных средств на первую группу увеличивается вторая группа изделий, что позволяет, не замораживая и не вливая большие средства, обеспечивать производство требуемыми изделиями в срок. В случае принятия решения о скором переходе на другой тип ВС Организация может постепенно выводить изделия из первой группы (реализуя их другим участникам рынка), при этом вводя эти изделия во вторую группу (дополняя соглашения о пользовании фондами путем включения изделия в перечень поставляемых по заявке).

Как видно, такая стратегия дает возможность максимально приспособить процесс обеспечения компонентами ВС к особенностям предприятия, его финансовым возможностям. Не менее важен тот аспект, что такую стратегию удобно использовать при переходе на новые типы ВС без ущерба производству. Также предполагается наличие тесных взаимосвязей с Производителями, Поставщиками авиационной техники и изделий, ремонтными Организациями как напрямую, так и через Организацию, предоставляющую услуги фонда, что дает больше возможностей выхода из сложных ситуаций, связанных с поиском и поставкой редко применяемых изделий.

При правильном подходе к формированию групп компонентов во многих случаях обеспечится максимальная эффективность деятельности предприятия в части, касающейся обеспечения. Однако продуктивная деятельность согласно описанной стратегии возможна лишь в случае правильного определения состава групп, для чего необходимо разработать принципы определения состава групп, о чем говорилось ранее.

Следует также отметить, что при построении системы поставок согласно любой из предложенных схем необходимо следовать и общим принципам, применимым к деятельности по заказам имущества в гражданской авиации. Так, при выборе любой стратегии обеспечения материальными ресурсами должны быть определены механизмы закупочной политики, предусмотрены ресурсные факторы, очерчены все этапы приобретения имущества, указаны роль и место посреднических организаций.

Особую значимость в процедуре заказов материальных ресурсов имеет изучение Поставщика. При выборе любого из трех обозначенных выше подходов к обеспечению предприятию в большей или меньшей степени придется вести деятельность по приобретению компонентов и материалов, потребных при обслуживании. Должны быть разработаны критерии базы Поставщиков, изучены сертификационные требования к основным Поставщикам, установлены критерии эффективности затрат, определены критерии оценки результатов потенциальных соглашений с Поставщиками. При этом существенное влияние на экономичность процесса обеспечения будет оказывать объем базы Поставщиков. Как правило, решения о закупке имущества принимаются на тендерной основе.

### **Технологические аспекты**

Весьма важным является определение основных функций технологического характера для стратегии, выбранной для предприятия.

Одна из функций – хранение и складирование предполагает разгрузку, погрузку, хранение, сортировку, маркировку, комплектацию, упаковку деталей, узлов, комплектующих изделий, играет существенную роль в общем процессе заказов имущества независимо от выбранной стратегии заказов. Так, без соблюдения строгих требований к складскому хранению компонентов ВС химической продукции, используемой при обслуживании, Организация будет не в состоянии пройти ряд проверок на соответствие отраслевым стандартам. Независимо от выбора стратегии обеспечения требования к хранению остаются неизменными. Изменяется лишь объем складываемого имущества и, как следствие, размеры складов. Наибольшие объемы складываемых компонентов – особенность первой стратегии.

Вторая стратегия подразумевает наличие складских пространств в основном как места временного хранения компонентов, поступивших из обменного фонда либо готовящихся к отправке в фонд, а также для складирования расходных материалов. При реализации третьей стратегии объемы складских помещений варьируются в зависимости от объема групп компонентов.

Другой, не менее важной функцией процесса является транспортировка материального имущества, предполагающая доставку компонентов к непосредственному потребителю. При этом должны выдерживаться строгие временные рамки, выдвигаемые в соответствии с нуждами производства, нормы сохранности грузов при перевозке чувствительного оборудования.

Следует также учитывать особенности таможенного законодательства, правила перевозки разных типов грузов. Так, в случае возникновения потребности в компонентах, классифицирующихся как опасные грузы, в ряде случаев целесообразно рассматривать Поставщиков, находящихся в непосредственной близости от предприятия, так как перевозка таких изделий крайне затруднительна и требует дополнительных затрат времени. В случае задействования сторонних Организаций, предоставляющих услуги обменных фондов, как правило, функции транспортировки частично перекладываются на эти Организации. Эксплуатант должен лишь задать требуемую дату поставки и пункт назначения.

Следует отметить, что в условиях роста темпов истощения природных ресурсов актуальной задачей становится снижение потребления ресурсов при предпочтительном росте производительности труда и, следовательно, достижение максимальной эффективности политики заказов материально-технического имущества, а это, в свою очередь, достигается оптимальным выбором стратегии заказов материальных ресурсов.

Однако как на стадии формирования заказов на материально-техническое имущество, так и на различных этапах реализации структурных элементов системы обеспечения следует считать, что первичным звеном в деятельности предприятия в этом направлении является поддержание высокого уровня качества материальных ресурсов: запасных частей, материалов, комплектующих изделий.

В связи с этим выбранная стратегия заказов необходимого оборудования и материалов должна предусматривать полноту системы контроля качества от входного контроля до конечного цикла потребления.

## Выводы

1. Стратегическое планирование и управление заказами материального имущества предполагает выработку позиций по таким показателям, как высокий уровень соблюдения сроков выполнения заказов, достаточный уровень запасов, краткое прохождение ресурсов от Поставщика к потребителю и поддержание высокого качества заказываемых изделий.

2. Основной задачей при планировании деятельности по обеспечению является выбор наиболее подходящей для предприятия стратегии обеспечения, учитывающей все его особенности и максимально удовлетворяющей требованиям производства.

3. Необходимо строгое соблюдение отраслевых стандартов, требований и правил по обеспечению авиакомпаний требуемыми компонентами, гарантирующими экономичную и безопасную эксплуатацию парка воздушных судов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Henry Canaday Right Parts, Right Time. – <http://www.aviationweek.com>. 2010
2. Чинючин Ю. М. Формализованная модель управления процессом обеспечения и поддержания летной годности // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2002. - № 49.
3. Смирнов Н.Н. Система технической эксплуатации летательных аппаратов: состояние и проблемы // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2002. - № 49.

## **SPARE PARTS PROCUREMENT STRATEGY FOR AIRLINES**

**Gilitsov P.D., Kirdyushkin V.S., Nikitin N.S.**

The article presents the basic principles of creation an effective aircraft components supply system. Explains different strategies of procurement process organizing. The advantages and disadvantages of various approaches are given. Basic principles of effective procurement model are given.

**Key words:** procurement strategy, spare parts, process efficiency, warehousing.

### **Сведения об авторах**

**Жильцов Петр Дмитриевич**, 1936 г.р., окончил ХАИ (1959), доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор 34 научных работ, область научных интересов – надежность авиационной техники.

**Кирдюшкин Владимир Сергеевич**, 1983 г.р., окончил МГТУ ГА (2006), старший инженер отдела 173 ЦАТБ ГосНИИ ГА, автор 22 научных работ, область научных интересов – ресурсное поддержание летной годности воздушных судов.

**Никитин Николай Сергеевич**, 1987 г.р., окончил МГТУ ГА (2010), аспирант кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – системы снабжения ГА, оптимизация процессов.

УДК 629.735.017.1

## **ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ В ОРГАНИЗАЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ И РЕМОНТУ**

**Р.В. ЕНИКЕЕВ, С.Е. ПРОЗОРОВ**

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

В статье дано описание основных проблем, возникающих при внедрении системы управления риском в организации по техническому обслуживанию и ремонту, на примере внедрения в ООО «С 7 ИНЖИНИРИНГ».

**Ключевые слова:** система управления риском, фактор опасности, наименьший практически возможный уровень риска.

### **Введение**

Как видно из [1] при разработке Системы управления безопасностью полетов (СУБП) в соответствии с SARPs ИКАО организация по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) сталкивается с рядом проблем организационного, методологического и технического характера. Такого рода проблемы не исчезают и при внедрении системы управления риском (СУР), которая по существу представляет собой управление процессом обеспечения безопасности посредством выявления факторов опасности (ФО), оценки их риска и принятия действий по управлению этим риском.

Как упоминалось в [1] в настоящее время нет единой методологии построения и соответственного внедрения СУР для ТОиР, поэтому каждая организация ищет свои пути решения проблемы.

ООО «С 7 ИНЖИНИРИНГ» не имеет собственного парка ВС, но, имея действующий PART-145 сертификат, оказывает услуги по поддержанию летной годности, планированию и выполнению ТО ВС западного производства различным эксплуатантам. Предоставляемые услуги не ограничиваются только выполнением базового и линейного технического обслуживания следующих типов ВС: Airbus-310; Airbus-319/320/321; Boeing-737-300/400/500/600/700/800/900; Boeing-767. Действующий PART-145 сертификат позволяет также выполнять обслуживание компонентов, ремонт конструкций ВС и диагностику методами неразрушающего контроля. Список обслуживаемых авиакомпаний включает не только российских эксплуатантов, таких как «Глобус» и «Сибирь», но и ряд иностранных.

Применимость к текущей эксплуатационной деятельности было основным требованием к СУР при ее разработке в ООО «С 7 ИНЖИНИРИНГ». Но, тем не менее, отсутствие личного опыта и слабая информированность о мировых разработках в этом направлении наложили определенный отпечаток, который привел к возникновению трудностей на этапе внедрения СУР.

Как упоминалось выше, существует ряд проблем методологического, технического и организационного характера, препятствующих нормальному внедрению системы. Попробуем разбраться с каждой из них.

### **1. Выбор методологии**

Основная трудность возникла в выборе методологии. Первоначально было принято решение отойти от предлагаемого в [2] метода ИКАО и использовать новый метод, предложенный в [3] и развитый в [4].

Но в ходе внедрения стало понятно, что новый метод наряду со своими достоинствами имеет ряд недостатков. Подробно внедряемый метод описан в [1].

Во-первых, указанный метод рассматривается пока только как теория, нет достоверных примеров его использования на практике.

Во-вторых, оценка и анализ рисков представляет собой очень трудоемкий и сложный процесс. Для достоверности оценки от специалиста требуется большой опыт и значительное время на выполнение. Так как предназначенные для этого матрицы, представленные в [1], подразумевают проведение длительной аналитической работы по каждому имеющемуся событию. К тому же для оценки эффективности оставшихся барьеров требуется четкая классификация предложенных вариантов, а для определения частоты отказов барьеров необходима статистическая база по каждому событию, что в рамках объемов деятельности организации по ТОиР не всегда выполнимо. Поэтому отсутствие статистики и достаточного времени на выполнение анализа будет склонять экспертов к формальному выполнению поставленной задачи, что негативно скажется на полученных результатах.

В-третьих, устанавливаемые границы приемлемости риска не являются относительными, что при непременном возрастании с течением времени суммарного индекса риска приведет к потере актуальности изначально установленных границ. Конечно, постоянное корректирование границ не лучшее решение для внедряемой системы. Такая ситуация может заложить в систему возможность ошибки, когда появится вероятность попадания явно неприемлемого риска в рамки приемлемого.

Для внедряемой системы необходим наиболее простой и понятный метод. Очевидно, что вышеупомянутый метод не соответствует этим требованиям.

В конечном счете было решено воспользоваться упрощенным методом, проверенным на практике. А именно тем, который используется в а/к «Сибирь». СУР авиакомпании функционирует более года и показывает положительные результаты. Их метод базируется на предлагаемом в [2] методе ИКАО.

Ниже приведено краткое описание метода, адаптированного под специфику эксплуатационной деятельности и внедряемого в ООО «С 7 ИНЖИНИРИНГ».

Основой метода оценки риска является расчет количественного показателя «степень риска» с использованием специально разработанной компьютерной программы «RiskManager».

Процедура оценки риска состоит из следующих этапов:

- расчет степени вероятности проявления ФО;
- расчет степени серьезности воздействия ФО;
- расчет степени риска и оценка его приемлемости.

Расчет степени вероятности «Р» (от 1 до 5) выполняется программой «RiskManager» автоматически.

Исходными данными для расчета являются:

- количество событий/отклонений данной категории;
- количество затраченных человеко-часов за отчетный период.

Расчет выполняется по специальному алгоритму, аппроксимирующему табл. 1.

Расчет степени серьезности «S» каждого события по 5-балльной шкале выполняется в соответствии с табл. 2.

Программа «RiskManager» позволяет присваивать каждому событию коэффициент серьезности «Ks» в зависимости от введенной экспертом степени серьезности «S» в соответствии с табл. 3.

Результирующий коэффициент серьезности для категории рассчитывается автоматически по специальному алгоритму.

Расчет степени риска выполняется программой «RiskManager» для каждой категории по формуле

$$R=P*Ks,$$

где R - степень риска; P - степень вероятности; Ks - коэффициент серьезности категории.

Таблица 1

## Степень вероятности и частота

| Степень вероятности | Частота (на 1 тыс чел./ч) | Соответствие критерию |
|---------------------|---------------------------|-----------------------|
| 5                   | Более 100                 | Очень часто           |
| 4                   | От 30,1 до 100            | Часто                 |
| 3                   | От 10,1 до 30             | Периодически          |
| 2                   | От 0,3 до 10              | Редко                 |
| 1                   | Менее 0,3                 | Крайне редко          |

Таблица 2

## Общая классификация серьезности развития ситуации

|                       |   | Потенциальные последствия воздействия ФО                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                            |                                                                                                                                |                                                                                         |                                                                                                                                                                               |                                                                                                            |                                                                                                           |
|-----------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       |   | Людские ресурсы                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Финансовые ресурсы                                                                                                                         |                                                                                                                                |                                                                                         | Деятельность общества                                                                                                                                                         |                                                                                                            |                                                                                                           |
|                       |   | Люди                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Имущество                                                                                                                                  | Отв-ть перед третьими лицами                                                                                                   | Задержка рейса                                                                          | Деятельность                                                                                                                                                                  | Объем работ                                                                                                | Репутация                                                                                                 |
| Степень серьезности S | 5 | <ul style="list-style-type: none"><li>человеческие жертвы / угроза жизни</li></ul>                                                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>уничтожение оборудования, катастрофический ущерб (более 300 млн. руб.)</li></ul>                     | <ul style="list-style-type: none"><li>катастрофический ущерб (более 300 млн. руб.)</li></ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"><li>прекращение полетов</li></ul>                     | <ul style="list-style-type: none"><li>приостановление или прекращение всей деятельности общества</li><li>лишение сертификата Организации по ТОиР</li></ul>                    | <ul style="list-style-type: none"><li>снижение / увеличение, вызванное ФО (&gt;50%)</li></ul>              | <ul style="list-style-type: none"><li>потеря репутации общества</li></ul>                                 |
|                       | 4 | <ul style="list-style-type: none"><li>серьезные телесные повреждения (увечья)</li><li>физический стресс или такая рабочая нагрузка, что нет уверенности в правильном и полном выполнении производственным персоналом своих задач</li></ul>                                                               | <ul style="list-style-type: none"><li>значительное повреждение оборудования, крупный ущерб (более 50 млн. руб. до 300 млн. руб.)</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>крупный ущерб, причиненный третьим лицам (более 50 млн. руб. до 300 млн. руб.)</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>прекращение полетов на срок до 3-х дней</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>временное приостановление деятельности общества по одному направлению</li><li>приостановление сертификата Организации по ТОиР</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>снижение/увеличение, вызванное ФО (в пределах 30% - 50%)</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>серьезный вред репутации общества на международном уровне</li></ul> |
|                       | 3 | <ul style="list-style-type: none"><li>телесные повреждения (госпитализация)</li><li>производственный персонал не в полной мере способен справиться с неблагоприятными эксплуатационными условиями из-за увеличения рабочей нагрузки или вследствие условий, понижающих эффективность их работы</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>средний ущерб (более 500 тыс. руб. до 50 млн. руб.)</li><li>серьезный инцидент</li></ul>             | <ul style="list-style-type: none"><li>средний ущерб, причиненный третьим лицам (более 1 млн. руб. до 50 млн. руб.)</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>более 6 часов</li></ul>                           | <ul style="list-style-type: none"><li>ограничение сертификата Организации по ТОиР</li></ul>                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"><li>снижение/увеличение, вызванное ФО (в пределах 20% - 30%)</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>серьезный вред репутации общества на федеральном уровне</li></ul>   |
|                       | 2 | <ul style="list-style-type: none"><li>легкие травмы</li><li>неудобство, производственные ограничения, применение правил на случай аварийной ситуации</li></ul>                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"><li>незначительный ущерб (до 500 тыс. руб.)</li><li>незначительный инцидент</li></ul>                    | <ul style="list-style-type: none"><li>незначительный ущерб третьим лицам (до 500 тыс. руб.)</li></ul>                          | <ul style="list-style-type: none"><li>от 2 до 6 часов</li></ul>                         | <ul style="list-style-type: none"><li>проблемы получения сертификата Организации по ТОиР</li></ul>                                                                            | <ul style="list-style-type: none"><li>снижение/увеличение, вызванное ФО (в пределах 10% - 20%)</li></ul>   | <ul style="list-style-type: none"><li>существенный вред репутации общества</li></ul>                      |
|                       | 1 | <ul style="list-style-type: none"><li>увеличение нагрузки</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"><li>без ущерба</li></ul>                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"><li>без ущерба</li></ul>                                                                     | <ul style="list-style-type: none"><li>от 15 мин до 2 часов</li></ul>                    | <ul style="list-style-type: none"><li>незначительные проблемы</li></ul>                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>незначительное снижение/увеличение, вызванное ФО (&lt;10%)</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>незначительный вред репутации общества</li></ul>                    |

Таблица 3

Соотношение степени и коэффициента серьезности

|    |   |   |   |    |    |
|----|---|---|---|----|----|
| S  | 1 | 2 | 3 | 4  | 5  |
| Ks | 1 | 4 | 8 | 16 | 32 |

Основные значения степени риска представлены в виде матрицы риска на рис. 1.  
Для оценки приемлемости риска устанавливаются границы (табл. 4).

| S       | Степень серьезности |    |    |    |   |
|---------|---------------------|----|----|----|---|
|         | 5                   | 4  | 3  | 2  | 1 |
| P<br>Ks | 32                  | 16 | 8  | 4  | 1 |
| 5       | 160                 | 80 | 40 | 20 | 5 |
| 4       | 128                 | 64 | 32 | 16 | 4 |
| 3       | 96                  | 48 | 24 | 12 | 3 |
| 2       | 64                  | 32 | 16 | 8  | 2 |
| 1       | 32                  | 16 | 8  | 4  | 1 |

Рис. 1. Матрица риска

Таблица 4

Оценка приемлемости риска

| R    | Характеристика риска | Действия                                             |
|------|----------------------|------------------------------------------------------|
| >20  | Неприемлемый         | Решение на уровне Генерального директора             |
| 5-20 | Приемлемый           | Анализ, действия на уровне руководителей направлений |
| <5   | Незначительный       | В рабочем порядке на уровне линейных исполнителей    |

Необходимо иметь в виду, что нельзя недооценивать возможности нового метода, предложенного в [3], отказ от него на этапе внедрения СУР не умаляет его преимуществ. Новая методология требует апробации в организации, которая имеет проверенную временем систему управления риском. Оценка вероятно будущего риска – это следующая после внедрения ступень развития СУР.

## 2. Программное обеспечение

Еще одна проблема, с которой пришлось столкнуться, оказалась технического характера. Как известно, мало разработать теорию, необходимо, вдобавок, подобрать инструмент для ее реализации. В нашем случае инструментом является специально разработанная под нужды СУР компьютерная программа, основная цель которой - собирать и накапливать статистические данные по ФО, а также обеспечивать возможность их качественной оценки.

Итак, за период разработки методологии принципы и сам алгоритм программы «RiskManager» были изменены несколько раз.

Это прежде всего связано с тем, что изначально программа разрабатывалась под нужды а/к «Сибирь» и представляла собой временный вариант, позволяющий классифицировать каким-либо образом выявленные и зафиксированные на «бумаге» ФО. Оценив достоинства нововведения, было принято решение доработать программу для получения возможности систематического внесения в электронном виде информации не только о ФО, но и о случившихся опасных событиях с последующей их оценкой. Тем не менее, программа была ориентирована на требования эксплуатанта и напрямую не подходила по специфике организации по ТООР. В этой связи разработчикам программы было отправлено техническое задание для внесения соответствующих изменений.

Следующие перемены связаны с базой, на которой основывалась работа программы. Изначально использовалась единая электронная система «FleetWatch», предназначенная для планирования и управления деятельностью группы компаний S7. В процессе работы были выявлены принципиальные недостатки, приведшие к переходу на базу электронной системы ORACLE, активно развивающуюся не только в ООО «С 7 ИНЖИНИРИНГ», но и в авиакомпаниях.

Внесенные в программу изменения на первый взгляд казались незначительными, но на самом деле повлекли за собой множество проблем. На первом этапе проведены ревизии документов по СУР, каким-либо образом определяющие порядок работы с программой, т.к. интерфейс программы был изменен. Программное обеспечение тоже пришлось переустанавливать на каждом компьютере сотрудников, задействованных в работе с «RiskManager». В конечном счете все это привело к значительным затратам временных и человеческих ресурсов.

## 3. Организация деятельности по внедрению СУР

Наконец, заключительная по порядку, но не по значимости проблема, связанная с организацией деятельности по внедрению СУР. Понимание необходимости выявления ФО с последующей оценкой их последствий появилось у большинства руководителей, начиная с линейных и вплоть до высшего звена, с момента возрастания объемов работ по технической эксплуатации ВС. Хотя СУР на тот момент еще не существовала в ООО «С 7 ИНЖИНИРИНГ» и нынешнее определение ФО не было знакомо, тем не менее, любой руководитель, выполняя свои должностные обязанности, по сути, управлял рисками в своем подразделении. С момента увеличения объема работ руководитель уже физически не мог своевременно реагировать на вновь выявляемые ФО.

Возможно, что именно тогда в их головах стала зарождаться идея о необходимости системы в каком-либо виде, которая позволила бы справиться с этими трудностями.

Итак, понимание было, не хватало только импульса для начала функционирования СУР. Им стало письмо из Росавиации о внедрении СУБП в организациях ГА. В результате высшим руководством была поставлена соответствующая задача, первым этапом которой предусматривалась разработка и внедрение СУР в ООО «С 7 ИНЖИНИРИНГ».

Как известно, все новое воспринимается человеком с большим трудом. В нашем случае исключения не произошло.



Руководитель высшего звена видит проблемы в совокупности. Он думает прежде всего о том, как наиболее эффективно распределить между подчиненными ему подразделениями выделенный минимум ресурсов для поддержания наименьшего практически возможного уровня (НПВУ) риска. Так как известно, что полностью устранить риск невозможно, его можно только уменьшить до уровня, при котором дальнейшее его уменьшение будет практически несущественным, либо связанные с этим затраты значительно превысят выгоды. В противном случае придется отказаться от данного вида деятельности. К СУР руководитель высшего звена относится, в общем, положительно, понимая ее неоспоримые преимущества. Но, тем не менее, активное участие во внедрении СУР не принимает, ставя соответствующие задачи своим подчиненным.

Линейный руководитель, напротив, видит проблемы однобоко, обращает внимание на те, которые влияют на выполнение его должностных обязанностей. Линейный руководитель думает о том, как, затратив минимум ресурсов, наиболее быстро избавиться от видимых последствий, но не устранить ФО! Так как он слишком занят выполнением текущих обязанностей, на должное реагирование на ФО у него нет времени. Стоит отметить, что чаще всего расширение штатного расписания для выполнения такого рода задач не предусматривается. Поэтому к СУР линейный руководитель относится неоднозначно, с одной стороны, в глубине души понимает ее пользу, с другой, – это дополнительные обязанности, назначенные вышестоящим руководителем.

Рядовой исполнитель – ключевой элемент СУР. Ежедневно он напрямую сталкивается с ФО, выполняя свои должностные обязанности. Исполнитель видит многое из того, что скрыто от «замыленного» глаза руководителя. Полученная от него информация является основным источником для выявления ФО. Но в большинстве случаев исполнитель обращает внимание только на те проблемы, которые мешают комфортному исполнению его обязанностей. На первом этапе исполнитель негативно относится к СУР, потому что еще не понимает ее преимуществ.

Учитывая вышесказанное, можно заключить, что проблема, связанная с организацией деятельности по внедрению СУР, прежде всего существует из-за плохого понимания преимуществ новой системы как руководителями, так и исполнителями.

Итак, для улучшения процесса внедрения системы управления рисками необходимо уделять особое внимание как обучению, так и мотивации сотрудников, задействованных в СУР.

Обучение должно охватывать не только рядовых исполнителей, но и весь руководящий состав. Программа обучения должна включать как минимум следующее:

- ознакомление вновь принятого на работу персонала с основами управления рисками и безопасностью в ходе первоначального обучения;
- обучение руководящего состава и рядовых исполнителей управлению рисками, как основы системы управления безопасностью, при проведении технической учебы в подразделениях;
- обучение персонала работе с компьютерной программой (при ее наличии), созданной под нужды СУР;
- обучение специально отобранного руководящего состава на различных курсах и семинарах IATA, ИКАО, МАК и других организаций.

Для мотивации персонала необходимо применять следующие методы, предусматривающие:

- организацию работы системы доклада о ФО для расширения возможностей сбора информации;
- доведение информации об изменении количества ФО и уровня рисков, по докладам персонала и экономии ресурсов, полученной при этом;
- изучение анализа по работе СУР на разборах различных уровней.

## Выводы

1. Рассмотрены основные проблемы, возникающие при внедрении СУР в организации по ТООиР.
2. Обоснована необходимость перехода от нового метода оценки риска к более простому методу ИКАО, показавшему положительные результаты функционирования в авиакомпаниях.

3. Представлен обзор развития программного обеспечения, разработанного под нужды СУР, в организации по ТОиР.
4. Предложены способы улучшения процесса внедрения СУР в организации по ТОиР.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шаров В.Д., Еникеев Р.В. Разработка системы управления рисками в организации по техническому обслуживанию и ремонту // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2010. - №162.
2. Safety Management Manual (SMM), Second Edition, ICAO, 2009, <http://www.icao.int/anb/safetymanagement/>
3. Nisula J. Operational Risk Assessment. Next Generation Methodology, 2009, <http://www.easa.europa.eu/essi/documents/ARMS.pdf>.
4. Зубков Б. В., Шаров В. Д. Теория и практика определения рисков в авиапредприятиях при разработке системы управления безопасностью полетов. - М.: МГТУ ГА, 2010.
5. Руководство по управлению рисками ОАО «Авиакомпания «Сибирь». - 2-е изд. - М., 2010.
6. Кулавский В. Г., Жуков С. А., Шаров В. Д. Разработка системы управления риском с использованием базы данных FleetWatch // Проблемы безопасности полетов. - 2010. - № 3. - С. 14-22.

#### PROBLEMS OF IMPLEMENTATION OF RISK MANAGEMENT SYSTEM IN MAINTENANCE ORGANIZATION

**Enikeev R.V., Prozorov S.E.**

The article presents description of problems of risk management system implementation in maintenance organization based on the example of system being implemented in S7 ENGINEERING Ltd.

**Key words:** risk management system, hazard, as low as reasonably practicable level of risk.

#### Сведения об авторах

**Еникеев Руслан Валериевич**, 1986 г.р., окончил МГТУ ГА (2009), аспирант МГТУ ГА, ведущий аудитор отдела обеспечения качества ООО «С 7 ИНЖИНИРИНГ», автор 6 научных работ, область научных интересов – безопасность полетов.

**Прозоров Сергей Евгеньевич**, 1941 г.р., окончил КИИ ГА (1965), профессор, кандидат технических наук, профессор кафедры безопасности полётов и жизнедеятельности МГТУ ГА, автор более 90 научных работ, область научных интересов – безопасность полётов.

УДК 629.735.015:681.3

## РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЕТОВ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Н.Б. БЕХТИНА, М.С. КУБЛАНОВ, К.О. ЧЕРНИГИН

Рассматриваются аспекты построения системы управления безопасностью полетов на базе объективного анализа полетных ситуаций с помощью математического моделирования.

**Ключевые слова:** безопасность полетов, ИКАО, система управления безопасностью полетов, математическое моделирование, анализ нагрузок на шасси.

Теории системной безопасности присуще утверждение о том, что в производственных системах, в которых устанавливаются амбициозные производственные цели без развертывания необходимых средств и ресурсов для их реализации, создаются потенциальные условия для частых сбоев. В связи с этим ранние этапы развития коммерческой авиации характеризовались высокой частотой авиационных происшествий (АП), поэтому первоочередной задачей обеспечения безопасности полетов (БП) в то время являлось предотвращение АП. Благодаря техническим усовершенствованиям (чему во многом способствовало расследование авиационных происшествий), а также вследствие последующего развития соответствующей инфраструктуры стало наблюдаться постепенное, но устойчивое снижение частоты АП, а также рост тенденций к регулированию. К 1950-м годам авиация стала в плане АП одной из самых безопасных, но также и одной из самых зарегулированных отраслей.

В результате этого появилась распространенная точка зрения о том, что БП можно гарантировать, если следовать установленным правилам, а отклонение от этих правил обязательно приведет к сбоем в обеспечении БП. В связи с этим сформировалась традиционная парадигма БП, которая в качестве основной меры и метода обеспечения безопасности основывалась на процессе расследования происшествий/серьезных инцидентов и строилась на трех основных допущениях [1]:

а) большей частью авиационная система работает в соответствии с проектными спецификациями (т.е. основная деятельность);

б) соблюдение нормативных положений гарантирует основную деятельность системы и поэтому обеспечивает БП (на основе соблюдения норм);

в) поскольку соблюдение нормативных положений гарантирует основную деятельность системы, небольшие, в основном не имеющие последствий, отклонения в ходе регулярных операций значения не имеют, а внимание следует обращать только на крупные отклонения, приводящие к серьезным последствиям (ориентация на результирующие последствия).

В таком процессе обеспечения БП основное внимание уделялось последствиям (т.е. крупным авиационным происшествиям и/или инцидентам), а для определения причины делался упор на расследование авиационных происшествий. Если отказов техники выявлено не было, внимание переключалось на возможность нарушения правил эксплуатационным персоналом.

В настоящее время в практике расследования авиационных происшествий и предпосылок к ним наиболее распространенным является случай констатации причин различного рода отклонений, зарегистрированных с помощью средств объективного контроля. Типичный случай такого уровня анализа – указание причины авиационного происшествия в виде нарушений безопасной высоты полета, минимума погоды, боковых отклонений и т.п., а также различных нарушений требований документов, регламентирующих деятельность экипажа. По существу такой анализ мало чем отличается от уровня непосредственной причины, хотя и не является таковым [2].

Слабой стороной такого подхода является то, что недостаточно внимания уделялось опасным условиям эксплуатации, которые в расследуемом событии хотя и присутствовали, но не имели "причинной" связи, даже если они были потенциально опасными для авиационной деятельности при различных обстоятельствах.

Промежуточное положение в иерархии уровней анализа занимает анализ ошибок, когда усугубляются отклонения в оценках, представлениях, решениях человека [3]. С точки зрения профилактики происшествий анализ на уровне ошибок неэффективен, если ошибка рассматривается как причина АП (этот уровень анализа достаточно распространен как в отечественной, так и мировой авиации). Особенно это касается "ошибок пилота", которому при расследовании авиационного происшествия нередко приписывают все недостатки авиационной системы.

Технический прогресс в авиации привел к тому, что сегодня ее надо квалифицировать, прежде всего, как большую систему, т.е. описываемую большим числом (сотнями) факторов. В такой системе происшествия являются, как правило, результатом сочетания целого ряда одновременно действующих факторов. Большую систему уже невозможно "зарегулировать" нормативными актами. В авиации будут иметь место отказы и эксплуатационные ошибки, несмотря на самые эффективные и тщательно разработанные меры, применяемые для их предотвращения. Никакая деятельность человека или созданной им системы не гарантирована от полного отсутствия отказов и эксплуатационных ошибок – абсолютной безопасности сложных технических систем быть не может.

Таким образом, безопасность можно рассматривать как состояние системы, при котором возможность причинения ущерба лицам или имуществу снижена до приемлемого уровня и поддерживается на этом или более низком уровне посредством постоянного процесса выявления факторов опасности и управления факторами риска для БП [4].

В настоящее время формируется новая парадигма безопасности, которая основана на принципе управления БП посредством контролирования процессов, выходящих за рамки расследования событий, и она также строится на трех основных допущениях [4]:

- а) большей частью авиационная система не работает в соответствии с проектными спецификациями (т. е. эксплуатационная деятельность приводит к эксплуатационному сдвигу);
- б) вместо того, чтобы исключительно полагаться на соблюдение нормативных положений, осуществляется постоянный мониторинг работы системы в реальном времени (на основании эффективности деятельности);
- в) небольшие, не имеющие последствий отклонения, в ходе регулярных операций постоянно отслеживаются и анализируются (ориентация на процессы).

В данном контексте нормативная роль Международной организации гражданской авиации (ИКАО) заключается в разработке Стандартов и Рекомендуемой практики (САПРС), которые излагаются в Приложениях к Чикагской конвенции и отражают опыт, накопленный государствами в этой области.

В соответствии с согласованными САПРС ИКАО [5] по управлению БП:

- а) государства разрабатывают свои государственные программы по БП (ГПБП) с целью обеспечения приемлемого уровня БП (ПУБП) в гражданской авиации;
- б) эксплуатанты реализуют систему управления БП (СУБП).

Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) ИКАО [4] предназначено для оказания помощи государствам в разработке нормативной структуры и вспомогательного инструктивного материала по реализации эксплуатации систем управления БП (СУБП). В нем также содержатся рекомендации по разработке ГПБП в соответствии с САПРС, содержащимися в Приложении 1 "Выдача свидетельств авиационному персоналу", Приложении 6 "Эксплуатация воздушных судов", Приложении 8 "Летная годность воздушных судов", Приложении 11 "Обслуживание воздушного движения", Приложении 13 "Расследование авиационных происшествий и инцидентов" и Приложении 14 "Аэродромы".

Государства также обязаны в рамках своей деятельности по ГПБП утверждать и контролировать разработку, реализацию и функционирование СУБП эксплуатантов.

Целью СУБП эксплуатанта является контролирование факторов риска для БП. СУБП – это средство, которое эксплуатант использует для удержания под организационным контролем факторов риска для БП, связанных с последствиями факторов опасности, с которыми он сталкивается в ходе выполнения производственных задач. СУБП должна:

- 1) выявлять факторы опасности для БП (для установления того, в чем заключается проблема);
- 2) обеспечивать принятие корректирующих мер, необходимых для поддержания согласованных показателей БП (для поддержания эффективности обеспечения БП);
- 3) обеспечивать постоянный мониторинг и регулярную оценку показателей БП (проследить, чтобы предложенная мера или меры сработали как задумано);
- 4) быть нацеленной на постоянное совершенствование общей эффективности системы управления БП (для обеспечения эффективности и действенности предоставления услуг).

Нельзя не отметить, что ключевую роль в выстраиваемой СУБП играет анализ процесса эксплуатации (а для летной эксплуатации – анализ полетной ситуации) с целью выработки "корректирующих мер", призванных обеспечить приемлемые значения показателей БП. Для выполнения такого анализа необходима методика, основанная на определении влияния факторов опасности на развитие особых ситуаций.

Реализация такой методики возможна на основе Системы математического моделирования динамики полета летательных аппаратов (СММ ДП ЛА), разработанной сотрудниками МГТУ ГА и эксплуатируемой более 20 лет [6 – 12]. Несмотря на то, что СММ предназначена в основном для исследования динамики полета, она продемонстрировала свои возможности и за пределами этой области. Так, например, в [10] удалось рассчитать нагрузки, действующие на взлетно-посадочную полосу (ВПП), с одной стороны, и на стойки шасси, с другой.

Покажем возможность применения результатов вычислительных экспериментов на СММ к решению задачи оценки безопасности конструкции самолета по условиям прочности.

Безопасность конструкции по условиям прочности *обеспечивается*: соответствующей конструкцией самолета; технологическими процессами изготовления самолета; техническим обслуживанием и ремонтом; *и подтверждается*: результатами соответствующих расчетов; исследованием фактических условий эксплуатации, в том числе характеристик среды и действующих нагрузок; результатами лабораторных и стендовых испытаний натурных конструкций, их частей, конструктивных элементов и материалов; опытом эксплуатации самолетов данного типа и (или) самолетов аналогичных типов, допустимая наработка критического места по условиям сопротивления усталости [13].

Нагрузки на самолет при движении по аэродрому можно разделить на три группы: при рулении, при разбеге на взлете и при пробеге после посадки. Эти нагрузки зависят от характеристик неровностей (высота, протяженность, повторяемость) поверхности ВПП и рулежной дорожки (РД), характеристик амортизации шасси, упругости конструкции, скорости движения, режима торможения, условий маневрирования самолета и т.п.

Оценка величин и повторяемости наземных нагрузок в первую очередь имеет значение для определения усталостной долговечности шасси. Особенность определения нагрузок на шасси связана с наличием трех компонент нагрузки, что создает большие трудности при их измерениях, особенно при посадке. Разные компоненты нагрузки приложены к различным точкам шасси. Вертикальная компонента действует через ось вращения колес, боковая – приложена к точке контакта колеса с поверхностью аэродрома, лобовая – через ось вращения при раскрутке колес и через точку контакта с землей при торможении. Кроме того, оказывает влияние изменение геометрии шасси за счет обжатия амортизатора. С другой стороны, лобовая сила связана с горизонтальной скоростью самолета и локальными условиями трения между колесом и поверхностью аэродрома, в то время как вертикальная компонента зависит от вертикальной скорости и

характеристик амортизатора. Особые трудности при измерении нагрузок на шасси могут принести динамические эффекты.

При моделировании пробега самолета по взлетно-посадочной полосе (ВПП) корректность модели сил трения, действующих на колеса, оказывает заметное влияние не только на дистанцию пробега, но и на достоверное воспроизведение бокового движения. Так в условиях воздействия бокового ветра самолет совершает пробег с неравномерным распределением нагрузок на основные стойки шасси, которые обуславливают реализацию различных режимов работы антиюзовых автоматов торможения колес, а следовательно, различных коэффициентов трения. Таким образом, момент рыскания от сил трения будет определяться не только нагрузками на стойки шасси, но и конкретной логикой работы автоматов торможения колес.

Как правило, антиюзовые автоматы торможения обеспечивают релейное управление тормозным моментом и предназначены для удержания параметра относительного проскальзывания колеса в диапазоне линейного изменения коэффициента сцепления вблизи его максимума. Переключение тормозного момента происходит по сигналам специальных датчиков, как только значение контролируемого параметра (относительное проскальзывание, или угловое ускорение колеса, или их комбинация) выходит за пороговые значения настроек. В зависимости от значений задаваемого тормозного момента, нагрузки на колесо и пороговых значений настроек процесс работы автомата торможения носит либо стационарный, либо циклический характер с частотой, существенно превосходящей частоту короткопериодического движения самолета.

Таким образом, становится ясной невозможность сбора реальной информации об условиях эксплуатации и нагружения элементов шасси. Проведение же специальных испытаний весьма дорогостоящее мероприятие. СММ позволяет учесть все перечисленные факторы, определяющие не только вертикальные нагрузки на шасси [10], но и продольные и боковые [11, 12], которые могут быть исключительно важными для шасси.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дос 9422 AN/923. Руководство по предотвращению авиационных происшествий. Международная организация гражданской авиации (ИКАО). - Монреаль, Канада. - 1-е изд. - 1984.
2. Михайлик Н.Ф. Уровни анализа особой ситуации в полете / Теоретические и прикладные проблемы человеческого фактора в авиационной психофизиологии: межвуз. тем. сб. науч. тр. - Л.: ОЛАГА, 1988. - С. 52 - 56.
3. Муштик Э, Мюллер П. Методы принятия технических решений / пер. с нем. - М.: Мир, 1990.
4. Дос 9859 AN/474. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). Международная организация гражданской авиации (ИКАО). - Монреаль, Канада. - 2-е изд. - 2009.
5. Дос 9734 AN/959. Руководство по организации контроля за обеспечением безопасности полетов. Часть А. Создание государственной системы контроля за обеспечением безопасности полетов и управление этой системой. Международная организация гражданской авиации (ИКАО). - Монреаль, Канада. - 2-е изд. - 2006.
6. Система математического моделирования динамики полета воздушных судов на базе персональных ЭВМ: отчет о НИР (промежуточный) / Руководитель В.Г. Ципенко. Ответственный исполнитель М.С. Кубланов. - № ГР 01910018045; Инв. № 02910024435. - М.: МИИГА, 1991.
7. Разработка общих рекомендаций по летной эксплуатации самолета Ил-96-300 в ожидаемых условиях эксплуатации и режимах, выходящих за ожидаемые условия эксплуатации, на этапах взлета, захода на посадку и посадки: отчет о НИР (заключительный) / Руководитель В.Г. Ципенко. Ответственный исполнитель М.С. Кубланов. - № ГР 01930010176; Инв. № 02940003177. - М.: МГТУ ГА, 1993.
8. Обоснование рекомендаций и предложений по летной эксплуатации самолета Ил-96Г на этапах взлета и посадки вблизи минимально-эволютивных скоростей, на больших углах атаки, с учетом аэроупругости конструкции: отчет о НИР (заключительный) / Руководитель В.Г. Ципенко. Ответственный исполнитель М.С. Кубланов. - № ГР 01960000315. - М.: МГТУ ГА, 1996.
9. Кубланов М.С. Математическое моделирование аварии Ил-76 в Иркутске 26.07.99 // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность. - 2000. - № 23. - С. 21 - 27.
10. Кубланов М.С. Расчет нагрузки самолета на профилированную взлетно-посадочную полосу // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность. - 2007. - № 111. - С. 92 - 99.

**11. Бехтина Н.Б.** Применение усовершенствованной математической модели работы шасси в системе математического моделирования для расследования инцидента при посадке самолета Ту-154 // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность. - 2009. - № 138. - С. 183 - 190.

**12. Бехтина Н.Б.** Математическая модель бокового коэффициента сцепления колеса пневматика шасси при движении ЛА по ВПП // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность. - 2006. - № 97. - С. 134 - 140.

**13. Арепьев А.Н., Громов М.С., Шапкин В.С.** Вопросы эксплуатационной живучести авиаконструкций. - М.: Воздушный транспорт, 2002.

## IMPLEMENTATION OF SAFETY MANAGEMENT SYSTEM ON THE BASIS OF MATHEMATICAL MODELING

**Behtina N.B, Kublanov M.S., Chernigin K.O.**

Aspects of safety management system development on the basis of flight situations objective analysis using mathematical modeling are considered.

**Key words:** flight safety, ICAO, safety management system, mathematical modeling, gear stress analysis.

### Сведения об авторах

**Бехтина Наталия Борисовна**, окончила МИИГА (1982), кандидат технических наук, доцент кафедры аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов МГТУ ГА, автор более 20 научных работ, область научных интересов – математическое моделирование динамики полета летательных аппаратов.

**Кубланов Михаил Семенович**, 1945 г.р., окончил МГУ (1968), доктор технических наук, профессор кафедры аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов МГТУ ГА, ведущий научный сотрудник, автор более 100 научных работ, область научных интересов – механика, математические методы моделирования.

**Чернигин Константин Олегович**, 1986 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), аспирант кафедры аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов МГТУ ГА, автор 12 научных работ, область научных интересов – летная и техническая эксплуатация воздушных судов, безопасность полетов, математическое моделирование динамики полета летательных аппаратов.

УДК 629.735

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЕТОВ В ОРГАНИЗАЦИЯХ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ

И.С. ЛЮБОМИРОВ

**Статья представлена доктором технических наук, профессором Гипичем Г.Н.**

В статье рассматриваются вопросы внедрения системы управления безопасностью полетов (SMS) в организациях по техническому обслуживанию авиационной техники.

**Ключевые слова:** поддержание летной годности, SMS (safety management system), ИКАО, государственная программа безопасности полетов, риски.

В целях обеспечения выполнения обязательств Российской Федерации, вытекающих из Конвенции о международной гражданской авиации, 6 мая 2008 года утверждена Государственная программа обеспечения безопасности полетов воздушных судов гражданской авиации.

Безопасность полетов воздушных судов гражданской авиации 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.

После проведения глубоких исследований тенденций развития воздушных перевозок и авиационной индустрии Международная организация гражданской авиации пришла к выводу, что наиболее эффективным способом повышения безопасности полетов является внедрение системного подхода к управлению безопасностью полетов. Результатом этих исследований стало внесение существенных изменений в обязательные для исполнения международные стандарты, предусмотренные приложениями 6, 11 и 14 к Конвенции о международной гражданской авиации. Международными стандартами предусматривается установление государством приемлемого уровня безопасности полетов *при эксплуатации воздушных судов*, при обслуживании воздушного движения и эксплуатации аэродромов, а также принятие государственной программы безопасности полетов в целях обеспечения указанного уровня безопасности. В рамках реализации такой программы государства должны устанавливать определенные требования для авиапредприятий, аэропортов, *организаций по техническому обслуживанию воздушных судов* и организаций по обслуживанию воздушного движения.

Для оказания практической помощи государствам в реализации системного подхода к решению вопросов безопасности полетов в 2006 году Международной организацией гражданской авиации разработано руководство по управлению безопасностью полетов (Дос. 9859).

Мероприятия по обеспечению безопасности полетов при техническом обслуживании ВС направлены на управление процессом создания и совершенствования системы управления безопасностью полетов при поддержании летной годности с целью устранения или смягчения факторов риска и достижение установленных государством приемлемых уровней безопасности. Эти мероприятия должны осуществляться на всех этапах жизненного цикла системы: от разработки и проектирования ее компонентов до их сертификации, внедрения и эксплуатации.

**Управление рисками в системе поддержания летной годности и обеспечения уровня безопасности полетов**

В Руководстве по управлению безопасностью полетов ICAO Doc 9859 – AN/474 утверждены организации по техническому обслуживанию воздушных судов отнесены к третьей стороне,



предоставляющей авиационное обслуживание гражданской авиации (обслуживание на подрядной основе), которая также несет определенную ответственность за обеспечение безопасности полетов.

Безопасность полетов зависит от летной годности воздушных судов. Поэтому управление безопасностью в сфере технического обслуживания, инспекции, ремонта и капитального ремонта имеет принципиально важное значение для безопасности полетов. Организациям по техническому обслуживанию и ремонту необходимо осуществлять такой же дисциплинированный подход к управлению безопасностью, как и при производстве полетов. Выдерживать такой режим при техническом обслуживании и ремонте может оказаться непростым делом.

Условия для отказов, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом, могут возникать задолго до фактического отказа. К примеру, необнаруженная усталостная трещина может годами развиваться до состояния, когда происходит отказ. В отличие от летных экипажей, реакция на ошибки которых поступает почти в реальном времени, персонал организации по техническому обслуживанию и ремонту, как правило, почти не получает обратной связи по своей работе, пока не происходит отказ.

В течение этого периода отсутствия информации персонал организации по техническому обслуживанию и ремонту может продолжать создавать такие же скрытые опасные условия. В связи с этим системой технического обслуживания и ремонта предусматривается комплекс защитных мер для общего укрепления системы, включая многократное дублирование систем воздушного судна. Эти защитные меры также включают такие вещи, как сертификация организации по техническому обслуживанию и ремонту, выдача лицензий авиатехникам, выпуск директив по летной годности, разработка подробных стандартных эксплуатационных правил, использование технологических карт, проверка исполнения работ, роспись в окончании работ, регистрация выполненных работ в ПКД.

Потенциальная опасность может возникать в связи с условиями, в которых часто производятся работы по техническому обслуживанию и ремонту, включая такие переменные факторы, как организационный аспект, условия на рабочем месте и аспекты работоспособности человека, имеющего отношение к техническому обслуживанию и ремонту воздушных судов.

Термин «безопасность» в контексте технического обслуживания и ремонта воздушных судов часто понимается в двояком смысле. Во-первых, с упором на безопасность труда и гигиену для защиты персонала по техническому обслуживанию и ремонту воздушных судов, средств и оборудования. Во-вторых, он связан с процессом обеспечения того, чтобы предприятия предоставляли для выполнения рейсов годные к полетам воздушные суда. При создании СУБП рассматривается в основном второй аспект и уделяется мало внимания вопросам техники безопасности и гигиены труда.

В системах менеджмента SMS утверждается, что при определенных условиях с учетом принятых гипотез, риском можно управлять.

При этом оценка величины риска и свойств случайных событий осуществляется путем вычисления меры уровня риска 1-го или 2-го рода  $\mu_{R2\Sigma}$ . Задача управления рисками осуществляется на основе информации (априорной или апостериорной) путем мониторинга и планирования.

### Математическая модель рисков

*Рисковое событие* – это случайное (неопределённое) дискретное событие, наступление которого несёт нежелательные последствия или ущерб. Из сформулированных определений рисков вытекают некоторые следствия.

**Следствие 1.** Риск как физическая категория (и мера количества опасности) должен оцениваться через 2-мерное множество показателей: меру неопределенности появления негативного результата (степень риска) и меру последствий или ущерба (цена или величина риска); мера неопределённости – это степень риска (больше, меньше или однозначное число), например,

тип частоты по доступной статистике событий или вероятность (при априорных точных оценках, если это возможно, или экспертный показатель в форме индикаторов).

Для оценки  $\tilde{R}$  величины риска  $R$  как математической категории, определяющей меру количества опасности, необходимо ввести некоторую меру  $\mu_R = \mu_1$  степени случайности события (меру риска 1-го рода) и меру ущерба  $\mu_R = H_R$ . Формулы оценивания рисков предлагаются в виде *двухмерного (нескалярного) оценивания рисков* как меры количества опасности

$$\tilde{R} = \{ \mu_1, \tilde{H}_R \} \text{ или } \tilde{R} = \{ \mu_1, \tilde{H}_R \mid \Sigma_0 \}, \quad (1)$$

где  $R$  – рисковое событие;  $\tilde{R}$  – оценка (2-мерная) количества опасности;  $\Sigma_0$  – условия опыта или ситуация при эксплуатации системы (класс опасности или модель системы).

При катастрофах будет  $\tilde{H}_R = H_R - \text{const}$ ; в других задачах  $\tilde{H}_R \equiv \hat{H}_R$  – *средний ущерб (скаляр)*, интегральная *оценка* меры количества опасности в  $\tilde{R} \equiv \hat{R}$  – *скаляр*;  $\mu_1$  – мера случайности рискового события (мера риска первого рода), где  $\Sigma_0$  – те же условия опыта или ситуация (нештатная), как и в формуле (1) (выше) при функционировании авиационной системы в полёте (в гражданской авиации);  $\mu_1$  – степень риска (мера неопределённости рискового события – типа  $R$  в формуле (1)). Степень риска и интегральная мера заложены в систему в зависимости от структуры системы и взаимосвязи её элементов (показатель системной ошибки – это оценки опасности при вероятности событий "почти-нуль").

Риск (или интегральную величину риска) можно измерять через степень риска  $\mu_1$  – при разных показателях случайности возникновения опасного события, несущего некоторый ущерб  $\tilde{H}_R$  при разных единицах измерения потерь. Таким образом, измерять показатели безопасности полётов в гражданской авиации возможно через величину риска, что относится также и к области авиационной безопасности.

Главным из них является метод управляемых рисков, который развивается в западном авиационном сообществе. Речь может идти о таких программах, как CFIT, FORAS, получивших признание при разработке систем управления полетами ВС на конкретных трассах (FORAS), а также в стратегическом масштабе при регулировании деятельности авиакомпаний. Примером программы для организаций по техническому обслуживанию может являться программа типа FAID (основой данной оболочки является биоматематическая модель работоспособности человека).

Как известно, управление рисками, связанными с безопасностью полетов, начинается с этапа проектирования системы. Система по техническому обслуживанию состоит из организационных структур, процессов и процедур, а также людей, оборудования, материалов и объектов, используемых для решения задач, связанных с процессом поддержания летной годности ВС. Система процессов для организаций по техническому обслуживанию ВС в типовом случае включает в себя:

- запасные части (АТИ) / компоненты / материалы;
- управление ресурсами организации (инструменты и оборудование, персонал и т.д.);
- финансово-экономическое обеспечение;
- непосредственное техническое обслуживание и обеспечение качества ТО АТ;
- систему управления качеством;
- документирование;
- систему договоров на техническое обслуживание;
- обучение.

Качество технического обслуживания оценивается степенью соответствия выполненных работ тому заданию, которое было дано исполнителям, требованиям эксплуатационных и ремонтных документов, регламентирующих объём и технологию проведения этих работ.

Отклонения от заданного перечня работ или выполнение их с нарушением технологии, независимо от причин, являются недостатками технического обслуживания или браком в работе инженерно-технического персонала (ИТП).

Обеспечение высокого качества ТО АТ на современном этапе должно достигаться не только (и не столько) за счёт усиления контроля за выполнением работ и повышения требовательности к исполнителям, но и путём повседневной деятельности администрации и всех специалистов по профилактике недостатков ТО за счёт создания на производстве таких условий, при которых каждый исполнитель может и сознательно стремится выполнять работу без ошибок, замечаний и переделок. Сочетание систематического контроля и оценки качества ТО, анализа причин встречающихся недостатков, целенаправленного воздействия как на исполнителей, так и на условия производства, осуществляемых администрацией и инженерным составом АТБ с целью создания условий для бездефектного труда исполнителей, представляет собой систему менеджмента SMS для организаций по техническому обслуживанию.

Управление качеством ТО предусматривает в первую очередь получение данных о состоянии объекта обслуживания, о фактическом качестве ТО и условиях, в которых оно производится, а также информации о показателях качества и о факторах, влияющих на него. Полученная информация анализируется, производится сравнение достигнутого уровня качества с заданным и оценка состояния условий производства, определяющих качество. В тех случаях, когда фактическое или ожидаемое состояние качества не удовлетворяют заданному уровню, принимаются решения о необходимых мерах или разрабатываются определённые мероприятия в целях повышения качества. Данные мероприятия предусматривают улучшение организации ТО, повышение квалификации исполнителей, применение дополнительных стимулов высококачественного труда, изменение технологических процессов и т.д.

### Оценка рисков снижения качества технического обслуживания

В табл. 1 приведены основные факторы, причины возникновения риска с учетом степени их влияния на безопасность работы.

**Таблица 1**

#### Основные факторы возникновения риска

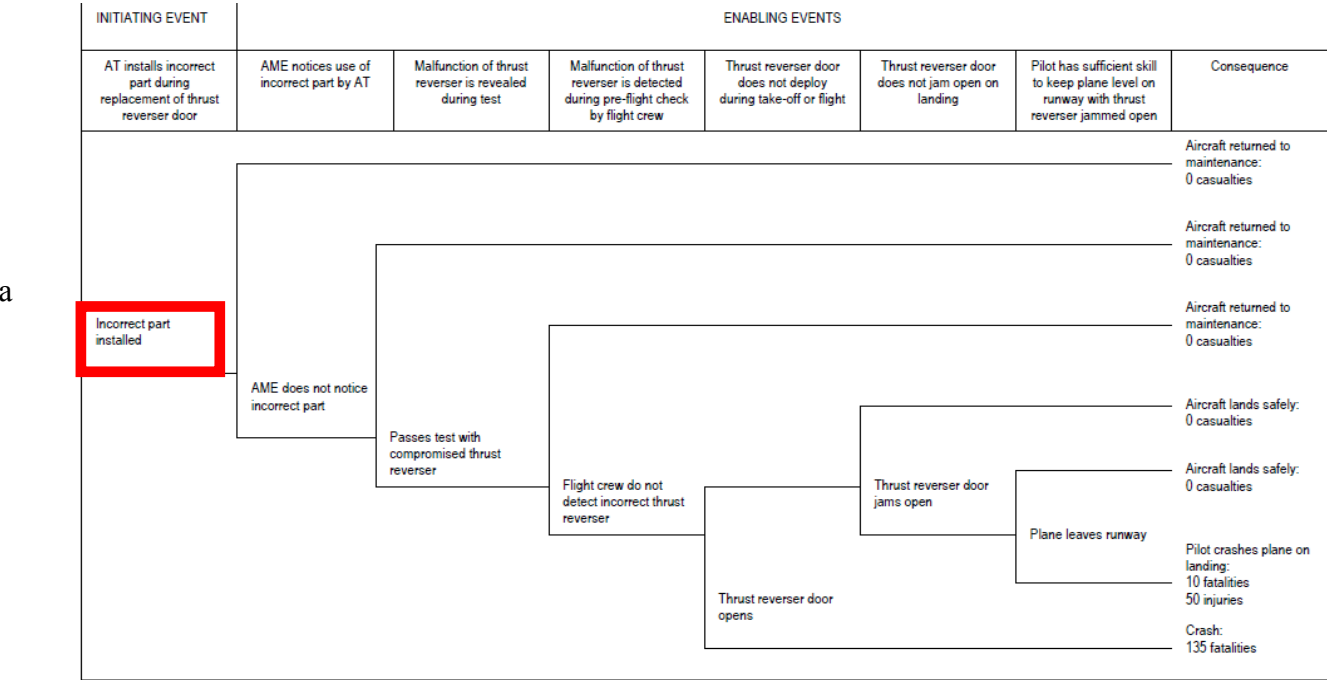
| №  | Фактор                                                                              | Причина                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Степень влияния на БП/индекс риска       |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1. | <b>Загруженность персонала, занятого техническим обслуживанием воздушных судов.</b> | 1. Увеличение парка ВС и интенсивности перевозок при «относительном» сохранении количества сотрудников.<br>2. Возросшие нагрузки на персонал, вызванные необходимостью обслуживания ВС во внебазовых аэропортах, в том числе в связи с частой заменой типов ВС по коммерческим причинам            | <b>Высокая/4D16<br/>«красный сектор»</b> |
| 2. | <b>Отсутствие эффективной кадровой политики компании</b>                            | 1. Неэффективность процесса привлечения квалифицированных специалистов в области технического обслуживания воздушных судов на работу в АТБ.<br>2. Неэффективность мотивации «молодых» сотрудников продолжать профессиональную деятельность в компании ввиду крайне низкого уровня заработной платы | <b>Высокая/4D16<br/>«красный сектор»</b> |
| 3. | <b>Снижение среднего уровня квалификации инженерно-технического персонала АТБ</b>   | 1. Отток наиболее квалифицированных специалистов.<br>2. Большое время, необходимое для подготовки ИТП                                                                                                                                                                                              | <b>Высокая/4D16<br/>«красный сектор»</b> |

На рис. 1 представлено использование матрицы рисков по оценке влияния рассмотренных факторов.



Рис. 1. Матрицы рисков для оценки влияния факторов, описанных в табл. 1

Рассмотрим для примера случай SMS для плановых работ по замене двигателя, разработанный и проанализированный для конкретного случая компанией Rhodes & Associates Inc (рис. 2).





## ЛИТЕРАТУРА

1. Гипич Г.Н. Концепция и модели прогнозирования и снижения рисков при обеспечении летной годности воздушных судов гражданской авиации. Монография / под ред. Е.Ю. Барзиловича. - М.: Теис, 2005.
2. Fatigue risk assessment of aircraft maintenance tasks TP 14169E. Wayne Rodes, 2003.
3. FAA Fatigue management symposium. Viena, VA: june 17-19, 2008.

## SAFETY MANAGEMENT SYSTEM (SMS) FOR MAINTENANCE ORGANIZATIONS

Lyubomirov I.S.

The article reviews the results of the questions management SMS for maintenance organizations.

**Key words:** Maintenance of the flight validity, SMS, ICAO, Government program of Safety flights, risks

## Сведения об авторе

**Любомиров Иван Сергеевич**, 1985 г.р., окончил СПбГУ ГА (2009), аспирант СПбГУ ГА, ведущий инженер-инспектор отдела расследований и контроля поддержания летной годности ОАО "Авиакомпания "Россия", автор 4 научных работ, область научных интересов – поддержание летной годности, безопасность полетов.

УДК 629.735

## ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ШТАТНОЙ СИТУАЦИИ

Ю.М. ЧИНЮЧИН, К.Н. ДОДОНОВ

В статье рассматриваются принципы построения технологических графиков обслуживания ВС с использованием имитационных моделей производственных процессов в аэропортах ГА.

**Ключевые слова:** производственная деятельность авиапредприятий ГА, имитационная модель.

Одной из ключевых задач авиатранспортной системы является повышение эффективности эксплуатации воздушных судов. Это связано в первую очередь с увеличением налёта ВС в течение суток и, как следствие, с сокращением продолжительности обслуживания ВС на земле. Обслуживание ВС на земле является функцией служб аэропортового комплекса, направленной на обеспечение выполнения полётов ВС (СПП). Для выполнения указанной функции в аэропорту формируется система наземного обслуживания ВС, включающая в себя подсистему обслуживания ВС в оперативном цикле эксплуатации. Данная подсистема предназначена для поддержания лётной годности ВС при его использовании по назначению, а также для комплексной подготовки ВС к полёту при выполнении конкретного рейса. Вопросы, связанные с периодическим техническим обслуживанием ВС и восстановлением его лётной годности при временном отстранении ВС от полётов, в настоящей статье не рассматриваются.

Основой функционирования системы наземного обслуживания ВС в оперативном цикле эксплуатации (далее – НОВС) является планирование работ по обслуживанию ВС, выполняющих полёты в течение суток. Результатом планирования является производственный план работы аэропорта. Такой план должен составляться для каждой службы и подразделения аэропорта, а также для каждого исполнителя работ по обслуживанию ВС (авиарейсов). В этом случае производственный план будет содержать перечень рейсов, обслуживаемых конкретной службой аэропорта (исполнителем работ) в течение суток, с указанием времени выполнения технологических операций, применяемых средств механизации и оборудования и других необходимых характеристик. Предлагаемый подход позволяет более эффективно организовывать выполнение работ по обслуживанию авиарейсов, а также осуществлять контроль за выполнением указанных работ и оперативное управление производственным процессом. Это достигается за счёт разбиения единого производственного процесса на элементарные составляющие – технологические операции.

Планирование работы системы НОВС направлено на повышение эффективности её функционирования, которое предполагает сокращение продолжительности подготовки ВС к полёту, уменьшение затрат на наземное обслуживание ВС, обеспечение реализации максимальной пропускной способности аэропортового комплекса и увеличение суммарного налёта ВС авиакомпаний.

Исходными данными для формирования производственного плана работы аэропорта являются характеристики ВС (которые могут быть приняты и обслужены в данном аэропорту), перечень технологических операций, выполняемых при обслуживании ВС, параметры рейсов, запланированных на расчётный период (сутки), а также характеристики наземной базы аэропорта (например, пропускная способность аэровокзала, производительность используемых топливозаправщиков и т.д.). Отметим, что перечень и параметры авиарейсов, требующих обслуживания в течение суток, содержатся в суточном плане полётов ВС для конкретного аэропорта (СПП). Таким образом, каждый авиарейс представляет собой требование на обслуживание ВС, которое должно быть удовлетворено системой НОВС аэропорта с использованием имеющихся

у него обслуживающих аппаратов (технических перронных бригад, средств механизации и других). Данное утверждение позволяет использовать для создания аналитической модели процесса функционирования системы НОВС элементы теории массового обслуживания.

Основным элементом производственного плана работы аэропорта является технологический график обслуживания ВС, в соответствии с которым осуществляется оперативное планирование и управление процессом подготовки ВС к полёту. В технологическом графике содержится перечень, объём, последовательность и продолжительность работ по обслуживанию ВС, а также указываются используемые при этом ресурсы. Таким образом, технологический график является наглядной формой представления технологии обслуживания ВС, включающей комплекс операций по обслуживанию пассажиров и обработке их багажа, обработке груза и почты, техническому обслуживанию ВС и т.д. Каждый технологический график позволяет определить последовательность выполнения операций и их взаимосвязь, а также вычислить необходимое количество ресурсов для обслуживания ВС в соответствии с графиком. Совокупность технологических графиков, сформированная в соответствии с СПП, позволяет определить последовательность обслуживания рейсов и возможные совпадения различных процессов во времени («накладки»), а также рассчитать потребность производственного процесса в ресурсах аэропорта. Аналогичный анализ можно провести для каждой службы (подразделения) аэропорта, в результате которого будет составлен план работы данной службы и определено необходимое количество ресурсов, которыми она должна располагать.

В настоящее время технологические графики обслуживания ВС разрабатываются для каждого типа ВС на этапе предварительного планирования работы аэропорта, однако более рациональным представляется построение технологических графиков в интерактивном режиме при оперативном планировании и управлении процессом комплексной подготовки ВС к полёту. Это связано с возможными изменениями характеристик ВС, параметров обслуживаемых рейсов и состояния наземной базы аэропорта в реальных условиях. В частности, для выполнения конкретного рейса может быть назначено воздушное судно другого типа взамен неисправного самолёта, возможно изменение коммерческой загрузки рейса или изменение перечня технологических операций, выполняемых при его обслуживании. Задачу построения технологических графиков при оперативном планировании процесса обслуживания авиарейсов удобно решать с использованием ЭВМ и специализированных программных продуктов. Однако предварительно необходимо разработать модель исследуемого процесса.

Моделирование процесса функционирования системы НОВС может осуществляться двумя способами, каждый из которых позволяет решать задачу оперативного планирования и управления наземным обслуживанием ВС в определённой постановке. Выбор способа моделирования осуществляется лицом, принимающим решения (диспетчером ПДСП; диспетчерами служб или подразделений аэропорта, задействованных в процессе подготовки ВС к полёту) в соответствии с конкретными производственными условиями.

В процессе моделирования учитывается стохастический характер функционирования системы НОВС, то есть возможные отклонения фактического времени прибытия и отправления ВС от плановых значений, предусмотренных СПП; отклонение фактической продолжительности обслуживания ВС на перроне от расчётной, установленной технологическим графиком; случайные колебания длительности использования спецтехники при выполнении технологических операций; возможные отказы авиационной наземной техники; потеря работоспособности авиационными специалистами и т.д.

Первый способ построения модели функционирования системы НОВС предполагает рассмотрение процесса обслуживания одного авиарейса как единой операции, для выполнения которой используются ресурсы (технические перронные бригады, авиационная наземная техника), входящие в состав так называемого «комплекса ресурсов». При этом технологический график обслуживания авиарейса не разбивается на отдельные операции и конкретные виды ресурсов, необходимые для их выполнения. Такой подход позволяет составлять производственный



план работы авиапредприятия в соответствии с действующим СПП. В этом случае исполнителями работ являются «комплексы ресурсов», а производственный план определяет последовательность обслуживания рейсов конкретными «комплексами ресурсов» и потребность аэропорта в них. Таким образом, построенная модель процесса функционирования системы НОВС позволяет решать задачи оперативного планирования и управления наземным обслуживанием ВС в самом общем виде. Тем не менее, описанный способ построения модели даёт возможность вычислить основные показатели эффективности функционирования системы НОВС, например: вероятность обеспеченности каждого авиарейса «комплексами ресурсов», необходимыми для его обслуживания; среднее время задержки авиарейса в связи с нехваткой «комплексов ресурсов»; коэффициент использования «комплексов ресурсов», которыми располагает авиапредприятие. Проведённый таким образом анализ эффективности функционирования системы НОВС позволяет разработать рекомендации по корректировке СПП.

Второй способ построения модели функционирования системы НОВС предполагает разделение процесса обслуживания ВС на конкретные технологические операции с указанием используемых для их выполнения ресурсов. В этом случае производственный план, формируемый на основании СПП, содержит последовательность операций, выполняемых конкретной единицей ресурса  $j$  при обслуживании каждого рейса. Другими словами – это последовательность рейсов с указанием конкретной операции, выполняемой данной единицей ресурса. Производственный план также позволяет определить потребность аэропорта в ресурсах каждого вида. Построенная модель функционирования системы НОВС используется при формировании сменно-суточного задания для конкретной единицы каждого ресурса аэропорта. В случае нехватки ресурсов имитационная модель используется для определения оптимальной последовательности обслуживания рейсов (выполнения операций), а также при разработке рекомендаций по корректировке СПП.

Установление последовательности выполнения операций в рамках технологического процесса обслуживания ВС и последовательности обслуживания авиарейсов в рамках СПП предполагает определение момента, относительно которого будет производиться отсчёт времени. При подготовке ВС к полёту в качестве такого момента целесообразно использовать время отправления ВС, а при выполнении послеполётного обслуживания – время прибытия ВС. Очевидно, что моделирование процесса обслуживания ВС, выполняющего транзитный или оборотный рейс, может осуществляться как по времени прибытия, так и по времени отправления ВС. Однако отметим, что в этом случае именно время прибытия ВС является моментом поступления ВС на обслуживание. Тогда имитационная модель позволяет определить время отправления ВС с учётом минимальной продолжительности его обслуживания. Если полученное расчётным путём время отправления ВС окажется меньше запланированного, необходима корректировка СПП, что также осуществляется с использованием данной модели.

Как уже отмечалось, процесс функционирования системы НОВС имеет стохастический характер и сопровождается всевозможными отклонениями от СПП ВС и производственного плана работы авиапредприятия. Следовательно, функционирование системы НОВС может осуществляться в различных условиях, которые необходимо учитывать при моделировании этого процесса. К наиболее характерным условиям относятся:

- 1) штатная ситуация, характеризующаяся точным выполнением установленного суточного плана полётов ВС в аэропорту;
- 2) нештатная ситуация, характеризующаяся нехваткой ресурсов аэропорта для обеспечения выполнения установленного СПП, а также внесением в СПП непредусмотренных рейсов, требующих своевременного обслуживания;
- 3) сбойная ситуация, характеризующаяся нарушением производственных планов работы авиапредприятия в целом, прекращением приёма и выпуска ВС и другими признаками.

Модель процесса наземного обслуживания ВС в штатной ситуации представлена на рис. 1. В данной модели планирование работы системы НОВС производится для периода  $T_{\text{БАЗ}}$ , а обслуживание ВС осуществляется с использованием «комплексов ресурсов» аэропорта.

Продолжительность обслуживания ВС  $T_{\text{ПРОЦ } ih}$ , выполняющего  $i$ -й рейс, зависит от характера и объема выполняемых при этом работ и производительности авиационной наземной техники, входящей в состав «комплексов ресурсов»  $h$ . Кроме того, данная величина определяется совершенством технологий выполнения работ по обслуживанию ВС, качеством планирования наземного обслуживания и эффективностью управления производственными процессами, что влияет на продолжительность отдельных операций, входящих в состав технологического цикла (в данной модели не рассматривается).

Из рис. 1 следует, что для выполнения своевременного (в течение  $T_{\text{БАЗ}}$ ) обслуживания входного потока требований авиапредприятие должно располагать тремя «комплексами ресурсов» ( $V = 3$ ). В этом случае наработка  $h$ -го «комплекса ресурсов» в течение рассматриваемого периода определяется по формуле

$$T_{\text{НАР } h} = \sum_{i=1}^n T_{\text{ПРОЦ } ih}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{ПРОЦ } ih}$  – продолжительность обслуживания ВС, выполняющего  $i$ -й рейс, с использованием  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта.

Сумма наработок  $h$ -х «комплексов ресурсов» в течение рассматриваемого периода представляет собой общую наработку всех «комплексов ресурсов»  $V$ , которыми располагает авиапредприятие и использует в процессе наземного обслуживания ВС

$$T_{\text{НАР } V} = \sum_{h=1}^V T_{\text{НАР } h}. \quad (2)$$

Абсолютная продолжительность простоя  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта в течение рассматриваемого периода определяется по формуле

$$T_{\text{ПРОСТ } h}^1 = T_{\text{БАЗ}} - T_{\text{НАР } h}. \quad (3)$$

Отметим, что в качестве рассматриваемого периода  $T_{\text{БАЗ}}$  обычно используются одни сутки (24 часа), однако базовое время может принимать и другие значения, например:  $T_{\text{БАЗ}} = 12$  часов;  $T_{\text{БАЗ}} = 8760$  ч.

Относительная продолжительность простоя  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта определяется по формуле

$$T_{\text{ПРОСТ } h}^2 = T_{\text{НАР } V} - T_{\text{НАР } h}. \quad (4)$$

С помощью построенной имитационной модели и рассчитанных показателей можно определить эффективность функционирования системы НОВС, используя следующие относительные характеристики:

1) коэффициент наработки  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта относительно рассматриваемого периода

$$K_{\text{НАР } h}^1 = (T_{\text{НАР } h} / T_{\text{БАЗ}}) \times 100\%; \quad (5)$$

2) коэффициент наработки  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта относительно суммарной наработки всех «комплексов ресурсов»

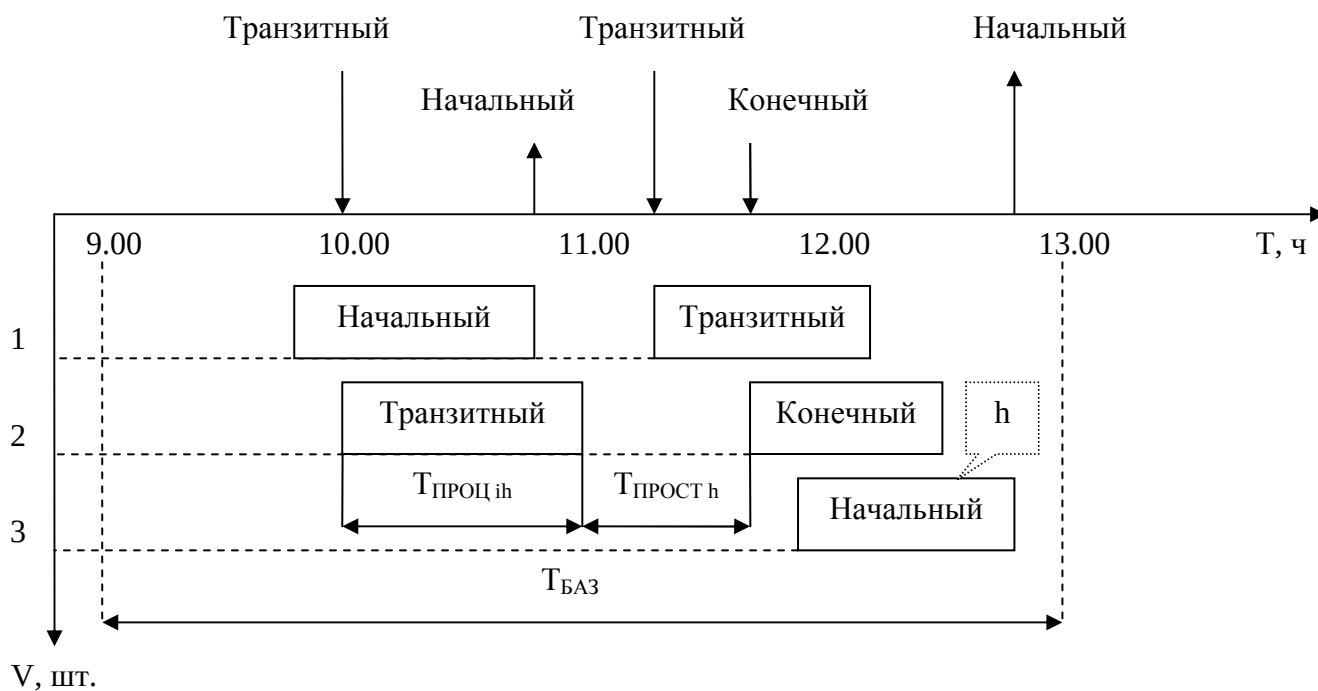
$$K_{\text{НАР } h}^2 = (T_{\text{НАР } h} / T_{\text{НАР } V}) \times 100\%; \quad (6)$$

3) коэффициент простоя  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта относительно рассматриваемого периода

$$K^1_{\text{ПРОСТ } h} = (T_{\text{ПРОСТ } h} / T_{\text{БАЗ}}) \times 100\% ; \quad (7)$$

4) коэффициент простоя  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта относительно суммарной наработки всех «комплексов ресурсов»

$$K^2_{\text{ПРОСТ } h} = (T_{\text{ПРОСТ } h} / T_{\text{НАР } V}) \times 100\% . \quad (8)$$



**Рис. 1.** Имитационная модель процесса функционирования системы НОВС в штатной ситуации при обслуживании ВС с использованием «комплексов ресурсов» аэропорта

Таким образом, основными показателями эффективности функционирования системы НОВС, которые вычисляются с использованием имитационной модели, являются:

1)  $V$  – необходимое количество «комплексов ресурсов», которыми должно располагать авиапредприятие для обеспечения своевременного обслуживания ВС  $P_i$  и выполнения СПП;

2)  $T_{\text{ПРОЦ } ih}$  – продолжительность наземного обслуживания ВС, выполняющего  $i$ -й рейс, с использованием  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта;

3)  $T_{\text{НАР } h}$  – наработка  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта в течение рассматриваемого периода;

4)  $T_{\text{НАР } V}$  – суммарная наработка всех «комплексов ресурсов»  $V$  аэропорта при обслуживании ВС  $P_i$  в течение рассматриваемого периода. Другими словами – суммарная продолжительность обслуживания всех авиарейсов, предусмотренных СПП;

5)  $T^1_{\text{ПРОСТ } h}$  – абсолютная продолжительность простоя  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта в течение рассматриваемого периода;

6)  $T^2_{\text{ПРОСТ } h}$  – продолжительность простоя  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта относительно суммарной наработки всех «комплексов ресурсов»  $V$ ;

7)  $K^1_{\text{НАР } h}$  – коэффициент наработки  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта относительно рассматриваемого периода;

8)  $K^2_{\text{НАР } h}$  – коэффициент наработки  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта относительно суммарной наработки всех «комплексов ресурсов»  $V$ ;

9)  $K^1_{\text{ПРОСТ } h}$  – коэффициент простоя  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта относительно рассматриваемого периода;

10)  $K^2_{\text{ПРОСТ } h}$  – коэффициент простоя  $h$ -го «комплекса ресурсов» аэропорта относительно суммарной наработки всех «комплексов ресурсов»  $V$ .

Используя рассмотренные показатели, проведём анализ эффективности функционирования системы НОВС, для которой была построена имитационная модель (рис. 1), в течение рассматриваемого периода. Очевидно, что третий «комплекс ресурсов» аэропорта используется неэффективно, поскольку обслуживает только один рейс. Данная имитационная модель позволяет оптимизировать процесс функционирования системы НОВС путём изменения времени обслуживания ВС. В этом случае оказывается целесообразным перенести момент отправления ВС, выполняющего начальный рейс, на более раннее или позднее время таким образом, чтобы обслуживание всех авиарейсов, предусмотренных СПП, осуществлялось двумя «комплексами ресурсов» аэропорта. Следовательно, планирование наземного обслуживания ВС с использованием имитационной модели позволяет определить оптимальное количество «комплексов ресурсов» аэропорта, необходимых для обеспечения выполнения СПП, и повысить эффективность их использования в течение рассматриваемого периода. Результатом планирования являются рекомендации по корректировке СПП (расписания движения ВС).

В рассматриваемой имитационной модели процесса функционирования системы НОВС продолжительность обслуживания каждого авиарейса считается заданной, а количество «комплексов ресурсов» аэропорта – неограниченным. Такой подход применяется при моделировании работы системы НОВС в условиях высокой интенсивности полётов (и, как следствие, высокой интенсивности входного потока требований на обслуживание ВС) и составлении соответствующего расписания движения ВС. В этом случае единственным ограничивающим фактором является максимальная пропускная способность аэропортового комплекса в целом.

При построении модели процесса функционирования системы НОВС в штатной ситуации вторым способом имитируется обслуживание ВС в течение рассматриваемого периода с использованием определённых видов ресурсов аэропорта. При этом технологический процесс обслуживания ВС разбивается на отдельные операции, количество которых может достигать шестидесяти. В связи с этим данная модель не может быть представлена в настоящей статье.

Описанная имитационная модель также позволяет решать задачи оперативного планирования и управления наземным обслуживанием ВС, однако при более детальном рассмотрении технологического процесса. В частности, для каждой операции указываются конкретные исполнители (технические перронные бригады, авиационные специалисты; средства механизации, оборудование), которые выделяются из «комплексов ресурсов» аэропорта. При этом совокупность операций по обслуживанию ВС представляется в виде технологического графика, соответствующего процессу обслуживания авиарейса, который использовался в предыдущей модели. Таким образом, имитационная модель содержит набор технологических графиков обслуживания авиарейсов в течение рассматриваемого периода.

При анализе эффективности функционирования системы НОВС с применением данной модели определяются соответствующие показатели для каждого вида ресурсов, входящих в состав «комплекса ресурсов» аэропорта, который используется при обслуживании конкретного рейса. Для расчёта таких показателей используются формулы, аналогичные тем, что были приведены выше.

Преимущество данной имитационной модели заключается в том, что она позволяет решать следующие задачи:

1) определять необходимое количество единиц каждого вида ресурсов для осуществления своевременного обслуживания ВС в течение рассматриваемого периода;

2) определять эффективность использования каждой единицы ресурса при обслуживании ВС в течение рассматриваемого периода;

3) определять время выполнения каждой технологической операции по обслуживанию ВС;

4) определять время использования каждой единицы ресурса в течение рассматриваемого периода.

Кроме того, обе модели процесса функционирования системы НОВС позволяют решать задачи оперативного планирования и управления наземным обслуживанием ВС с целью обеспечения выполнения СПП и соблюдения заданного уровня безопасности и регулярности полётов.

Таким образом, рассмотренные имитационные модели процесса функционирования системы НОВС позволяют определять необходимое количество ресурсов всех видов, которыми должно располагать авиапредприятие для обеспечения своевременного обслуживания ВС и выполнения действующего СПП, а также разрабатывать рекомендации по корректировке СПП с целью повышения эффективности работы системы НОВС. Такие возможности имитационных моделей находят широкое применение при разработке суточных, декадных и других долгосрочных производственных планов работы авиапредприятий.

### **MAKING A SIMULATION MODEL OF PROCESS OF FUNCTIONING AIRCRAFT MAINTENANCE SYSTEM IN OPTIMUM SITUATION**

**Chinyuchin Y.M., Dodonov K.N.**

The article is devoted to concept of construction of aircraft maintenance graphs with application of simulation models of production processes in civil aviation airports.

**Key words:** production activities of civil aviation airports, simulation model.

#### **Сведения об авторах**

**Чинючин Юрий Михайлович**, 1941 г.р., окончил КуАИ (1965), доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 300 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация и поддержание летной годности воздушных судов, повышение эксплуатационно-технических свойств авиационной техники.

**Додонов Константин Николаевич**, 1987 г.р., окончил МГТУ ГА (2009), аспирант механического факультета МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – оперативное техническое обслуживание воздушных судов на перроне аэропорта, комплексная подготовка воздушных судов к полёту.

УДК 629.7.048:338 24

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ КАК ОСНОВА СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА БЕЗОПАСНОСТИ АВИАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВИАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ**

**С.В. БУРМАТОВ**

**Статья представлена доктором технических наук, профессором Гипичем Г.Н.**

В статье рассматриваются вопросы создания системы менеджмента безопасности (СМБ) авиационной деятельности в России на основе информационной поддержки жизненного цикла изделий (ИПИ-технологий).

**Ключевые слова:** риск, система менеджмента безопасности (СМБ), информационная поддержка изделий (ИПИ-технологии), жизненный цикл.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 6 мая 2008 г. № 641-р утверждена "Государственная программа обеспечения безопасности полетов воздушных судов гражданской авиации Российской Федерации" (далее – Программа).

Целью Программы является устранение проблем и внедрение системы управления безопасностью полетов (далее – СУБП) в гражданской авиации, способной обеспечить устойчивое сокращение количества авиационных происшествий и человеческих жертв с одновременным наращиванием темпов модернизации отрасли по всем направлениям деятельности (раздел 3 Программы). Обеспечение реализации Программы возложено на Минтранс России.

Между тем, состояние аварийности в гражданской авиации за последние два года заставляет задуматься о системных ошибках в организации работы по обеспечению безопасности полетов.

Относительный показатель авиационных происшествий (Кап) самолетов 1-3 классов в гражданской авиации России в 2010 году (Кап – количество авиационных происшествий на 100 000 часов налета) составил 1,16, что в 10 раз хуже, чем в среднем за предыдущие 5 лет (данные ОАО "Авиапромсервис").

По результатам 2011 года Россия стала страной с самым большим количеством катастроф в мире с коммерческими воздушными судами. В России произошло 6 катастроф, в которых погибли 97 человек, что составило 21,4 % от количества всех катастроф и 19,1 % от общего количества погибших.

Судя по сложившейся ситуации с аварийностью воздушных судов, данная программа не достигла целей ни с точки зрения создания государственного регулирования состояния безопасности полетов, ни с точки зрения реальных результатов работы авиационных предприятий по обеспечению безопасности авиационной деятельности.

Кроме того, в связи с принятием поправки 101 к Приложению 8 к Конвенции о международной гражданской авиации в части, касающейся требований по внедрению до 14 ноября 2013 г. СУБП в организациях, отвечающих за типовую конструкцию или изготовление воздушных судов, указанная Программа в данной редакции теряет смысл, так как она не ориентирована на авиационную промышленность. Внесение отдельных изменений в Программу не решит всего комплекса организационных и технических мероприятий по внедрению СУБП на предприятиях авиационной промышленности России.

Встает вопрос о разработке новой редакции программы, а значит вопрос методологии подходов, но уже не к обеспечению безопасности полетов воздушных судов гражданской авиации, а к системе менеджмента безопасности (СМБ) авиационной деятельности в Российской Федерации.

Не определив методологические подходы к решению этой проблемы, нельзя приступить к разработке долгосрочных программ.

В журнале "АвиаСоюз" (январь-февраль) 2011 г. была опубликована статья В.Г. Евдокимова "Приемлемый уровень безопасности авиационного комплекса России", в которой рассмотрены методологические основы решения проблем управления безопасностью в авиационном комплексе страны (рис. 1).



**Рис. 1.** Функциональная схема СМБ авиационной деятельности

Методология функционирования системы менеджмента безопасности основана на Стандартах и Рекомендуемой практике ИКАО (Doc 9859 AN/474) на основе оценки рисков.

Различие  $\Delta R_{э,н}$  рисков  $R_э$ ,  $R_n$  не должно превышать, по крайней мере, максимально допустимого уровня, определяемого приемлемым уровнем  $R_i^*$ , установленным требованиями государства.

$$R_i^* = f(R_э, R_n),$$

где  $R_э$  - риски эксплуатантов;  $R_n$  - риски, установленные нормами летной годности и заложенные при производстве как остаточные риски.

Реализация СМБ авиационной деятельности невозможна без реализации информационных и управленческих технологий поддержки жизненного цикла (ЖЦ) изделия (рис. 2) - ИПИ-технологий (ИПИ – информационная поддержка жизненного цикла изделий).



Рис. 2. Жизненный цикл изделия (ЖЦИ)

ИПИ определяется как совместная стратегия государства и бизнеса, направленная на совершенствование существующих процессов в авиационном комплексе при проектировании, производстве, эксплуатации и утилизации авиационной техники (АТ), путем их преобразования в информационно-интегрированную систему управления ЖЦ произведенной АТ. В сложных долговременных проектах, какими являются проекты авиационных систем, ИПИ обеспечивает взаимодействие проектных организаций, производственных предприятий, поставщиков, организаций сервиса и конечного потребителя (эксплуатанта АТ) на всех стадиях ЖЦ изделия. При этом *мониторинг летной годности следует рассматривать как часть процесса управления ЖЦ произведенной АТ на базе ИПИ-технологий.*

Сегодня на ряде предприятий авиационного комплекса России начаты работы по внедрению программных средств и технологий, являющихся системообразующими для последующего развития. Это, в первую очередь, средства и технологии управления данными об изделии - PDM-системы (Product Data Management). Также активно внедряются средства автоматизированной разработки электронной эксплуатационной и ремонтной технической документации, отвечающей требованиям международных стандартов и спецификаций, появились новые научные и технические разработки (например, средства автоматической идентификации предметов снабжения).

К примеру, заключено соглашение между ЗАО "ГСС" и ОАО "Аэрофлот-РАЛ" по системе поддержания летной годности по проекту самолета SSJ 100. В государственной корпорации "Ростехнологии" на базе ОАО "Авиатехприемка" создан Центр мониторинга качества продукции, выпускаемой на предприятиях корпорации, подготовлены корпоративные документы: Концепция формирования корпоративной информационно-аналитической системы мониторинга качества продукции, Методические рекомендации по созданию интегрированной системы менеджмента безопасности авиационной деятельности организаций разработчиков и производителей авиационной техники.



Первоначально работы по созданию интегрированных систем, поддерживающих ЖЦ изделий, были начаты еще в 80-х годах прошлого века в оборонном комплексе США и ориентировались первоначально на управление материально-техническим обеспечением армии. В то время этот проект носил наименование CALS, что интерпретировалось как Continuous acquisition and Lifecycle Support, а в его основу были положены стандарты, регламентирующие требования к обмену электронными документами и представление данных об изделии (последнее касалось, в основном, структуры и состава изделия). По мнению некоторых специалистов, современный уровень в российском авиационном комплексе применения научно-методического и программно-технического обеспечения ИПИ-технологий примерно соответствует зарубежному уровню середины 90-х годов прошлого века.

На современном этапе организация эффективной логистической поддержки АТ в течение всего ЖЦ должна стать результатом скоординированной целенаправленной деятельности разработчика, производителя и эксплуатанта АТ, что позволит вернуть конкурентоспособность российской АТ.

Рассмотрим основные компоненты ИПИ-технологий, установленные на международном уровне, которые на любом этапе своего развития зависят от решаемых задач управления жизненным циклом (LCM), принятых стандартов (PLCS) и используемых информационных систем (PLM).

#### 1. Базовые технологии управления данными.

Технологии управления базами данных служат для структурированного представления данных в ИПИ. В настоящее время разработан ряд международных стандартов и спецификаций, в которых описаны и регламентированы базовые технологии управления и представления данных и информационные модели для различных предметных областей. Так, комплексную технологию управления данными об изделии описывает серия стандартов ИСО 10303 (STandard for Exchange of Product data (STEP)) и ее адаптированный в России аналог ГОСТ Р ИСО 10303 "Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными".

#### 2. Стоимость ЖЦ изделия (стоимость владения).

Стоимость ЖЦ изделия (стоимость владения) является ключевым понятием LCM, поскольку одна из главных целей LCM - минимизация стоимости ЖЦ изделия. Основу подхода к минимизации стоимости ЖЦ изделия составляют идентификация, квантификация и контроль стоимости ЖЦ изделия на всех этапах, начиная как можно с более раннего.

#### 3. Управление конфигурацией.

Управление конфигурацией - управленческая технология, связанная с разработкой, производством и эксплуатацией АТ и направленная на обеспечение выполнения требований к этой продукции. Конфигурация - иерархическая структура предполагаемого к разработке, разрабатываемого или существующего изделия АТ, обладающая эксплуатационными, функциональными и физическими атрибутами (свойствами, характеристиками), отвечающими установленным требованиям, и отображаемую в различных информационных моделях, соответствующих стадиям ЖЦ изделия, которые должны быть соответствующим образом документированы и утверждены. В международном сообществе управление конфигурацией считается ключевой технологией создания, производства и эксплуатации изделий.

#### 4. Управление моральным старением.

Эффективная методология планирования и управления моральным старением предусматривает:

- анализ и оценку рисков;
- выбор методов снижения и устранения выявленных рисков с учетом экономических и технических факторов (выбор корректирующих действий);
- формирование и реализацию комплекса мероприятий по снижению выявленных рисков;
- мониторинг морального старения критических компонент технических систем, мониторинг финансовых затрат на устранение проблем и т.п.

#### 5. Интегрированная логистическая поддержка.

Данный основной комплекс управленческих технологий, направленных на сокращение затрат на постпроизводственных (послепродажных) стадиях ЖЦИ, именуемых иногда «стоимостью владения».

#### 6. Утилизация.

Все требования к процедурам утилизации должны быть определены и документированы, а соответствующие затраты оценены. Игнорирование ранее этих процедур способствовало возникновению в России «черного рынка» запасных частей.

#### 7. Управление качеством.

Обеспечение требуемого качества при производстве АТ является одной из целей реализации концепции ИПИ. Хотя менеджмент качества, определяемый стандартами ИСО серии 9000, на первый взгляд является чисто промышленной технологией, его принципы оказались полезными для организации процессов информационной поддержки на всех стадиях ЖЦИ.

Более детально подходы по созданию ИПИ-технологий изложены в «Концепции развития CALS-технологий в промышленности России», одобренной решением коллегии Министерства промышленности, науки и технологий Российской Федерации (протокол от 10 августа 2001 г. № ПК-18).

В данной статье ИПИ-технологии рассматривались как одна из основ для создания СМБ авиационного комплекса.

В заключение следует отметить, что реализация основных направлений развития ИПИ-технологий в интересах создания СМБ авиационного комплекса России требует решения ряда задач и проблем:

- задачи управления жизненным циклом (LCM и PLM);
- проблемы каталогизации (кодификации) предметов снабжения;
- задачи организации работ над совместными проектами создания АТ в единой информационной среде в рамках гармонизации с международным сообществом;
- задачи управления конфигурацией;
- проблемы мониторинга летной годности, эксплуатационно-технических характеристик, показателей качества и надежности производимой АТ и др.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа обеспечения безопасности полетов воздушных судов гражданской авиации Российской Федерации: расп. Правительства Российской Федерации от 6 мая 2008 г. № 641-р.
2. Руководство по управлению безопасностью полетов, Дос 9895 AN/474 ИКАО, 2009.
3. Семейство стандартов ГОСТ Р ИСО 10303 Системы автоматизации производства и их интегрирование. Представление данных об изделии и обмен этими данными.
4. Судов Е.В., Левин А.И. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России / НИЦ CALS-технологий "Прикладная логистика". - М., 2002.
5. Евдокимов В.Г. Приемлемый уровень безопасности авиационного комплекса России // АвиаСоюз. - 2011. - Январь-февраль.
6. Гипич Г.Н., Чичючин Ю.М. Введение в теорию рисков // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2010. - № 160.

### CONTINUOUS ACQUISITION AND LIFE-CYCLE SUPPORT TECHNOLOGIES AS THE BASIS FOR CREATION OF SAFETY MANAGEMENT SYSTEM OF AVIATION COMPLEX OPERATION IN RUSSIA

**Burmatov S.V.**

The article deals with creation of the Safety Management System (SMS) of aviation activities in Russia based on continuous acquisition and life cycle support technologies (CALS-technologies).

**Key words:** risk, Safety Management System (SMS), Continuous Acquisition and Life cycle Support (CALS), life-cycle.

### **Сведения об авторе**

**Бурматов Сергей Владимирович**, 1957 г.р., окончил Барнаульское высшее военное авиационное училище летчиков (1978), Военно-воздушную академию им. Ю.А. Гагарина (1992), соискатель ГосНИИ ГА, заслуженный военный летчик России, автор 2 научных работ, область научных интересов - теории рисков, безопасность авиационной деятельности, летная годность.

УДК 629.735.017.083

## ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ ПОЛУМАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОЦЕССОВ ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А.А. ИЦКОВИЧ, Н.Н. СМИРНОВ, И.А. ФАЙНБУРГ

Приведена методика проверки адекватности полумарковской модели управляемых процессов поддержания летной годности воздушных судов и примеры ее применения.

**Ключевые слова:** воздушные суда, управляемые процессы поддержания летной годности, полумарковская модель, проверка адекватности, методика, примеры применения.

Возможность описания управляемых процессов поддержания летной годности воздушных судов с помощью аппарата полумарковских процессов [1, 2] может быть подвергнута экспериментальной проверке гипотез:

А. Для проверки гипотезы о том, что вложенная цепь смены состояний может считаться с достаточно большой вероятностью однородной марковской цепью 1-го порядка, может быть использовано несколько тестов [3].

Асимптотические результаты.

Предположим, что имеется однородная эргодическая марковская цепь 1-го порядка с состояниями  $S_1, \dots, S_m$ , вероятностями перехода  $P_{i,j}$  и пусть имеется выборка, состоящая из  $n$  наблюдаемых объектов. Наблюдения за их состояниями осуществляются в моменты времени  $t = 0, 1, \dots, T$  (объект переходит из состояния  $S_k$  в состояние  $S_l$ , где  $S_k, S_l \in \Delta$ ).

Введем обозначения:  $n_l(t)$  - число объектов, находящихся в состоянии  $S_l$  в момент  $t$ ,  $1 \leq t \leq T$ ;  $n_{kl}(t)$  - число объектов, находящихся в состоянии  $S_k$  в момент  $t-1$  и переходящих в состояние  $S_l$  в следующий момент времени;  $n_l = \sum_{t=1}^T n_l(t)$  - число наблюдаемых состояний

$S_l$ ;  $n_{kl} = \sum_{t=1}^T n_{kl}(t)$  - число наблюдаемых переходов из  $S_k$  в  $S_l$ .

Оценка максимального правдоподобия для переходных вероятностей  $\hat{P}_{ij}$  имеет вид

$$\hat{P}_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} \quad (1)$$

Нас интересует асимптотика случайной величины  $\hat{P}_{ij}$  при  $T \rightarrow +\infty$ . Как отмечено в [4], это требование эквивалентно тому, что число наблюдаемых объектов  $n \rightarrow +\infty$  и марковская цепь стартует из стационарного состояния.

Основные результаты асимптотической теории заключаются в следующем:

а) случайные величины  $\xi_{ij} = \sqrt{n_i} (\hat{P}_{ij} - P_{ij})^2$  имеют предельное нормальное распределение со средним, равным 0, и дисперсией  $P_{ij}(1 - P_{ij})$ ;

б) случайные величины  $\xi_{ij}$  и  $\xi_{kl}$  некоррелированы, если  $i \neq k$  либо  $j \neq l$ ;

в)  $\chi^2 = \sum_{j=1}^m n_i \frac{((\hat{p}_{ij} - p_{ij})^2)}{p_{ij}}$  имеет асимптотическое  $\chi^2$ -распределение с  $(m-1)$  степенями свободы, если все  $P_{ij} \neq 0$ ,  $1 \leq j \leq m$  (в общем случае число степеней свободы при  $P_{ij} \neq 0$  равно числу  $j$ , уменьшенному на 1);

г) если  $\lambda$  отношение правдоподобия  $\lambda = \prod_{ij} \left( \frac{p_{ij}}{\hat{p}_{ij}} \right)^{n_{ij}}$ , то  $-2 \log \lambda$  имеет асимптотическое  $\chi^2$ -распределение с  $m(m-1)$  степенями свободы, когда все  $P_{ij} \neq 0$  (в общем случае число степеней свободы равно числу ненулевых  $\hat{p}_{ij}$ , уменьшенному на количество строк, причем в отношении правдоподобия произведение распространено на индексы  $i, j$ , при которых  $P_{ij} \neq 0$ ).

**Б.** Для проверки гипотезы марковского свойства вложенной цепи рассмотрим тест проверки гипотезы о том, что процесс описывается марковской цепью 1-го порядка в предположении, что он может быть описан марковской цепью 2-го порядка.

Введем обозначения:  $n_{ijk}(t)$  - число объектов, находящихся в состояниях  $S_i, S_j, S_k$ , соответственно в моменты времени  $t-2, t-1, t$ , где  $2 \leq t \leq T$ ;  $n_{ijk} = \sum_t n_{ijk}(t)$ ;  $P_{ijk}$  - вероятность перехода в состояние  $S_k$  из состояний  $(S_i, S_j)$ , оценка максимального правдоподобия для  $P_{ijk}$  имеет вид

$$\hat{p}_{ijk} = \frac{n_{ijk}}{\sum_{l=1}^m n_{ijl}}. \quad (2)$$

Гипотеза Н: исходная марковская цепь 2-го порядка является цепью 1-го порядка. В предположении верности гипотезы Н мы должны иметь

$$P_{1jk} = P_{2jk} = \dots = P_{mjk}; 1 \leq j, k \leq m.$$

Используя рассмотренные выше асимптотические результаты для марковских цепей 2-го порядка, получим тесты.

Тест максимального правдоподобия: если  $\lambda = \prod_{ijk} \left( \frac{p_{ij}}{\hat{p}_{ij}} \right)^{n_{ijk}}$  - отношение максимального правдоподобия, то из справедливости гипотезы Н следует, что  $-2 \log \lambda$  имеет асимптотическое  $\chi^2$ -распределение с  $m(m-1)^2$  степенями свободы, если все  $P_{ijk} > 0$ .

$\chi^2$ -тест: если гипотеза Н верна, то

$$\chi_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^m n_{ij}^* (\hat{p}_{ijk} - \hat{p}_{jk})^2}{\hat{p}_{jk}}, \quad (3)$$

где  $n_{ij}^* = \sum_k n_{ijk}$  имеет асимптотическое  $\chi^2$ -распределение с  $(m-1)^2$  степенями свободы при всех  $p_{ijk} > 0$  (в общем случае число степеней свободы равно  $(l_1(i)-1)(l_2(k)-1)$ , где  $l_1(i)$  - число ненулевых  $p_{ij}$ ,  $1 \leq i \leq m$ ;  $l_2(k)$  - число ненулевых  $p_{jk}$ ,  $1 \leq k \leq m$ ).

Следует отметить, что возможны вариации этих тестов: построчный (постолбцовый) тест для отношения правдоподобия; объединенный  $\chi^2$ -тест

$$\chi^2 = \sum_j \chi_j^2.$$

**В.** Проверка гипотезы о постоянстве вероятностей перехода осуществляется следующим образом.

Гипотеза Н:  $P_{ij}(t) = P_{ij}$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ; оценка вероятности перехода в момент  $t$   $\hat{p}_{ij} = n_{ij}(t)/n_i(t-1)$ .

При выполнении гипотезы Н функция правдоподобия максимизируется и равна  $\prod_{t=1}^T \prod_{ij} \hat{p}_{ij}^{n_{ij}(t)}$ ; при невыполнении гипотезы Н ее максимум равен  $\prod_{t=1}^T \prod_{ij} \hat{p}_{ij}^{n_{ij}(t)}(t)$ . Отношение этих двух выражений определяет отношение правдоподобия

$$\lambda = \prod_{ij} \prod_{ijk} \left( \frac{\hat{p}_{ij}}{\hat{p}_{ij}(t)} \right)^{n_{ij}(t)}.$$

Если гипотеза Н верна, то величина  $-2 \log \lambda$  распределена по закону  $\chi^2$  с  $(T-1)[m(m-1)]$  степенями свободы (если все  $p_{ij} > 0$ ).

$\chi^2$ -тест для проверки однородности выглядит следующим образом

$$\chi_i^2 = n_i(t-1) \left[ \hat{p}_{ij}(t) - \hat{p}_{ij} \right] / \hat{p}_{ij}, \quad (4)$$

имеет  $\chi^2$ -распределение с  $(m-1)(T-1)$  степенями свободы, если все  $p_{ij} > 0$  (иначе это распределение имеет  $(l(j)-1)(T-1)$  степеней свободы). Так же, как при проверке гипотезы о марковской цепи 1-го порядка, здесь возможны варианты этих тестов.

**Г.**  $\chi^2$ -тест проверки марковского свойства, основанный на агрегированных данных.

Пусть  $n(t)$  – число наблюдаемых объектов в момент  $t$ ,  $0 \leq t \leq T$ ;  $n_i(t)$  – число объектов, находящихся в состоянии  $S_i$  в момент  $t$ ;  $y_i(t) = n_i(t)/n(t)$  – наблюдаемые частоты распределения объектов в момент  $t$  по состояниям  $S_1, \dots, S_r$ ;  $\hat{p}_{ij}$  – оценки вероятностей перехода;  $\hat{y}_j(t) = \sum_i y_i(t-1) \hat{p}_{ij}$  – прогнозируемые частоты распределения объектов по состояниям  $t$ .

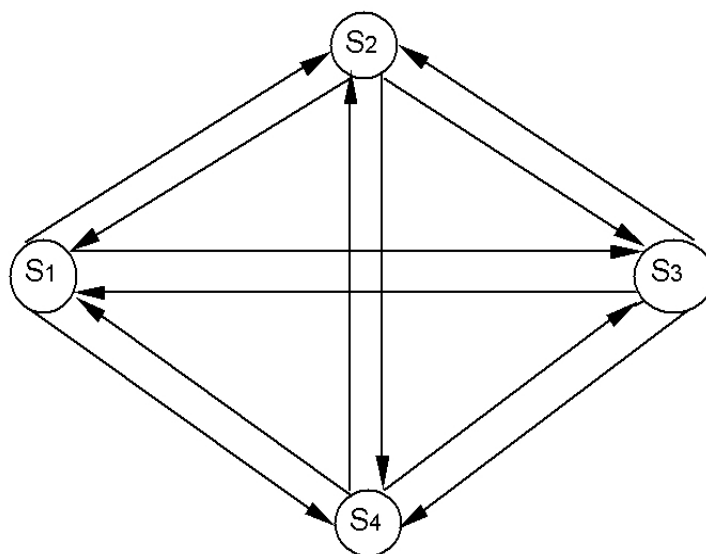
Тогда статистика  $\sum_i (n_i(t) - n(t) \hat{y}_j(t))^2 / n(t) \hat{y}_j(t)$  распределена по закону  $\chi^2$  с  $(r-1)$  – степенями свободы.

Объединенный  $\chi^2$ -тест: статистика  $\chi^2 = \sum_{t=1}^T \chi_{r-1,t}^2$  имеет  $\chi^2$ -распределение с  $(r-1)T$  степенями свободы.

Д. Примеры применения тестов при обработке статистического материала по эксплуатации парка однотипных самолетов авиапредприятия за три месяца [2].

Всего было зафиксировано 2300 смен состояний самолетов наблюдаемого парка. Для получения достаточной информации по всем переходам пришлось провести объединение ряда состояний процесса поддержания летной годности и оставить лишь четыре (рис. 1).

Для проверки гипотезы о постоянстве вероятностей перехода в качестве данных используем матрицы абсолютных частот  $n_{ij}$  переходов самолетов из состояния  $S_i$  в состояние  $S_j$  за три месяца и за первый месяц из этих трех (табл. 1, 2).



**Рис. 1.** Граф состояний и переходов ПТЭ самолетов:

$S_1$  - самолет в рейсе соответствует состоянию И;  $S_2$  - подготовка к рейсу в базовом аэропорту соответствует состоянию Е;  $S_3$  - ожидание рейса соответствует состояниям Г, А, М;  $S_4$  - неисправные состояния состояниям О<sub>Б</sub>, Т<sub>Б</sub>, У, О<sub>П</sub>, Т<sub>П</sub>, Т<sub>СД</sub>, Ш, Д, З, С, В, Л, Д<sub>В</sub>, О<sub>Р</sub>, Р, Ж<sub>Р</sub> (рис. 2.3 в [1])

**Таблица 1**

Матрица абсолютных частот  $n_{ij}$  переходов за три месяца

| $S_i$ | $S_i$ (рис. 1) |       |       |       |
|-------|----------------|-------|-------|-------|
|       | $S_1$          | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ |
| $S_1$ | 0              | 10    | 577   | 117   |
| $S_2$ | 425            | 0     | 108   | 96    |
| $S_3$ | 6              | 621   | 0     | 82    |
| $S_4$ | 279            | 1     | 11    | 60    |

Таблица 2

Матрица абсолютных частот  $n_{ij}$  переходов за первый месяц

| $S_i$ | $S_j$ (рис. 1) |       |       |       |
|-------|----------------|-------|-------|-------|
|       | $S_1$          | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ |
| $S_1$ | 0              | 3     | 191   | 35    |
| $S_2$ | 146            | 0     | 31    | 27    |
| $S_3$ | 1              | 201   | 0     | 31    |
| $S_4$ | 86             | 0     | 3     | 16    |

Оценка вероятностей переходов самолетов за три месяца и за первый месяц выполнена по формуле (1), результаты приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Матрица вероятностей переходов  $\hat{p}_{ij}$  за три месяца

| $S_i$ | $S_j$ (рис. 1) |        |        |        |
|-------|----------------|--------|--------|--------|
|       | $S_1$          | $S_2$  | $S_3$  | $S_4$  |
| $S_1$ | 0              | 0,0142 | 0,8196 | 0,1661 |
| $S_2$ | 0,6757         | 0      | 0,1717 | 0,1526 |
| $S_3$ | 0,0085         | 0,8759 | 0      | 0,1156 |
| $S_4$ | 0,7947         | 0,0028 | 0,0313 | 0,1721 |

Таблица 4

Матрица вероятностей переходов  $\hat{p}_{ij}$  за первый месяц

| $S_i$ | $S_j$ (рис. 1) |        |        |        |
|-------|----------------|--------|--------|--------|
|       | $S_1$          | $S_2$  | $S_3$  | $S_4$  |
| $S_1$ | 0              | 0,0131 | 0,8341 | 0,1528 |
| $S_2$ | 0,7157         | 0      | 0,1520 | 0,1323 |
| $S_3$ | 0,0043         | 0,8627 | 0      | 0,1330 |
| $S_4$ | 0,8190         | 0      | 0,0286 | 0,1524 |

Применяя  $\chi^2$ -тест (4) к табл. 3, 4, получим:

$$\chi_{S_1}^2 = 0,3440 - 2 \text{ степени свободы,}$$

$$\chi_{S_2}^2 = 0,1612 - 2 \text{ степени свободы,}$$

$$\chi_{S_3}^2 = 0,5310 - 2 \text{ степени свободы,}$$

$$\chi_{S_4}^2 = 0,6340 - 3 \text{ степени свободы}$$

---


$$\chi_{S_{\text{общ}}}^2 = 4,121 - 9 \text{ степеней свободы.}$$

Это значение соответствует 90% уровню значимости.

Для проверки гипотезы о том, что вложенная цепь является марковской цепью 1-го порядка, может быть использован  $\chi_{S_1}^2$  - тест, так как имеется достаточное количество информации о



переходах вида  $S_i S_1 S_j$ . Матрица абсолютных частот  $n_{ij}$  и оценок вероятности переходов  $\hat{p}_{ij}$  (2) приведены в табл. 5, 6.

Таблица 5

Матрица абсолютных частот переходов  $n_{ij}$

| $S_i$ | $S_j$ (рис. 1) |       |       |       |
|-------|----------------|-------|-------|-------|
|       | $S_1$          | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ |
| $S_1$ | 0              | 0     | 0     | 0     |
| $S_2$ | 0              | 95    | 0     | 10    |
| $S_3$ | 0              | 485   | 5     | 56    |
| $S_4$ | 0              | 9     | 0     | 0     |

Таблица 6

Матрица вероятностей переходов  $\hat{p}_{ij}$

| $S_i$ | $S_j$ (рис. 1) |        |       |        |
|-------|----------------|--------|-------|--------|
|       | $S_1$          | $S_2$  | $S_3$ | $S_4$  |
| $S_1$ | 0              | 0      | 0     | 0      |
| $S_2$ | 0              | 0,904  | 0     | 0,096  |
| $S_3$ | 0              | 0,8723 | 0,009 | 0,1187 |
| $S_4$ | 0              | 1      | 0     | 0      |

Используя данные о вероятностях переходов  $\hat{p}_{ij}$  (табл. 3) и  $\hat{p}_{ij}$  (табл. 6), по формуле (3) определены оценки

$$\chi_{S_2}^2 = 1,4308 - 2 \text{ степени свободы,}$$

$$\chi_{S_3}^2 = 0,0858 - 2 \text{ степени свободы,}$$

$$\chi_{S_4}^2 = 1,2487 - 2 \text{ степени свободы}$$

$$\chi_{S_{\text{общ}}}^2 = 2,7631 - 6 \text{ степеней свободы.}$$

Это значение соответствует 80% уровню значимости.

Предложенная методика и приведенные примеры подтверждают правомерность использования аппарата полумарковских процессов для описания управляемых процессов поддержания летной годности воздушных судов [1, 2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ицкович А.А. Управление процессами технической эксплуатации летательных аппаратов: учеб. пособие. - М.: МГТУ ГА, 1994. - Ч. 1. - 2002. - Ч. 2, 3.
2. Файнбург И.А. Построение полумарковской модели управления процессом поддержания летной годности воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. - 2007. - № 123.
3. Ли Ц., Джадж Д., Зельнер А. Оценивание параметров марковских моделей по агрегированным временным рядам. - М.: Статистика, 1977.
4. Anderson T.W., Goodman L.A. Statistical Interenc about Mfrkov Chains? Nhe Anals of Mathematical Statistics, 28, 1957, p. 89-110.

## INDICATORS OF THE EFFICIENCY OF PROCESSES OF MAINTENANCE OF THE AIRCRAFTS AIRWORTHINESS

**Itskovich A.A., Smirnov N.N., Faynburg I.A.**

The system of indicators of the efficiency of processes of maintenance of aircrafts airworthiness is resulted, new indicators of the using efficiency of aircrafts are offered.

**Key words:** aircrafts, processes of maintenance of the airworthiness, the efficiency, indicators of using efficiency.

### 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 250 научных работ, область научных интересов - эксплуатационная надежность и эффективность эксплуатации авиационной техники, управление процессами технической эксплуатации и поддержания летной годности летательных аппаратов.

**Смирнов Николай Николаевич**, 1928 г.р., окончил КИИГА (1952), заслуженный деятель науки и техники РСФСР, академик Академии транспорта РФ, 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 44 научных работ, область научных интересов - управление процессами технической эксплуатации и поддержания летной годности летательных аппаратов.

УДК 629.735.017.083

## МАРШРУТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЭТАПНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЦЕДУР ПОДДЕРЖАНИЯ ЛЁТНОЙ ГОДНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А.Р. АЛЕКСАНИН

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

Введены и приняты следующие термины и определения: формирование процедур поддержания лётной годности воздушных судов; современные информационные технологии; комплексная технология формирования процедур поддержания лётной годности воздушных судов. Разработана маршрутная карта маршрутной технологии с поэтапным формированием процедур поддержания лётной годности воздушных судов.

**Ключевые слова:** поддержание лётной годности, формирование процедур поддержания лётной годности, комплексная технология, маршрутная технология, маршрутная карта.

Тенденции развития гражданской авиации (ГА) характеризуются повышением требований к лётной годности воздушных судов (ВС).

В международных и федеральных, межотраслевых, отраслевых и региональных нормативных документах содержатся требования к процедурам поддержания лётной годности (ПЛГ) ВС, процедурам системы менеджмента качества, процедурам сертификации АТ и организаций по ТООР [1, 2]. В авиакомпаниях и организациях по техническому обслуживанию и ремонту (ТООР) разрабатываются документы авиапредприятий по процедурам ПЛГ ВС [3, 4, 5-8, 9]. Однако научно-методические основы и руководящие методические документы по формированию процедур ПЛГ ВС до настоящего времени не разработаны. Отсутствуют установленные понятия, термины и определения и единый подход к формированию процедур ПЛГ ВС. Возникает необходимость в создании единого методического обеспечения формирования процедур ПЛГ ВС с целью повышения их эффективности путём сокращения простоев и снижения затрат на ПЛГ ВС при заданном уровне безопасности полётов.

Для решения этой актуальной научной задачи целесообразно использовать современные информационные технологии. В связи с этим особую актуальность приобретает проблема формирования процедур ПЛГ ВС на основе современных информационных технологий, решению которой посвящена настоящая статья.

*Формирование процедур ПЛГ ВС* - совокупность взаимосвязанных операций синтеза (поэтапного формирования) процедур на основе применения современных информационных технологий [10].

*Современные информационные технологии (ИТ)* – технологии компьютерной обработки информации и моделирование процедур по современным алгоритмам и программам.

*Комплексная технология формирования процедур ПЛГ ВС* – совокупность взаимосвязанных технологий поэтапного формирования процедур на основе применения современных информационных технологий:

- 1) маршрутной технологии формирования процедур ПЛГ ВС;
- 2) технологии структуризации и алгоритмизации процедур ПЛГ ВС;
- 3) технологии функционального формирования процедур поддержания лётной годности ВС;
- 4) технологии имитационного формирования процедур поддержания лётной годности ВС;
- 5) технологии сетевого планирования и оперативного управления процедурами поддержания лётной годности ВС.

*Маршрутная технология поэтапного формирования процедур ПЛГ ВС* – последовательное выполнение взаимосвязанных операций синтеза с сокращённым их описанием в маршрутной карте и указыванием входов и выходов на каждом этапе.

Маршрутная карта маршрутной технологии поэтапного формирования процедур ПЛГ ВС представлена на рис. 1.

На основе выполненного анализа требований нормативных документов и обобщения опыта эксплуатации ВС в Российских авиакомпаниях произведена структуризация процедур ПЛГ ВС. В результате получена следующая структура процедур [10]:

- регламентные работы;
- нерегламентные непланируемые работы;
- нерегламентные планируемые работы;
- обеспечение ЗПЧ, расходными материалами, оборудованием, инструментом;
- сертификация экземпляра ВС;
- управление уровнем эксплуатационной надёжности и режимами ПЛГ ВС;
- менеджмент качества и эффективности процессов ПЛГ ВС.

После структуризации процедур ПЛГ ВС проведена их алгоритмизация. Разработаны условные алгоритмы процедур ПЛГ ВС, которые показывают последовательность и способы их реализации.

Для получения иерархической структуры процедур ПЛГ ВС, отражающих организационно-техническую структуру и качественные характеристики, произведён переход к функциональному формированию процедур ПЛГ ВС. Разработаны функциональные модели процедур ПЛГ ВС с использованием информационных технологий функционального моделирования IDEF0 на основе программного продукта CA ERWin Process Modeler [11].

Функциональная модель принципиально не может ответить на вопросы о том, как протекают процессы в системе во времени и в пространстве, каковы их характеристики, в этом случае для отражения количественных оценок вероятностно – статистических характеристик функциональных моделей произведён переход к имитационному формированию процедур ПЛГ ВС.

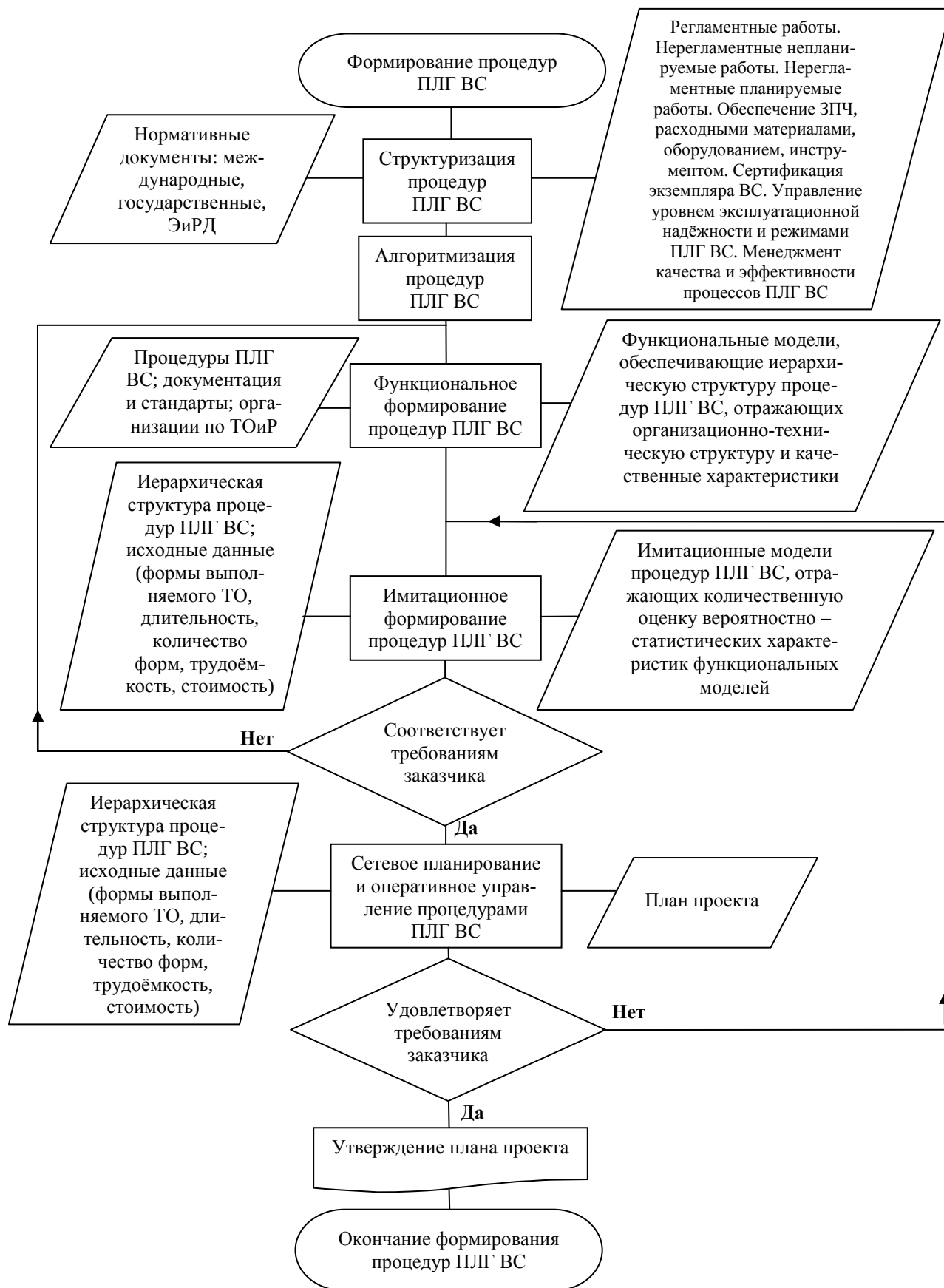
Разработаны имитационные модели процедур ПЛГ ВС с использованием информационных технологий имитационного моделирования АРЕНА, описывающие процессы в функциональных блоках IDEF0 – модели, учитывая продолжительность, трудоёмкость, стоимость выполнения операций и их вероятностно – статистические характеристики [12].

Если имитационные модели соответствуют требованиям заказчика, то переходим к сетевому планированию и оперативному управлению процедурами ПЛГ ВС. В противном случае возвращаемся к функциональному формированию процедур ПЛГ ВС и редактируем их.

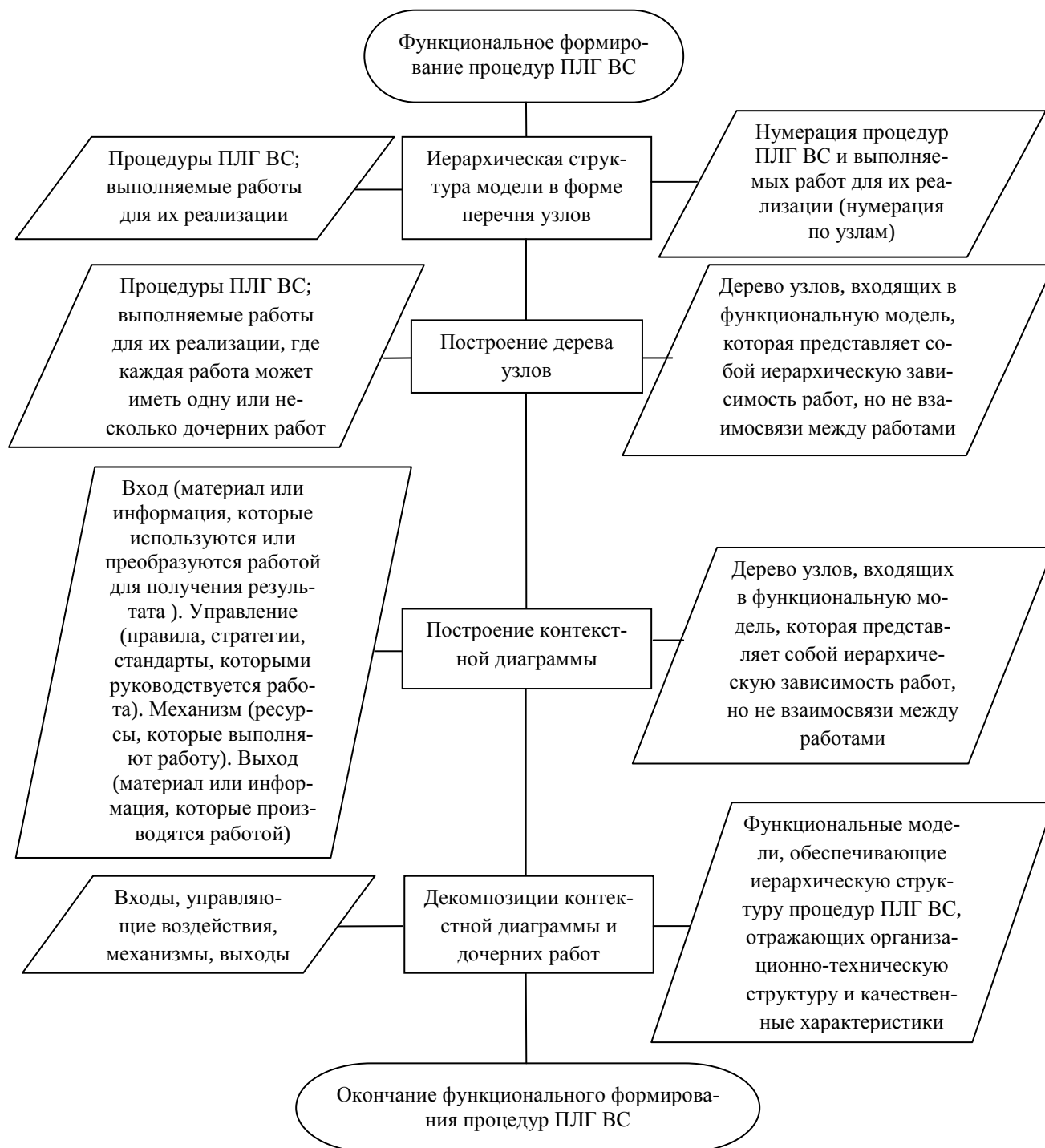
Применение MS Project для решения задач сетевого планирования и оперативного управления процедурами ПЛГ ВС обеспечит возможность реализации процедур ПЛГ ВС и поможет определить насколько реально воплощение данного проекта, какие работы необходимо выполнить для достижения его целей, какой состав исполнителей и какие ресурсы потребуются, какова стоимость проекта, кто должен отвечать за те или иные виды работ [13]. Если план проекта не удовлетворяет требованиям заказчика, то целесообразно перейти к имитационному формированию процедур ПЛГ ВС для последующего редактирования.

В случае удовлетворения плана проекта требованиям заказчика план проекта утверждается.

На рис. 2 - 4 представлены маршрутные карты маршрутных технологий функционального формирования процедур ПЛГ ВС, имитационного формирования процедур ПЛГ ВС, сетевого планирования и оперативного управления процедурами ПЛГ ВС соответственно.

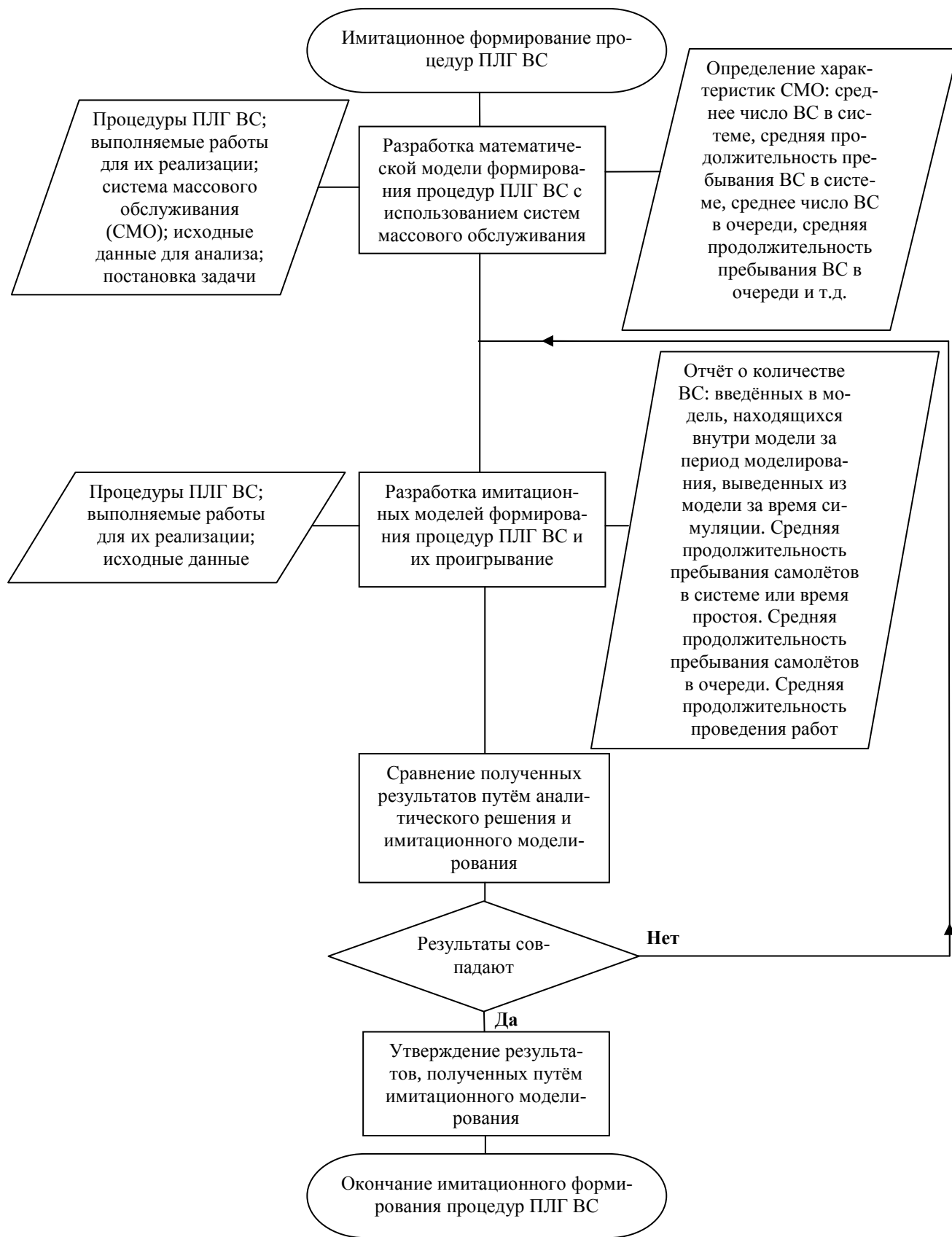


**Рис. 1.** Маршрутная карта маршрутной технологии формирования процедур ПЛГ ВС

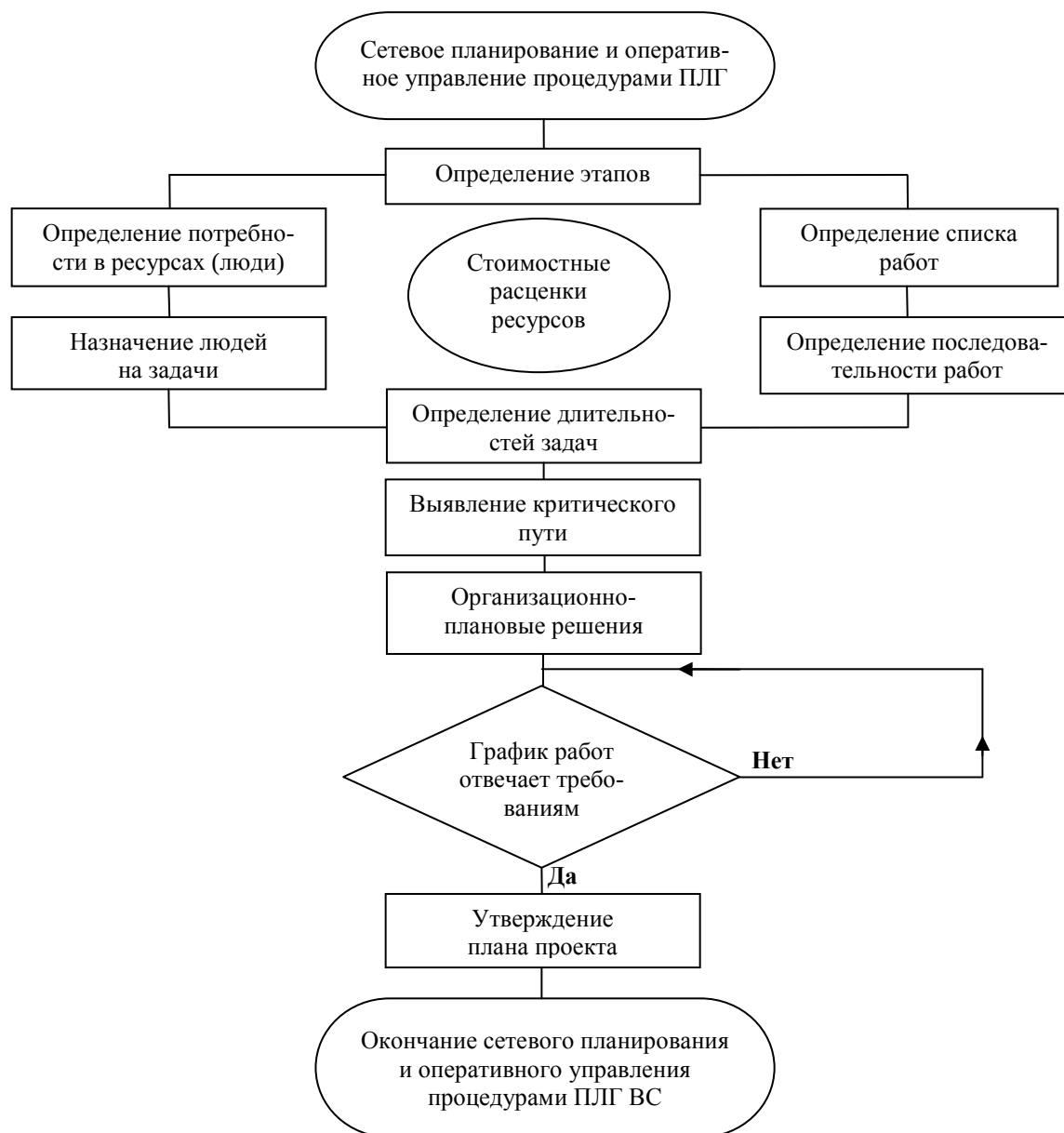


**Рис. 2.** Маршрутная карта маршрутной технологии функционального формирования процедур ПЛГ ВС

При формировании процедур ПЛГ ВС в данной работе решаются задачи выбора рациональных способов организации выполнения, установленных разработчиком ВС режимов ПЛГ ВС, по критерию минимальных затрат времени (труда и средств) на выполнение работ по ПЛГ ВС при заданном уровне безопасности полетов (безотказности АТ), обеспечиваемом выполнением установленных разработчиком ВС режимов ПЛГ ВС.



**Рис. 3.** Маршрутная карта маршрутной технологии имитационного формирования процедур ПЛГ ВС



**Рис. 4.** Маршрутная карта маршрутной технологии сетевого планирования и оперативного управления процедурами ПЛГ ВС

В заключение следует отметить, что приведенная маршрутная технология поэтапного формирования процедур ПЛГ ВС может быть использована в авиапредприятиях при разработке инструкций по поддержанию лётной годности ВС в полном объеме, в том числе по процедурам продления ресурсов и сроков службы ВС и их компонентов, сертификации экземпляра ВС, управлению надёжностью авиационной техники и качеством процессов поддержания лётной годности ВС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ицкович А.А., Смирнов Н.Н. Управление эффективностью процесса технической эксплуатации самолётов гражданской авиации: учеб. пособие. - М.: МИИГА, 1993.



2. **Петров А.Н.** Методология поддержания лётной годности воздушного судна на основе управления эффективностью системы его технического обслуживания и ремонта // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Аэромеханика и прочность, поддержание лётной годности воздушных судов. - 2008. - № 130 (6). - С. 33-40.
3. **Авиационные правила. Часть 21. Процедуры сертификации авиационной техники.** - М.:МАК, 1999.
4. **Лётная годность воздушных судов. Международный стандарт. Приложение 8 к Конвенции о международной гражданской авиации.** ICAO, 2001.
5. **Руководство по лётной годности.** - Т. 1. Организация и процедуры. - Т. 2. Сертификация конструкции и сохранение лётной годности. Дос 9760 AN/967/ICAO, 2001.
6. **Руководство 145 – 1А. Процедуры сертификации ремонтных организаций.** - М.: Авиарегистр МАК, 2007.
7. **Руководство по организации поддержания лётной годности ВС иностранного производства ОАО. CAME. Issue 1. Revision 1.** - Аэрофлот, 2007.
8. **Руководство по организации технического обслуживания ВС ОАО. CAME. Issue 1. Revision 1.** - Аэрофлот, 2007.
9. **Чинючин Ю.М., Гипич Г.Н., Смирнов Н.Н., Ицкович А.А.,** Концептуальные положения системы сохранения лётной годности воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полётов. - 1999. - № 20. - С. 7-16.
10. **Алексанян А.Р.** Формирование процедур поддержания лётной годности воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 173. - С. 52-60.
11. **Алексанян А.Р., Ицкович А.А., Файнбург И.А.** Мониторинг процессов поддержания лётной годности воздушных судов на основе применения методов моделирования IDEF0 // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 162. - С. 51 - 58.
12. **Алексанян А.Р., Киселев Д.Ю., Файнбург И.А.** Формирование процедур выполнения регламентных работ с применением информационных технологий имитационного моделирования // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 173. - С. 98-108.
13. **Алексанян А.Р.** Планирование процедур поддержания лётной годности воздушных судов с применением информационных технологий сетевого планирования // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 173. - С. 65-69.

## ROUTING TECHNOLOGY OF STAGE-BY-STAGE FORMATION OF PROCEDURES OF CONTINUING AIRWORTHINESS OF AIRCRAFTS

**Aleksanyan A.R.**

Following definitions and terms was entered and accepted: formation of procedures of continuing airworthiness of aircrafts; are modern information technology; the complex technology of formation of procedures of continuing airworthiness of aircrafts. The route chart of route technology with stage-by-stage formation of procedures of continuing airworthiness of aircrafts was made.

**Key words:** continuing airworthiness, formation of procedures of continuing airworthiness of aircrafts, the complex technology, route chart, a route technology.

### Сведения об авторе

**Алексанян Армен Размирович**, 1976 г.р., окончил МАИ (2007), аспирант кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор 12 научных работ, область научных интересов – поддержание лётной годности воздушных судов.

УДК 629.735.067

## ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫБОРА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ АВИАТОПЛИВ

Ю.С. КИРДЮШКИН

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

В данной статье приведены основы построения модели для проведения сравнительного анализа современных альтернативных топлив исходя из термодинамических показателей, связанных с их производством и эксплуатацией, а также с учетом наличия международных сертификатов, их признающих.

**Ключевые слова:** сравнительный анализ, построение модели, альтернативные топлива, биотоплива для реактивных двигателей, спецификации типа ASTM, Def Stan.

### Предисловие

В данной работе представлены основы построения модели для проведения сравнительного анализа наиболее приемлемых альтернативных видов топлив для газотурбинных двигателей (ГТД) летательных аппаратов (ЛА) гражданской авиации (ГА). Виды альтернативных традиционному авиационному керосину топлив были подобраны путем сравнительного анализа эксплуатационных характеристик исследуемых топливных смесей по следующим критериям:

- количество энергии, затраченной на производство альтернативного топлива (теоретические и эмпирические значения);
- теоретическая эффективность и максимальное количество работы, совершаемое топливом при сжигании в нормальных термодинамических условиях.

Рассмотрены экологические аспекты производства исследуемых альтернативных топлив. На основе полученных расчетных значений был проведен сравнительный анализ и разработана методика выявления наиболее приемлемых видов альтернативного топлива из доступных для исследования опций.

### 1. Основные требования к альтернативным топливам

В современных условиях развития гражданской авиации конкурентоспособным считается такое топливо, производство и использование которого отвечает следующим требованиям:

- «устойчивость» или возобновляемость источников топливного сырья;
- исключение возможного ущерба окружающей среде и угрозы сельскохозяйственным угодьям в процессе производства топлива (т.е. источником топливного сырья не должна быть культура, пригодная для употребления в пищу, и источник сырья не должен культивироваться на сельскохозяйственных угодьях вместо источников для производства продуктов питания);
- полная совместимость «устойчивой» топливной смеси с существующей инфраструктурой (топливными хранилищами, средствами ее транспортирования, заправки, конструктивными особенностями авиационных двигателей и топливных систем ЛА).

Производство на коммерческой основе топлив, отвечающих приведенным требованиям, стало возможным в ряде стран Европы, Африки, Среднего Востока, Северной и Южной Америки в 2011 г. В гражданской авиации стран Западной Европы (Германии, Голландии, Великобритании) и США с июля 2011 г. на регулярной основе эксплуатируются ЛА, заправляемые топливами, отвечаю-

щими приведенным требованиям и сертифицированными контролирующими Организациями типа Def Stan и ASTM. Теоретические модели видов топлив, применяемых в настоящее время в этих странах, а также алгоритм проведения их сравнительного анализа представлены ниже.

Устойчивое топливо, произведенное на основе биомассы (еще не распавшихся на составные элементы органических соединений), отличается от традиционного авиационного керосина по следующим характеристикам:

- отсутствие компонентов серы в составе производной топливной смеси;
- снижение риска выхода из строя контрольно-измерительной аппаратуры топливных систем ЛА;
- более низкий уровень воздействия продуктов сгорания топлива на окружающую среду.

Отсутствие компонентов серы в топливной смеси способствует снижению уровня выброса вредных веществ в атмосферу. Наблюдается повышение качества воздуха в зоне эксплуатации самолетов, что в ряде аэропортов развитых стран является задачей особого внимания. Также снижается риск выхода из строя контрольно-измерительной аппаратуры топливных систем ЛА за счет отсутствия коррозионных реакций цветных металлов с активными компонентами серы, входящими в состав традиционного керосина [3].

Положительными аспектами применения альтернативных видов топлив, произведенных на основе биологического сырья, например, так называемого биосинтетического парафинового керосина (Био-СПК), также являются:

- повышенная устойчивость топлива к перепадам температур по сравнению с показателями авиационного керосина;
- высокая энтальпия сгорания топливной смеси по сравнению с теплотой сгорания стандартного керосина и др.

Как следствие более высокой температурной устойчивости Био-СПК общая эффективность силовой установки ЛА возрастает [1].

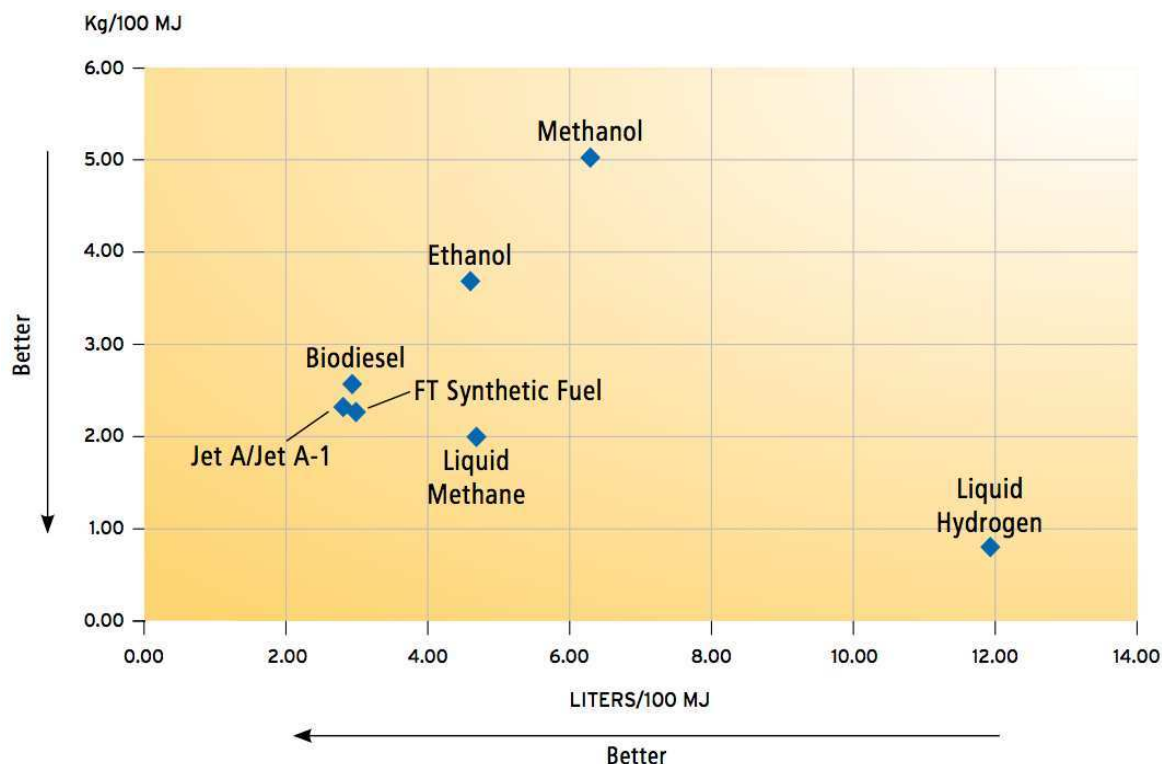
На рис. 1 представлены сравнительные данные по плотности разнообразных типов жидкого топлива. Сравнение представлено на основе потребного количества топлива для обеспечения 100 МДж энергии при его сжигании. Наиболее схожими по плотностным характеристикам с авиационным керосином являются биодизель и синтетический керосин (СПК), произведенные методом Фишера-Тропша. На рис. 1 не включены топлива, по своей молекулярной структуре и физическим свойствам схожие с СПК, произведенными по методу Фишера-Тропша (так называемые Био-СПК топлива), но они также рассмотрены в данной статье.

Согласно условию совместимости альтернативного топлива с существующей инфраструктурой и исходя из экономической целесообразности только схожие с традиционным керосином энергоносители могут стать приемлемой альтернативой в ближайшем будущем.

Биодизель – это этанол, произведенный на основе биомассы, согласно свойствам которого он не может быть рассмотрен как альтернатива традиционному авиационному керосину типа ТС-1 по следующим причинам:

- $C_2H_5OH$  – молекула этанола, из структуры которой следует, что биодизель содержит атомы кислорода в составе молекул, а следовательно, процесс окисления топлива кислородом менее эффективен, чем окисление топлива с молекулярной структурой типа  $C_nH_{2n+2}$ ;
- ввиду наличия атомов кислорода в этаноле значительно повышается точка замерзания биодизельного топлива, что не позволяет применять его на ЛА, температурные режимы эксплуатации которых достигают  $-60^{\circ}C$ .

Напротив, синтетические парафиновые топлива, произведенные по методу Фишера-Тропша и любыми другими подходящими способами, становятся наиболее приемлемыми альтернативами в ближайшем будущем. Свойства Био-СПК топлив, произведенных на основе биомассы, в сравнении со свойствами традиционного керосина типа Jet-A или ТС-1 представлены в табл. 1.

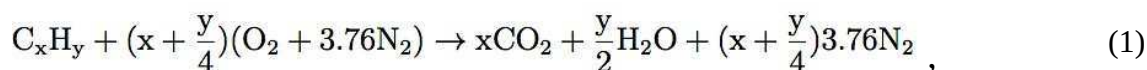


**Рис. 1.** Сравнение показателей плотности разнообразных видов жидкого топлива, необходимого для выработки 100 МДж энергии при сжигании

## 2. Построение модели и методологические вопросы проведения сравнительного анализа

Состав топливной смеси сложно определить с высокой точностью из-за наличия дополнительных присадок и необходимости использования высокотехнологичной аппаратуры контроля химических реакций при его производстве. Так, для проведения сравнительного анализа топливных смесей строятся теоретические модели топлив, основанные на известных типах углеводородных молекул, составляющих топливную смесь, и процентном соотношении их объемов. Используя принятые упрощенные теоретические модели топлив, можно с высокой степенью точности рассчитать значения: параметров теоретической эффективности топлива; минимального количества работы, затрачиваемой для производства топлива; температуры пламени при сжигании топлива в адиабатических условиях протекания реакции и продуктах сгорания рассматриваемой топливной смеси. На основе расчетных значений указанных параметров проводится общий сравнительный анализ.

Химическая реакция окисления углеводородного топлива описывается следующей формулой



где  $x$  – количество атомов угля;  $y$  – количество атомов водорода в углеводородном соединении.

Продукты сжигания типового топлива в удельных долях рассчитываются на основе правой части формулы (1), дающей описание реакции окисления топливной смеси.

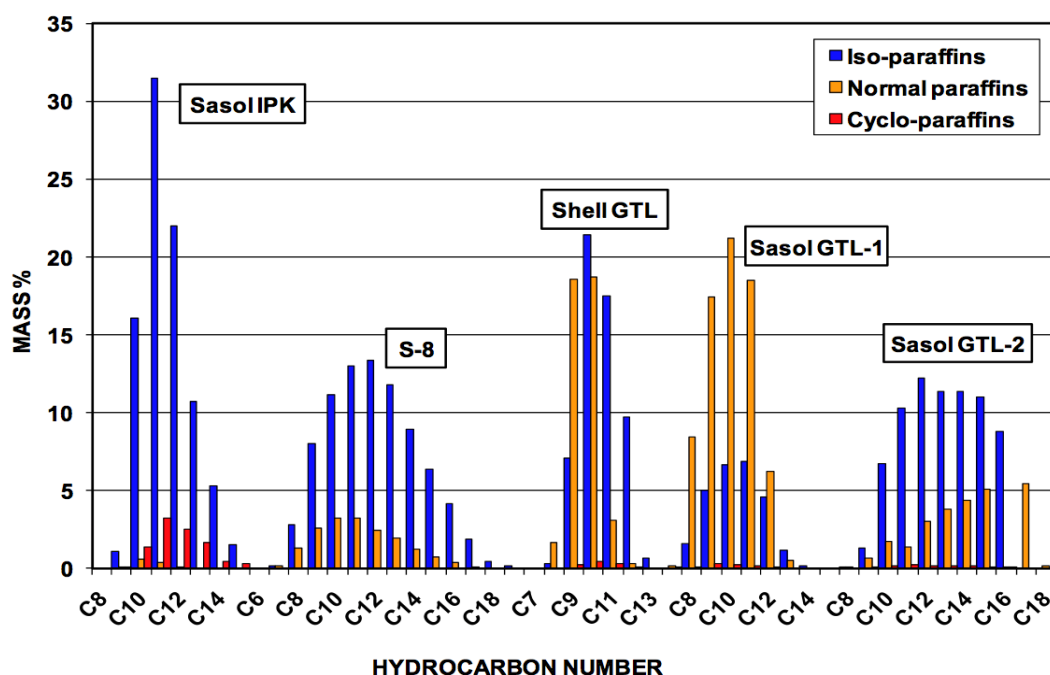
Таблица 1

Сравнительные данные свойств Био-СПК  
топлив и традиционного керосина типа Jet-A или ТС-1

| Property                                                          |     | Jet A / Jet A-1          | ANZ           | CAL         | JAL         |
|-------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------|---------------|-------------|-------------|
| Mixture of Jet A or Jet A-1 // SPK is in<br>Volume % Blended with |     |                          | 50<br>Jet A-1 | 50<br>Jet A | 50<br>Jet A |
| <b>Part 1: Basic Requirements</b>                                 |     |                          |               |             |             |
| <b>COMPOSITION</b>                                                |     |                          |               |             |             |
| Acidity, total mg KOH/g                                           | Max | 0.10                     | 0.002         | 0.001       | 0.002       |
| Aromatics: one of the following requirements shall be met         |     |                          |               |             |             |
| 1. Aromatics, volume %                                            | Max | 25                       | 8.8           | 9.2         | 8.9         |
| 2. Aromatics, volume %                                            | Max | 26.5                     | N/A           | N/A         | N/A         |
| Sulfur, mercaptan, <sup>c</sup> mass %                            | Max | 0.003                    | 0.0004        | <0.0001     | 0.0003      |
| Sulfur, total mass %                                              | Max | 0.30                     | <0.015        | <0.0001     | 0.0403      |
| <b>VOLATILITY</b>                                                 |     |                          |               |             |             |
| Distillation:                                                     |     |                          |               |             |             |
| Distillation temperature, °C:                                     |     |                          |               |             |             |
| 10 % recovered, temperature (T10)                                 | Max | 205                      | 170.4         | 170.5       | 171.0       |
| 50 % recovered, temperature (T50)                                 |     | report                   | 190.3         | 194.0       | 200.5       |
| 90 % recovered, temperature (T90)                                 |     | report                   | 226.9         | 228.0       | 240.0       |
| Final boiling point, temperature                                  | Max | 300                      | 246.8         | 248.5       | 258.0       |
| Distillation residue, %                                           | Max | 1.5                      | 1.2           | 1.2         | 1.2         |
| Distillation loss, %                                              | Max | 1.5                      | 0.4           | 0.2         | 0.2         |
| Flash point, °C                                                   | Min | 38                       | 45.0          | 45.0        | 44.5        |
| Density at 15°C, kg/m <sup>3</sup>                                |     | 775 to 840               | 779           | 780         | 789         |
| <b>FLUIDITY</b>                                                   |     |                          |               |             |             |
| Freezing point, °C                                                | Max | -40 Jet A<br>-47 Jet A-1 | -62.5         | -61.0       | -55.5       |
| Viscosity -20°C, mm <sup>2</sup> /s                               | Max | 8.0                      | 3.606         | 3.817       | 4.305       |
| <b>COMBUSTION</b>                                                 |     |                          |               |             |             |
| Net heat of combustion, MJ/kg                                     | Min | 42.8                     | 43.6          | 43.7        | 43.5        |
| One of the following requirements shall be met:                   |     |                          |               |             |             |
| (1) Smoke point, mm, or                                           | Min | 25                       | 33            |             |             |
| (2) Smoke point, mm, and                                          | Min | 18                       |               | 27.7        | 28.6        |
| Naphthalenes, volume, %                                           | Max | 3.0                      | N/A           | 0.2         | 1.2         |
| <b>CORROSION</b>                                                  |     |                          |               |             |             |
| Copper strip, 2 h at 100°C                                        | Max | No. 1                    | 1A            | 1A          | 1A          |
| <b>THERMAL STABILITY</b>                                          |     |                          |               |             |             |
| JFTOT (2.5 h at control temperature)                              |     |                          |               |             |             |
| Temperature, °C                                                   | Min | 260                      | 300           | 300         | 300         |
| Filter pressure drop, mm Hg                                       | Max | 25                       | 3.0           | 0.0         | 0.2         |
| Tube deposits less than                                           |     | 3                        | 1.0           | 1.0         | 1.0         |
| No Peacock or Abnormal Color Deposits                             |     |                          |               |             |             |
| <b>CONTAMINANTS</b>                                               |     |                          |               |             |             |
| Existent gum, mg/100 mL                                           | Max | 7                        | 1.0           | <1          | <1          |
| Microseparator, Rating                                            |     |                          |               |             |             |
| Without electrical conductivity additive                          | Min | 85                       |               |             |             |
| With electrical conductivity additive                             | Min | 70                       |               |             |             |
| <b>ADDITIVES</b>                                                  |     |                          |               |             |             |
| Electrical conductivity, pS/m                                     |     | See 6.3                  | 123.0         | <1          | <1          |

В расчете термодинамических параметров альтернативных топлив были использованы имеющиеся значения энтальпии сгорания, процентное соотношение распределения и типы углеводородных молекул, определяющих состав рассматриваемых топлив (рис. 2). Исходя из известных соотношений распределения молекул были построены теоретические модели рассматриваемых топлив, называемые «суррогатами».

Построение суррогатной модели – это создание упрощенной модели топливной смеси, в реальности имеющей сложную молекулярную структуру, с целью проведения расчета и сравнительного анализа термодинамических параметров топлив.



**Рис. 2.** Соотношение распределения типов углеводородных молекул, составляющих альтернативные топлива Сасол ИПК, Шэлл СЖТ, Сасол СЖТ

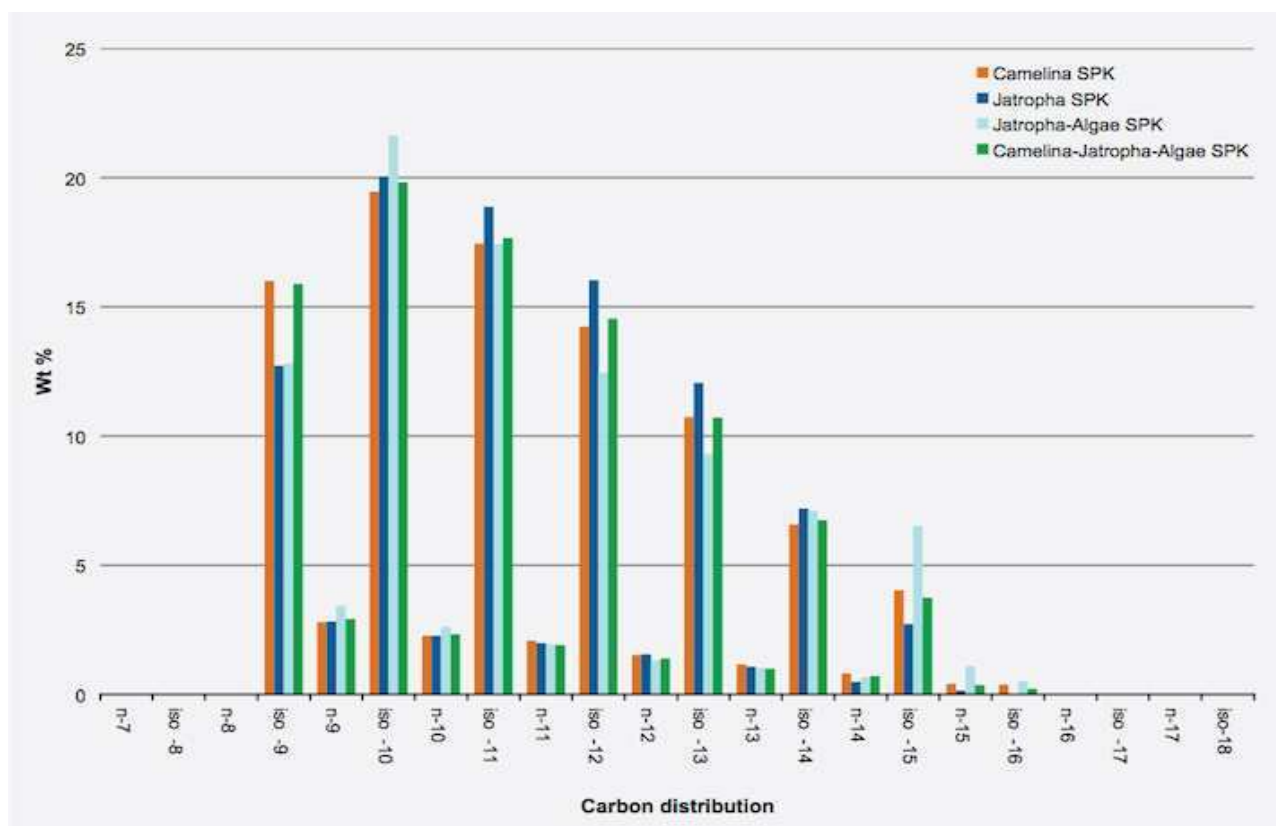
Суррогатные модели полусинтетических альтернативных топлив, произведенных компаниями Sasol (ЮАР) и Shell (Великобритания - Нидерланды) путем газификации угля, были построены на основе значений, приведенных в работе [1] (рис. 2).

Общий сравнительный анализ эксплуатационных характеристик был проведен по следующим видам исследуемых топливных смесей:

- «Sasol IPK» – «iso-paraffinic kerosene» - синтетическое жидкое топливо (СЖТ), полученное на основе угля компанией Sasol и применяемое как в смеси 1/1 с традиционным керосиновым топливом, так и в качестве чистого топлива. Применение топлива одобрено Def Stan 91-91, ASTM 1655. На регулярной основе поставляется в международный аэропорт Йоханнесбурга (ЮАР) с июля 1999 г.;
- «GTL» - “gas to liquids” полученное компаниями Shell и Sasol на основе натурального газа (Метана) по методу Фишера-Тропша СЖТ, применяемое в смеси 1/1 с традиционным керосином типа TC-1 в соответствии с Def Stan 91-91 и ASTM D 7566;
- «Bio-SPK» - полученное на основе биомассы, возобновляемое ЖТ, произведенное путем разложения биомассы до масел, с последующей их обработкой до типов углеводородов, соответствующих традиционному керосину. Лидером в производстве Био-СПК является компания Sasol (ЮАР). Спецификации, регулирующие порядок производства и эксплуатации Био-СПК: Def Stan 91-91 и ASTM D 7566, действующий с 5 июля 2011 г.

Из числа топлив, произведенных на основе устойчивой биомассы (Био-топлив), для сравнительного анализа было выбрано топливо, сырьем которого является смесь из масел, произведенных на основе водорослей и быстрорастущих растений. Углеводородный состав Био-СПК топлива представлен на рис. 3, где выбранная для анализа смесь (Jatropha-Algae SPK (JAL SPK)) выделена светлым оттенком.

В процентном соотношении молекулярный состав рассматриваемых альтернативных топлив, составленный на основе имеющихся показателей, приведен в табл. 2.



**Рис. 3.** Соотношение распределения типов углеводородных молекул, составляющих разнообразные Био-топлива типа ANZ, CAL, JAL

**Таблица 2**

Принятый молекулярный состав сравниваемых альтернативных топлив

| Name of molecular groups | Fuel types surrogated |         |           |           |
|--------------------------|-----------------------|---------|-----------|-----------|
|                          | Jet A-1               | Bio-SPK | Sasol SPK | Sasol GTL |
| <b>N-paraffin</b>        |                       |         |           |           |
| n-Nonane                 |                       | 3.5%    |           | 20%       |
| n-decane                 | 27%                   | 2.5%    |           | 20%       |
| u-undecane               |                       | 2%      |           | 5%        |
| n-dodecane               | 27%                   | 2%      |           |           |
| <b>Cycloparaffin</b>     |                       |         |           |           |
| Methyl cyclohexane       | 27%                   |         |           |           |
| Cyclododecane            |                       |         | 5%        |           |
| Cyclotridecane           |                       |         | 5%        |           |
| <b>Iso-paraffin</b>      |                       |         |           |           |
| Dimethyl C9-C14          |                       | 45%     | 55%       | 55%       |
| Pentamethyl C9-C14       |                       | 45%     | 35%       |           |
| <b>Polyaromatic</b>      |                       |         |           |           |
| Acenaphthene             | 19%                   |         |           |           |

Следующим шагом является применение метода воздействия групп молекул и молекулярных связей для расчета термодинамических параметров работы ГТД в условиях применения альтернативных топлив. Решение такой задачи будет рассмотрено в последующих научных статьях.



## Выводы

1. Построенная модель является базой для проведения сравнительного анализа, по результатам которого становится возможным выявление наиболее рациональной альтернативы традиционному топливу - керосину.

2. Модель позволяет проводить сравнение видов топлива на основе термодинамических параметров, связанных с их производством и применением исходя из приведенных показателей химического состава, устанавливаемых в нормативной документации [1, 2]. Данные, полученные в результате применения разработанной модели, позволяют проводить необходимые расчеты для подтверждения целесообразности производства того или иного вида альтернативного топлива.

3. Согласно результатам проведенного предварительного сравнительного анализа доступных альтернатив традиционному керосину сделан вывод о том, что с учетом основных требований, предъявляемых к топливу для ГТД в современных условиях развития ГА, наиболее приемлемой опцией становятся Био-СПК топлива, являющиеся возобновляемыми, так как Sasol IPK и GTL производятся компаниями Shell и Sasol на основе угля и природного газа, запасы которых ограничены.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Kinder J.D., Rahmes T.** Evaluation of Bio-Derived Synthetic Paraffinic Kerosene (Bio-SPK). The Boeing Company. Sustainable Biofuels Research Technology Program. - USA. 2009.

2. **Клиффорд А. М. и др.** Сравнительный анализ полусинтетических топлив для реактивных двигателей // Clord A. Moses. Comparative evaluation of semi-synthetic Jet fuels. Texas, USA. - 2008.

3. **Паюшкин Ю.** Химический состав и свойства реактивных топлив. - М.: Машиностроение, 1962.

## COMPARATIVE ANALYSIS MODEL GENERATION FOR ALTERNATIVE JETFUELS OPTION

**Kirdyushkin Y.S.**

The article shows fundamental of an approach to comparative analysis model generation for modern alternative jet fuels option based on comparison of thermodynamic properties of production and application of alternative jetfuels by taking into account environmental and legislative issues

**Key words:** comparative analysis, model generation, alternative jetfuel, biojet HEFA fuel, specification under ASTM and Def Stan.

## Сведения об авторе

**Кирдюшкин Юрий Сергеевич**, 1985 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), аспирант кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор 8 научных работ, область научных интересов – применение альтернативных видов топлив в сфере гражданской авиации.



УДК 629.7.351

## ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, УСТАНОВЛЕННЫМ ТРЕБОВАНИЯМ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

И.Б. ГУБЕРМАН

Статья представлена доктором технических наук, профессором Рубцовым В.Д.

В статье предложен подход к оценке соответствия радиоэлектронной аппаратуры на основе методики испытаний с учетом требований на основе теории нечетких множеств.

**Ключевые слова:** оценка соответствия, достоверность, воздействующие факторы.

Серийное производство радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) является гибридной иерархической системой с совокупностью уровней  $H_n$ ,  $n=1, \dots, N$ , которая функционирует при наличии на верхнем уровне системы оценки соответствия (ОС) выпускаемой продукции установленным требованиям (рис. 1).

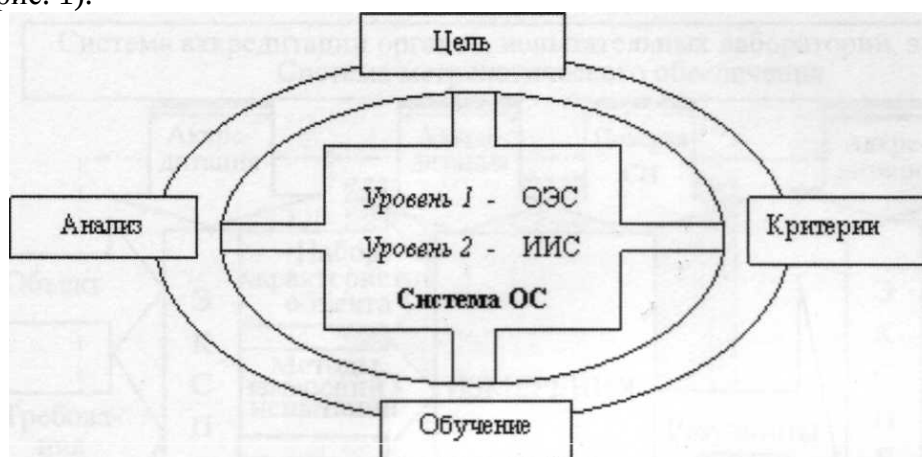


Рис. 1. Система оценки соответствия и ее иерархические уровни и связи

Иерархическая система описывается как многоуровневая система, в которой элементы каждого уровня группируются в несвязанные множества. В результате декомпозиции система ОС разбивается на две подсистемы: информационно-измерительную подсистему (ИИС) измерений/испытаний аппаратуры и организационно-экспертную подсистему (ОЭС).

Принятие решения о соответствии либо несоответствии РЭА установленному критерию происходит в условиях неопределенности вследствие многочисленных воздействующих факторов или состояний РЭА, связанных с недостатком информации об объекте или условиях его будущей эксплуатации. Для ИИС это, в первую очередь, методическая и инструментальная неопределенности, возникающие вследствие динамических воздействий при измерениях на подвижном объекте и при измерении функционально связанных параметров, а также неопределенность, связанная с оператором.

ИИС определяется как система, предназначенная для получения информации непосредственно от изучаемого объекта путем измерения и контроля с выводом и хранением информации

об объекте в лингвистической, числовой, функциональной форме с полной или частичной обработкой информации о выработке сигналов управления ИИС.

Результат измерений/испытаний следует выражать с интервалом расширенной неопределенности, однако числовое выражение расширенной неопределенности не всегда возможно [1]. В случае, когда количественные значения доверительных вероятностей интервальных оценок определить затруднительно, допустимо применение более универсальной качественной шкалы достоверности.

ОЭС характеризуется структурой и набором правил, документов, технического обеспечения, предназначена для принятия решений. В состав ОЭС входит лицо, принимающее решение (ЛПР) (эксперт или эксперты).

Наличие нечетких входных данных, факторов неопределенности, а также нечеткость цели, наряду с применением качественных шкал [2], является предпосылкой применения к анализу ОС теории нечетких множеств [3].

Рассмотрим применение теории нечетких множеств для «мягкой сортировки» РЭА при ее серийном производстве. Предпосылкой применения данной теории может являться нечеткость цели. В наиболее общем виде цель можно сформулировать как «минимум издержек заказчика и изготовителя» при ограничениях на безопасность испытываемого объекта. Под нечеткой целью подразумевается цель, которую можно описать как нечеткое множество в соответствующем пространстве. В некоторых случаях нечеткость цели может уменьшать упомянутые издержки.

Если производимая на одной технологической линии РЭА может применяться в различных условиях эксплуатации, то с целью повышения экономических показателей ее можно отсортировать по «качеству», выделяя важные показатели для того или иного применения. Например, РЭА может применяться в районах с различным климатом, в промышленных или сельских районах, характеризующихся разной помеховой обстановкой.

При измерениях и испытаниях РЭА могут применяться различные четкие критерии. Например, согласно ГОСТ 16019 -2001 [4] внешние условия, в которых могут производиться испытания РЭА, могут подразделяться на «степени жесткости» по стойкости к воздействию внешних климатических факторов: рабочие условия, предельные условия по степени жесткости 1, предельные условия по степени жесткости 2. Согласно ГОСТ Р 50799-95 [5] существуют критерии помехоустойчивости  $A$ ,  $B$  и  $C$  по тем или другим видам воздействующих на РЭА помех.

Примем в качестве входных переменных «степень жесткости испытаний» и «степень помехоустойчивости». С использованием этих переменных будем определять «качество» выполнения РЭА функциональной задачи по отношению к условиям эксплуатации.

Зададим «качество» РЭА в описанном выше смысле как элемент нечеткого множества  $2$  на универсальном множестве  $U\{u_1, u_2 \dots u_n\}$

$$Y\{y_1, y_2 \dots y_n\} \in \tilde{A}$$

с функцией принадлежности  $\mu_A(\mu_i)$ , позволяющей вычислить степень принадлежности нечеткому множеству

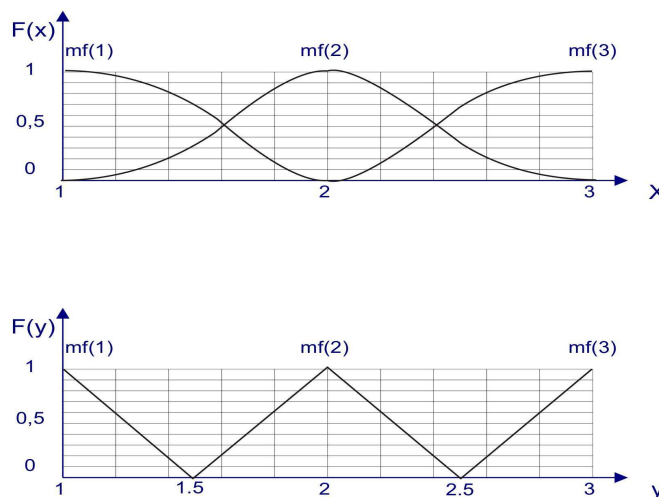
$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \mu_A(u_i) / u_i.$$

«Качество» зададим набором лингвистических значений (терм-множеством)  $L = \{L_j, L_2 \dots L_k\}$ . В нечеткой модели процесса сортировки «качество» является нечеткой выходной переменной. Аналогично определим нечеткие входные переменные  $X\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ . Диагностические признаки каждого элемента определяются с учетом дополнительных конкретных характеристик. Значения  $n$  и  $k$  выбираются такими, чтобы обеспечить требуемую точность,  $m$  определяется принимаемыми во внимание параметрами РЭА и достоверностью ОС.

В качестве примера применим трехуровневую шкалу для  $X$ ,  $Y$  и примем  $m = 2$ . Тогда множество значений может состоять из следующих компонентов:  $y$  – («качество») – {Высокое ( $B$ ), Среднее ( $C$ ), Низкое ( $H$ )};  $x_1$  – («степень жесткости испытаний») – {Степень жесткости 2(1),

Степень жесткости 1 (2), Рабочие условия (3)},  $x_2$  – («степень помехоустойчивости») – {Критерий А (1), Критерий В (2), Критерий С (3)}.

Примем гауссовы функции принадлежности для входных переменных  $f(x)$  и треугольную – для выходной переменной  $f(y)$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Функции принадлежности входных и выходных переменных

«Качество» РЭА будем определять при применении следующих нечетких правил:

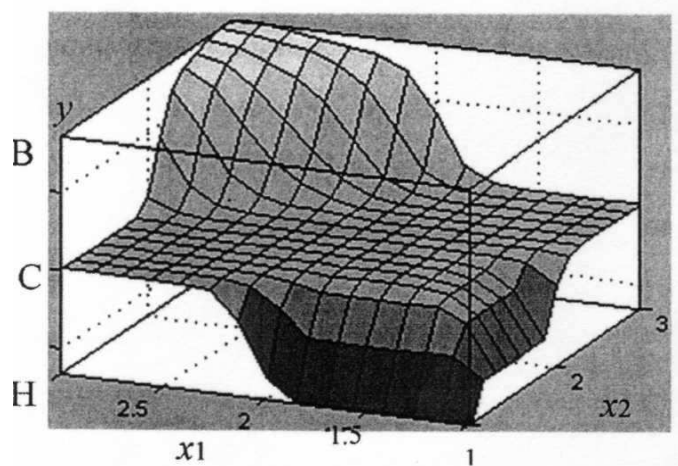
П1:  $\{x_1 = 1 \wedge x_2 = 1 \rightarrow y = B\}$ ;

П2:  $\{x_1 = 2 \wedge x_2 = 2 \rightarrow y = C\}$ ;

П3:  $\{x_1 = 3 \wedge x_2 = 1 \rightarrow y = H\}$ ;

Полученная в результате моделирования поверхность нечеткой модели системы ОС приведена на рис. 3.

На основании результатов моделирования может быть принято решение о пригодности образцов РЭА для конкретных назначений на основе приемлемости определенного уровня «качества». Принадлежность к высокому уровню В говорит о высоком качестве РЭА, которая может применяться в широком диапазоне внешних климатических условий и в сложной помеховой обстановке. Нахождение на низком уровне Н может быть критерием критического состояния «качества» РЭА. В этом случае можно принять решение о доработке, дополнительных испытаниях или санкционировать выпуск такой продукции с ограничениями по применению. Последнее ни в коей мере не должно касаться обязательных требований к продукции, установленных законодательно.



**Рис. 3.** Поверхность нечеткой модели при трехуровневых шкалах для входных и выходных переменных и базы правил {П1, П2, П3}

Развивая подход к ОС, предложенный в настоящей работе, каждую из альтернатив принятия решений о соответствии следует рассматривать в разрезе подуровней иерархической системы ОС (рис. 1) и приведенных факторов неопределенности [6].

Таким образом, предложен подход к проведению ОС установленным требованиям на основе теории нечетких множеств для РЭА, предназначенной для различных условий эксплуатации, продукции, выпускаемой на одной технологической линии и позволяющей минимизировать отбраковку и издержки изготовителя путем ранжирования уровня качества в зависимости от условий эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Левин С.Ф. Чего на самом деле должны опасаться ведущие специалисты по внедрению неопределенности в отечественные измерения // Измерительная техника. - 2008. - № 2. - С. 61 - 68.
2. Ивахненко А.М., Ахохов А.Ч. Моделирование контроля качества технологических процессов и промышленной продукции. - М.: Техполиграфцентр, 2008.
3. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. - М.: Радио и связь, 1982.
4. ГОСТ 16019-2001. Аппаратура сухопутной подвижной радиосвязи. Требования по стойкости к воздействию механических и климатических факторов и методы испытаний. - М.: Изд-во стандартов, 2002.
5. ГОСТ Р 50799-95. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость технических средств радиосвязи к электростатическим разрядам, импульсным помехам и динамическим изменениям напряжения сети электропитания. Требования и методы испытаний. - М.: Изд-во стандартов, 1996.
6. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab.- М.: Горячая линия-Телеком, 2007.

## ESTIMATION OF CONFORMITY OF THE RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT INTENDED FOR VARIOUS CONDITIONS OF OPERATION TO ESTABLISHED REQUIREMENTS ON THE BASIS OF THE THEORY OF INDISTINCT SETS

Guberman I.B.

In article the approach to an estimation of conformity of radio-electronic equipment on the basis of a technique of tests taking into account dependence of results of tests on their duration is offered.

**Key words:** the conformity estimation, the reliability, influencing factors.

## Сведения об авторе

Губерман Игорь Борисович, 1961 г.р., окончил ОЛАГА (2004), начальник сектора УВД отдела сертификации объектов ЕС ОрВД и юридических лиц ГА ФГУП ГосНИИ «Аэронавигация», автор 2 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация радиоэлектронных систем воздушного транспорта, навигация и управление воздушным движением.

УДК 629.7.072:331.101.1

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПИЛОТОМ СИСТЕМЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ САМОЛЕТА

И.Б. КУЗНЕЦОВ

**Статья представлена доктором технических наук, профессором Столяровым Н.А.**

Сформулированы показатели эксплуатационного качества системы отображения информации и критерии оценки зрительной загрузки пилота. Предложена теория оптимизации распределения внимания пилота и оценки точности пилотирования по параметру взаимодействия с полетной информацией при пилотировании по приборам.

**Ключевые слова:** изобразительный элемент, пилотажные параметры, система отображения информации.

### 1. Введение

Связь зрительной и моторной деятельности пилота при формировании им управления воздушным судном (ВС) состоит в том, что при пилотировании по приборам в условиях высокой зрительной загрузки основные характеристики его зрительной деятельности определяются необходимой для выполнения пилотажной задачи управляющей (моторной) деятельностью пилота. То есть любому целенаправленному изменению пилотом параметров управления должно предшествовать зрительное обращение к изобразительному элементу (ИЭ), визуализирующему контролируемый пилотажный параметр (ПП) для получения видеoinформации о динамике управляемого ПП и определения новых параметров управления. При этом минимально необходимые для выполнения пилотажной задачи характеристики зрительной деятельности пилота не являются случайными, так как они определяются аэродинамическими характеристиками ВС как объекта управления, требованиями выполняемой пилотажной задачи и условиями полета [1].

Предлагаемая оценка и выявление недостатков системы отображения информации (СОИ), которым необходимо уделять внимание при подготовке пилотов, основывается на том, что при выполнении пилотажных задач, для которых загрузка пилота по приборной видеoinформации близка к предельно допустимой, установленные минимальные характеристики зрительной деятельности пилота могут рассматриваться как теоретически оптимальные. Поэтому степень вынуждаемого недостатками СОИ искажения пилотом теоретически оптимального распределения его зрительного внимания по элементам СОИ может быть использована для разработки системы объективных числовых показателей эксплуатационного качества конкретной СОИ с представлением этой информации пилотам в процессе обучения.

В этой системе теоретически оптимальные характеристики зрительной деятельности пилота должны играть роль эталонов, на основе сопоставления с которыми характеристик зрительной деятельности пилота и качества пилотирования в реальном полете рассчитываются значения введенных показателей эксплуатационного качества СОИ. По минимально необходимым частотам наблюдения ПП и продолжительностям съема пилотом видеoinформации с ИЭ определяются следующие числовые характеристики теоретически оптимальной зрительной деятельности пилота: теоретически оптимальные вероятности наблюдения пилотом изобразительных элементов и узлов СОИ и теоретически оптимальные вероятности циклов в зрительном маршруте пилота по элементам СОИ. Все теоретически оптимальные числовые характеристики зрительной деятельности пилота методологически целесообразно объединить в числовые характеристики понятия теоретически оптимальной структуры зрительной деятельности пилота.

Критериями оптимальности структуры зрительной деятельности пилота в условиях расчетно и экспериментально установленной предельно высокой зрительной загрузки пилота по приборной информации являются:

- выдерживание пилотом минимально необходимых для теоретической возможности получения необходимой для выполнения пилотажных задач параметрической видеоинформации частот зрительных обращений к каждому ПП из выделенной "Руководством по летной эксплуатации" или полетным заданием группы ПП;
- соблюдение пилотом распределения зрительного внимания, обеспечивающего правильное распознавание им полетных ситуаций и максимальную безопасность полета за счет построения зрительных маршрутов, максимально контролирующих группу ПП, связанных с устойчивостью ВС.

Содержательность и полнота сформулированных критериев для описания закономерностей в структуре зрительной деятельности пилота доказывается сравнением теоретически оптимальных по данным критериям расчетных характеристик структуры зрительной деятельности с теми же характеристиками, полученными эмпирическим и экспериментальным путем [2, 3].

Очевидно, что совершенная в эксплуатационном отношении СОИ ВС должна обеспечивать пилоту возможность оптимальной для выполнения пилотажных задач организации структуры зрительной деятельности, что особенно важно на этапах полета с предельно высокой нагрузкой пилота по приборной видеоинформации. Поэтому сопоставление экспериментальных числовых характеристик структуры зрительной деятельности пилота и показателей качества пилотирования при исследуемой СОИ с рассчитанными теоретически оптимальными характеристиками структуры зрительной деятельности пилота и теоретически достигаемыми показателями качества пилотирования может быть положено в основу системы оценок эксплуатационного качества СОИ.

## 2. Теория оценки показателей качества СОИ

В разработанную систему числовых показателей эксплуатационного качества СОИ входят три обобщенных показателя: показатель относительной зрительной загрузки пилота по пилотажно-навигационной информации, вероятностно-траекторный показатель и структурный показатель. Для их определения предполагается, что СОИ визуализирует  $i$ -й ПП на  $K$  приборах или узлах СОИ. Пусть  $f_i$  Гц – минимально необходимая для выполнения пилотажной задачи частота зрительных обращений к  $i$ -му ПП;  $\bar{f}_n$  Гц – минимально необходимая частота зрительных обращений пилота к  $n$ -му прибору, равная максимальной из частот  $f_i$  наблюдений ПП, визуализируемых этим прибором (информативная частота  $n$ -го прибора);  $T_n$  – среднее время переноса взгляда пилота с одного ИЭ или прибора на другой (обычно  $T_n = 0,1$  с);  $T_{\phi,i}$  – среднее время зрительной фиксации пилотом информации с ИЭ, визуализирующего  $i$ -й ПП, которое принимается равным 0,35-0,40 с – теоретической оценке величины  $T_{\phi}$  для основных ПП, полученной экспериментально [4].

Показатель  $\lambda$  относительной загрузки пилота по пилотажно-навигационной информации, определяемой формулой

$$\lambda = \sum_{i=1}^N T_{\phi,i} f_i + T_n \sum_{n=1}^K \bar{f}_n, \quad (1)$$

равен той минимальной части общей продолжительности выполнения пилотажной задачи или этапа полета, которую пилот должен затратить на контроль приборной видеоинформации для выполнения пилотажной задачи с заданным качеством пилотирования. Очевидно, что для существования теоретической возможности выполнения пилотажной задачи с заданным качеством пилотирования и контроля пилотом приборной видеоинформации значение  $\lambda$  должно быть заключено в пределах от 0 до 1, причем для реального полета превышение показателем  $\lambda$  значения 0,9 свидетельствует о предельно допустимой зрительной нагрузке пилота и об отсутствии у него какого-либо резерва

времени, например, для обзора внекабинного пространства, что допустимо только для непродолжительных пилотажных задач, выполняемых в течение 100-120 с [4]. Вследствие того, что значение показателя  $\lambda$  зависит от числа предъявляемых пилоту ПП и характеризует временные возможности пилота по обеспечению требуемого пилотажной задачей качества контроля потока приборной видеoinформации, показатель  $\lambda$  отражает допустимый количественный состав СОИ.

Для определения аналитического вида траекторно-вероятностного показателя используются следующие дополнительные обозначения. Пусть  $p_i$  и  $q_i$  – теоретически оптимальная и экспериментальная вероятности наблюдения пилотом  $i$ -го прибора;  $K_i$  – число ПП, визуализируемых  $i$ -м прибором;  $D_j$  – теоретически достигаемая при теоретически оптимальной структуре зрительной деятельности пилота дисперсия  $j$ -го ПП;  $E_j$  – экспериментальная дисперсия  $j$ -го ПП, тогда

$$\|p\| = \sqrt{\sum_{i=1}^K p_i^2}, \quad \|q\| = \sqrt{\sum_{i=1}^K q_i^2} \quad (2)$$

нормы векторов теоретически оптимальных и экспериментальных вероятностей наблюдения пилотом приборов. Значение траекторно-вероятностного показателя  $Q$  определяется формулой

$$Q = \frac{1}{\|p\| \cdot \|q\|} \sum_{i=1}^K p_i \cdot q_i \sqrt{\frac{K_i}{\sum_{j=1}^K \frac{E_j}{D_j}}} \quad (3)$$

Оценка СОИ по показателю  $Q$  происходит в результате сравнения близости вектора  $q = (q_1, \dots, q_k)$  экспериментальных вероятностей наблюдения пилотом приборов СОИ к вектору  $p = (p_1, \dots, p_k)$  теоретически оптимальных вероятностей наблюдения этих приборов и оценки точности выдерживания пилотом заданной траектории ВС. Математическая формализация этого сравнения проведена следующим образом. Согласно неравенству Коши-Буняковского [5]

$$0 \leq \frac{1}{\|p\| \cdot \|q\|} \sum_{i=1}^K p_i \cdot q_i \leq 1, \quad (4)$$

причем равенство единице достигается тогда и только тогда, когда вектор  $q$  экспериментальных вероятностей наблюдения пилотом приборов совпадает с вектором  $p$  теоретически оптимальных вероятностей ( $q_i = p_i$ ,  $i = 1, \dots, K$ ), то есть когда пилот теоретически оптимально распределяет свое зрительное внимание по приборам. Дополнительный множитель

$$c_j = \sqrt{\frac{K_i}{\sum_{j=1}^K \frac{E_j}{D_j}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{K_i} \sum_{j=1}^K \frac{E_j}{D_j}}} \quad (5)$$

введен в  $i$ -е слагаемое  $p_i q_i$  показателя  $Q$  для оценки качества пилотирования по ПП, визуализируемым  $i$ -м прибором. Его смысл заключается в том, что в подавляющем большинстве случаев при любом  $j$   $D_j < E_j$ , а неравенство  $D_j \geq E_j$  свидетельствует о том, что реальный полет проходил при более слабых атмосферных возмущениях, чем полет, математически смоделированный для нахождения теоретических дисперсий  $D_j$ . Поэтому величина  $E_j/D_j > 1$  является «относительной» дисперсией  $j$ -го ПП, которая характеризует точность пилотирования по  $j$ -му ПП в реальных полетах относительно эталонной точности, определяемой дисперсией  $D_j$ . При некоррелированных ПП дисперсия суммы их значений равна сумме дисперсий этих ПП, поэтому обратная к  $c_i$  величина

$$c_i^{-1} = \sqrt{\frac{1}{K_i} \sum_{j=1}^K \frac{E_j}{D_j}} \quad (6)$$

дает оценку суммарного относительного среднеквадратичного отклонения визуализируемых  $i$ -м прибором ПП, то есть оценку точности пилотирования по ПП  $i$ -го прибора в сравнении с эталонной точностью пилотирования, определяемой дисперсиями  $D_j$ ,  $j = 1, \dots, K_i$ . Очевидно, что при  $E_j/D_j > 1$   $c_i^{-1} \geq 1$ , поэтому  $0 < c_i < 1$ . Значение  $c_i$  приближается к 1 в том случае, когда дисперсии  $E_j$  при каждом  $j = 1, \dots, K_i$  приближаются к эталонным дисперсиям  $D_j$ , то есть когда точность пилотирования по каждому визуализированному на  $i$ -м приборе ПП приближается к эталонной точности. Таким образом, величина  $c_i$  отражается качеством пилотирования по ПП, визуализированным на  $i$ -м приборе. Следовательно,  $0 \leq Q \leq 1$ , причем близость значения показателя  $Q$  к единице указывает на то, что исследуемая СОИ обеспечивает не только близкое к теоретически оптимальному распределение зрительного внимания пилота по приборам, но и близкую к теоретически достижимой точность выдерживания траектории ВС.

Таким образом, с помощью вероятностно-траекторного показателя  $Q$  качество СОИ оценивается по совокупности качеств, входящих в СОИ приборов и по обеспечиваемому СОИ качеству пилотирования. Например, в процессе выполненного исследования получены для электронной СОИ самолета Ту-204 при заходе на посадку в директорном режиме  $Q = 0,97$ , а при заходе на посадку по приводным радиостанциям  $Q = 0,60$ , что объективно подтверждает значительное улучшение эксплуатационного качества СОИ при использовании индикации директорного режима. Структурный показатель  $QS$  качества СОИ оценивает СОИ по степени близости зрительного маршрута по приборам СОИ к теоретически оптимальному маршруту.

Пусть  $p_c = (p_{c,1}, \dots, p_{c,L})$ ,  $q_c = (q_{c,1}, \dots, q_{c,L})$  – векторы теоретически оптимальных и экспериментальных вероятностей основных двухприборных и трехприборных циклов в зрительном маршруте пилота. Структурный показатель определяется формулой

$$QS = \frac{1}{\|p_c\| \cdot \|q_c\|} \sum_{i=1}^L p_{c,i} q_{c,i} \quad (7)$$

Согласно неравенству Коши-Буняковского  $0 \leq QS \leq 1$ , причем  $QS = 1$  тогда и только тогда, когда  $p_{c,i} = q_{c,i}$  для всех  $i = 1, \dots, L$ , то есть когда пилот организует свой зрительный маршрут с циклами, вероятности которых совпадают с теоретически оптимальными вероятностями. Поэтому значение показателя  $QS$  является преимущественно оценкой компоновки СОИ.

## Вывод

Введенная система обобщенных числовых показателей качества СОИ позволяет не только объективно оценить качество СОИ в целом, но и установить по расхождению теоретически оптимальных вероятностей и экспериментальных вероятностей наблюдения пилотом приборов, какие приборы или узлы СОИ вызывают искажение теоретически оптимальной структуры зрительной деятельности пилота.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов И.Б. Закономерности распределения внимания пилота, определяемые аэродинамическими характеристиками и точностью пилотирования // Полет. - 2011. - № 9. - С. 26-31.
2. Столяров Н.А. Необходимые и достаточные условия полного восприятия приборной информации в процессе пилотирования / Авиационная эргономика и подготовка летного состава: труды ГосНИИ ГА. - М.: ГосНИИ ГА, 2010. - Вып. 241. - С. 3-8.
3. Шеридан Т.Б., Феррелл У.Р. Системы человек-машина. - М.: Машиностроение, 1980.
4. Кузнецов И.Б. Экспериментальные исследования зрительной деятельности пилота при пилотировании ВС с электронной системой отображения информации // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 172 (10). - С. 120-126.
5. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. - М.: Наука, 1968.



**ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF PILOT'S USAGE OF AIRCRAFT DATA DISPLAY SYSTEM****Kuznetsov I.B.**

Characteristics of data display system functional quality and criteria of pilot's visual loading assessment are formulated. The theory of pilot's attention distribution optimization and assessment of piloting accuracy on parameter of interaction with flight information during instrument flight is suggested.

**Key words:** pictorial element, visual attention distribution and changeover, flight parameters, data display system.

**Сведения об авторе**

**Кузнецов Игорь Борисович**, 1955 г.р., окончил ОЛАГА (1977), кандидат технических наук, заслуженный работник транспорта РФ, директор ФГУП "Учебно-тренировочный центр" г. Санкт-Петербурга, автор 22 научных работ, область научных интересов – летная эксплуатация ВС, исследование вопросов совершенствования пилотирования и подготовки летного состава.

УДК 629.735.45

## ПОСТРОЕНИЕ УПРОЩЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СВЕРХЛЕГКОГО ВЕРТОЛЕТА СООСНОЙ СХЕМЫ

В.В. ДУДНИК, В.О. ЧЕРАНОВСКИЙ

**Статья представлена доктором технических наук Никитиным И.В.**

Статья посвящена получению предварительных аппроксимирующих передаточных функций экспериментального сверхлегкого вертолета соосной схемы как объекта управления в каналах управления угловыми скоростями тангажа, крена и курса, а так же вертикальной скоростью на режимах висения и малой скорости.

**Ключевые слова:** вертолет соосной схемы, амплитудная фазовая частотная характеристика.

### Введение

Вертолет является сложным динамическим объектом с малым запасом устойчивости. Математическая модель пространственного движения должна учитывать особенности изменения аэродинамических характеристик несущего винта во всех рассматриваемых режимах полета. Оценить эти изменения с точки зрения построения системы управления можно получением предварительных аппроксимирующих передаточных функций вертолета в каналах управления угловыми скоростями тангажа, крена и курса, а также вертикальной скоростью для всей совокупности выбранных для рассмотрения режимов полета. Эти функции в дальнейшем могут быть использованы для построения системы автоматического управления или стабилизации объекта. Для решения данной задачи проведены 3 испытательных полета, в которых были исследованы режимы висения и малой скорости. Этого может быть достаточно для создания алгоритмов для начала испытаний системы автоматического управления вертолета. Уточнение алгоритмов и исследование всех возможных режимов рассматриваемого экспериментального вертолета соосной схемы является предметом дальнейшей работы.

В полетах исследовались:

- путевая устойчивость вертолета путем ступенчатых перемещений педалей на половину и полный диапазон в противоположные стороны на режиме висения;
- поперечная устойчивость вертолета путем ступенчатых поперечных перемещений ручки циклического управления;
- продольная устойчивость вертолета путем ступенчатых продольных перемещений ручки циклического управления;
- характеристики скороподъемности с различным положением ручки «шаг-газ» и «коррекция»;
- динамическая устойчивость вертолета во время полетов по кругу с разными скоростями.

### Система измерений

Система измерений состоит из измерительного блока (ИБ), совмещенного с бортовым регистратором полетной информации, дополнительного модуля, который использовался для проведения внешних измерений положений органов управления вертолета и потенциометров МУ615, установленных на механической проводке управления. Дополнительный модуль проводил измерения положения потенциометрических датчиков и передавал данные для записи в ИБ. Преобразование аналоговых сигналов потенциометрических датчиков производилось встроенным 12-разрядным

аналого-цифровым преобразователем (АЦП) дополнительного модуля. Потенциометрические датчики были установлены на следующих органах управления:

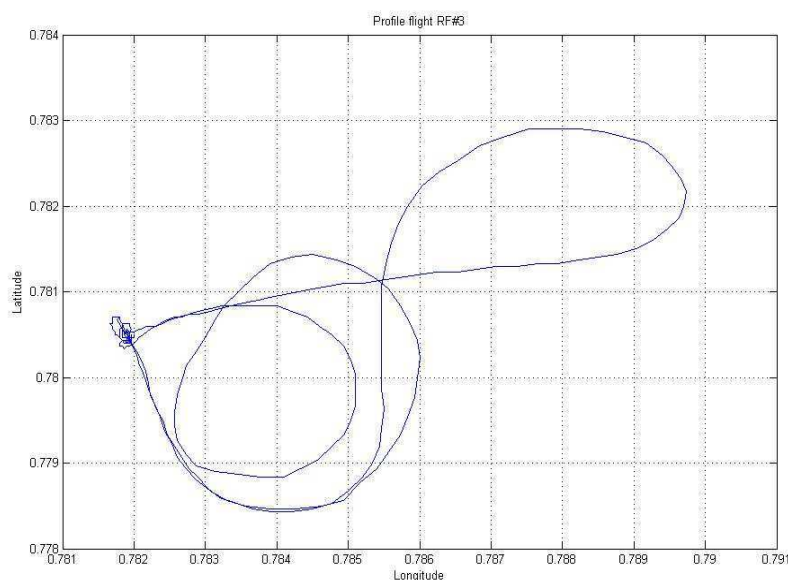
- продольное управление – канал тангажа (потенциометр №1);
- поперечное управление – канал крена (потенциометр №2);
- путевое управление – канал курса (потенциометр №0);
- управление силовой установкой (потенциометр №3);
- управление шагом (потенциометр №4).

Перед выполнением испытательных полетов была выполнена тарировка положения потенциометрических датчиков. Перемещение проводки управления измерялось в процентах полного хода непосредственно на тягах соответствующих каналов. Цифровые значения АЦП контролировались с помощью подключенного ПК. Тарировка производилась на прямом и обратном ходе перемещения органов управления. Пересчет данных АЦП в отклонение органов управления производился с помощью аппроксимирующих функций в виде полиномов 3 степени специализированным программным обеспечением.

Идентификация параметров управляемости вертолета во всех каналах определялась на основе экспериментальных данных об отклике вертолета на задающее тестовое воздействие с использованием стандартных процедур System Identification Toolbox. Сами методы решения задачи идентификации математической модели объекта управления во временной и частотной области в данной статье не рассматриваются, поскольку использовался готовый математический аппарат System Identification Toolbox.

### Канал продольного управления

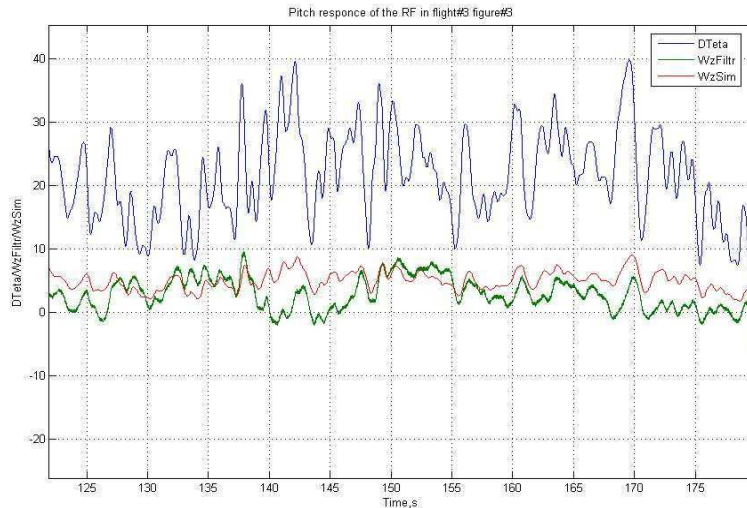
Анализ работы канала продольного управления выполнен на основе записей полета № 3. Испытания проводились в два этапа и состояли из полетов по окружности с изменением высоты и скорости (рис. 1).



**Рис. 1.** Маршрут испытательного полета вертолета № 3.

Приращения широты (Latitude) и долготы (Longitude) даны в десятичных долях градуса

Полет выполнялся при слабом ветре в 0,5-1м/с. Результат математического моделирования идентифицированной передаточной функции представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** Сравнительное моделирование измеренного (Wz Filtr, градус/с) и синтезированного сигналов угловой скорости тангажа (Wz Sim, градус/с), сигнал продольного управления задан в виде процента отклонения (DTeta, %)

Как видно из приведенных графиков, найденная в результате идентификации полетных данных передаточная функция, связывающая угловую скорость тангажа и положение органа управления тангажем, достаточно хорошо отображает реальный физический процесс управления вертолетом. Таким образом, полученная аппроксимирующая передаточная функция для частоты дискретизации 200 Гц

$$\Phi(z) = \frac{0,04483z - 0,04747}{z^2 - 1,467z + 0,4785}, \quad (1)$$

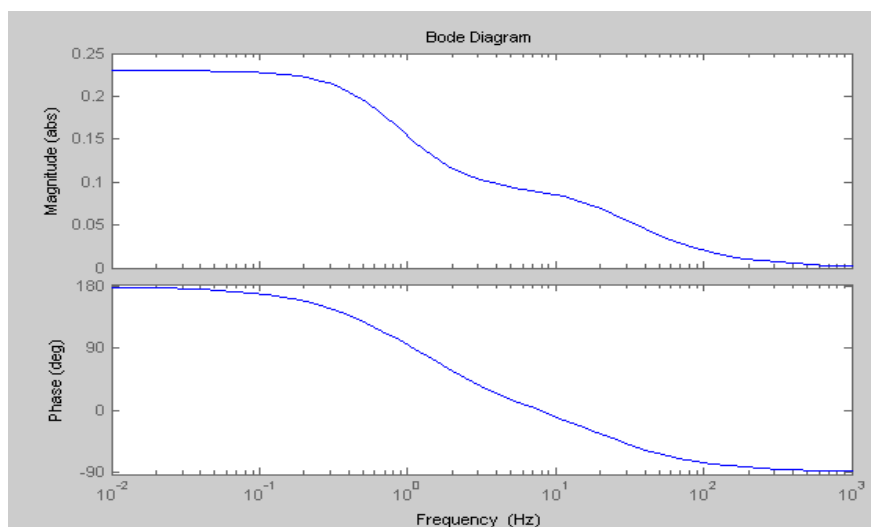
где  $z$  - переменная передаточной функции.

Для непрерывной системы аппроксимирующая передаточная функция будет иметь вид

$$\Phi(s) = \frac{-13,13s + 149,5}{s^2 + 147,4s + 651}, \quad (2)$$

где  $s$  - переменная преобразования по Лапласу.

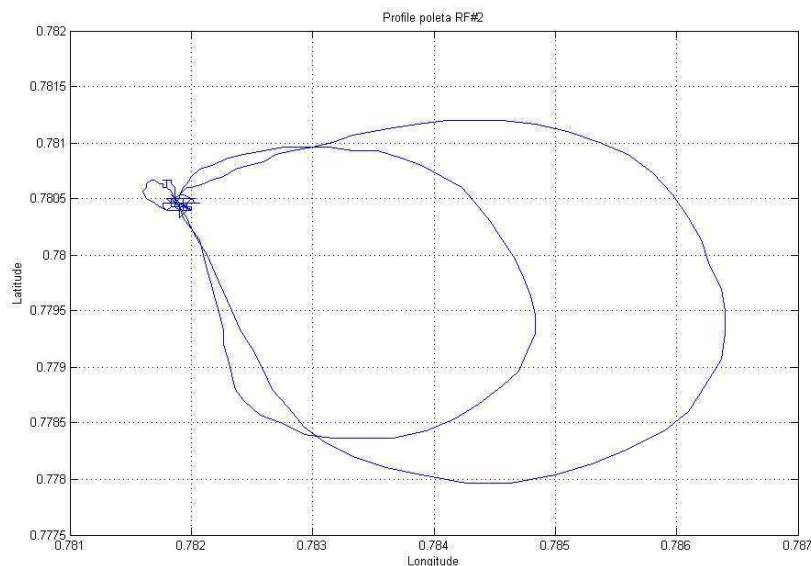
Амплитудные и фазовые частотные характеристики (АФЧХ) аппроксимирующей передаточной функции канала управления углом тангажа представлены на рис. 3.



**Рис. 3.** Амплитудная и фазовая частотные характеристики выбранной аппроксимирующей передаточной функции продольного управления вертолета

### Канал поперечного управления

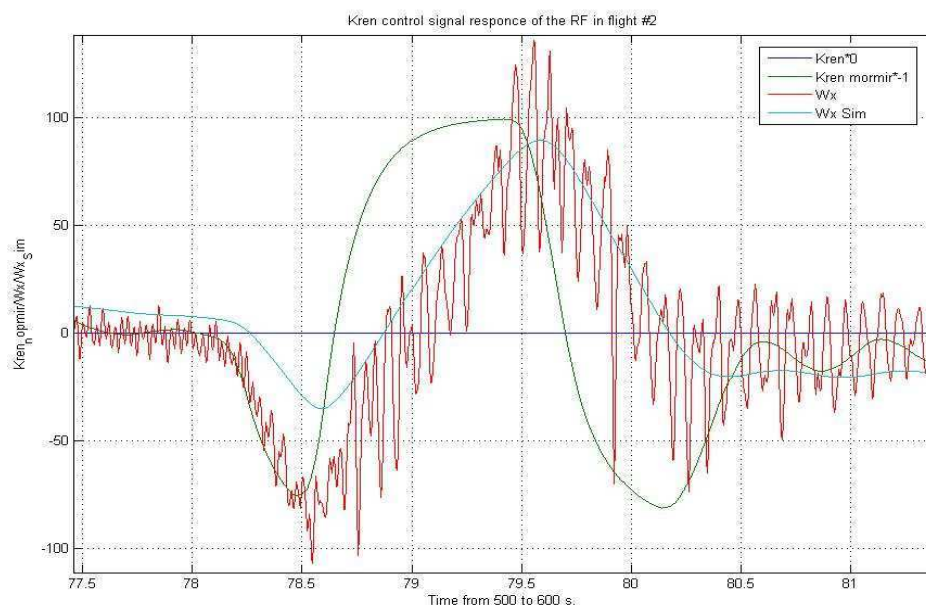
Анализ работы канала поперечного управления выполнен на основе полета № 2. Испытания проводились в два этапа и состояли из полетов на висении и движении по окружности с изменением высоты и скорости (рис. 4). Полет выполнялся также при слабом ветре в 0,5-1 м/с.



**Рис. 4.** Маршрут испытательного полета вертолета №2.

Приращения широты (Latitude) и долготы (Longitude) даны в десятичных долях градуса

После выполнения итерационной процедуры идентификации аппроксимирующей передаточной функции было проведено сравнительное моделирование реальной (записанной в полете) и моделированной угловой скорости крена в зависимости от положения органа управления (рис. 5).



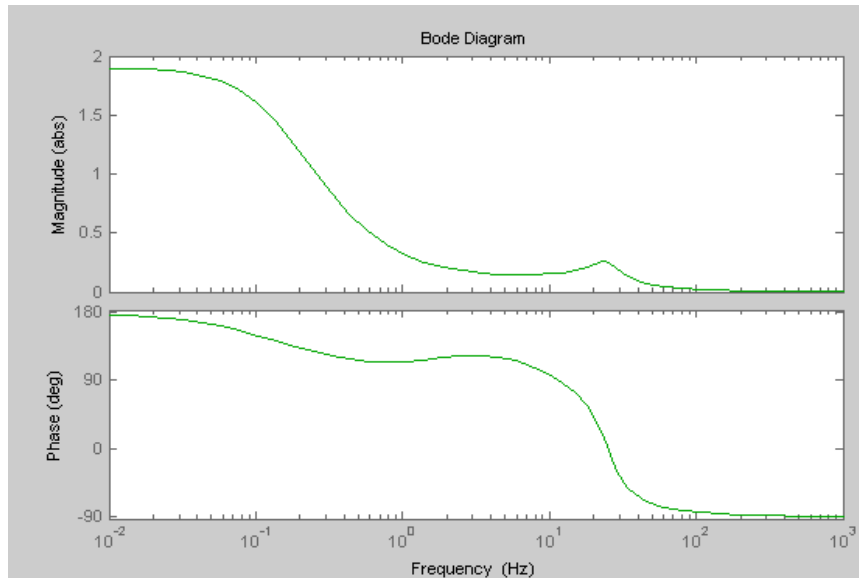
**Рис. 5.** Сравнительное моделирование измеренного ( $W_x$ , градус/с) и синтезированных сигналов угловой скорости крена ( $W_x$  Sim, градус/с), сигнал органа управления крена задан в виде процента его отклонения ( $Kren\ normir$ , %)

Заметная разница в моделировании скоростей правого и левого крена объясняется нелинейностью в механической проводке поперечного управления.

В качестве аппроксимирующей передаточной функции канала управления углом крена было принято следующее выражение

$$\hat{O}(s) = \frac{13,03s^3 + 1308s^2 - 2,17 \times 10^5 s - 3,274 \times 10^6}{s^4 + 157,2s^3 + 30520s^2 + 1,755 \times 10^6 s + 1,723 \times 10^6}. \quad (3)$$

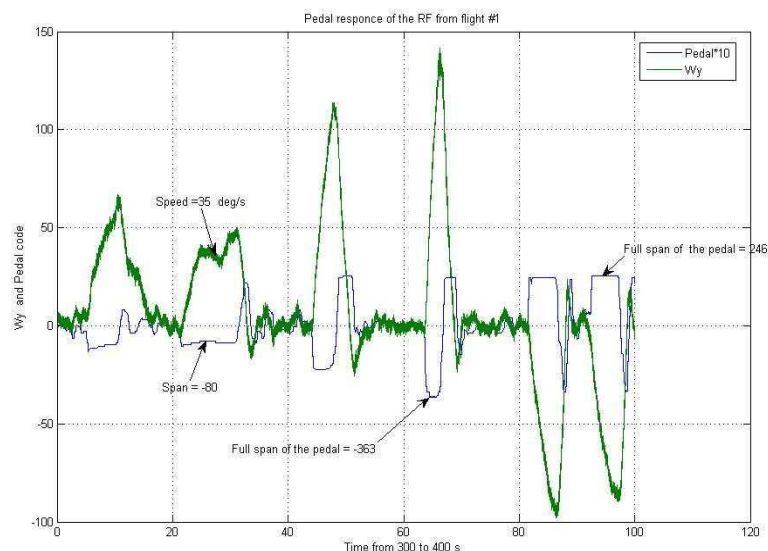
АФЧХ аппроксимирующей передаточной функции канала управления креном представлена на рис. 6.



**Рис. 6.** Амплитудная и фазовая частотные характеристики выбранной аппроксимирующей передаточной функции поперечного управления вертолета

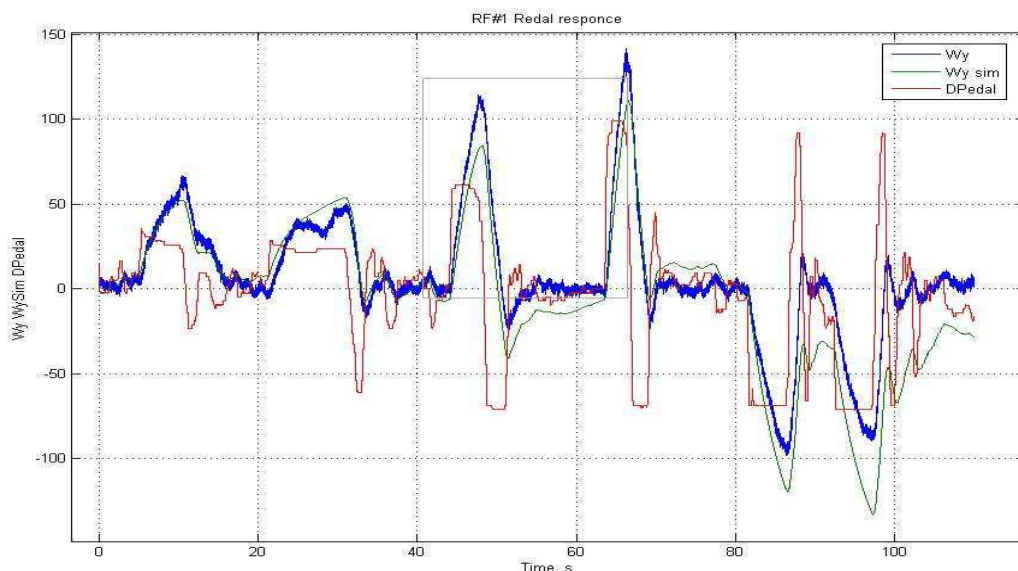
### Канал путевого управления

Анализ работы путевого канала управления выполнен на основе записей полета № 1. На рис. 7 показано отклонение педалей и угловая скорость разворота вертолета.



**Рис. 7.** Запись переходного процесса управления угловой скоростью курса ( $W_y$ , градус/с). Пилотом задавались перемещения педалями (Pedal, единицы кода АЦП\*10) на половину и на полный диапазон в разные стороны

После выполнения процедуры идентификации аппроксимирующей передаточной функции было проведено сравнительное математическое моделирование ее работы с записью переходного процесса управления курсом, представленное на рис. 8.

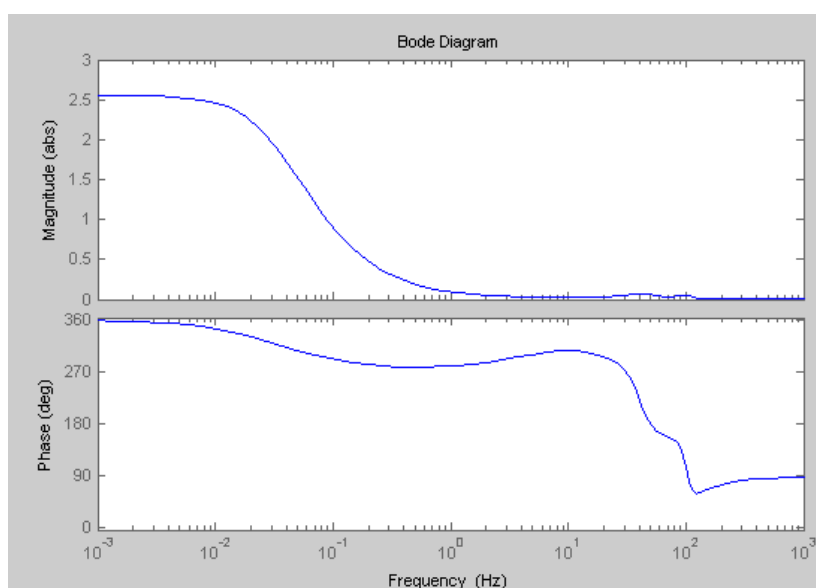


**Рис. 8.** Сравнительное моделирование измеренного ( $W_y$ , градус/с) и синтезированного сигналов угловой скорости курса ( $W_y$  Sim, градус/с), сигнал органа управления курсом задан в виде процента отклонения ( $D_{pedal}$ , %) по результатам полета №1

Как видно из показанных результатов, полученная переходная функция удовлетворительно моделирует работу канала управления углом курса вертолета. Полученная передаточная функция для непрерывной системы равна

$$\hat{O}(s) = \frac{-5,606s^4 - 2611s^3 - 2,248 \times 10^6 s^2 + 3,753 \times 10^8 s + 1,552 \times 10^{10}}{s^5 + 251,1s^4 + 4,8 \times 10^5 s^3 + 5,776 \times 10^7 s^2 + 2,61 \times 10^{10} s + 6,082 \times 10^9} \quad (4)$$

АФЧХ принятой передаточной функции представлена на рис. 9.



**Рис. 9.** Амплитудная и фазовая частотные характеристики аппроксимирующей передаточной функции путевого управления вертолета



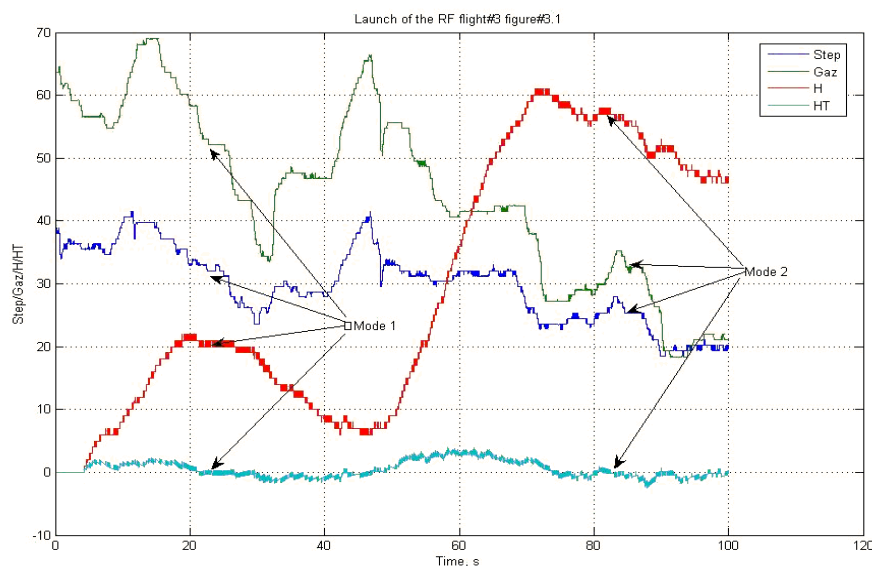
## Управление вертикальной скоростью

Исследование динамических характеристик вертолета при выполнении маневра набора высоты проводилось во время испытательных полетов путем выполнения набора высоты с различными градиентами перемещения рукоятки совмещенного управления «шаг-газ». Одновременно с помощью ручной подстройки частоты вращения силовой установки на совмещенной рукоятке управления «шаг-газ» пилот обеспечивал примерное постоянство частоты вращения несущего винта во время выполнения вертикального маневра.

В результате обработки записей телеметрии испытательных полетов было определено, что максимальная скорость набора высоты у земной поверхности равна 8 м/с.

К сожалению, получить удовлетворительную аппроксимирующую передаточную функцию для зависимости вертикальной скорости от положения органа управления «шаг-газ» по результатам выполненных 3-х летных экспериментов не удалось. Это было вызвано существенной неоднозначностью между вертикальными режимами перемещения вертолета и положением ручки «шаг-газ». По графикам, приведенным на рис. 10, видно, что режиму висения могут соответствовать разные положения органа управления «шаг-газ».

Существенная неоднозначность в исходных данных не дает возможности получить удовлетворительную сходимость математическим методам идентификации вертолета в канале вертикальной скорости. Построение математической модели требует дополнительных испытаний с проведением измерений величины частоты вращения несущего винта в режиме изменения высоты полета. Однако, летательному аппарату необходимо устройство стабилизации частоты вращения несущего винта, как это и делается на большинстве летательных аппаратов подобного класса в мире.



**Рис. 10.** Часть записи испытательного полета №3 с двумя горизонтальными площадками (mode 1, mode 2). Величина шага (Step) и газа (Gaz) заданы в % от полного расхода, барометрическая высота (H) в метрах, вертикальная скорость (HT) в м/с

## Заключение

В результате проделанной работы разработана линейная упрощенная математическая модель пространственного движения экспериментального сверхлегкого вертолета соосной схемы для режимов висения и малой скорости. Уточнение полученной математической модели и оценка ее адекватности будет производиться по мере накопления статистического материала о летных испытаниях.



Разработанная математическая модель может служить основой для структурного и параметрического синтеза алгоритмов автоматического управления короткопериодическим движением вертолета. Структурно-параметрический синтез канала стабилизации высоты полета требует повторения летного эксперимента с введением в состав бортового оборудования стабилизатора частоты вращения несущего винта.

## BUILDING OF SIMPLE MATHEMATICAL MODEL OF SPATIAL MOVING DYNAMICS OF ULTRA LIGHT COAXIAL HELICOPTER

Dudnik V.V., Cheranovskij V.O.

Article is devoted to receiving of advance approximation transmitting functions of ultra light coaxial helicopter as object of control in control channels of yaw, roll, pitch angles speed and also vertical speed during the hover and low speed flight.

**Key words:** the helicopter of the coaxial scheme, the peak phase frequency characteristic.

### Сведения об авторах

**Дудник Виталий Владимирович**, 1969 г.р., окончил ХАИ (1994), кандидат технических наук, начальник сектора организации и сопровождения НИОКР Донского государственного технического университета, автор 40 научных работ, область научных интересов – винтокрылые летательные аппараты, применение сверхлегких воздушных судов для решения различных задач.

**Черановский Валерий Олегович**, 1967 г.р., окончил ХАИ (1992), кандидат технических наук, начальник отдела НИИ ПФМ ХАИ, область научных интересов – беспилотные летательные аппараты, применение сверхлегких воздушных судов, автоматические системы управления летательных аппаратов.

УДК 629.797

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

В.В. НОВИКОВ, О.Ф. МАШОШИН

Рассмотрена проблема циклической нагрузки ВС. Отмечены опасные места распространения циклической нагрузки. Рассмотрены методы неразрушающего контроля. Были предложены решения проблем, связанных с выявлением нагружения конструкций ВС.

**Ключевые слова:** циклические нагрузки, методы неразрушающего контроля, усталостные повреждения.

На современном этапе развития гражданской авиации обеспечение надежности и увеличение ресурсов эксплуатируемой авиационной техники возможно только при условии применения совершенных методов контроля состояния наиболее напряженных конструкций в процессе технического обслуживания.

За период 2009 – 2010 гг. в РФ произошло множество особых ситуаций, в том числе аварийных и катастрофических (рис. 1).



**Рис. 1.** Общие данные о состоянии БП в ГА РФ по состоянию на 01.04.2010 г.

Расследования по особым ситуациям ведутся, но по предварительным данным в большей степени преобладает отказ и износ авиационной техники.

За последние годы, когда ресурсы большинства самолетов приближаются к предельным, объем работ по техническому обслуживанию и ремонту АТ существенно вырос. Без высокоэффективного контроля невозможно, например, принимать решение о достаточной работоспособности силовых элементов планера, скрытых обшивкой, а также множества других, ответственных за безопасность полетов, конструкций и элементов АТ.

Из всех видов контроля наиболее распространены методы неразрушающего контроля. Неразрушающий контроль также называется оценкой надёжности неразрушающими методами или проверкой без разрушения изделия, особенно важен при создании и эксплуатации жизненно важных изделий, компонентов и конструкций.

В процессе эксплуатации конструкция ВС испытывает переменные напряжения, к которым относятся следующие нагрузки:

- нагрузки, редко изменяющиеся в течение одного полета;
- нагрузки, многократно повторяющиеся во время взлета, полета, посадки;
- нагрузки, влияющие на фюзеляж, лопасти двигателя, узлы крепления двигателя, крыло и т.д.

При циклических нагрузках (напряжениях, циклически меняющихся во времени) происходит снижение прочности элементов конструкции ЛА, и после некоторого числа циклов может наступить разрушение. В большинстве случаев нарушение целостности происходит внезапно, что приводит к разрушению материала. Структура металла при этом не меняется. Процесс разрушения носит местный характер. Диагностируют разрушение по характеру излома и по особенностям старения.

Иногда в конструкции отмечается усталостное повреждение. Усталость материала — изменение механических и физических свойств материала, в результате действия циклически изменяющихся во времени напряжений и деформаций.

Этот процесс происходит от напряжения меняющимся циклически испытываемым материалом, например, от наибольшей величины до наименьшей, затем до наибольшей (рис. 2). Следовательно, происходящий процесс изменения величин называется циклом. Напряжение также может носить случайный характер. Этот процесс может привести к разрушению конструкции.

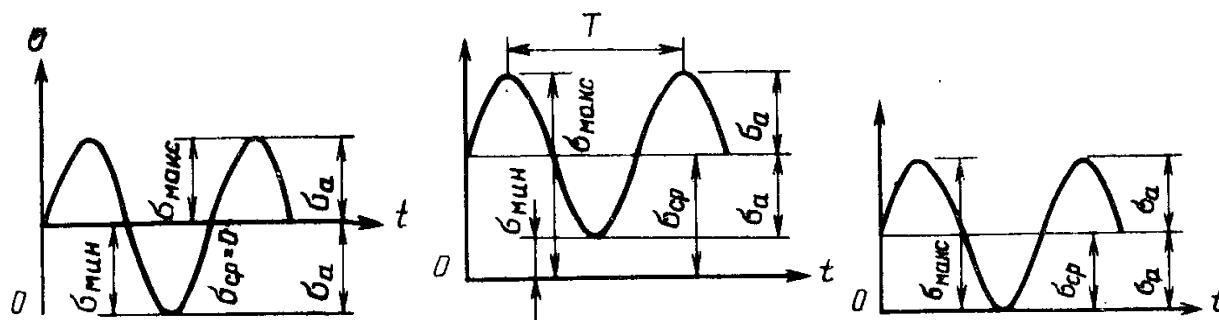


Рис. 2. Графики циклической нагрузки при различных циклах

То есть происходящую последовательность случайных процессов можно описать как накопление первичных повреждений, формирование микротрещин и слияние их в макротрещины, распространение трещин, статический долом. Каждый процесс определяется комплексом внешних нагрузок, повреждаемостью материала и характером изменения нагрузок во времени.

Для определения усталостного повреждения проводят усталостные испытания отдельных частей самолета. Определяют число циклов перемен знака нагрузки в процессе её вибрации с большой частотой. Проводят испытания образцов стали, подвергают растяжению и сжатию. Наиболее важной задачей при проведении таких испытаний является получение функциональной зависимости между силой и деформацией (рис. 3).

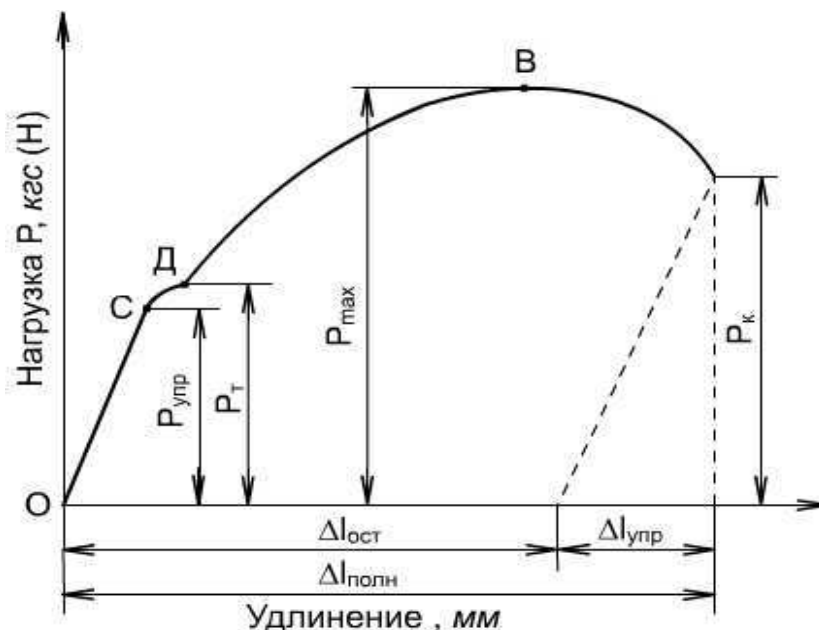


Рис. 3. Диаграмма растяжения стали

Кривая растяжения служит для определения основных характеристик прочности, характеризует поведение металла при деформировании от момента начала нагружения до разрушения образца. Исследование позволяет учитывать отставание деформации от напряжения во времени и глубже изучить процессы деформационного состояния.

Некоторые материалы при циклических нагрузках могут разрушиться без видимых остаточных деформаций. Установлено, что чем меньше напряжение, тем больше число циклов выдержит образец. Испытывая ряд одинаковых образцов при различном уровне напряжения, получается диаграмма зависимости напряжения от циклов [3] (рис. 4).

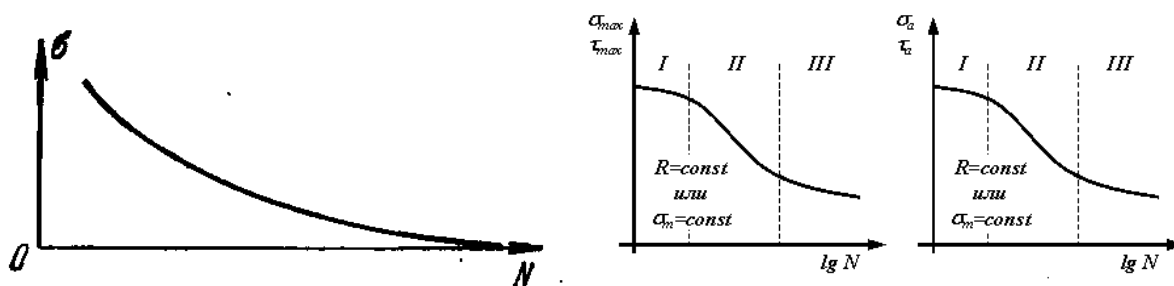


Рис. 4. Кривая Веллера

Участок I соответствует малоцикловой усталости, участки II, III – многоцикловой. Многоцикловую усталость характеризует уровень высоких напряжений, что предопределяет долговечность, низкая частота нагружения, наличие контролируемого параметра – размах нагружения или деформации. При малоцикловой усталости происходит интенсивное накопление пластической деформации. Деление на малоцикловую и многоцикловую усталость по частоте нагружения, уровню напряжений и долговечности весьма условно и должно подкрепляться характерными исследованиями.

Усталостное повреждение приводит к разрушению конструкции ВС, например, отдельных участков обшивки планера, заклепочных соединений и т.д. Большая часть этих разрушений связана с действием повреждающих механизмов при работе. Следовательно, необходимо проводить осмотр самолета во время эксплуатации, это длительный и трудоемкий процесс. К примеру, на фюзеляж самолета действуют значительные нагрузки, при его осмотре уделяют особое внимание не только силовым элементам конструкции, но и его поверхности. У фюзеляжа про-

веряется состояние обшивки: целостности лакокрасочного покрытия, наличия вмятин, трещин и ослабления заклепок. Проверяется состояние опор подвески валов трансмиссии, шпангоутов и стрингеров, исправность дверей кабины и створок грузовых люков и исправность их замков. По нормам прочности следует, чтобы прочность фюзеляжа была проверена в соответствии со всеми расчетными случаями (взлетными и посадочными), также со случаями нагружения оперения, крыла, силовой установки.

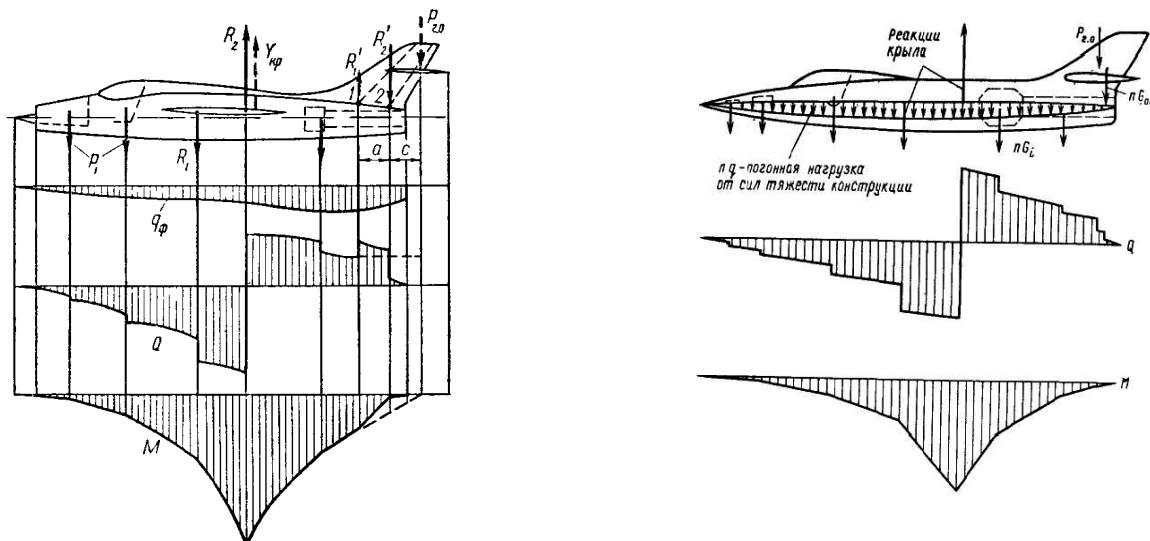


Рис. 5. Эпюры нагрузок на фюзеляж ВС

Как видно из рис. 5 расчетная схема фюзеляжа представляет собой балку, закрепленную на крыле, с консолями. Чтобы построить эпюры нагрузок для фюзеляжа, необходимо выявить внешние нагрузки, определив силы  $R_1, R_2, R'_1, R'_2$ , передающиеся на фюзеляж от прикрепленных к нему оперения и крыла, и уравновесив фюзеляж массовыми силами  $P$  и  $q$  от грузов и веса конструкции фюзеляжа [1].

При типовом полете пассажирского самолета фюзеляж наиболее нагружен во время взлета, набора высоты, крейсерского полета, снижения и посадки. В процессе эксплуатации на самолет измерительная аппаратура для выявления нагруженности не устанавливается, а сбор информации производится при помощи штатных бортовых магнитных регистраторов.

В данный момент времени существует достаточно много разнообразных методов неразрушающего контроля, которые в совокупности призваны обеспечить надлежащий уровень БП [6].

Визуальный метод контроля позволяет определить отказы на фюзеляже таких агрегатов, как верхние и нижние части обшивки, стыковочные узлы, швы, окантовка люков, на оперении – подшивка корневой части, узлы крепления стабилизатора и подвески рулей, подвергаются также элементы управления, консоли крыла и т.д. При помощи экспериментальных методов распознавания можно проверить правильность полученных расчетным путем решений и сделать окончательное заключение о фактических характеристиках и свойствах конструкции, но данный метод используется на этапе внедрения в эксплуатацию.

Существуют также и другие методы, такие как метод вихревых токов, который используется для выявления усталостных трещин в поверхностных слоях металлических деталей; для измерения толщины покрытий, нанесенных на металлическое основание; для определения толщины стенок листовых материалов; для обнаружения зон структурной неоднородности. Необходим доступ к контролируемым участкам поверхности, что при определенных обстоятельствах является недостатком данного метода [5].

Для оценки технического состояния элементов АТ, изготовленных из ферромагнитных материалов, широко применяют магнитный неразрушающий контроль, основанный на регистрации

магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами. Магнитопорошковый контроль позволяет обнаружить дефекты и на поверхности материалов, и расположенные на небольшой глубине. Этот метод используется для определения не только эксплуатационных дефектов (трещин, усталости, замедленного хрупкого разрушения, различных надрывов и т.д.), но и производственных – технических (заколочных и шлифовочных трещин, дефектов литья и штамповки). Существенным недостатком магнитопорошкового метода неразрушающего контроля является тот факт, что при увеличении толщины покрытий выявляемость дефектов резко ухудшается.

Существуют и другие методы неразрушающего контроля, которые обладают рядом недостатков. Объективный анализ методов приводит к целесообразности применения комплексных систем контроля, которые используют разные по физической природе методы исследования, что, в свою очередь, позволит исключить недостатки одного метода, дополнить методы и реализовать тем самым принцип "избыточности" для повышения надежности контроля систем и агрегатов.

Методы НК характеризуются различными значениями технико-экономических параметров: чувствительностью, условиями применения, типами контролируемых объектов и т.д. Для реализации различных методов НК разработаны всевозможные приборы: акустические, вихретоковые, ультразвуковые дефектоскопы; толщиномеры для обнаружения дефектов типа трещин, негерметичностей; электронное оборудование (для нахождения ослабления электрических контактов), механическое оборудование, имеющие разнообразные технико-экономические характеристики и технологии использования для различных типов дефектов и др.

Некорректное использование даже самого совершенного в техническом плане оборудования и того или иного метода может привести к постановке неправильного диагноза, что в свою очередь непосредственно отразится на безопасности полетов воздушных судов. Следовательно, необходимо разработать методику, которая позволит наилучшим образом понять объем контроля, проводимого на каждом этапе жизненного цикла самолета, оптимизации мест и параметров контроля, планирования технического обслуживания системы в целом.

Как известно, время осмотра конструкции ВС занимает значительно долгий промежуток времени. Возникает необходимость в разработке и установке преобразователей по определению мест на ВС, где область конструкции наиболее подвержена циклическим нагрузкам, применительно к новым методикам исследования, то есть в местах, подверженных наибольшему напряжению целесообразно размещать тензорезисторы (рис. 6).

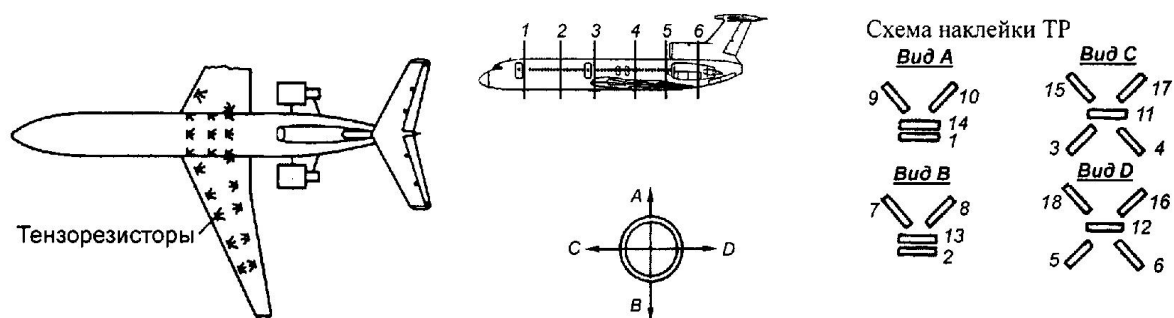


Рис. 6. Схема наклейки ТР на крыло и фюзеляж

Изучение выявления стойкости и влияния структурных изменений на стойкость применяемых материалов после воздействия циклических нагрузок является весьма актуальным.

Усталостное повреждение приводит к разрушению конструкции ВС, соответственно старение материалов и элементов конструкции – одна из основных проблем в условиях эксплуатации ВС за пределами назначенного ресурса. В условиях современных рыночных отношений данная проблема является весьма актуальной. Следовательно, поиск дополнительных методов определения, прогнозирования и установления разрушения материалов авиационной техники весьма перспективен.

Проводя анализ существующей на данный момент литературы по изучению влияния циклических нагрузок, методы, используемые в исследованиях ранее, являются несовершенными и обладают рядом недостатков. Таких как, например: трудно найти данные, непосредственно пригодные для расчета распространения усталостной трещины в условиях эксплуатации, данные для условий, немного отличающихся от условий эксплуатации; при анализе изменения нагрузки во времени важно знать величины минимальной и максимальной нагрузок или амплитуду ее изменения; одну и ту же последовательность импульсов можно описать по-разному и др.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин Г.А., Баканов Е.А. Основы авиации. - М.: Транспорт, 1984.
2. Гребеньков О.А. Конструкция самолетов: учеб. пособие для авиационных вузов. - М.: Машиностроение, 1984.
3. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. - М.: Наука, 1974.
4. Арепьев А.Н., Громов М.С., Шапкин В.С. Вопросы эксплуатационной живучести авиаконструкций. - М.: Воздушный транспорт, 2002.
5. Ямпольский Я.М., Белоконов Е.Н. Диагностирование авиационной техники. - М.: Транспорт, 1983.
6. Пивоваров В.А. Повреждаемость и диагностирование авиационных конструкций: учебник. - М.: Транспорт, 1993.

#### PREDICTION OF THE TECHNICAL STATE OF AIRCRAFT STRUCTURES WORKING UNDER CYCLIC LOADS

Novikov V.V., Mashoshin O.F.

The problem of cyclic loading of the aircraft. Noting the danger of proliferation of places of cyclic loading. The methods of nondestructive testing. Have been proposed solutions to the problems associated with the identification of loading the aircraft structure.

**Key words:** cyclic loadings, methods of nondestructive control, fatigue damages.

#### Сведения об авторах

**Новиков Владимир Вячеславович**, 1986 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), аспирант кафедры технической механики МГТУ ГА, специалист по маркетингу ОМИР МГТУ ГА, автор 3 научных работ, область научных интересов – эксплуатация авиационной техники.

**Машошин Олег Федорович**, 1966 г.р., окончил МИИГА (1989), доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической механики МГТУ ГА, автор более 60 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация и диагностика авиационной и космической техники, прочность и живучесть авиационных конструкций.

УДК 629.797.004

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ТРИБОДИАГНОСТИКИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЯ ПС-90А**

**М.И. ДАСКОВСКИЙ, О.Ф. МАШОШИН**

В статье проводится оценка эффективности комплексного применения различных методов трибодиагностики к двигателю ПС-90А при его эксплуатации.

**Ключевые слова:** двигатель, закон распределения концентраций Fe, диагностика.

Исследование состояния примесей в работавшем масле авиадвигателя является важнейшим методом раннего обнаружения процесса аномального износа в наиболее ответственных омываемых маслом узлах трения. Своевременное определение предотказного состояния дает возможность снять двигатель до наступления его неработоспособного состояния и предотвратить отключение двигателя в полете.

Большинство бюллетеней, регламентирующих указанный вид диагностики, разрабатывались в начале 70-х годов. В них регламентируется периодичность отбора масляных проб, и задаются предельные значения, при которых необходимо поставить двигатель на особый контроль, т.е. выполнять исследование масла после каждого полета либо снять двигатель с эксплуатации.

За прошедшие годы неоднократно менялись используемые в двигателях масла, росла степень очистки за счет применения новых поколений фильтров. При этом, как показывал опыт эксплуатации авиадвигателей, эффективность трибодиагностики резко снижалась.

Для оценки степени влияния величины ячейки масляного фильтра на эффективность диагностики авиадвигателей по концентрации продуктов изнашивания в работавшем масле было проведено сравнительное исследование данных концентраций металлов в масле двигателей ПС-90А, эксплуатирующихся в ОАО «Аэрофлот - российские авиалинии» в период использования 30 мкм фильтров и в период использования 15 мкм фильтров PALL. Исследования двигателей одного типа, эксплуатирующихся в одной авиакомпании, позволили убрать влияние таких факторов, как конструктивные отличия двигателей и особенности их эксплуатации.

Ниже приведена диаграмма распределений концентраций Fe (г/т) по результатам 3153 измерений в период с 01.01.2000 г. по 30.05.2001 г.

В указанный период 15 двигателей были сняты досрочно по причинам, связанным с состоянием узлов трения – срабатывание аварийного сигнализатора стружки в масле (СМ) и превышение предельной концентрации Fe в работавшем масле.

Недостаточная статистика не позволяет установить закон распределения концентраций Fe (г/т) в работавшем масле снятых двигателей, но среднее значение 3,26 г/т соответствует, для найденного закона распределения концентраций Fe (г/т) вероятности, стремящейся к 1.

Для определения закона распределения концентраций металлов в работавшем масле двигателей ПС-90А, на которых установлены 15 - микронные фильтры PALL, были исследованы 4999 проб масла с 01.01.2008 г.





**Рис. 1.** Распределение Fe в рабочем масле двигателя ПС-90А с фильтром 30 мкм

**Таблица 1**

Концентрации Fe в рабочем масле двигателей ПС-90А с фильтром 30 мкм, снятых по СМ и превышению концентраций Fe

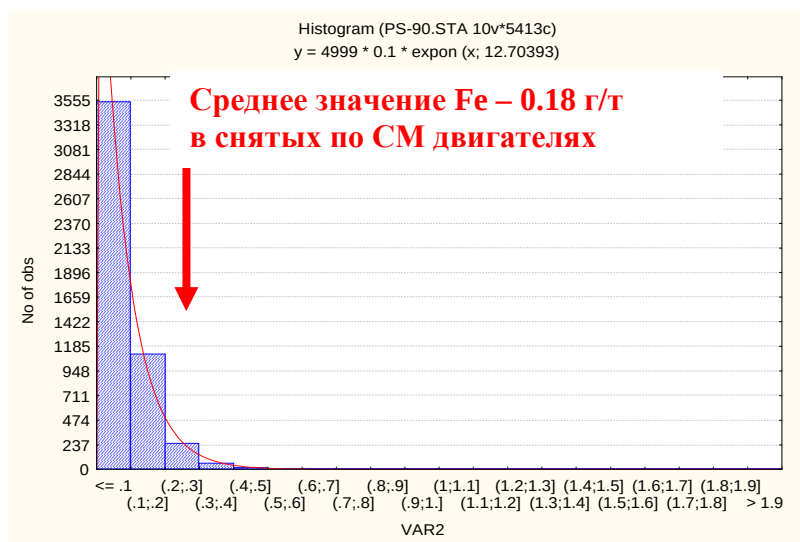
| № двигателя      | Дата измерения | Концентрация Fe, г/т |
|------------------|----------------|----------------------|
| 42-037           | 15-Feb-2000    | 0,47                 |
| 22-019           | 5-Jul-2000     | 10,94                |
| 23-016           | 24-Nov-2000    | 1,29                 |
| 22-011           | 2-Dec-2000     | 7,81                 |
| 22-014           | 11-Dec-2000    | 6,82                 |
| 23-016           | 17-Dec-2000    | 1,37                 |
| 40-039           | 1-Jan-2001     | 6,88                 |
| 29-005           | 2-Jan-2001     | 0,94                 |
| 49-023           | 22-Jan-2001    | 1,21                 |
| 40-040           | 2-Feb-2001     | 0,35                 |
| 41-057           | 14-Feb-2001    | 1,43                 |
| 32-032           | 6-Apr-2001     | 4,01                 |
| 30-020           | 19-Apr-2001    | 4,16                 |
| 29-005           | 17-May-2001    | 0,46                 |
| 11-013           | 29-May-2001    | 0,69                 |
| Среднее значение |                | 3,26                 |

Ниже приведена диаграмма распределений концентраций Fe (г/т) по результатам 4999 измерений в период с 01.01.2008 г. по 28.04.2009 г.

Среднее значение 0,18 ppm соответствует, для найденного закона распределения концентраций Fe (г/т) вероятности 0,898400.

Одним из путей решения данной задачи было внедрение бюллетеня № 94370 БЭ-Г для двигателей ПС-90А, ПС-90Ф-76 "Эксплуатационная проверка многоэлементного спектрального анализа проб масла при диагностике двигателей".

Указанный бюллетень регламентирует построение доверительных интервалов для широкого перечня легирующих металлов, используемых в сплавах авиадвигателя, что резко повысило диапазон исследуемых параметров и, как следствие, возможности диагностики.



**Рис. 2.** Распределение Fe в рабочем масле двигателя ПС-90А с фильтром 15 мкм

**Таблица 2**

Концентрации Fe в рабочем масле двигателей ПС-90А  
с фильтром 15 мкм снятых по СМ

| № двигателя      | Дата измерения | Концентрация Fe, г/т |
|------------------|----------------|----------------------|
| 22-012           | 5-Feb-2007     | 0,42                 |
| 13-001           | 13-Mar-2007    | 0                    |
| 32-031           | 14-Mar-2007    | 0,1                  |
| 41-059           | 6-Jul-2007     | 0,03                 |
| 40-040           | 20-Sep-2007    | 0                    |
| 32-031           | 4-Nov-2007     | 0,65                 |
| 21-026           | 16-Dec-2007    | 0,25                 |
| 31-046           | 1-Jan-2008     | 0,1                  |
| 40-027           | 22-Feb-2008    | 0,02                 |
| 42-041           | 22-May-2008    | 0,28                 |
| 11-007           | 24-Jun-2008    | 0,18                 |
| 12-001           | 22-Oct-2008    | 0,12                 |
| Среднее значение |                | 0,18                 |

В рамках работы по бюллетеню № 94370 БЭ-Г лабораторией диагностики ОАО "Аэрофлот - российские авиалинии" были проведены исследования порядка двух тысяч проб работавшего масла авиадвигателей ПС-90А на рентгеновском спектральном анализаторе Спектроскан МАКС-GV.

На основании полученных статистических данных были выявлены законы распределений и сформированы доверительные интервалы, как для концентраций легирующих металлов используемых сплавов, так и для материалов основы - Fe и Cu, в дополнение к бюллетеню № 94370 БЭ-Г.

В рамках проведения указанных работ лабораторией диагностики ОАО «Аэрофлот - российские авиалинии» 03.11.2007г. была исследована проба масла с двигателя № 32-031, установленного на самолете № 96007, СУ № 3. Результаты анализа показали, что ни одна из концентраций не превысила пороговых значений по бюллетеню № 94242 БЭ-Г:

- Fe – 1.5 г/т – особый контроль, 4 г/т – съем с эксплуатации;
- Cu – 1.5 г/т – особый контроль, 4 г/т – съем с эксплуатации.

Спектральный анализ: просмотр и редактирование измерений

Самолет №: 96007 СУ №: 3 Двигатель №: 32-031 Тип: ПС-90А Единицы измерения: г/т Закреть

Измерения

Описание: [Поиск] Сохранить Удалить Печать Обработка...

| № измерения:    | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9          | 10         |
|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Оператор:       | Дасковс... | Дасковс... | Дасковс... | Дасковс... | Дасковс... | Дасковс... | Дасковс... | Дасковс... | Дасковс... |
| Дата измерения: | 26.07.2007 | 30.07.2007 | 31.07.2007 | 03.08.2007 | 07.08.2007 | 18.10.2007 | 27.10.2007 | 31.10.2007 | 03.11.2007 |
| Железо (Fe):    | 0.11       | 0.10       | 0.05       | 0.05       | 0.06       | 0.12       | 0.03       | 0.04       | 0.80       |
| Медь (Cu):      | 1.63       | 0.42       | 0.13       | 0.57       | 0.62       | 0          | 0          | 0.34       | 0          |
| Титан (Ti):     | 0.02       | 0.03       | 0.02       | 0.02       | 0.01       | 0          | 0          | 0.01       | 0          |
| Никель (Ni):    | 0.16       | 0.09       | 0.05       | 0.09       | 0.07       | 0          | 0          | 0.06       | 0          |
| Серебро (Ag):   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Молибден (Mo):  | 0.44       | 0          | 0          | 0.10       | 0.09       | 0          | 0          | 0.16       | 0          |
| Олово (Sn):     | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Цинк (Zn):      | 0.27       | 0.14       | 0.06       | 0.14       | 0.10       | 0.64       | 0.63       | 0.69       | 0.62       |
| Кадмий (Cd):    | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Свинец (Pb):    | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Вольфрам (W):   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Хром (Cr):      | 0.06       | 0.02       | 0.02       | 0.04       | 0.03       | 0.02       | 0.01       | 0.02       | 0.17       |
| Алюминий (Al):  | 0          | 0.34       | 0.12       | 0.14       | 0.03       | 2.55       | 0          | 0          | 0          |
| Магний (Mg):    | 1.27       | 1.08       | 0.70       | 0.33       | 0.52       | 1.08       | 0.89       | 1.08       | 0.89       |
| Кремний (Si):   | 5.12       | 2.45       | 6.53       | 0.71       | 1.75       | 4.00       | 0.36       | 0.02       | 1.11       |
| Ванадий (V):    | 0.07       | 0.04       | 0.05       | 0.05       | 0.05       | 0.03       | 0.02       | 0.04       | 0.03       |
| Марганец (Mn):  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Кобальт (Co):   | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |
| Кальций (Ca):   | 3.24       | 2.98       | 2.02       | 2.29       | 2.72       | 5.50       | 1.55       | 1.99       | 1.95       |

☐ Все Печать: Удаление:

Рис. 3. Периодический анализ масла двигателя ПС-90А № 32-031

При этом исследование полученных концентраций в рамках выполнения бюллетеня № 94370 БЭ-Г выявило превышение концентрации Сг рассчитанных пороговых значений. Для расчета пороговых значений концентраций легирующих металлов лабораторией диагностики ОАО "Аэрофлот - российские авиалинии" использовано программное обеспечение «Износ», позволяющее автоматически формировать предписанные бюллетенем доверительные интервалы.

Ниже представлено рабочее окно программы с графиком изменения концентрации Сг и Fe в рабочем масле двигателя № 32-031, установленного на самолет № 96007, СУ-3.

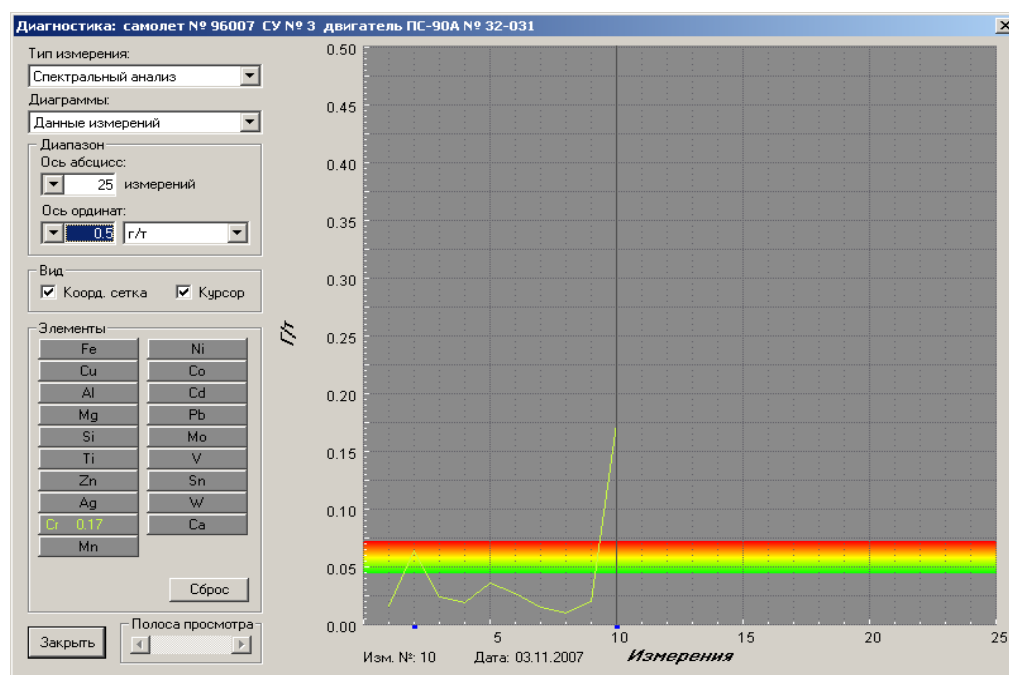
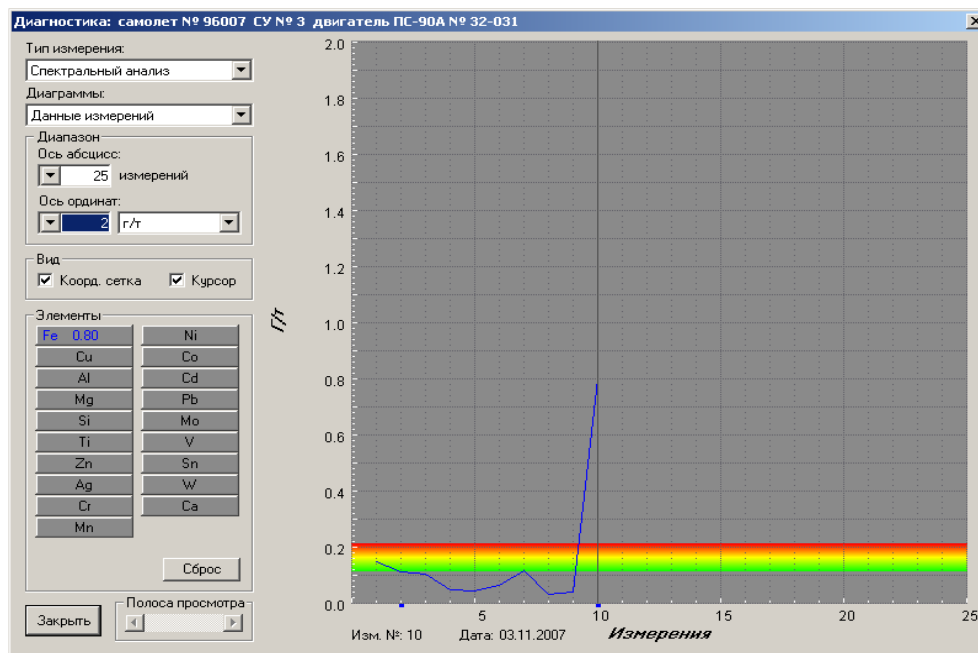
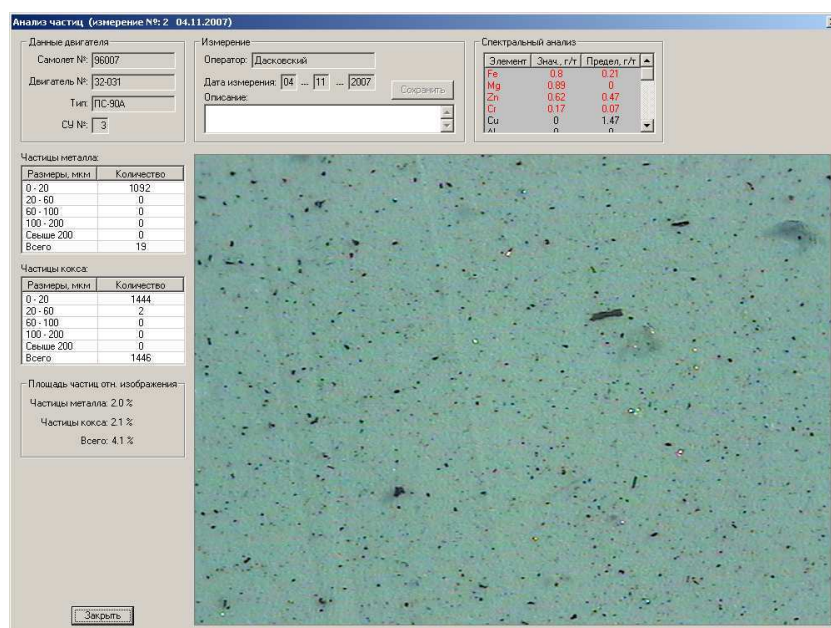


Рис. 4. График изменения концентрации Сг в рабочем масле двигателя № 32-031, установленного на самолете борт № 96007, СУ № 3



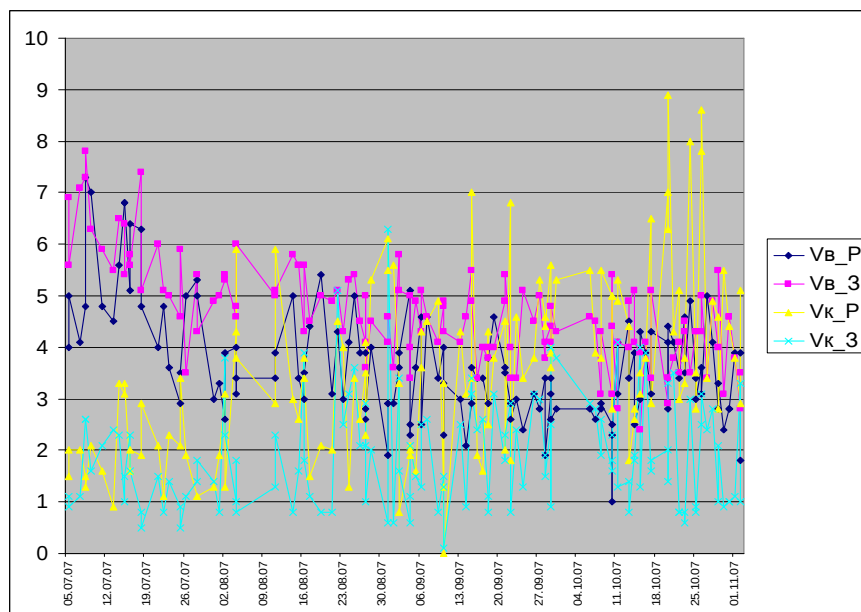
**Рис. 5.** График изменения концентрации Fe в рабочем масле двигателя № 32-031, установленного на самолете борт № 96007, СУ-3

Фильтрографический анализ выявил значительное высыпание частиц на мембране фильтроэлемента МФАС-М2. Ниже представлено рабочее окно программы «Износ» с фотографией поверхности фильтра.



**Рис. 6.** Фильтрографический анализ фильтроэлемента МФАС-М2 пробы масла с двигателя №32-031

Для локализации дефекта было проведено исследование вибрационных параметров. Исследование выявило скачок вибрации в районе корпуса разделительного  $V_{к.p.}$ . Ниже приведен график значений вибраций, зафиксированных средствами регистрации.

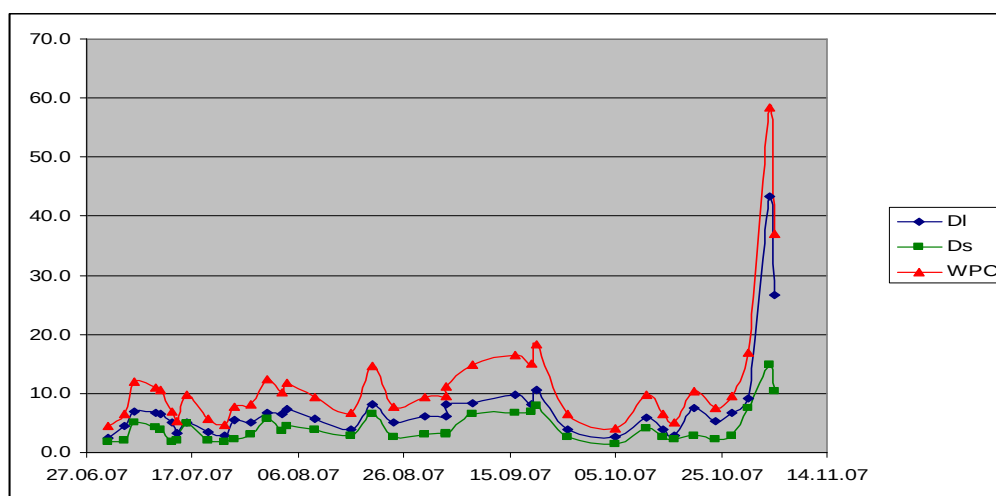


**Рис. 7.** График значений вибраций Vв\_Р, Vв\_З, Vк\_Р, Vк\_З, зафиксированных средствами регистрации

Феррографическое исследование проб масла на прямопоказывающем феррографе показало резкий скачок концентрации крупных частиц DI в двух последних пробах. Аналитический феррограф WPC проб масла от 03.11.07г. и 04.11.07г.

**Таблица 3**

| Дата     | Наработка | DI (концентрация больших частиц) | Ds (концентрация маленьких частиц) | WPC (содержание частиц в 1см3) | Состояние износа |
|----------|-----------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------|
| 20.10.07 | 2379      | 7.5                              | 2.9                                | 10.4                           | нормальный       |
| 24.10.07 | 2432      | 5.3                              | 2.2                                | 7.5                            | нормальный       |
| 27.10.07 | 2492      | 6.8                              | 2.8                                | 9.6                            | нормальный       |
| 30.10.07 | 2521      | 9.2                              | 7.6                                | 16.8                           | нормальный       |
| 03.11.07 | 2583      | 43.4                             | 14.9                               | 58.3                           | интенсивный      |
| 04.11.07 | 2583      | 26.6                             | 10.4                               | 37.0                           | интенсивный      |

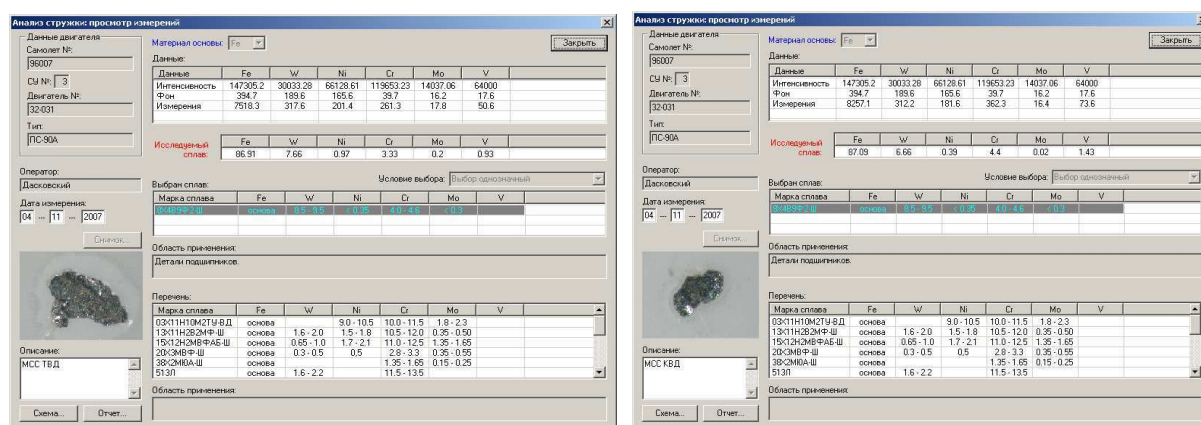


**Рис. 8.** Графики индекса износа, полученные при исследовании на прямопоказывающем феррографе проб масла с двигателя № 32-031, установленного на самолет 96007, СУ-3

Далее по срабатывании аварийного сигнализатора двигателя № 32-031 был произведен осмотр контрольных элементов двигателя:

- МП КП - магнитная чешуйчатая, более 100 шт., длиной до 3000 мкм;
- МСС ТВД - магнитная чешуйчатая, более 100 шт., длиной до 3000 мкм;
- МП пр - магнитная чешуйчатая, 3 шт., 1000x800 мкм; 4 шт., 800x700 мкм; 15 шт., 200x100 мкм;
- ФС БЦА, МСС КВД, МП Ств – замечаний нет.

Указанные контрольные элементы были доставлены в лабораторию диагностики для определения характера и марки материала обнаруженной стружки. Ниже приведены отчеты лаборатории, подготовленные по результатам исследования образцов стружки с данных контрольных элементов.

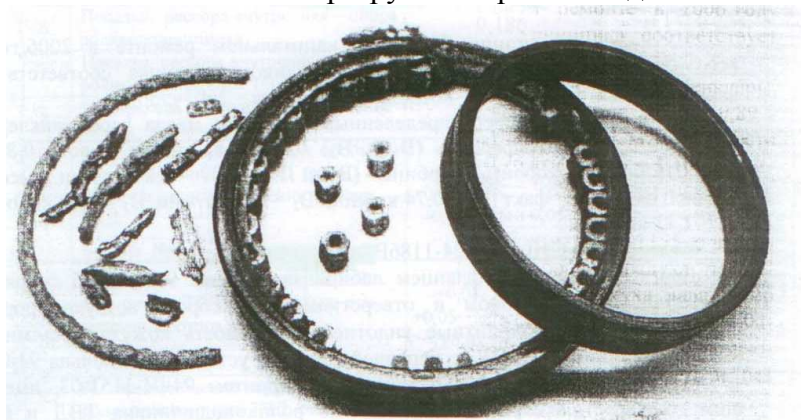


**Рис. 8.** Окна подпрограммы анализа марки материала при измерении чешуйчатой стружки с МСС ТВД и МСС КВД соответственно

Вся представленная в отчетах стружка чешуйчатая, с выраженными углами, по форме относится к стружке усталостного выкрашивания колец качения, либо роликовых тел качения подшипников. Сталь 8Х4В9Ф2-Ш – материал колец и тел качения подшипников основных опор.

По совокупности анализа количества, формы и материала обнаруженной стружки был сделан вывод о наличии интенсивного процесса усталостного выкрашивания колец качения, либо роликовых тел качения подшипников основных опор. Двигатель был досрочно снят с эксплуатации и направлен на разборку в организацию производитель.

При разборке двигателя было выявлено разрушение роликоподшипника ТВД.



**Рис. 9.** Вид разрушения роликоподшипника ТВД, представленный в отчете после дефектации двигателя №32-031



По совокупности исследованных при анализе данного случая методов можно сделать вывод о том, что хотя феррографический и спектральный методы анализа масла и дали объективную оценку характера протекания процесса в момент развития аномального износа подшипника, они не выполнили своей главной задачи – раннего прогнозирования отказа объекта. В рассматриваемом случае это может быть связано с особенностью процесса усталостного выкрашивания подшипников основных опор.

В данном процессе существуют две фазы интенсивного выделения частиц износа в масляную систему. Первая фаза – вскрытие усталостных трещин, характеризуется выделением значительного объема мелких частиц износа. При циркуляции масла с периодичностью 30 секунд частицы выводятся из масляной системы и остаются только на фильтрах и контрольных элементах. Периодичность отбора проб в 50 часов не позволяет эффективно отследить процесс на ранних стадиях его развития, т.к. к моменту отбора пробы частицы будут уже выведены из масляной системы.

Указанная проблема не относится к фильтрам и контрольным элементам авиадвигателя, которые сохраняют на себе все частицы, осевшие на них из масляной системы. Таким образом, можно сделать вывод о снижении эффективности диагностики авиадвигателей ПС-90А только на основании анализа содержания продуктов изнашивания в работавшем масле.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бюллетень № 94370 БЭ-Г Эксплуатационная проверка многоэлементного спектрального анализа проб масла. - М., 2005.
2. Степанов В.А. Диагностика технического состояния узлов трения газотурбинных двигателей по параметрам продуктов износа в масле. - М.: ЦИАМ, 2002.
3. Дасковский М.И. Оценка влияния размеров ячеек фильтров на эффективность трибодиагностики // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта. - 2008. - № 127.

## THE EFFICIENCY OF THE COMPLEX APPLICATION OF THE VARIOUS METHODICS OF TRIBODIAGNOSTICS AT ENGINE EXPLOITATION

Daskovskiy M.I., Mashoshin O.F.

This article provides the valuation of the efficiency of the complex methodics of tribodiagnostics applying to the engine PS-90A during its exploitation.

**Key words:** engine, the law of distribution concentration Fe, diagnostics.

## Сведения об авторах

**Дасковский Михаил Исаевич**, 1985 г.р., окончил МИЭМ (2007), начальник сектора трибодиагностики ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», автор 6 научных работ, область научных интересов - диагностика авиационных ГТД.

**Машошин Олег Федорович**, 1966 г.р., окончил МИИГА (1989), доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической механики МГТУ ГА, автор более 60 научных работ, область научных интересов - техническая эксплуатация и диагностика авиационной и космической техники, прочность и живучесть авиационных конструкций.

УДК 681.518.54:629.73

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ В ПРОЦЕССЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ (АТ)**

**Д.А. СОКОЛОВ**

**Статья представлена доктором технических наук, профессором Машошиным О.Ф.**

В статье рассматривается использование перспективного метода диагностирования планера воздушных судов (ВС), изготовленного из композитных материалов. Приведены основные принципы использования сканирующей зондовой микроскопии и сущность процесса.

**Ключевые слова:** композитные материалы, зондовая микроскопия, контактная атомно-силовая микроскопия.

На сегодняшний день имеется целый ряд достижений в области создания наноматериалов и изделий на их основе. Повысить характеристики материалов позволяют разработанные технологии введения в состав полимерных композитов углеродных наночастиц. Интеллектуальные материалы – будущее новой техники, в том числе и для первичных преобразователей неразрушающего контроля (НК). Они обладают функциями самоадаптации, позволяют конструкции в ходе эксплуатации саморазгружаться при чрезмерном нагружении и в нештатных ситуациях производить контроль за возникновением и развитием повреждений в конструкциях из композиционных материалов за счет встроенных сенсоров, являющихся армирующими элементами композита [1].

Развитие систем нанодиагностики включает разработку новых сенсоров, датчиков и преобразователей на основе нанотехнологий и наноматериалов, разработку самих приборов и систем нанодиагностики, их метрологическое обеспечение, а также подготовку и сертификацию персонала. Наиболее востребованным методом может стать сканирующая зондовая микроскопия.

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ), объединяющая широкий спектр современных методов исследования поверхности материалов, насчитывает более двадцати лет своей истории - с момента создания Биннигом и Рорером сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). За прошедшие годы применение зондовой микроскопии позволило достичь уникальных научных результатов в различных областях физики, химии и биологии. Наиболее яркими демонстрациями возможностей этого экспериментального направления при исследовании поверхностей твердых тел могут служить результаты прямой визуализации поверхностной реконструкции, манипуляция отдельными атомами для записи информации с рекордной плотностью, исследование локального влияния поверхностных дефектов на зонную структуру образца и пр.

### **Основные принципы сканирующей зондовой микроскопии**

Общей чертой всех сканирующих зондовых микроскопов является наличие микроскопического зонда, который приводится в контакт (не всегда речь идет о механическом контакте) с исследуемой поверхностью и в процессе сканирования перемещается по некоторому участку поверхности заданного размера.

Контакт зонда и образца подразумевает их взаимодействие. Это взаимодействие носит сложный характер. Чтобы осуществлять исследование с помощью конкретного прибора, из широкого спектра выбирается какое-либо одно рабочее взаимодействие. Природа этого выбранного взаимодействия и определяет принадлежность прибора к тому или иному типу в рамках семейства зондовых микроскопов. Информация о сплошности поверхности извлекается путем



фиксации (при помощи системы обратной связи) или детектирования взаимодействия зонда и образца.

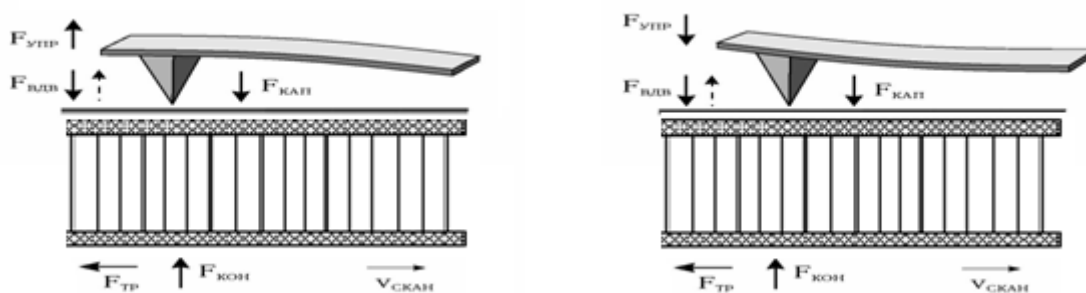
Миниатюрные размеры зонда и высокая чувствительность детектирующей системы зондовых микроскопов позволяет достигать нано- и субнанометрового пространственного разрешения при детектировании поверхностных свойств (разрешающая способность прибора, как правило, тем выше, чем более короткодействующий характер имеет взаимодействие зонда и образца).

### Общие принципы работы сканирующего зондового микроскопа

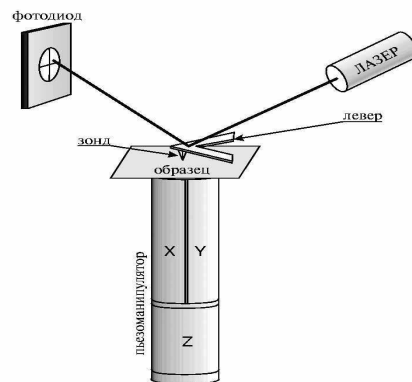
Процесс сканирования осуществляется при помощи пьезокерамического манипулятора (или системы манипуляторов). Зонд движется последовательно, строка за строкой, вдоль поверхности. Для оцифровки данных участок сканирования разбивается на  $N$  строк, а каждая строка на  $M$  точек, таким образом, положение иглы в плоскости  $XY$  описывается двумя координатами  $X_i, Y_j$  из множества  $\{X_i, Y_j\}$   $N \times M$  точек (обычно выбирают  $N=M$ ). Результатом работы сканирующего зондового микроскопа является установление соответствия между каждой парой координат из множества  $\{X_i, Y_j\}$  и некоторым числовым значением (или рядом значений), характеризующим анализируемый параметр поверхности (или ряд параметров).

### Контактная атомно-силовая микроскопия

Деление АСМ по способу измерения и фиксации силового взаимодействия зонда и образца позволяет выделить два основных случая: контактную атомно-силовую микроскопию и АСМ прерывистого контакта. Для измерения величины силового взаимодействия в контактном режиме используется следующая схема, включающая в качестве миниатюрного динамометра упругую консоль (называемую леввером или кантилевом), имеющую на свободном конце зонд (другой конец леввера заделан в держателе). При сканировании баланс сил взаимодействия зонда и образца приводит к изгибу леввера (т.е. сумма всех сил уравнивается упругой силой изогнутого леввера (рис. 1); величина изгиба детектируется прецизионным датчиком. В большинстве атомно-силовых микроскопов для этого используют оптические датчики, реализованные по следующей схеме: луч лазерного диода падает под углом на поверхность леввера и отражается в центр четырехсекционного фотодиода (рис. 2). При изгибе леввера в нормальном направлении или при его кручении возникает разница в сигналах соответствующих участков фотодиода: верхние сегменты/нижние сегменты или правые сегменты/левые сегменты. Первый сигнал несет информацию о балансе сил притяжения и отталкивания, а второй - о латеральных силах взаимодействия зонда и образца (рис. 3).

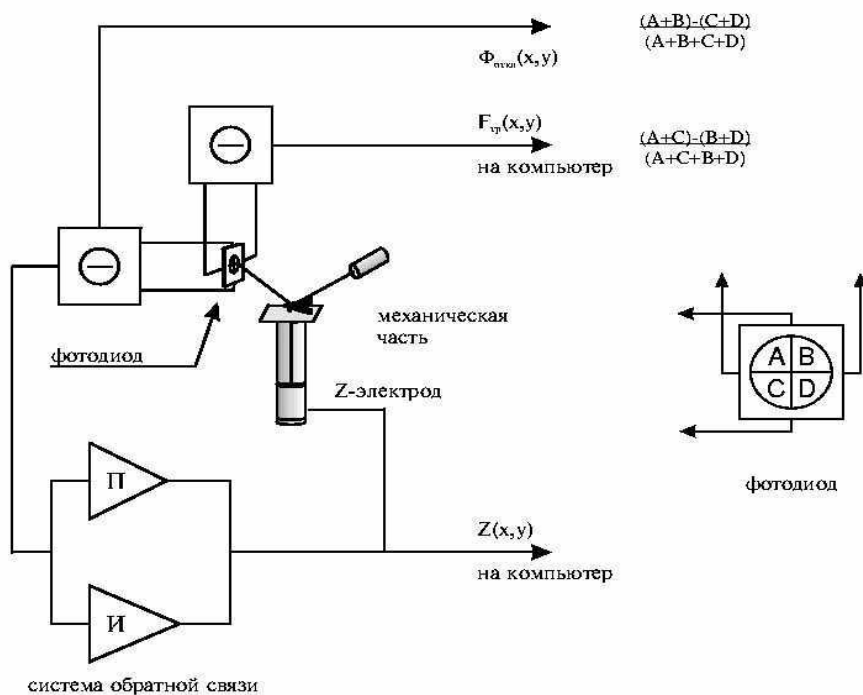


**Рис. 1.** Обобщенная геометрия зонда атомно-силового микроскопа и баланс силового взаимодействия зонда и образца; указаны силы, действующие на зонд: дисперсионные  $F_{вдв}$ , капиллярные  $F_{кап}$ , силы трения  $F_{тр}$ , упругие силы, обусловленные прямым или обратным изгибом кантилевера  $F_{упр}$ , а также контактными деформациями образца  $F_{кон}$



**Рис. 2.** Основные узлы механической части атомно-силового микроскопа

На рис. 2 изображены: полупроводниковый лазерный диод, упругая консоль (кантилевер) с зондом на свободном конце, четырехсегментный фотодиод, пьезокерамическая трубка (манипулятор относительных перемещений зонда и образца, осуществляемых под управлением сигналов на X, Y и Z-электродах).



**Рис. 3.** Основные элементы атомно-силового микроскопа

На рис. 3 изображены: пропорциональное и интегральное звенья системы обратной связи, управляющей напряжением на Z-электроре, механическая часть микроскопа, четыре сегмента детектирующего фотодиода; показаны сигналы, направляемые для построения АСМ-изображений на компьютер (в режиме контактной АСМ): сигнал отклонений  $\Phi_{откл}(X, Y)$ , сил трения  $F_{тр}(X, Y)$  и топографический сигнал  $Z|_{F=\text{const}}(X, Y)$ .

## Заключение

Заменяя алюминий и другие металлы при производстве деталей АТ на высокоэффективные композиты низкой плотности, создатели АТ надеются снизить массу своих самолетов, что может привести к сокращению платы за топливо для эксплуатантов (авиакомпаний), которые постоянно сталкиваются с ростом конкуренции и беспрецедентным повышением топливных затрат.

Примерно 15% от структурной массы современного гражданского самолета в наши дни составляют пластиковые композиты, преимущественно изготовленные из углеродной пластмассы, армированной волокном. В запускаемом в настоящее время в производство новом поколении самолетов будет использовано до 50% конструкционных композитов. Согласно исследованию использования пластмассовых композитов в авиационно-космической промышленности, которое подготовило EADS Deutschland GmbH (European Aeronautic Defense and Space Co), детали самолетов, изготовленные из композитов, на 15-20% легче, чем аналогичные детали, изготовленные из алюминия. Экономия на эксплуатационных расходах за счет уменьшения массы самолетов оценивается суммой от 100 до 1000 евро (в зависимости от области применения) на килограмм сэкономленной массы. Такая экономия образуется за счет более низких затрат на топливо и меньшей потребности в материально-техническом обслуживании (в т.ч. за счет внедрения и использования современных методов диагностирования ВС), которое при использовании металлов возникает из-за их усталости и коррозии. Считаю, что использование метода СЗМ в процессе диагностирования элементов планера резко снизит трудозатраты при проведении планового технического обслуживания (ТО), уменьшит время простоя ВС, повысит культуру производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Интервью В. Ключева** // Авиапанорама. - 2008. - № 5.
2. **Binnig G. and Rohrer H.** Scanning tunneling microscopy // Helv. Phys. Acta. - 1982. - V. 55. - Pp. 726-735.
3. **Бинниг Г., Рорер Г.** Сканирующая туннельная микроскопия - от рождения к юности // УФН. -1988. - Т. 154. - № 2. - С. 261-277.

## PERSPECTIVES OF USING SCANNING PROBE MICROSCOPY IN THE DIAGNOSIS AIRFRAME

**Sokolov D.A**

The article discusses the use of a promising method diagnosis glider aircraft, fabricated from composite materials. The basic principles for the use and nature of the process.

**Key words:** Composites materials, probes microscopy, probe microscope, contact nuclear power of microscopy.

## Сведения об авторе

**Соколов Дмитрий Анатольевич**, 1985 г.р., окончил МГТУ ГА (2007), аспирант МГТУ ГА, автор 3 научных работ, область научных интересов - техническая эксплуатация и диагностика авиационной и космической техники.

УДК 629.7.085

## ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ ВОЗДУШНОГО СУДНА К РЕЙСУ НА ПРИМЕРЕ РАБОТЫ ДЕПАРТАМЕНТА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Д.Е. ЧУМАЧЕНКО

**Статья представлена доктором юридических наук, профессором Елисеевым Б.П.**

В статье описана технология работы диспетчера по организации обслуживания ВС на перроне при подготовке к рейсу, а также изложен алгоритм действий работы службы ДУПД в кризисных ситуациях.

**Ключевые слова:** коммерческое обслуживание, воздушные суда, кризисная ситуация.

Основой коммерческого обслуживания ВС на перроне является выполнение технологических графиков подготовки ВС по вылету и прилёту с выполнением требований по обеспечению безопасности полётов, а также максимальным использованием коммерческих объёмов ВС. Весь порядок очередности выполнения технологических операций под бортом воздушного судна, а также очередность подъездов спецтехники определяет диспетчер по подготовке ВС к вылету, исходя из конкретных условий. Его указания являются обязательными для выполнения работниками оперативных смен комплексного наземного обеспечения перевозок и смежных служб. Он организует, управляет, контролирует и принимает необходимые меры для выполнения технологического графика подготовки ВС к вылету.

При заступлении на смену диспетчер по организации обслуживания ВС на перроне (ДООП):

- знакомится с суточным графиком вылетов-прилётов, стоянками ВС;
- получает задание на обслуживание рейсов и информацию по каждому рейсу от начальника смены;
- уточняет характер и количество коммерческой загрузки.

### Обслуживание ВС по вылету

При обслуживании ВС по вылету диспетчер по организации обеспечения ВС на перроне обязан:

- убедиться в своевременной подаче ВС под телетрапп или определённую стоянку;
- получить у диспетчера центровки (ДЦ) схему загрузки самолёта и проконсультироваться у него по порядку и особенностям организации загрузки багажников, а также мерам по предупреждению опрокидывания самолёта на хвост на стоянке;
- по прибытии коммерческой загрузки проверить наличие документов на груз, почту, багаж и сверить на соответствие с рейсом;
- обеспечить закрепление в грузовых отсеках багажа, груза и почты. *Запрещается выпускать в полёт самолёты с незакреплёнными грузами, почтой и багажом;*
- организовать, управлять и контролировать выполнение операций технологического графика всеми службами и подразделениями.

Помимо всего сказанного ранее при коммерческом обслуживании транзитного рейса необходимо снять с борта документы и убедиться в том, что снятые багаж, груз или почта действительно следуют до этого аэропорта. При загрузке грузовых отсеков расстановку багажа, грузов и почты необходимо производить с учётом очередности их выгрузки в промежуточных портах.

Обслуживание рейса по вылету считается законченным после начала буксировки самолёта.

## Обслуживание ВС по прилёту

После заруливания ВС на место стоянки ДООП организует в соответствии с технологическим графиком подачу средств механизации для высадки пассажиров, получает перевозочную документацию и организует разгрузку багажно-грузовых отсеков ВС. В первую очередь разгружается багаж пассажиров. *Весь порядок очерёдности операций при организации коммерческого обслуживания ВС по прилёту, а также очерёдность подъезда спецтехники к ВС определяет ДООП исходя из конкретных условий.*

После окончания коммерческого и технического обслуживания по прилёту и вылету ДООП сдаёт заполненный «Лист учёта работ» инженеру по организации управления производством для передачи в отдел учёта услуг. ДООП фиксирует замечания по обслуживанию ВС по прилёту и вылету в «Журнале учёта рейсов». Для рейсов иностранных авиакомпаний ДООП заполняет «Карточку учёта дополнительных услуг» со своими замечаниями по обслуживанию и причине задержки рейса, если это имело место. ДООП заполняет отчёт о рейсе по вылету и прилёту.

Таким образом, выше была описана технология работы диспетчера по организации обслуживания ВС на перроне (ДООП) в обычном режиме работы аэропорта. Тем не менее, в кризисных ситуациях каждый сотрудник должен знать своё место и действовать по строгому алгоритму, так как для спасения жизни и здоровья людей времени на обдумывание каких-либо действий может не хватить.

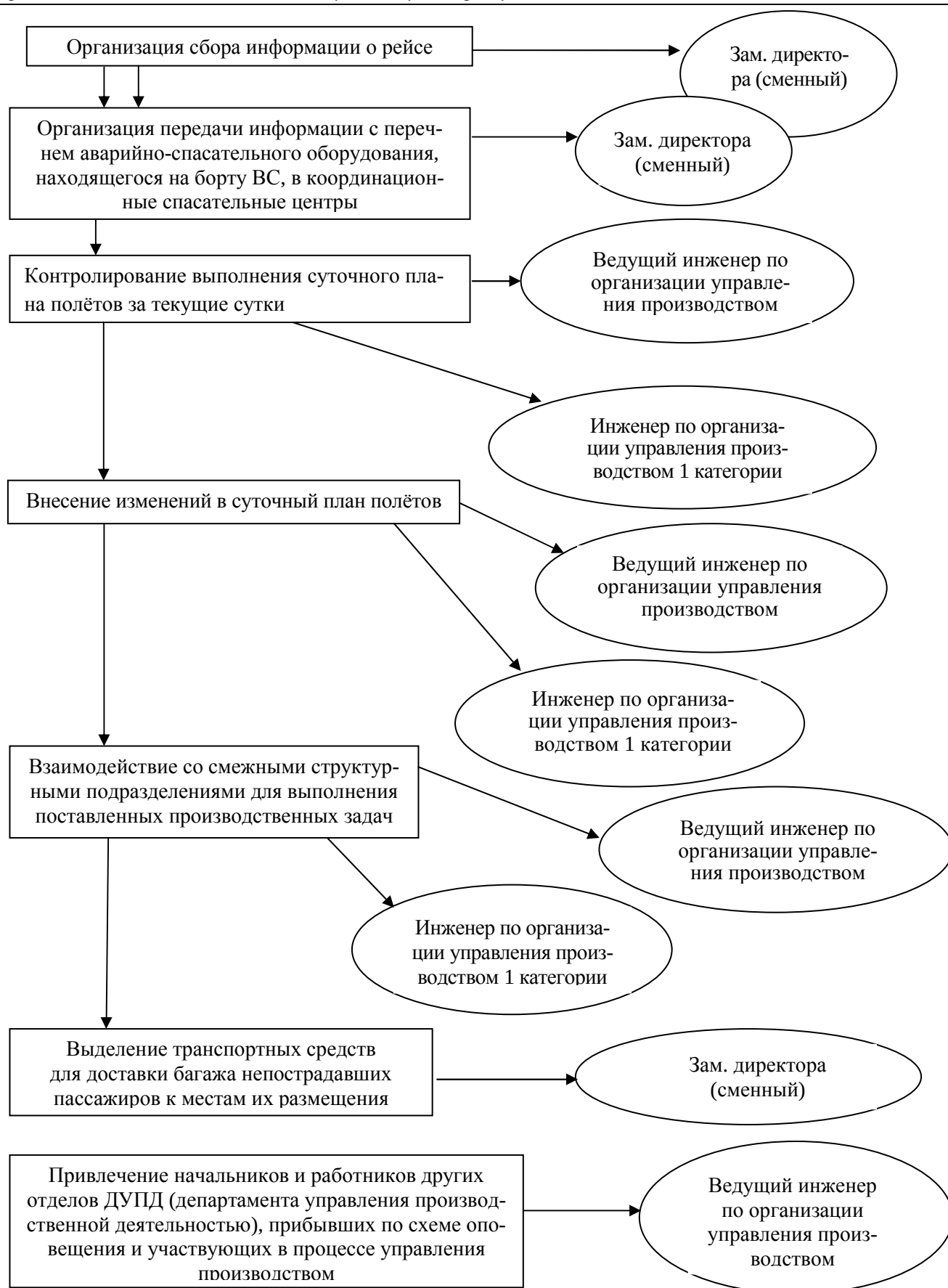
Для начала хотелось бы дать определение кризисной ситуации.

**Кризисная ситуация** – событие, которое коренным образом меняет обычный порядок работы на критический, характеризующийся дефицитом времени, необходимостью принятия ответственных решений, недостатком сил и средств для осуществления действенных в данный момент ответных мер с целью исключения угрозы жизни людей, повреждения материальных средств и техники или ликвидации таких последствий.

Далее на рис. 1 представлена схема пошаговых действий департамента управления производственной деятельностью в кризисных ситуациях с ответственными за каждый шаг сотрудниками.



**Рис. 1.** Схема пошаговых действий департамента управления производственной деятельностью в кризисных ситуациях



**Рис. 1.** Схема пошаговых действий департамента управления производственной деятельностью в кризисных ситуациях (продолжение)

Итак, подведём итог. Безопасность полётов по коммерческому обеспечению рейсов – способность службы организации перевозок осуществлять коммерческое обеспечение рейсов без угрозы создания аварийной ситуации в полёте. Безопасность полётов по коммерческому обеспечению рейсов определяется массой коммерческой загрузки, её размещением и креплением на самолёте, а также отсутствием запрещённых к перевозке вещей и предметов. Способность ДУПД достигать безопасности полётов по коммерческому обеспечению рейсов закладывается организацией службы, уровнем профессиональной подготовки, дисциплиной и ответственностью должностных лиц, совершенством руководящих документов, контролем за качеством работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Должностная инструкция ДООП.
2. Руководство пошаговых действий структурных подразделений в кризисных ситуациях.

#### PRACTICAL ASPECTS OF PREPARING AIRCRAFTS FOR FLIGHT AS AN EXAMPLE OF THE MANAGEMENT DEPARTMENT OF PRODUCTION ACTIVITY

**Chumachenko D.E.**

This article describes the technology of the station manager by preparing aircrafts for flight, and also set out an algorithm of station manager actions in a crisis situations.

**Key words:** commercial service, aircrafts, crisis situation.

#### Сведения об авторе

**Чумаченко Дмитрий Евгеньевич**, 1988 г.р., окончил МГТУ ГА (2010), аспирант кафедры безопасности полётов МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – безопасность полётов при ТОиР в гражданской авиации.

УДК 656.7.052

## **"РУЛЕНИЕ" – ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ (УВД)**

**Э.П. ГАГЛОЕВ****Статья представлена доктором технических наук, профессором Нечаевым Е.Е.**

В статье рассматривается проблема организации деятельности по движению воздушных судов на площади маневрирования. Обсуждается проблема медицинского освидетельствования персонала. Дается сравнительная характеристика вредных факторов воздействия, способствующих возникновению профессиональной болезни. Автор указывает на недостатки документов, регулирующих медицинское обеспечение полетов.

**Ключевые слова:** площадь маневрирования, руление, вышка, медицинское заключение, вредный фактор.

### **Введение**

В соответствии со ст. 213 ТК РФ лица, занятые на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, работающие в организациях пищевой промышленности, общественного питания, водопроводных сооружений, лечебно-профилактических учреждений, а также на работах, связанных с движением транспорта, проходят обязательные медицинские осмотры (обследования) для определения профессиональной пригодности этих работников для выполнения поручаемой работы и предупреждения профессиональных заболеваний [1].

В настоящее время в РФ деятельность по медицинскому обеспечению полетов регулируют два документа, имеющих статус Федеральных авиационных правил: «Медицинское освидетельствование летного, диспетчерского состава, бортпроводников, курсантов и кандидатов, поступающих в учебные заведения гражданской авиации» (ФАП МО ГА-2002) приказ Минтранса России от 22.04.2002 года № 50 с изменениями и дополнениями в 2003 и 2004 годах и «Сертификация юридических лиц, осуществляющих медицинское освидетельствование авиационного персонала» (приказ ФСБТ России от 24.11.1999 года № 115).

### **1. Исходные данные**

*На основании вышеуказанных документов обязательному медицинскому освидетельствованию подлежат специалисты, осуществляющие управление движением воздушных судов (ВС) в воздухе, остальные диспетчеры проходят ежегодную диспансеризацию в медучреждениях. По результатам медицинского освидетельствования выдается «Медицинское заключение», являющееся неотъемлемой частью свидетельства диспетчера УВД. Диспетчерам УВД выдается «Медицинское заключение диспетчера УВД», действительное в течение 24 месяцев. Диспетчерский состав без «Медицинского заключения» или с истекшим сроком его действия к выполнению профессиональных обязанностей не допускается. При нарушениях здоровья, возникших до истечения срока действия «Медицинского заключения», препятствующих выполнению профессиональных обязанностей, обладатели «Медицинского заключения» должны обратиться за медицинской помощью в лечебно-профилактическое учреждение гражданской авиации или органов здравоохранения. Медицинское освидетельствование диспетчерского состава с целью получения или возобновления «Медицинского заключения» проводят ВЛЭК ГА, имеющие лицензии на право проведения освидетельствования. Вопрос возможности возобновления решает авиационный врач авиапредприятия или врач-эксперт ВЛЭК по соответствующей специальности.*



## 2. Задачи медицинского освидетельствования

Медицинское освидетельствование персонала УВД осуществляется с целью:

- определения годности по состоянию здоровья к управлению воздушным движением;
- выявления ранних форм заболеваний, факторов риска и функциональных отклонений в состоянии здоровья с целью назначения оздоровительных мероприятий.

Диспетчерский состав УВД должен соответствовать «Требованиям к состоянию здоровья». При вынесении экспертного заключения по статьям «Требований по состоянию здоровья», предусматривающим индивидуальную оценку, диспетчер может быть признан годным, негодным или нуждающимся в лечении (оздоровлении) с последующим освидетельствованием. При этом учитываются выраженность заболевания, степень компенсации, обратимость патологического процесса, возможность прогрессирования заболевания при продолжении работы и влияния заболевания на безопасность полетов, индивидуальные психофизические особенности, характер выполняемой работы.

## 3. Особенности деятельности диспетчера по рулению

Управление воздушным движением осуществляется в воздушном пространстве и на площади маневрирования аэропорта.

На площади маневрирования УВД осуществляют диспетчерские пункты «РУЛЕНИЕ» и «СТАРТ». Диспетчерский состав диспетчерского пункта «СТАРТ» проходит ВЛЭК согласно указанным приказам. На работников диспетчерского пункта «РУЛЕНИЕ» это требование не распространяется, в связи с чем персонал по рулению ВЛЭК не проходит. Конечным результатом такого различия между требованиями к персоналу диспетчерских пунктов «СТАРТ» и «РУЛЕНИЕ» является плохое качество оказанных услуг диспетчерским составом «РУЛЕНИЕ». В аэропортах со слабой интенсивностью движения эти диспетчерские пункты объединяются в один аэродромный командно-диспетчерский пункт (АКДП) «ВЫШКА». Диспетчерский состав при этом проходит ВЛЭК и тем самым решаются проблемы, но в аэропортах с высокой интенсивностью полетов, где диспетчер по рулению осуществляет деятельность только по указанному направлению, проблема остается в силе.

Деятельность диспетчера по управлению движением на площади маневрирования является сложной, характеризуется скоротечностью процессов и невозможностью их остановки, ограничена возможностями человека. Достижение эффективности деятельности диспетчера по рулению возможно лишь при обеспечении высокого уровня безопасности, регулярности и экономичности полетов. Наиболее остро проблема обеспечения существующих критериев качества деятельности по рулению возникает в ситуациях, связанных с проявлением ограничений, присущих человеку как биологическому виду. В последние годы исследователи проблем безопасности полетов неразрывно связывают понятие факторов опасности с понятием «человеческий фактор». Снижение негативного влияния человеческого фактора на деятельность диспетчера по рулению возможно за счет подбора диспетчерского состава, определения психологических особенностей личности и состояния здоровья.

Диспетчер по рулению в современных крупных аэропортах одновременно является оператором АС УВД – субъектом труда. В процессе деятельности он одновременно осуществляет контроль и управление движением ВС на площади маневрирования, а также осуществляет операции по вводу необходимой информации в информационную систему АС УВД. При этом диспетчер по рулению находится под непрерывным воздействием следующих факторов напряженности труда (вредных факторов, способствующих возникновению профессиональной болезни).

#### 4. Факторы напряженности труда диспетчера по рулению

В основном диспетчер по рулению при выполнении своих служебных обязанностей испытывает факторы напряженности труда [2]. К факторам напряженности трудового процесса диспетчера по рулению относятся:

- *Интеллектуальные нагрузки:*
  - содержание работы - указывает степень сложности УВД на площади маневрирования;
  - восприятие сигналов (доклады экипажей) и их оценка;
  - распределение функций по степени сложности УВД;
  - характер УВД – в том случае, когда УВД осуществляется в особых случаях, уровень напряженности труда диспетчера по рулению.
- *Сенсорные нагрузки:*
  - длительность сосредоточения наблюдения;
  - плотность сигналов (световых, звуковых) – количество воспринимаемых докладов и передаваемых команд (коэффициент загрузки диспетчера по рулению);
  - число производственных объектов одновременного наблюдения (количество ВС, одновременно находящихся на управлении диспетчера по рулению), связанное с неизбежно возрастающей напряженностью труда;
  - размер и качество отображаемой информации на РЛС, расстояние до объекта при длительном сосредоточении наблюдения;
  - наблюдение за экраном при буквенном отображении информации и графическом отображении;
  - нагрузка на слуховой анализатор (необходимость восприятия речи, получаемой из различных источников связи);
  - нагрузка на голосовой аппарат (суммарное количество часов за неделю).
- *Эмоциональные нагрузки:*
  - степень ответственности за результат (выполнение производственного плана с соблюдением условий безопасности движения ВС на площади маневрирования), значимость ошибки;
  - степень ответственности за безопасность других лиц отражают факторы эмоционального значения.
- *Монотонность нагрузок:*
  - число операций, необходимых для реализации простого задания или многократно повторяющихся операций;
  - продолжительность выполнения простых производственных заданий или повторяющихся операций;
  - время активных действий в % к продолжительности смены. В остальное время – наблюдение за ходом производственного процесса;
  - монотонность производственной обстановки.
- *Режим работы:*
  - фактическая продолжительность рабочего дня (до 12 часов);
  - сменность работы;
  - наличие регламентирующих перерывов и их продолжительность.

#### 5. Стресс на рабочем месте диспетчера по рулению

Факторы напряженности трудового процесса диспетчера по рулению определяют неизбежность стресса на работе. *Стресс – состояние напряжения, возникшее у человека под влиянием сильных воздействий.* Стресс выступает не только как острая медицинская проблема, но и проблема социальная. Применяемые на производстве технологии и средства УВД так изменяют условия труда, что диспетчер неизбежно попадает в стрессогенные ситуации.

Хронический производственный стресс – это особое функциональное состояние организма человека, которое характеризуется гиперактивизацией или угнетением регуляторных механизмов физиологических систем организма, развитием состояния напряжения или утомления, а также пе-

ренапряжения и переутомления. При хроническом и остром стрессе изменения со стороны сердечно-сосудистой системы указывают на преобладание симпатической регуляции над парасимпатической - в центральном и периферическом отделах этой системы. Наблюдаются повышенные уровни артериального давления, что соответствует состоянию пограничной артериальной гипертензии. Одновременно повышается уровень адреналина и норадреналина. Развивается состояние перенапряжения или предболезни [2]. Способность организма диспетчера по рулению функционировать и сохранять постоянство внутренней среды в разных стрессовых ситуациях основана в значительной степени на стабильности и динамизме его физиологических функций или возможностей.

## 6. Заключение

Факторы напряженности труда и условия работы диспетчерского состава, выполняющего функции управления на площади маневрирования, одинаковы.

Диспетчерский состав пункта «РУЛЕНИЕ» выполняет свои функции в более сложных условиях, сопровождающихся постоянными стрессогенными ситуациями.

Актуальность проблемы эффективности деятельности диспетчера по рулению, характеризующей его способность безошибочно действовать в сложных условиях, подтверждается опытом функционирования аэропортов Московского аэроузла, а также данными ИКАО.

## Выводы

*В целях совершенствования качества деятельности диспетчера по рулению необходимо:*

1. Внести поправку в ФАП МО-ГА, предписывающую обязательное прохождение ВЛЭК персоналом УВД, осуществляющим непосредственное управление воздушным движением на площади маневрирования, в том числе и персоналом по рулению ВС.

2. Разработать меры по профилактике появления и развития профессиональной болезни персонала диспетчерского пункта «РУЛЕНИЕ» (ДПР), а также произвести гигиеническое нормирование производственных факторов с обоснованием степени риска.

3. Обеспечить оптимальный микроклимат в сменах ДПР.

4. Разработать эргономические мероприятия ДПР.

5. Разработать рациональные режимы труда и отдыха персонала ДПР.

6. Разработать и внедрить системы мониторинга функционального состояния диспетчерского состава ДПР.

7. Осуществлять профессиональный отбор и профессиональную ориентацию персонала УВД ДПР.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Комментарий к Трудовому кодексу Российской Федерации (краткий, постатейный) / отв. ред. проф. Ю.П. Орловский. - М.: КОНТРАКТ: ИНФРА-М, 2006.

2. **Абрамов Н.Р.** Охрана труда: учеб.-профилактическое пособие для руководителей, специалистов и работников организаций. - М.: Изд-во «Безопасность труда и жизни», 2007.

## "GROUND" - AIR TRAFFIC CONTROL UNIT (ATC)

Gaglov E.P.

The paper addresses the problem of organizing the movement of aircraft on the maneuvering area. We discuss the problem of medical examination staff. We give a comparative analysis of the impact of harmful factors that contribute to the emergence of occupational disease. The author points out the shortcomings of regulating health care operations.

**Key words:** space maneuvering, ground, tower, a medical report, a noxious agent.

## Сведения об авторе

**Гаглов Эмзар Пореевич**, 1965 г.р., окончил Академию ГА (1991), соискатель кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – организация взаимодействия служб УВД (ОВД) со службами обеспечения полетов.

УДК 629.735.45

## АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕГКИХ САМОЛЁТОВ-АМФИБИЙ И ГИДРОСАМОЛЕТОВ

И.В. НИКИТИН, М.Д. АСАДИ

В статье проведен анализ основных характеристик легких самолётов-амфибий и гидросамолётов российского и зарубежного производства, их классификация, анализ достоинств и недостатков.

**Ключевые слова:** самолёт-амфибия, гидросамолёт, летающая лодка, поплавковый гидросамолёт.

Для развития гидроавиации в России существуют объективные причины: огромные пространства страны при явно недостаточном уровне развития транспортной инфраструктуры, в том числе аэродромов, большое количество пригодных для базирования гидроавиации внутренних водоемов, потребность возрождающейся экономики в эффективном авиатранспортном обслуживании, особенно в малонаселенных и слабо-освоенных регионах. Вместе с тем задача включения легкой гидроавиации в единую транспортную систему страны имеет так много аспектов, что целесообразно попытаться их систематизировать и представить в виде некой единой концепции, которая объединила бы усилия разработчиков, изготовителей и эксплуатантов на базе общего понимания существа проблемы.

Гидросамолёт - самолёт, способный взлетать и приземляться на водную поверхность.

Различают следующие компоновки гидросамолетов:

- поплавковый гидросамолёт - обычный или специально построенный самолет, на котором закреплены один, два или больше поплавков для стоянки и перемещения по поверхности воды;
- летающая лодка - самолет, нижняя часть фюзеляжа которого выполнена в виде лодки, приспособленной для перемещения по поверхности воды;
- амфибия - самолет, любой из двух вышеперечисленных компоновок, на котором установлено сухопутное шасси для посадки на твердую поверхность или шасси, способное удерживать самолет на любой поверхности, например, воздушная подушка.

Поплавковые гидросамолеты, как правило, переоборудуются из сухопутных самолетов путем замены колесного шасси на поплавковое. Имея невысокие мореходные качества, они применяются лишь при относительно спокойном состоянии водной поверхности в закрытых водных бассейнах - реках и озерах. Наиболее распространенной схемой поплавкового гидросамолета является двухпоплавковая схема, обеспечивающая хорошую поперечную устойчивость на воде, простоту крепления поплавков и минимальные потребные доработки конструкции сухопутного самолета.

Летающие лодки изначально разрабатываются в основном для полетов только с водной поверхности, имеют более высокие летные и мореходные качества.

Амфибии составляют наиболее универсальную группу гидросамолетов. Наличие убирающегося колесного шасси позволяет эксплуатировать самолёт-амфибию как на сухопутных, так и на гидроаэродромах.

На рис. 1 представлена классификация легких гидросамолетов и самолетов-амфибий российского производства.

Многообразие компоновочных схем, встречающихся в практике гидросамолетостроения, отражает противоречивость требований, предъявляемых к гидросамолету, и поиск наилучших решений применительно к конкретным задачам, для которых проектируется самолет.

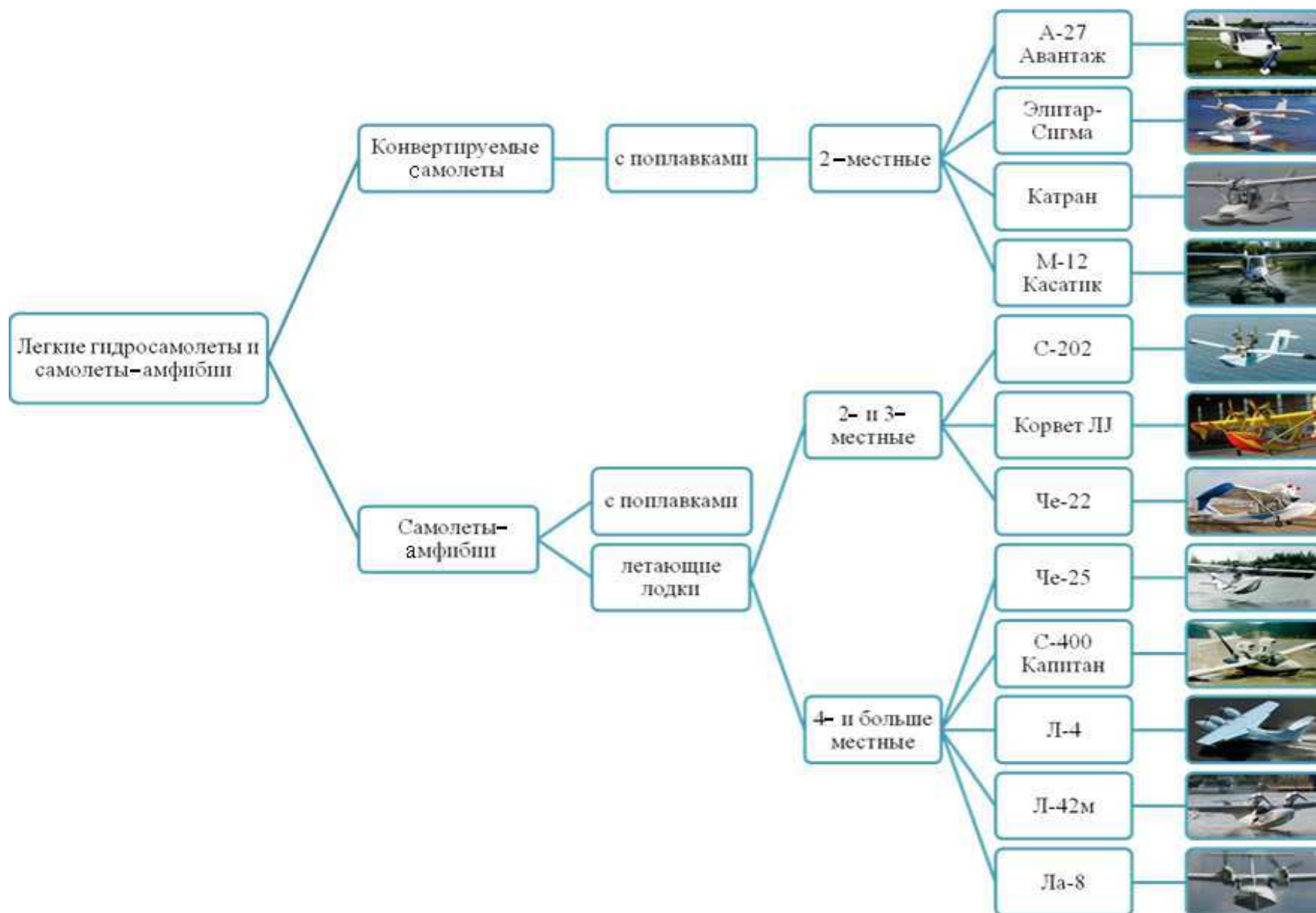


Рис. 1. Классификация легких гидросамолетов и самолетов-амфибий российского производства

Одним из сложных вопросов при проектировании одномоторного гидросамолета является размещение двигателя и воздушного винта, который требует надежной защиты от брызг и захлестывания водой. Наиболее простое решение - установка двигателя над крылом - не является лучшим, так как помимо роста лобового сопротивления оно приводит к нежелательной реакции самолета на изменение режима работы двигателя. При увеличении тяги винта появляется пикирующий момент, а при уменьшении - кабрирующий. Тем не менее, эта схема главным образом за счет ее простоты часто привлекает внимание конструкторов легких гидросамолетов. Применение тянущего винта улучшает охлаждение двигателя на рулении и при наборе высоты. Толкающий винт, расположенный на большом удалении от кабины, менее опасен в эксплуатации.

Стремление снизить сопротивление силовой установки привело к размещению двигателя в корпусе лодки с передачей мощности на винт трансмиссионными валами. Общим недостатком таких схем является усложнение и утяжеление силовой установки, проблемы, связанные с охлаждением двигателя, и затрудненный доступ к нему при обслуживании. В аэродинамическом отношении наиболее выгодны схемы с расположением винта на хвостовом оперении или позади него, так как при этом отсутствует обдувка корпуса струей от винта. Однако для предохранения толкающего винта от брызг воды требуется механизм, обеспечивающий его поднимание на взлете и посадке, и соответствующая трансмиссия для передачи крутящего момента на вал воздушного винта. Несмотря на хорошие аэродинамические характеристики нельзя признать удачной установку двигателя на Т-образном хвостовом оперении. При этом для сохранения нужной центровки самолета требуется смещение назад крыла, что приводит к увеличению дестабилизирующих моментов носовой части корпуса с одновременным уменьшением плеча хвостового оперения. Растет необходимая площадь оперения, а это, наряду с дополнительными нагрузками на киль от двигателя, увеличивает массу оперения и хвостовой части лодки. К числу недостатков относится и разнос масс по длине лодки.

Винт, расположенный перед кабиной, затрудняет посадку и высадку пассажиров через переднюю палубу при подходе гидросамолета к берегу или причалу носом (швартовке бортом мешают подкрыльные поплавки). Обзор верхней и нижней полусфер затрудняется, а уровень шума в кабине повышается из-за близости двигателя и винта. Обдувка потоком от винта фюзеляжа увеличивает лобовое сопротивление.

Применение двигателя с толкающим винтом является приемлемым в аэродинамическом отношении, обеспечивает хороший обзор из кабины и пониженный уровень шума в ней. Как показывает практика эксплуатации, охлаждение двигателя не представляет сложной проблемы при относительно небольших мощностях, характерных для легких гидросамолетов, и обеспечивается набегающим потоком воздуха. К недостаткам схемы относится утяжеление конструкции вследствие малой строительной высоты хвостовой части корпуса, несущей оперение, и ухудшение мореходности из-за близости винта к воде.

Аналогичные достоинства и недостатки присущи лодочному гидросамолету с толкающим винтом и расположением оперения на двух хвостовых балках.

На двухмоторных гидросамолетах двигатели с тянущими винтами устанавливаются на крыле, которому для удаления от поверхности воды может придаваться форма "чайка". Выгодная в аэродинамическом отношении и из-за низкого уровня шума в кабине схема с двумя толкающими винтами встречается редко из-за сложности конструкции и защиты винтов от воды, а также вследствие уменьшения эффективности механизации крыла.

Полностью исчерпали себя аэродинамические несовершенные схемы двухмоторных легких гидросамолетов с рядной или тандемной установкой двигателей над крылом.

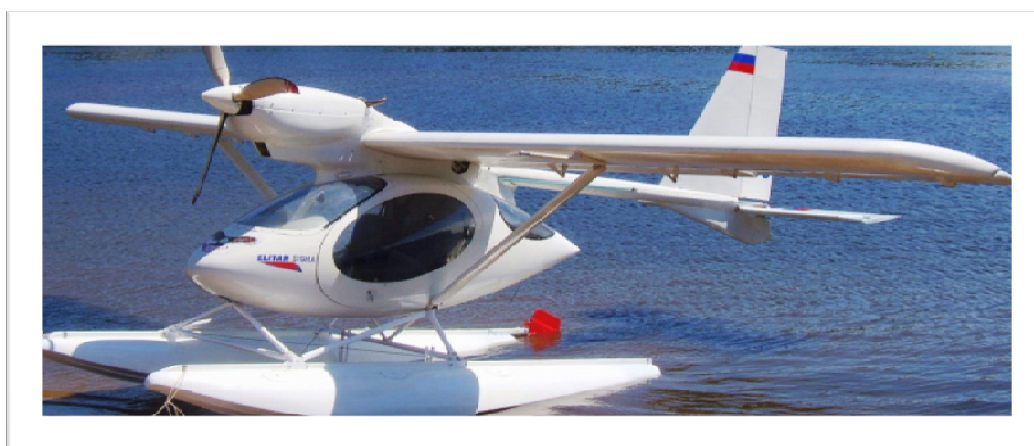
Вопросы поперечной устойчивости на воде решаются применением подкрыльных поплавков и плавников - "жабр". Внутренние объемы поплавков иногда используются в качестве дополнительных топливных баков.

При низком расположении крыла над водой поперечная устойчивость может обеспечиваться отгибом вниз герметических концевых участков крыла. В полете эти участки выполняют роль концевых шайб, повышающих эффективное удлинение и аэродинамическое качество крыла.

С увеличением скорости полета повышаются аэродинамические требования к форме корпуса гидросамолета. Значительное сопротивление, вызываемое ступенькой-реданом, может быть уменьшено применением механизацией днища лодки - убирающихся реданов, выдвижных зареданных обтекателей и т.д.

Рассмотрим ЛТХ некоторых самолетов амфибий и конвертируемых самолетов российского производства.

Представленный на рис. 2 гидросамолет “Элитар-Сигма” разрабатывался в полном соответствии с Европейскими требованиями к очень легким самолетам JAR VLA. Силовые элементы самолета изготавливаются из металла, а обшивка крыла и кабина - из стеклопластика, что позволяет существенно снизить массу конструкции. В базовой комплектации самолет выпускается с колесным шасси. Для эксплуатации с водной поверхности на самолет могут быть установлены поплавки. Также самолет может быть оснащен лыжным шасси.



**Рис. 2.** Конвертируемый двухместный гидросамолет “Элитар-Сигма”

Высокое расположение крыла позволяет производить комфортную посадку в кабину и улучшает обзорность из кабины. Это инженерное решение также уменьшает риск повреждения воздушного винта. Модульная конструкция самолета позволяет производить модификации, соответствующие любым требованиям клиентов.

Базовая версия самолета «Элитар-Сигма» оборудована двухместной кабиной с хорошим обзором. Лётно-технические характеристики самолета представлены в табл. 1.

**Таблица 1**

Лётно-технические характеристики гидросамолета “Элитар-Сигма”

|                               |                    |
|-------------------------------|--------------------|
| Размах крыла, м               | 9,80               |
| Длина, м                      | 5,95               |
| Высота, м                     | 2,92               |
| Площадь крыла, м <sup>2</sup> | 11,00              |
| Тип двигателя                 | 1 ПД Rotax 912 ULS |
| Мощность, э.л.с.              | 1 x 100            |
| Максимальная скорость, км/ч   | 200                |
| Крейсерская скорость, км/ч    | 170                |
| Практическая дальность, км    | 600                |



Представленный на рис. 3 самолет-амфибия Л-42м является модификацией хорошо зарекомендовавшей себя амфибии Л-4, эксплуатирующейся с 2005 г. По результатам опытного производства и эксплуатации единичных экземпляров самолета было принято решение о модернизации конструкции и производства с целью улучшения летно-технических и эксплуатационных характеристик и эксплуатационных качеств самолета.



**Рис. 3.** Четырехместный самолет-амфибия Л-42м

Основные отличия самолета Л-42м от самолета Л-4:

- увеличено аэродинамическое качество с 15 до 16,5 ед.;
- увеличена крейсерская скорость со 180 до 220 км/ч;
- увеличена дальность полета с 1100 до 1600 км;
- увеличена масса полезной нагрузки с 500 до 600 кг;
- улучшена эргономика рабочих мест экипажа;
- лётно-технические характеристики самолета представлены в табл. 2.

**Таблица 2**

Лётно-технические характеристики самолёта-амфибии Л-42м

|                               |          |
|-------------------------------|----------|
| Длина, м                      | 8,9      |
| Высота, м                     | 2,6      |
| Размах крыла, м               | 14       |
| Площадь крыла, м <sup>2</sup> | 17,3     |
| Посадочная скорость, км/ч     | 80..90   |
| Крейсерские скорости, км/ч    | 180..220 |
| Дальность полета, км          | 1600     |
| Масса взлетная, кг            | 1300     |

На рис. 4 представлен конвертируемый самолет “De Havilland Canada DHC-3 Otter” -«Выдра». Этот одномоторный самолёт короткого взлёта и посадки канадского производства разработан на основе (и для замены) выпускавшегося ранее и весьма успешно применявшегося самолёта DHC-2 “Beaver”.

“Otter” широко применяется для грузопассажирских перевозок на местных воздушных линиях в неосвоенных районах (тайга, тундра, острова), в экспедиционных условиях, для сброса парашютистов. Используется также армиями США, Австралии, Великобритании, Канады, Индии, Чили и некоторых других стран.





**Рис. 4.** Конвертируемый самолет “De Havilland Canada DHC-3 Otter”

Лётно-технические характеристики самолета представлены в табл. 3.

**Таблица 3**

Лётно-технические характеристики гидросамолета “ DHC-3 Otter”

|                             |                                           |
|-----------------------------|-------------------------------------------|
| Длина, м                    | 12,5                                      |
| Высота, м                   | 4                                         |
| Размах крыла, м             | 17,7                                      |
| Максимальная скорость, км/ч | 258                                       |
| Дальность , км              | 1545                                      |
| Экипаж, чел.                | 1                                         |
| Пассажиры, чел.             | 10-11                                     |
| Двигатели                   | 1 × Pratt & Whitney<br>R-1340-S1H1-G Wasp |
| Мощность, л.с.              | 600                                       |

На рис. 5 представлен двухместный самолет-амфибия “Dornier S-Ray 007”

Компоновка самолета аналогична компоновке “Dornier Libelle” 1920-х годов и, таким образом, первоначально самолет также носил название “Dornier Libelle”, однако позднее оно было изменено на “Dornier Stingray”. Прежде чем первый самолет был построен, название было изменено в третий раз “Dornier S-Ray 007”.

Лётно-технические характеристики самолета представлены в табл. 4.



**Рис. 5.** Двухместный самолет-амфибия “Dornier S-Ray 007”

Таблица 4

Лётно-технические характеристики самолёта-амфибии "Dornier S-Ray 007"

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| Длина, м                   | 6,75       |
| Высота, м                  | 2,1        |
| Размах крыла, м            | 9          |
| Крейсерская скорость, км/ч | 185        |
| Двигатели                  | Rotax 912S |
| Мощность, л.с.             | 100        |

## ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев А. Б. Альбатросы: Из истории гидроавиации. - М.: Машиностроение, 1989.
2. Бадягин А. А., Мухамедов Ф.А. Проектирование легких самолетов. - М.: Машиностроение, 1978.
3. Руководство для конструкторов летательных аппаратов самодеятельной постройки. СибНИИА, 1988. - Т. 1.

THE ANALYSIS OF THE BASIC CHARACTERISTICS AND CLASSIFICATION  
OF EASY PLANES OF THE AMPHIBIAN AND SEAPLANES

Nikitin I.V., Asadi M.D.

In article the analysis of the basic characteristics of easy amphibians and seaplanes of the Russian and foreign manufacture, their classification, the analysis of merits and demerits is carried out.

**Key words:** amphibian aircraft, seaplane, flying boat, floatplane.

## Сведения об авторах

**Никитин Игорь Валентинович**, 1953 г.р., окончил МИИГА (1979), доктор технических наук, ведущий научный сотрудник МГТУ ГА, автор более 100 научных работ, область научных интересов – легкая и сверхлегкая авиация, проектирование и конструкция, область и эффективность применения легких и сверхлегких воздушных судов, аэродинамика и динамика полета, методы испытаний и техника пилотирования.

**Асади Мохаммад Давуд**, 1984 г.р., окончил МГТУ ГА (2009), аспирант МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – легкая авиация, гидросамолеты, самолеты амфибии, особенности эксплуатации, область и эффективность применения легких воздушных гидросамолетов.

УДК 629.735.017.1.084

## КИНЕТИКА РАЗРУШЕНИЯ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРОВ

В.А. ПИВОВАРОВ, Г.Г. БЕЛОУСОВ, М.Г. БЕЛОУСОВ

В работе обобщены результаты теоретико-экспериментального комплекса работ, проведенных в МГТУ ГА по разработке дифференцированных норм допустимых повреждений на лопатках компрессоров различных типов авиационных двигателей.

**Ключевые слова:** КВД, авиадвигатель, лопатки компрессора, усталостные трещины, форма колебаний, максимальные номинальные напряжения.

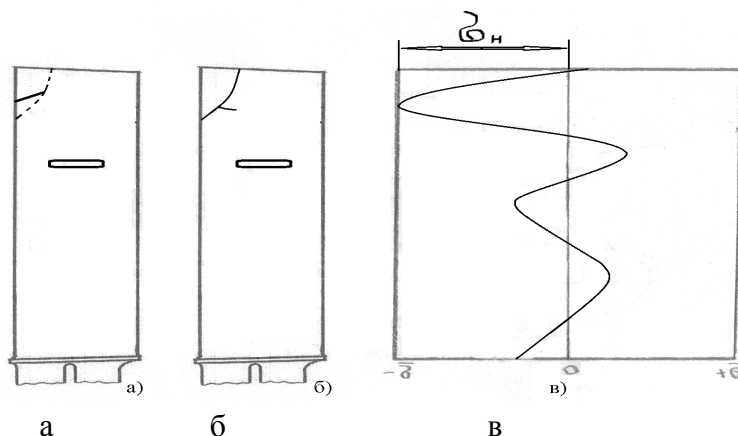
Внедренное в практику эксплуатации фотовидеодокументирование выявленных при осмотрах проточной части авиадвигателей (ГТД) повреждений поставило непростые задачи интерпретации полученных результатов, а также последующее принятие решения о возможности допуска двигателя к дальнейшей эксплуатации.

Опыт показывает, что не всегда появление повреждений на лопатках в период гарантийного ресурса обусловлено виной эксплуатанта. В связи с этим знание закономерностей разрушения лопаток позволит дать объективное заключение о степени опасности лопаточных дефектов, причинах их появления, возможности проведения локального ремонта двигателя «на крыле».

Классификация особенностей лопаточных дефектов была проведена в ходе их регистрации, а также при проведении объемных усталостных испытаний лопаток компрессоров различных типов ГТД. Испытания проводились при колебаниях по высокочастотным формам, являющимся потенциально опасными.

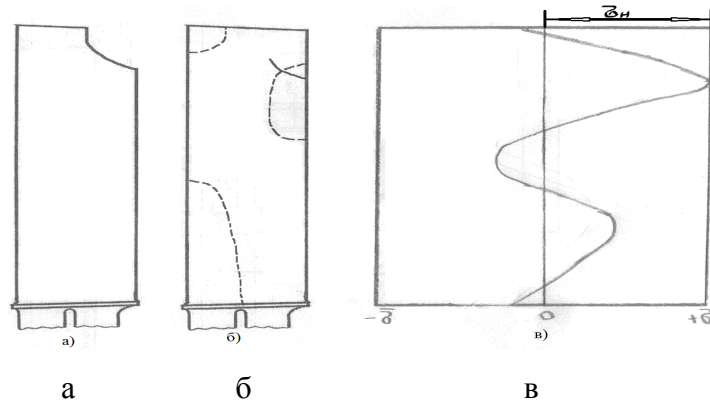
Эксплуатационные повреждения, концентрируясь преимущественно в верхней трети пера, провоцируют усталостные поломки также по так называемым *уголковым* формам колебаний [1].

На рис. 1 изображены лопатки 1-й ступени компрессора высокого давления (КВД) с усталостными трещинами в местах деформации загибов уголков профильной части (пера). Установлено, что такие поломки обусловлены четвертой изгибной формой колебаний, имеющей максимум напряжений в данном месте.



**Рис. 1.** Места усталостных поломок, обусловленные четвертой изгибной формой колебаний: а - поломка от загиба уголка; б - поломка в зоне отделившегося уголка; в - распределение напряжений

На рис. 2 изображены лопатки компрессора низкого давления (КНД) второй ступени, имеющие усталостные поломки на выходной кромке пера. Детальный анализ этих поломок показал, что ответственной за них является третья крутильная форма колебаний с максимумом напряжений на входной кромке (рис. 2 в). На схеме видно, что расположение усталостных трещин четко соответствует расположению максимумов напряжений, обусловленных соответствующими формами.



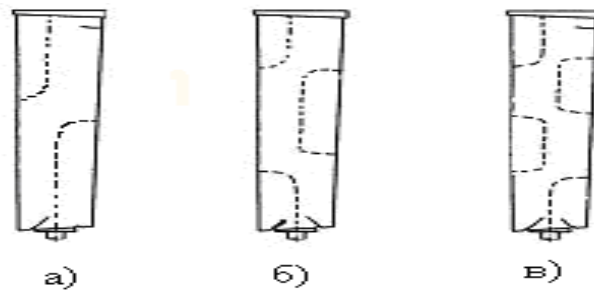
**Рис. 2.** Разрушение лопаток при колебаниях по третьей крутильной форме:

а - вид поломки; б - начальная трещина; в - распределение напряжений на выходной кромке

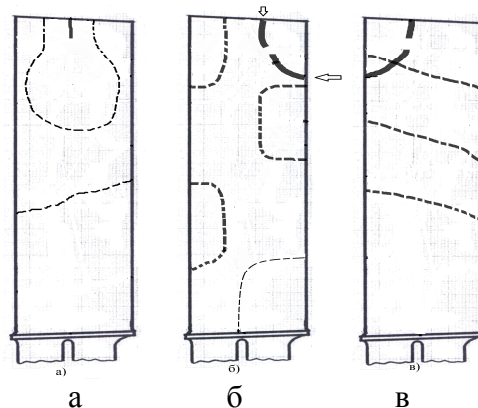
Опишем основные выявленные закономерности разрушения для лопаток компрессора при колебаниях по различным формам, полученные в результате их систематизации:

- усталостные разрушения могут происходить одновременно в нескольких зонах пера лопатки. При этом одна из трещин (иногда две) могут являться магистральными и иметь примерно одинаковые скорости роста (рис. 3). Эта картина присуща как рабочим лопаткам, так и лопаткам направляющего аппарата (рис. 3 а, б, в);

- одна и та же форма колебаний может вызывать усталостные поломки в разных зонах пера (рис. 4). Причина - наличие нескольких (двух или трех) близких по амплитуде номинальных максимумов напряжений при колебаниях по данной форме. Это характерно для четвертой крутильной формы, реже для третьей и первой пластинчатой форм колебаний. Чаще это проявляется на широкохордных лопатках;



**Рис. 3.** Формы колебаний и зоны поломок: а - вторая крутильная форма; б - третья крутильная форма колебаний; в - четвертая крутильная форма колебаний



**Рис. 4.** Особенности разрушения лопаток при колебаниях по первой пластинчатой (а), четвертой крутильной (б) и четвертой изгибной (в) формам колебаний

- усталостные трещины могут развиваться одновременно от забоины и неповрежденного места на кромке пера (рис. 5);
- разброс положения усталостных трещин при колебаниях лопаток по высокочастотным формам меньше, чем для трещин, обусловленных первой, второй и третьей изгибными формами. Это, как показал анализ, связано с объемами напряженного материала.

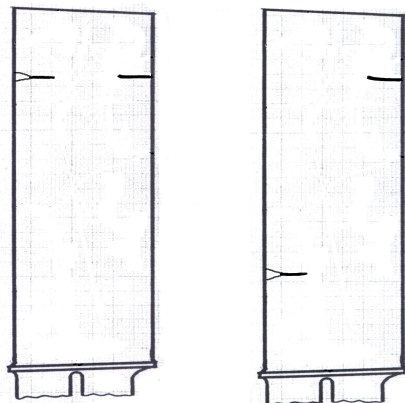


Рис. 5. Возможные расположения усталостных трещин на кромках пера лопаток

Установлено также, что для конкретной формы колебаний есть зоны на пере, нечувствительные к наличию повреждений. Это зоны, где  $\sigma_m < \frac{\sigma_H}{K_\sigma}$  (здесь  $\sigma_m$  – уровень местных напряжений;  $\sigma_H$  – уровень напряжений в зоне номинального максимума;  $K_\sigma$  – эффективный коэффициент концентрации напряжений для данного сплава).

В результате испытаний лопаток на стенде установлено также, что скорость роста трещин при колебаниях лопаток по высокочастотным формам ступенчато снижается. Возможна даже остановка их развития на определенный временной период (рис. 6).

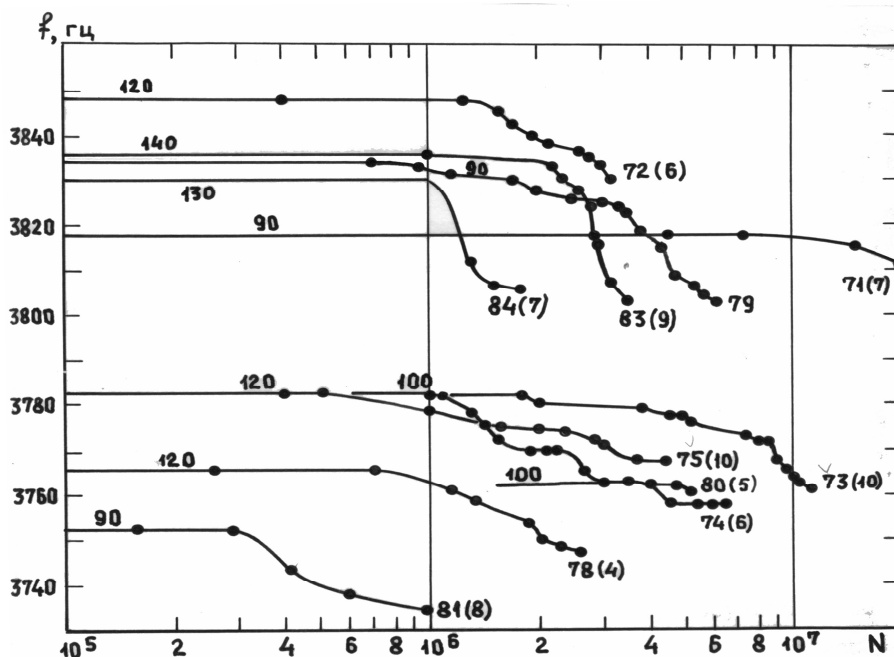
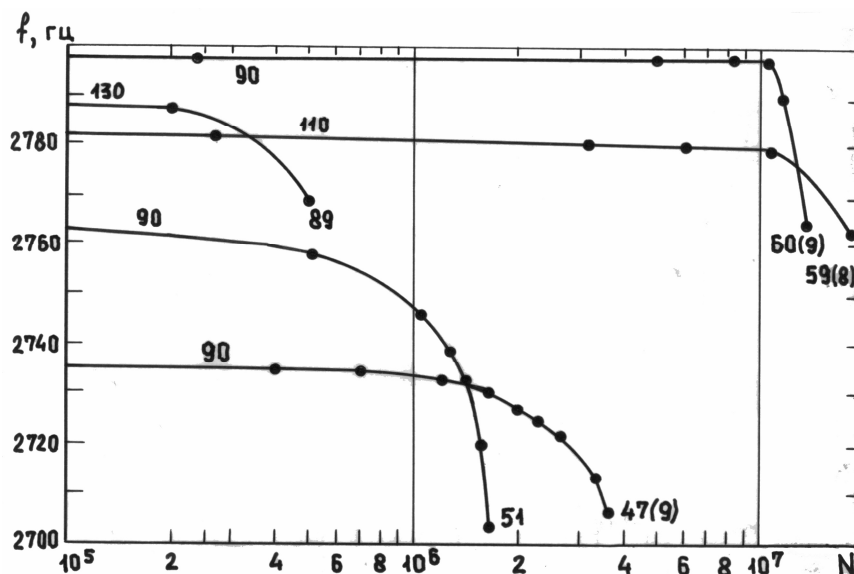


Рис. 6. Характер изменения скорости развития трещин при разрушении лопаток в процессе испытаний на стенде

В то же время для первых трех изгибных форм колебаний характер разрушения лопаток имеет несколько другой вид (рис. 7).



**Рис. 7.** Характер развития трещин при колебаниях по первым трем изгибным формам

Характерно, что лопатки большого удлинения из титановых сплавов являются более стойкими к образованию трещин при колебаниях по высокочастотным формам.

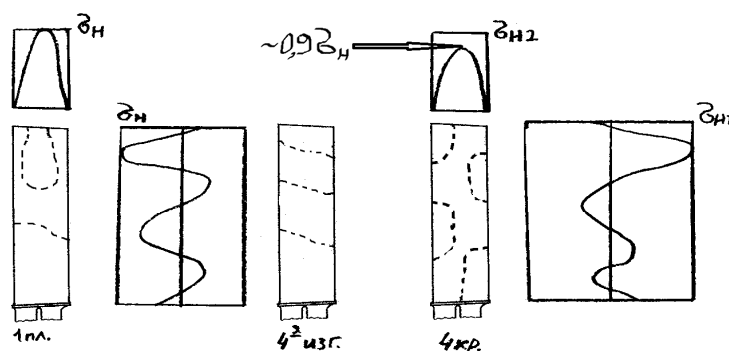
Итак, типичным повреждением лопаток компрессоров ГТД являются так называемые забоины. В ряде случаев, если забоина не является опасной, она может быть подвергнута зачистке. Правильно сформированные места зачистки обычно не вызывают появления трещин усталости и двигатель может эксплуатироваться без особых ограничений. Однако накопленный опыт показывает, что если место зачистки совпадает с действием максимума напряжений по потенциально опасной форме колебаний, то вероятность появления трещины при работе весьма велика (рис. 8).



**Рис. 8.** Трещина по месту ранее выполненной зачистки

Приведенная на рис. 8 картина может быть спровоцирована также и несвоевременной зачисткой забоины, особенно на титановых лопаточных материалах. В местах повреждений пера интенсифицируются процессы старения (охрупчивания) титана, которые приводят к росту концентрации напряжений в месте расположения забоины. Поэтому забоины на титановых лопатках надо зачищать с особой осторожностью, т.к. титан изначально обладает повышенной чувствительностью к надрезу [4].

Все же чаще всего наблюдаются поломки уголков пера. За обрывы уголков, как установлено анализом, отвечают две формы колебаний. При этом одна форма инициирует образование трещины (на кромке или торце), ее развитие до некоторой длины (10-15 мм), а затем последующее развитие трещины и окончательное разрушение вызывает другая форма колебаний. К таким формам относятся пластинчатые третья, четвертая крутильная и четвертая изгибная. Объясняется это тем, что при колебаниях по данным формам номинальные максимумы напряжений располагаются на торце входной и выходной кромок (рис. 9).

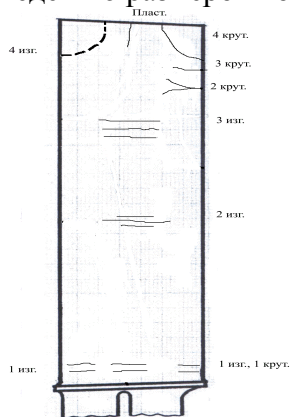


**Рис. 9.** Типичное расположение максимумов напряжений при колебаниях лопатки по высокочастотным формам, встречающимся в эксплуатации

Описанные закономерности присущи практически всем встречающимся усталостным поломкам лопаток в эксплуатации.

При известных распределениях напряжений по перу лопаток на упомянутых выше формах колебаний можно оценить степень опасности того или иного повреждения в конкретной зоне и дать рекомендации по их устранению. Местоположение усталостной трещины на пере лопатки, направление ее развития в эксплуатации – важный диагностический признак формы колебаний, являющейся потенциально опасной. С учетом материала, геометрии повреждения, а также наработки вполне определенно можно судить о запасах прочности и сроках появления трещин усталости [3, 5].

Из литературных источников, а также по результатам исследования причин поломок лопаток известно [1, 2], что при определенной форме колебаний может быть разброс расположения усталостных трещин в зонах действия номинальных максимумов напряжений. Например, при колебаниях по первой изгибной форме трещины могут появляться на спинке, входной и выходной кромках вблизи замка. Достаточно велик разброс и вдоль пера от замка. При колебаниях по высокочастотным формам он существенно уменьшается (в три - пять раз), местоположение трещин становится более определенным. Это обусловлено условиями нагружения самих лопаток, а также разбросом физико-механических свойств их материала. На рис. 10 приведена обобщенная картина поломок лопаток компрессора для всех типоразмеров и материалов лопаток. Учитывая многообразие дефектов на лопатках, необходимо уделять повышенное внимание осмотру всех зон профильной части при эндоскопическом контроле. Это требование диктует также необходимость применения видеоэндоскопической аппаратуры с расширенными возможностями осмотра (в том числе видеосистемы, имеющие высокую разрешающую способность, способные к точному воспроизведению размеров повреждений).



**Рис. 10.** Спектр усталостных поломок лопатки компрессора

На основании проведенных обобщений можно сделать следующие выводы.

1. Большинство разрушений лопаток компрессоров в эксплуатации обусловлено появлением трещин усталости в их периферийной части.
2. Эти разрушения обусловлены высокочастотными формами колебаний по изгибной и крутильной формам.
3. Место образования трещины на пере, характер ее развития позволяют в большинстве случаев выделить опасную форму колебаний.
4. Степень опасности выявленных забоин определяется их размерами, месторасположением, а также материалом лопатки, геометрией повреждения и наработки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Трощенко В.Т., Матвеев В.В. и др. Несущая способность рабочих лопаток ГТД при вибрационных нагрузках. - К.: Наукова думка, 1981.
2. А. с. № 1424470 МКИ G 01 № 3/63. Способ усталостных испытаний лопаток компрессора и устройство для его осуществления / В.П. Иванов, Г.Г. Белоусов, Е.С. Метелкин, В.В. Иванова / Приоритет. - 26.11.86.
3. Матвиенко Г.Г., Белоусов Г.Г., Метелкин Е.С., Портер А.М., Шляжко В.В. Теоретико-экспериментальная оценка динамической нагруженности лопаток направляющего аппарата КНД двигателей Д-30КУ, Д-30КП, Д-30КУ-154 / Эксплуатационная прочность и надежность авиационных конструкций. - М.: МГТУ ГА, 1997. - С. 50-56.
4. Пивоваров В.А., Белоусов Г.Г. Разработка алгоритмов принятия экспертных решений о допуске к эксплуатации двигателей с поврежденной проточной частью: тезисы доклада на междунар. научн.-техн. конф., посвященной 80-летию гражданской авиации России. 17-18 апреля 2003 г. - М.: МГТУ ГА. - 2003. - С. 15.
5. А. с. № 1492839, МКИ F 04 D 19/02, 29/38. Способ восстановления лопаток компрессора / В.П. Иванов, Г.П. Матвиенко, Г.Г. Белоусов, А.М. Портер и др. (СССР) - № заявки 4257194/25-06; заявл. 5.06.87.

## KINETICS OF COMPRESSOR BLADES DESTRUCTION

Pivovarov V.A., Belousov G.G., Belousov M.G.

There are some generalized results of theoretical and experimental system of investigations in research which were taken in MSTUCA according to elaboration differentiated tolerant damage limit on compressor blades of different types of gas-turbine engine.

**Key words:** HPC, aero-engine, compressor blades, fatigue cracks, form fluctuation, maximum nominal stress.

## Сведения об авторах

**Пивоваров Владимир Андреевич**, 1945 г.р., окончил МАТИ (1968), профессор, доктор технических наук, профессор кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор более 100 научных работ, область научных интересов – эксплуатация двигателей летательных аппаратов и диагностика авиационной техники.

**Белоусов Григорий Геннадьевич**, 1947 г.р., окончил МАТИ (1975), кандидат технических наук, доцент кафедры двигателей летательных аппаратов МГТУ ГА, автор более 70 научных работ, область научных интересов – сопротивление усталости лопаток компрессоров с повреждениями, оптико-визуальные методы контроля проточной части и ремонт авиадвигателей в условиях эксплуатации.

**Белоусов Михаил Григорьевич**, 1988 г.р., окончил МГТУ ГА (2011), аспирант кафедры технической эксплуатации ЛА и АД МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – сопротивление усталости лопаток компрессоров с повреждениями, оптико-визуальные методы контроля проточной части и ремонт авиадвигателей в условиях эксплуатации, эксплуатация планера и двигателей летательных аппаратов.



УДК 629.735.017

## ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

В.А. НАЙДА, А.С. ПОЗОЛОТИН

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

В статье изложен опыт создания электронных тренажеров учебного назначения. Анализируется опыт создания электронных тренажеров для инженерных специальностей.

**Ключевые слова:** электронный тренажер, программное обеспечение, вспомогательная силовая установка.

Общепринятый подход к разработке мультимедийных приложений с использованием аппаратно-программных сред типа Delfi, Visual C++, Visual Basic, C++ Builder, Adobe Flash, а также языков типа «Си» является достаточно сложным и трудоемким.

Группа разработчиков электронного тренажера обычно включает инженера-специалиста в области технической эксплуатации летательных аппаратов, инженера-дизайнера, инженера-аниматора и инженера-программиста с опытом разработки мультимедийных приложений.

Построение электронного тренажера основано на использовании комплекса имитационных моделей: модели объекта изучения - авиационный двигатель (АД), модели функционирования АД, модели деятельности инженерно-технического состава (ИТС) и модели диалога ИТС с тренажером (сценарий диалога).

Модель авиационного двигателя описывается множеством параметров его технического состояния (частота вращения роторов двигателя, температура выходящих газов и т.д.)

$$\Gamma^{\text{АД}} = \{\gamma^{\text{АД}}\},$$

где  $\gamma$  - параметр технического состояния АД.

Множество параметров, моделируемых на тренажере, ограничено целями обучения

$$\Gamma^{\text{АД}}_{\text{ЭТ}} = \{\gamma^{\text{АД}}_{\text{ЭТ}}\},$$

где  $\gamma^{\text{АД}}_{\text{ЭТ}}$  – параметр, реализуемый на электронном тренажере.

Модель функционирования АД описывается множеством функций, выполняемых двигателем в процессе его запуска и опробования (выход на режим малого газа, проверка механизации компрессора и т.д.)

$$\Omega^{\text{АД}} = \{\omega^{\text{АД}}\},$$

где  $\omega^{\text{АД}}$  – функция двигателя в процессе запуска и опробования.

В учебных целях множество функций, имитируемых на ЭТ, ограничено

$$\Omega^{\text{АД}}_{\text{ЭТ}} = \{\omega^{\text{АД}}_{\text{ЭТ}}\},$$

где  $\omega^{\text{АД}}_{\text{ЭТ}}$  – функция двигателя, реализуемая на электронном тренажере.

Например, не имитируется проверка приемистости и выбега ротора двигателя, т.е. применяется упрощенная схема опробования двигателя.

Основой имитационной модели тренажера является функциональная модель авиационного двигателя. Функциональная модель АД состоит из интерактивной графической кабины экипажа, которая взаимодействует с программно-математической моделью функционирования систем двигателя. Модель реализована в технологических указаниях и других технических документах по запуску и опробованию двигателя.

Инженер-дизайнер и инженер-аниматор совместно выполняют предварительные работы к проекту, такие как отрисовка и обработка изображений. Исходные данные для них - это качест-

венные четкие фотографии панелей пилотской кабины и описание цвета, каким подсвечивается каждая кнопка. Инженер-дизайнер для начала перерисовывает фотографии из растровой в векторную графику в масштабе. Для удобства работы с векторными изображениями, разбиваются на отдельные слои. Пример работы инженера-дизайнера представлен на рис. 1.

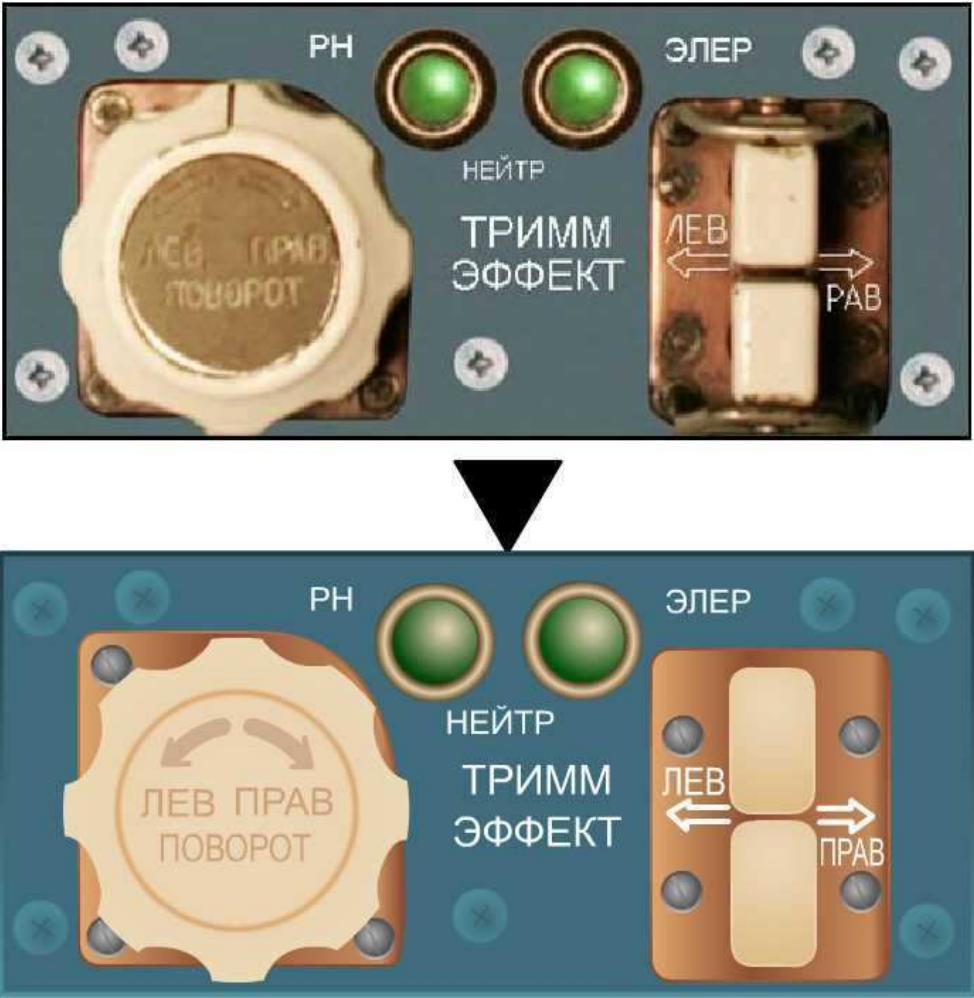


Рис. 1. Пример работы инженера-дизайнера

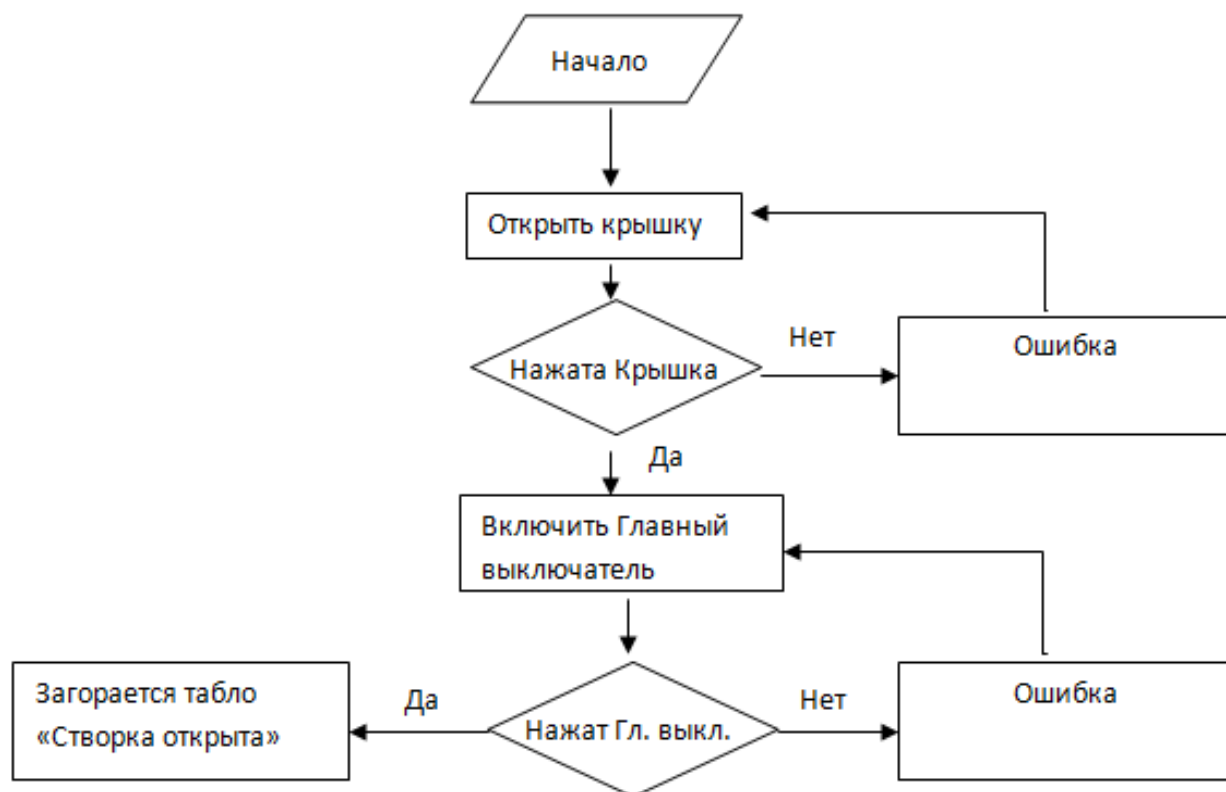
Наиболее сложным этапом создания электронного тренажера является разработка программного обеспечения, которое имеет четырехуровневую структуру (табл. 1).

Таблица 1

Структура программного обеспечения тренажера

| Уровень | Содержание уровня            |
|---------|------------------------------|
| 1       | Сценарий на смысловом уровне |
| 2       | Формализованный алгоритм     |
| 3       | Базовая программа            |
| 4       | Рабочая программа            |

Фрагмент формализованного алгоритма функционирования системы воздушного судна представлен на рис. 2.



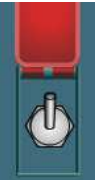
**Рис. 2.** Фрагмент формализованного алгоритма

Разработка программного обеспечения может быть существенно упрощена благодаря подключению к созданию программного обеспечения инженера-специалиста по технической эксплуатации. Обычно в его обязанности входит только подбор, изучение первичных материалов (таких как Руководство по летной эксплуатации и Руководство по технической эксплуатации воздушного судна) и написание технического задания для всей группы разработчиков. Кроме того он должен разработать имитационную модель функциональной системы ВС, алгоритм функционирования системы и сценарий взаимодействия обучаемого с тренажером. Однако инженер-специалист может также быть включен в непосредственную разработку программы. Таковую возможность обеспечивает наличие в программной среде Adobe Flash функции «Script Assistant», с помощью которой может быть создана базовая программа. Она представляет собой набор операторов в виде программных кодов на языке Action Script. Базовая программа позволяет представить структуру и логику работы программы в обобщенном виде. Пример листинга, наложенный для удобства на сценарий взаимодействия обучаемого с тренажером, представлен в табл. 2.

Однако наличие большого числа интерактивных элементов, а также нелинейность выполнения программы требуют дополнительного написания программных кодов вручную. Эту задачу выполняет инженер-программист. Он также корректирует созданную с помощью Script Assistant базовую программу. Пример листинга рабочей программы представлен на рис. 3. Здесь можно увидеть текст базовой программы, некоторые строки которой изменены и даже удалены инженером-программистом. Это вызвано необходимостью оптимизации программы. Создание лишних копий изображений и плохая оптимизация кода программы вызывает ухудшение в работе программы и повышение требований к компьютеру, на котором будет установлен тренажер.

Таблица 2

Сценарий взаимодействия обучаемого с тренажером и базовая программа

| Управляющее воздействие                               | Органы управления                                                                                                   | Значения контролируемых параметров                                                                                                                                                                                                                              | Базовая программа                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Открыть крышку главного выключателя                | 1. Крышка главного выключателя<br> |                                                                                                                                                                                | Kr1.OnMouseDown = function()<br>{ Kr1.gotoAndStop(NextFrame);}                                                                                                                                |
| 2. Установить главный выключатель в верхнее положение | 1. Главный выключатель<br>        | 1. Выключатель занимает верхнее положение<br><br>1. Загорается табло «Створка открыта»<br> | Kr1.OnMouseDown = function()<br>{ Kr1.gotoAndStop(NextFrame);}<br><br>Kr1.Tumbler.OnMouseDown = function(){<br>Kr1.Tumbler.gotoAndStop(NextFrame);<br><br>Indikator1.gotoAndStop(NextFrame);} |

```

ShowHint(1);
SoundInstructor.Start(0,1)
Kr1.OnMouseDown = function(){
    Kr1.gotoAndStop(NextFrame);
    Sound1.Start(0,1);
}
Kr1.Tumbler.OnMouseDown = function(){

    Kr1.Tumbler.Rotate(180);
    Indikator1. GreenLight = true;
}

```

Рис. 3. Пример листинга рабочей программы

Таким образом, мы видим, что задача программиста существенно упрощается за счет предварительного написания базовой программы.

В процессе разработки электронного тренажера была апробирована технология быстрого создания мультимедийных приложений на основе использования системы C++ Builder.

Данная технология визуального и событийного программирования берет на себя достаточно большую часть работы по генерации программного кода. Уже в начале работы над программой

разработчик получает сформированный C++ Builder шаблон программы. Программисту остается работа по конструированию диалоговых окон и написанию функций обработки событий.

Однако в данной технологии есть недостатки, которые увеличивают время разработки. Прежде всего это более строгий язык программирования. Написание программы на нем требует достаточных навыков программирования. Это исключает возможность написания базовой программы инженером-специалистом. В создании электронного тренажера по этой технологии в обязанности инженера-специалиста включается только изучение первичных материалов и написание грамотного технического задания для программистов.

Второй недостаток – сложность работы с графическим материалом. Весь графический материал должен быть сформирован в единую базу. У каждого элемента в этой базе должно быть уникальное имя, по которому программа обращается к данному элементу. Создание такой базы данных включается в обязанности программиста и существенно увеличивает время, затрачиваемое им на создание программы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Online-учебник по языку разметки HTML <http://htmlbook.ru/>.
2. Кузнецов С.В., Комаров В.Ю., Перегудов Г.Е., Кузнецов Г.Э. Концептуальные положения создания электронных тренажеров пилотажно-навигационного оборудования на базе персональных ЭВМ // Наука и техника гражданской авиации на современном этапе: тезисы докладов междунар. научн.-техн. конф. - М.: МГТУ ГА, 1994.
3. Руководство по летной эксплуатации Ил-96. - М.: РИО ОКБ им. С.В. Ильюшина, 1994.
4. Роберт Рейнхард, Сноу Дауд Macromedia Flash MX. Библия пользователя. - М.: ИД Вильямс, 2005.
5. Гурский Д. ActionScript 2.0. Программирование во Flash MX. - СПб.: ИД Питер, 2004.
6. Культин Н.Б. Самоучитель C++ Builder. - СПб.: БВХ - Петербург, 2006.

### GENERALIZATION OF THE ELECTRONICAL TRAINERS DEVELOPMENT EXPERIENCE

Naida V.A., Pozolotin A.S.

The experience of creation an electronical trainers for engineering specialties are disclosed in the article.

**Key words:** electronical trainer, program, engineering.

### Сведения об авторах

**Найда Владимир Акимович**, 1938 г.р., окончил КИИГА (1961), кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор 20 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация ЛА.

**Позолотин Антон Сергеевич**, 1987 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), аспирант кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и авиадвигателей МГТУ ГА, автор 3 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация ЛА.

УДК 629.735.072.1: 656.71.003

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ КУРСОВ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

С.В. ПЕТРУНИН, Л.Г. БОЛЬШЕДВОРСКАЯ

В работе предложена модель организации курсов повышения квалификации. Модель представляет некоторый усложненный вариант транспортной задачи с ограничениями в виде неравенств. Решение такой задачи предлагается искать в итерационном режиме, накладывая ограничения на дополнительные переменные, которые вводятся для превращения задачи в замкнутую. Приведён пример использования алгоритма.

**Ключевые слова:** курсы повышения квалификации, транспортная задача, метод последовательной сепарации.

Практически во всех отраслях народного хозяйства в качестве инструмента подготовки высококвалифицированных специалистов используются соответствующие курсы. Как правило, такие курсы содержат те или иные направления совершенствования специалистов. Главная цель - повышение квалификации специалистов - должна сочетаться с разумной экономией ресурсов, в первую очередь финансов.

Рассмотрение такой задачи позволило авторам статьи построить математическую модель организации курсов. Модель представляет некоторый усложненный вариант транспортной задачи.

Сформулируем задачу. Пусть имеется  $n$  специалистов, квалификацию которых нужно повысить. Для этого существует  $m$  уровней повышения квалификации. Каждый специалист может участвовать только в одном уровне повышения квалификации, т.е.

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1.$$

В свою очередь, на каждом уровне могут пройти обучение (согласно потребностям авиакомпании) не менее  $b_{j2}$ , но не более  $b_{j1}$  специалистов

$$b_{j2} \leq \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq b_{j1}.$$

Стоимость обучения  $i$ -го специалиста на  $j$ -м уровне равна  $d_{ij}$ . Поэтому целевая функция будет иметь вид

$$\sum_i \sum_j d_{ij} x_{ij} \rightarrow \min.$$

Несмотря на то, что полученная задача

$$\sum_j x_{ij} = 1;$$

$$b_{j2} \leq \sum_i x_{ij} \leq b_{j1};$$

$$\sum_i \sum_j d_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$$

относится к задачам транспортного типа, сложность её решения состоит в том, что задача по столбцам незамкнута ни сверху, ни снизу. Отличие полученной задачи от транспортной состоит также в том, что в этой задаче содержится много вырожденных решений. Поэтому матричные методы (например, метод потенциалов) для её решения неэффективны. Можно даже сказать, что сформулированная задача представляет некоторый симбиоз транспортной задачи и задачи о назначениях. Необходимыми и достаточными условиями её разрешимости служат неравенства

$$\sum_{j=1}^m b_{j2} \leq n \leq \sum_{j=1}^m b_{j1}.$$

Решение задачи начинают с того, что её превращают в замкнутую вводом неотрицательных переменных  $x_{n+1, j1}$  и  $x_{n+1, j2}$ . Тогда ограничения по столбцам примут вид

$$\begin{aligned}\sum_i x_{ij} + x_{n+1, j1} &= b_{j1} ; \\ \sum_i x_{ij} &= b_{j2} + x_{n+1, j2} .\end{aligned}$$

Отсюда

$$\begin{aligned}x_{j1}^* &= b_{j1} - b_{j2} - x_{j2}^* \\ &\text{или} \\ x_{j1}^* &\leq b_{j1} - b_{j2} .\end{aligned}$$

Тогда задача может быть представлена так

$$\sum_i x_{ij} = 1, \text{ при } i = 1, n; \quad (1)$$

$$\sum_j x_{n+1, j} = \sum_j b_{j1} - n, \text{ при } i=n+1; \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ij} + x_{n+1, j} = b_{j1} ; \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_j d_{ij} x_{ij} \rightarrow \min ; \quad (4)$$

$$x_{j1}^* \leq b_{j1} - b_{j2} . \quad (5)$$

как будто задача (1)-(5) с числом столбцов  $m$  и числом строк  $n+1$  стала обычной транспортной задачей. Но нельзя забывать, что есть некоторые ограничения, не позволяющие рассматривать данную задачу как чисто транспортную. Ограничения (5) состоят в том, что любая дополнительная переменная  $x_{j1}^*$  не может быть больше некоторой разности  $b_{j1} - b_{j2}$ . Наличие этих ограничений заставляет прибегнуть к итерационной процедуре.

Предлагается следующий алгоритм решения задачи:

1. Решаем задачу (1)-(3) для целевой функции (4) (ограничения (5) игнорируем).
2. В полученном решении оцениваются неравенства (5). Если все они выполняются, то решение получено. Если же в некотором  $k$ -м столбце неравенство не выполняется, то  $x_{j1}^*$  полагают равным  $b_{j1} - b_{j2}$  и закрепляют с помощью штрафной функции. Такую операцию проводят для всех столбцов, где не выполняются неравенства (5).
3. Для вновь сформулированной задачи находят решение и переходят к п. 2. Ясно, что при проведении итерационной процедуры значение целевой функции будет возрастать, так как на каждом шаге вводятся дополнительные ограничения.

Для решения подобных задач применялся ПС-метод [1], так как он дает все решения задачи. На основе этого метода на языке Fox-Pro разработана программа, показавшая быструю сходимость даже для задач достаточно большой размерности. Следует отметить, что метод годится и для задач, имеющих только односторонние ограничения. К примеру, для задач с ограничениями снизу следует ограничения сверху сделать очень большими, т.е. сделать их несущественными.

Таблица 1

Оценка общих расходов на обучение группы авиаспециалистов  
в зависимости от уровня сложности программ

| Специалист<br>(n) | Затраты на обучение по программам разных уровней сложности (ден.ед.) (di) |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                   | (m) уровней подготовки                                                    |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                   | 1                                                                         | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| 1                 | 66                                                                        | 34  | 41  | 32  | 54  | 46  | 74  | 18  | 93  |
| 2                 | 54                                                                        | 12  | 48  | 32  | 76  | 16  | 50  | 34  | 36  |
| 3                 | 17                                                                        | 68  | 15  | 32  | 30  | 27  | 85  | 89  | 70  |
| 4                 | 20                                                                        | 16  | 33  | 26  | 60  | 36  | 69  | 37  | 104 |
| 5                 | 75                                                                        | 20  | 34  | 29  | 56  | 60  | 66  | 53  | 80  |
| 6                 | 11                                                                        | 19  | 29  | 10  | 59  | 37  | 77  | 59  | 12  |
| 7                 | 13                                                                        | 11  | 26  | 38  | 45  | 61  | 53  | 70  | 80  |
| 8                 | 42                                                                        | 29  | 34  | 65  | 72  | 19  | 66  | 49  | 13  |
| 9                 | 51                                                                        | 44  | 29  | 78  | 65  | 115 | 33  | 47  | 63  |
| 10                | 6                                                                         | 29  | 13  | 48  | 30  | 65  | 48  | 50  | 47  |
| 11                | 10                                                                        | 14  | 30  | 25  | 49  | 24  | 55  | 69  | 35  |
| 12                | 23                                                                        | 20  | 40  | 31  | 53  | 26  | 70  | 58  | 101 |
| 13                | 12                                                                        | 18  | 15  | 33  | 25  | 60  | 36  | 78  | 33  |
| 14                | 8                                                                         | 13  | 7   | 34  | 11  | 51  | 26  | 80  | 19  |
| 15                | 48                                                                        | 33  | 62  | 21  | 80  | 10  | 11  | 13  | 151 |
| 16                | 14                                                                        | 8   | 35  | 27  | 51  | 42  | 39  | 10  | 13  |
| 17                | 21                                                                        | 20  | 9   | 14  | 11  | 65  | 80  | 8   | 10  |
| 18                | 16                                                                        | 20  | 14  | 30  | 25  | 15  | 61  | 17  | 81  |
| 19                | 10                                                                        | 30  | 28  | 15  | 22  | 17  | 28  | 82  | 85  |
| 20                | 21                                                                        | 11  | 29  | 10  | 55  | 49  | 70  | 44  | 78  |
| план              | 2-3                                                                       | 1-4 | 1-4 | 2-6 | 1-6 | 2-4 | 2-3 | 2-5 | 2-6 |
| решение           | 3                                                                         | 4   | 2   | 2   | 1   | 2   | 2   | 2   | 2   |



Следует подчеркнуть, что существуют задачи, где в качестве свободных членов в ограничениях (1), (2) фигурируют не 1, а некоторые произвольные величины –  $a_i$ . Условием разрешимости таких задач служат неравенства

$$\sum_{j=1}^m b_{j2} \leq \sum_i a_i \leq \sum_{j=1}^m b_{j1}.$$

В качестве примера приведем решение задачи, исходная информация которой представлена в табл. 1. В ней же приведено решение задачи. Переменные, отличные от нуля, выделены серой заливкой. Задача решена за три итерации. Значения целевой функции на каждой итерации приведены на рис. 1 и в табл. 2.

Таблица 2

Решения при итерациях

|                 | 1 итерация | 2 итерация | 3 итерация |
|-----------------|------------|------------|------------|
| 1               | 3          | 3          | 3          |
| 2               | 4          | 4          | 4          |
| 3               | 4          | 4          | 2          |
| 4               | 2          | 1          | 2          |
| 5               | 0          | 1          | 1          |
| 6               | 3          | 1          | 2          |
| 7               | 0          | 2          | 2          |
| 8               | 3          | 2          | 2          |
| 9               | 1          | 2          | 2          |
| Целевая функция | 269        | 278        | 280        |

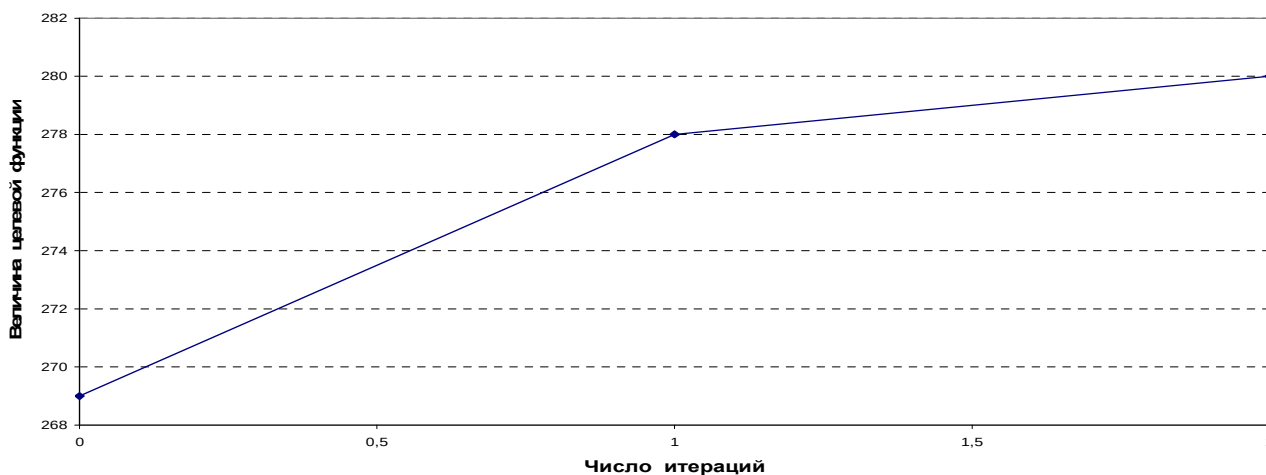


Рис. 1. Величина целевой функции в итерациях

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петрунин С.В. Использование метода последовательной сепарации для решения задач транспортного типа // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2004. - № 78(5). - С. 55 - 60.
2. Петрунин С.В., Большедворская Л.Г. Организация процесса подготовки летного состава авиакомпании в зависимости от сложности программы // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2011. - № 167.

**MATHEMATICAL MODEL OF ORGANISATION  
OF PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES****Petrinin S.V., Bolshedvorskaya L.G.**

The study offers a model of organization of professional development courses. The model is a more complicated version of the transport problem with limits in the form of inequalities. Solutions to these problems are offered in the iteration method, applying limits to additional variables, which are introduced to turn the problem into a closed one. An example of using an algorithm is given.

**Key words:** courses of improvement qualification, transport problem, method of consecutive separation.

**Сведения об авторах**

**Петрунин Станислав Владимирович**, 1936 г. р., окончил ЛПИ (1959), доктор технических наук, профессор кафедры экономики ГА МГТУ ГА, автор более 40 научных работ, область научных интересов – исследование операций, логистика.

**Большедворская Людмила Геннадьевна**, окончила МИИГА (1984), кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики ГА МГТУ ГА, автор более 30 научных работ, область научных интересов – повышение эффективности авиапредприятий, организация и управление персоналом.

УДК 629.7:061.6

## УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ГИДРОПНЕВМООБОРУДОВАНИЯ

В.И. САНЧУГОВ, В.П. ПОКАЗЕЕВ, Н.В. БАТАНОВ

Рассмотрены режимы ускоренных испытаний (УИ) на прочность, примеры стендового оборудования для испытаний, а также стендовое оборудование для ускоренных испытаний на прочность.

**Ключевые слова:** ускоренные испытания, прочность, цикл, амплитуда, частота, стендовое оборудование.

Отработка в условиях производства заданных по ТУ показателей надежности гидропневмооборудования (ГПО) имеет исключительно важное значение для обеспечения безотказности эксплуатации оборудования, снижения затрат на его восстановление и ремонт при отказах и неисправностях. Одним из основных отражаемых по ГОСТ 16504-81 показателей ресурса ГПО являются прочностные свойства оборудования. В отрасли создан и внедрен метод ускоренных испытаний на прочность и ресурс конструкций ГПО, напряженно-деформированное состояние которых создается в эксплуатации избыточным давлением рабочей среды.

Метод основан на ужесточении режимов циклического нагружения ГПО избыточным давлением рабочей жидкости с обеспечением эквивалентности результатов о прочностных свойствах конструкции ГПО, получаемых при нормальных испытаниях согласно ТУ. Он позволяет сократить продолжительность испытаний в сотни раз.

Ускоренным испытаниям подвергаются корпусные изделия гидравлического и пневматического оборудования: аккумуляторы, клапанные и золотниковые распределители, предохранительные, обратные и редукционные устройства, делители, регуляторы и сумматоры потока, дроссели, ресиверы, фильтры, сепараторы и другие устройства.

Ускоренные испытания проводят при воздействии на объект испытания высокочастотных колебаний внутреннего давления жидкости, создаваемых в специальном резонансном контуре стенда, известном как резонатор Гельмгольца, частью которого является объект испытаний. Параметры колебательных процессов теоретически исследованы путем решения нелинейных систем уравнений, описывающих движение жидкости в резонансном контуре и объекте испытаний, уравнений неразрывности и состояния жидкости. Для инженерного применения разработан порядок определения режимов ускоренных испытаний на основе численных методов расчета, проведена экспериментальная отработка режимов и результатов испытаний на различных гидроагрегатах. Установлена сходимость результатов ускоренных и нормальных сравнительных испытаний по конечному техническому состоянию на уровне, приемлемом для практического использования метода ускоренных испытаний.

Для проведения ускоренных испытаний конкретного типа ГПО устанавливаются режимы высокочастотного нагружения, предусматривающие выбор:

- частоты колебания давления жидкости с повышением её в зависимости от материала конструкции объекта испытаний до 1000 Гц, с увеличением скорости накопления усталостных разрушений и с сохранением эквивалентности по техническому состоянию;
- амплитуды колебания давления жидкости с повышением её по отношению к нормальным испытаниям в пределах запаса прочности, установленного в нормативной и конструкторской документации;
- количества циклов нагружения с учетом заданного назначенного ресурса, установленного в конструкторской документации.

## 1. Режимы ускоренных испытаний

1.1. Частота колебаний давления жидкости определяется в следующей последовательности:

а) назначается допускаемое для конструкции объекта испытаний повышение давления в пределах запаса прочности, выражаемое в виде относительного максимального размаха  $\bar{P}_{\max}$  колебания давлений (двойная амплитуда)

$$\bar{P}_{\max} = \frac{\kappa P_p}{P_p - P_{cl}},$$

где  $P_p$  - рабочее давление в гидролинии нагнетания, установленное для объекта испытаний в конструкторской документации, кг/м\*с<sup>2</sup>;  $\kappa$  – коэффициент допускаемого повышения рабочего давления жидкости, принимаемый равным от 0,4 до 0,6 от значения коэффициента запаса прочности, установленного в нормативной и конструкторской документации для конкретного типа гидropневмооборудования;  $P_{cl}$  - давление жидкости в гидролинии слива, установленное в конструкторской документации для объекта испытания, кг/(м\*с<sup>2</sup>);

б) экспериментальным путем с использованием гидропресса определяется приведенный объем  $V_{oi}$  внутренней полости объекта испытаний, характеризуемый изменяемым геометрическим объемом вследствие упругой деформации конструкции (податливости стенок конструкции) от воздействия повышенного избыточного давления жидкости;

в) для расчетного значения  $\bar{P}_{\max}$  и приведенного объема  $V_{oi}$  по номограммам устанавливаются требуемое для ускоренных испытаний рабочее давление в гидролинии нагнетания насосной станции  $P_{nc}$  и частота собственных колебаний  $f_c$  резонансного контура (пример показан на рис. 1);

г) частота колебания давления рабочей жидкости для объекта испытаний составляет

$$f_{oi} = 0,7 \cdot f_c,$$

где  $f_{oi}$  - частота колебания давления рабочей жидкости при ускоренных испытаниях, с<sup>-1</sup>;  $f_c$  - частота собственных колебаний резонансного контура, с<sup>-1</sup>.

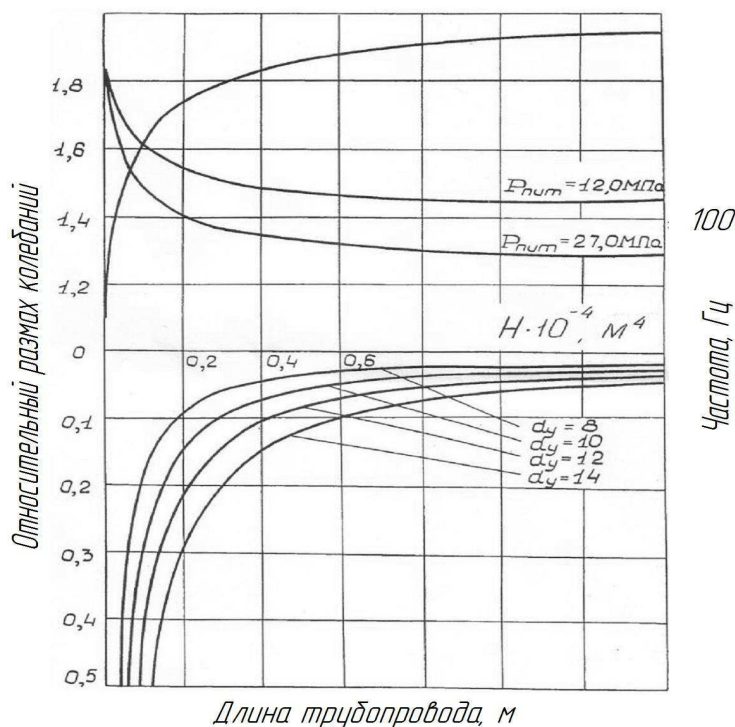


Рис. 1. Номограмма для определения параметров резонансного контура

1.2. Амплитуда колебания давления жидкости при ускоренных испытаниях устанавливается

$$A_p = (\kappa \cdot P_p - P_{HC} - P_{cl}),$$

где  $A_p$  - амплитуда высокочастотного колебания давления жидкости при ускоренных испытаниях, кг/(м\*с<sup>2</sup>).

1.3. Количество циклов высокочастотного нагружения при ускоренных испытаниях для установленных амплитуды ( $A_p$ ) и частоты колебания ( $f_{ou}$ ) давления жидкости определяется:

$$\text{- при растяжении, сжатии и изгибе } N^Y = N^H \left( K_f \cdot K_t \cdot \frac{\sigma^H_{a_{экр}}}{\sigma^Y_{a_{экр}}} \right)^m;$$

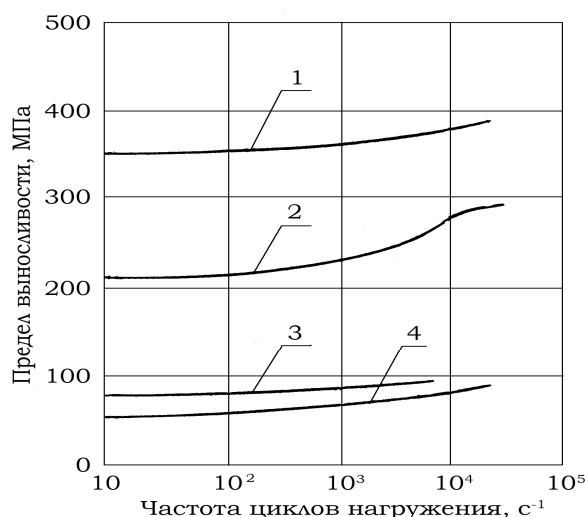
$$\text{- при кручении конструкции объекта испытания по формуле } N^Y = N^H \left( K_f \cdot K_t \cdot \frac{\tau^H_{a_{экр}}}{\tau^Y_{a_{экр}}} \right)^m,$$

где  $N^Y$  - количество циклов нагружения при ускоренных испытаниях;  $N^H$  - количество циклов нагружения при нормальных испытаниях, установленное в конструкторской документации для назначенного ресурса объекта испытаний;  $K_f$  - коэффициент зависимости скорости накопления усталостных разрушений от изменения частоты нагружения;  $K_t$  - коэффициент влияния температуры на предел выносливости материала объекта испытаний;  $\sigma^H_{a_{экр}}, \sigma^Y_{a_{экр}}$  - амплитуды нормальных эквивалентных напряжений при нормальных и ускоренных испытаниях, кг/(м\*с<sup>2</sup>);  $\tau^H_{a_{экр}}, \tau^Y_{a_{экр}}$  - амплитуды касательных эквивалентных напряжений при нормальных и ускоренных испытаниях, кг/(м\*с<sup>2</sup>);  $m$  - показатель степени уравнения кривой усталости.

Коэффициент зависимости скорости накопления усталостных разрушений от изменения частоты нагружения

$$K_f = \frac{\sigma^Y_{-1}}{\sigma^H_{-1}},$$

где  $\sigma^Y_{-1}$  - предел выносливости материала объекта испытаний при частоте ускоренных испытаний, кг/(м\*с<sup>2</sup>);  $\sigma^H_{-1}$  - предел выносливости материала объекта испытаний при частоте нормальных испытаний, кг/(м\*с<sup>2</sup>).



**Рис. 2.** Зависимость предела выносливости от частоты циклов нагружения: 1 – сплав углеродистой стали (0,11% углерода); 2 – сплав углеродистой стали отожженной (0,11% углерода); 3 – медный сплав; 4 – алюминиевый сплав

Значения пределов выносливости устанавливаются для материала конструкции конкретного объекта испытаний в зависимости от частоты циклов нагружения. На рис. 2 дан пример зависимости предела выносливости от изменения частоты циклов нагружения для ряда конструктивных материалов.

Амплитуды  $\sigma_{a_{экв}}$  и  $\tau_{a_{экв}}$  нормальных и касательных эквивалентных напряжений равны

$$\sigma_{a_{экв}} = K_{\sigma}(\sigma_a)_{np} \text{ и } \tau_{a_{экв}} = K_{\tau}(\tau_a)_{np},$$

где  $(\sigma_a)_{np}$ ,  $(\tau_a)_{np}$  - приведенные амплитуды нормальных и касательных напряжений, кг/(м\*с<sup>2</sup>);  $K_{\sigma}$ ,  $K_{\tau}$  - эффективные коэффициенты концентрации напряжения конструкции объекта испытаний.

Приведенные амплитуды нормальных  $(\sigma_a)_{np}$  и касательных  $(\tau_a)_{np}$  напряжений определяются

$$(\sigma_a)_{np} = \sigma_a K_{долг\sigma} \text{ и } (\tau_a)_{np} = \tau_a K_{долг\tau},$$

где  $\sigma_a$ ,  $\tau_a$  - расчетные амплитуды нормальных и касательных напряжений, кг/(м\*с<sup>2</sup>);  $K_{долг\sigma}$ ,  $K_{долг\tau}$  - коэффициенты долговечности по нормальным и касательным напряжениям.

Используемые в формулах коэффициенты выбираются и рассчитываются по нормативным и справочным документам.

## 2. Стендовое оборудование для ускоренных испытаний

Стенды для проведения ускоренных эквивалентных испытаний должны обеспечивать:

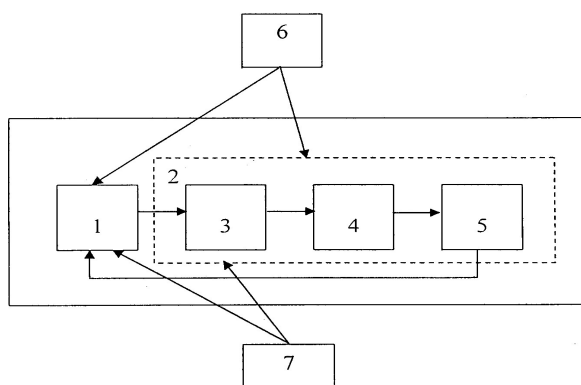
- расход и давление нагнетания рабочей жидкости, необходимые для испытаний;
- плавное и независимое регулирование параметров колебательного процесса в резонансных контурах;
- устойчивость частоты и амплитуды колебаний давления рабочей жидкости в резонансном контуре в процессе испытаний;
- исключение влияния колебательных процессов на работу насосной станции; высокий уровень чистоты рабочей жидкости по нормам ГОСТ 17216-2001;
- дистанционное управление насосной станцией и генератором колебаний давления рабочей жидкости;
- автоматический и визуальный контроль и измерение параметров испытаний и насосной станции.

Стенды конструктивно исполняются в виде отдельных блоков, включающих в себя насосную станцию (рис. 3, поз. 1) и гидросистему резонансного контура с устройствами акустической развязки (рис. 3, поз. 2). Управление, контроль и регистрация параметров испытаний и насосной станции (рис. 3, поз. 6, 7) осуществляют от пульта, подключенного к блокам.

Взаимным размещением блоков и пульта обеспечивается использование насосной станции и пульта для других видов испытаний.

В качестве насосной станции используется устройство, обеспечивающее требуемые по программе испытаний параметры рабочей жидкости: производительность, рабочее давление, номинальная толщина фильтрации жидкости не более 5 мкм.

Гидросистема блока резонансного контура с устройством акустической развязки обеспечивает испытания на частоте до 1000 Гц создаваемых генератором колебаний давления жидкости. На рис. 4 представлена гидравлическая схема блоков резонансного контура для проведения испытаний на частотах до 300 Гц.

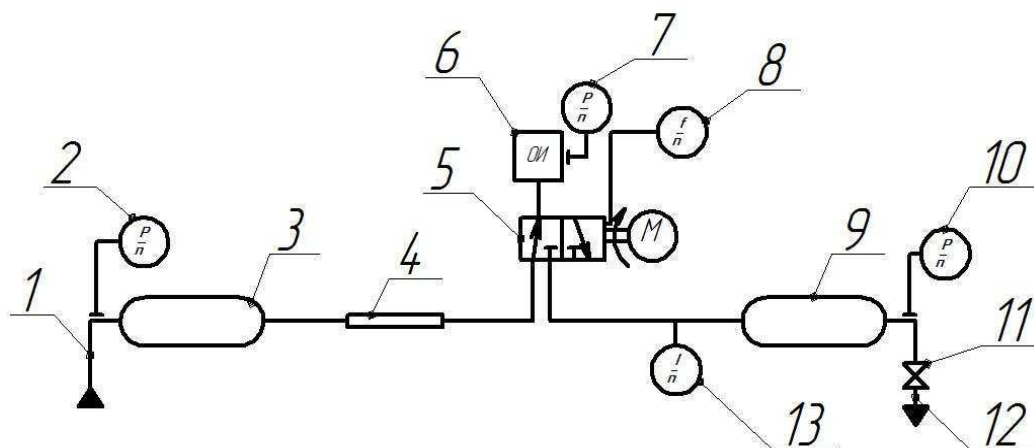


**Рис. 3.** Структурная схема стенда для ускоренных испытаний на прочность:

1 - насосная станция; 2 - блок резонансного контура с устройствами акустической развязки; 3 - устройство акустической развязки по гидролинии высокого давления; 4 - резонансный контур; 5 - устройство акустической развязки по гидролинии слива; 6 - электрическая дистанционная система управления стендом; 7 - система контроля и регистрации параметров испытаний и насосной станции

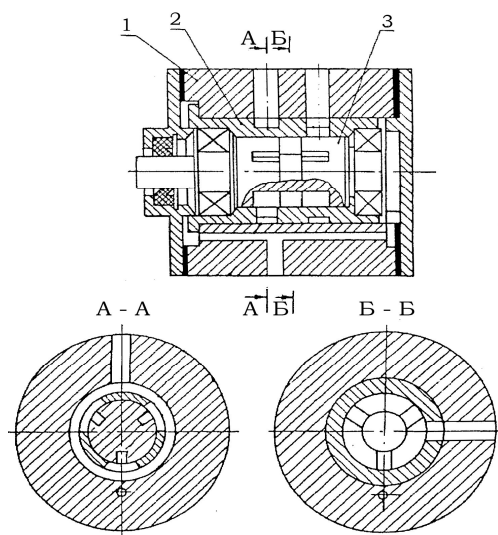
Гидросистема блока резонансного контура включает:

- генератор колебаний давления жидкости (рис. 4, поз. 5), подключенный к объекту испытаний;
- резонансный трубопровод (рис. 4, поз. 4);
- устройства акустической развязки, обеспечивающие устойчивую работу резонансного контура и защищающие насосную станцию от воздействия колебательных процессов, выполненные в виде баллонов высокого (рис. 4, поз. 3) и низкого (рис. 4, поз. 8) давления определенного внутреннего объема.



**Рис. 4.** Схема гидравлическая блока резонансного контура с устройствами акустической развязки для испытаний на частотах до 300 Гц: 1 - гидролиния нагнетания от насосной станции; 2, 7, 10 - датчик давления; 3 - баллон высокого давления устройства акустической развязки по гидролинии высокого давления; 4 - резонансный трубопровод; 5 - генератор колебаний давления жидкости с электродвигателем; 6 - объект испытаний; 8 - датчик частоты; 9 - баллон низкого давления устройства акустической развязки по гидролинии слива; 11 - регулируемый вентиль с дистанционным управлением; 12 - гидролиния слива; 13 - датчик (сигнализатор) температуры рабочей жидкости

На требуемую частоту колебаний давления жидкости генератор колебаний настраивается регулировкой частоты вращения приводного электродвигателя. Генераторы колебаний давления жидкости, как правило, выполняются с двухпозиционным трехлинейным распределителем (рис. 5).



**Рис. 5.** Генератор колебаний давления с двухпозиционным трехлинейным распределителем:  
1 – корпус; 2 – втулка; 3 – вращающийся золотник

Амплитуда колебаний давления жидкости задается посредством дистанционных гидравлических дроссельных вентилей (рис. 4, поз. 11).

Параметры резонансного трубопровода (рис. 4, поз. 4) определяются для приведенного объема  $V_{\text{он}}$  объекта испытаний. По номограммам устанавливается внутренний диаметр резонансного трубопровода  $d_y$  и длина резонансной магистрали  $L_{\text{рм}}$  (пример на рис. 1), включающей участок трубопровода от генератора колебаний давления жидкости до баллона высокого давления устройства акустической развязки с резонансным трубопроводом (рис. 4, поз.4).

### 3. Пример практического применения метода ускоренных испытаний

3.1. В качестве объекта испытаний принят корпус двухпозиционного гидрораспределителя, предназначенного для изменения направления потока рабочей жидкости в двух гидролиниях.

Для определения режимов ускоренных испытаний используются исходные данные, установленные в конструкторской документации для объекта испытаний:

- рабочее давление в гидролинии нагнетания  $P_p = 20$  МПа;
- максимальное давление в гидролинии слива  $P_{\text{сл}} = 1,0$  МПа;
- максимальный расход, пропускаемый через гидрораспределитель –  $0,7$  дм<sup>3</sup>/с;
- эксплуатационный диапазон температур рабочей жидкости – от  $80^\circ\text{C}$  до  $110^\circ\text{C}$ ;
- материал корпуса гидрораспределителя – АК4-1 с физико-механическими свойствами по ГОСТ 21488;
- в материале конструкции корпуса от воздействия избыточного давления жидкости создаются нормальные напряжения;
- коэффициент запаса прочности по ТУ составляет 3,0;
- режимы эксплуатационного нагружения переменным избыточным давлением в течение назначенного ресурса, определяемые низкочастотным нагружением при срабатывании гидрораспределителя и высокочастотным нагружением от насосной пульсации давления жидкости (колебания давления, вызванные пульсирующей подачей жидкости гидронасосом). Параметры эксплуатационного нагружения представлены в табл. 1.



Таблица 1

Параметры эксплуатационного нагружения  
двухпозиционного гидрораспределителя

| Нагружение корпуса гидрораспределителя избыточным давлением рабочей жидкости | Параметры нагружения                                 |                                                                     |                              | Назначенный ресурс по ТУ, ч |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
|                                                                              | Частота колебаний давления жидкости, с <sup>-1</sup> | Амплитуда колебаний давления жидкости, МПа (кг/(м*с <sup>2</sup> )) | Количество циклов нагружения |                             |
| Низкочастотное                                                               | 0,24                                                 | 3,0 (3*10 <sup>6</sup> )                                            | 8,5*10 <sup>6</sup>          | 10 000                      |
| Высокочастотное                                                              | 600                                                  | 0,7 (0,7*10 <sup>6</sup> )                                          | 2,16*10 <sup>10</sup>        |                             |

### 3.2. Определение режимов ускоренных испытаний:

#### а) низкочастотное эксплуатационное нагружение.

Частоту колебаний давления рабочей жидкости определяют в последовательности:

- рассчитывается относительный размах колебаний давления жидкости  $\bar{P}_{\max} = 1,66$  для коэффициента  $k=0,52$ ;

- определяется по номограмме (рис. 1) частота собственных колебаний резонансного контура  $f_c = 180 \text{ с}^{-1}$  и устанавливается частота колебаний давления рабочей жидкости  $f_{0И} = 126 \text{ с}^{-1}$  при проведении ускоренных испытаний;

- для внутреннего диаметра проходной арматуры гидрораспределителя, равного 10мм, по нижней части номограммы (рис. 1) выбирается внутренний диаметр резонансного трубопровода  $d_y = 8 \text{ мм}$  и длина резонансной магистрали  $L_{рм} = 200 \text{ мм}$ . Длина резонансного трубопровода равна 150 мм.

Амплитуда колебаний давления рабочей жидкости  $A_p = 11 \text{ МПа}$ ;

#### б) высокочастотное эксплуатационное нагружение.

Частота колебаний давления рабочей жидкости для проведения ускоренных испытаний принимается равной  $600 \text{ с}^{-1}$ .

Амплитуда колебаний давления рабочей жидкости равна  $0,5(P_{нс} - P_{сл}) = 9,2 \text{ МПа}$ ;

- в) рассчитывается количество циклов нагружения при ускоренных испытаниях для режимов низкочастотного и высокочастотного эксплуатационного нагружения.

### 3.3. Проведение ускоренных испытаний.

Ускоренные испытания проводятся с использованием стенда с блоками резонансных контуров:

- по гидравлической схеме (рис. 4) для испытаний гидрораспределителей по режимам низкочастотного нагружения;

- по гидравлической схеме для испытаний гидрораспределителей по режимам высокочастотного нагружения.

Подбирают для стенда насосную станцию для обеспечения максимального расхода по ТУ на объект испытаний и проводят испытания по режимам нагружения в соответствии с табл. 2. В процессе испытаний контролируется время испытаний, и непрерывно регистрируются параметры насосной станции и гидравлической системы блока резонансного контура датчиками по схеме (рис. 4).

Назначенный ресурс 10 000 ч для объекта испытаний устанавливается по положительным результатам ускоренных испытаний по режимам табл. 2 в объеме стендовой наработки 35 ч. Коэффициент ускорения стендовых испытаний равен 286.

Таблица 2

## Режимы нагружения

| Нагружение корпуса гидрораспределителя избыточным давлением рабочей жидкости при УИ | Параметры нагружения                                 |                                                                     |                              | Продолжительность стендовых ускоренных испытаний, ч |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                                                                     | Частота колебаний давления жидкости, с <sup>-1</sup> | Амплитуда колебаний давления жидкости, МПа (кг/(м*с <sup>2</sup> )) | Количество циклов нагружения |                                                     |
| Эквивалентное низкочастотному эксплуатационному                                     | 126                                                  | 11 (11*10 <sup>6</sup> )                                            | 9,7*10 <sup>5</sup>          | 2,1                                                 |
| Эквивалентное высокочастотному эксплуатационному                                    | 600                                                  | 9,2 (9,2*10 <sup>6</sup> )                                          | 7,1*10 <sup>7</sup>          | 32,9                                                |

По завершению ускоренных испытаний производится анализ и оценка технического состояния испытанных образцов ГПО по результатам:

- измерения параметров;
- микрообмера деталей и зазоров;
- исследования остаточных деформаций деталей и узлов;
- неразрушающего или разрушающего контроля деталей, подверженных процессам усталостного разрушения.

Изложенный метод ускоренных испытаний на прочность гидropневмооборудования в полной мере апробирован, промышленно освоен, и в настоящее время на его основе выпускается национальный стандарт Российской Федерации.

## ACCELERATED TEST FOR STRENGTH OF PNEUMO-HYDRAULIC EQUIPMENT

Sanchugov V.I., Pokazeev V.P., Batanov N.V.

We consider the acceleration mode, the endurance test, sample test bench equipment, and bench equipment for accelerated tests of strength.

**Key words:** accelerated testing, durability, cycle, amplitude, frequency, bench equipment.

## Сведения об авторах

**Санчугов Валерий Иванович**, 1946 г.р., окончил КуАИ (1967), доктор технических наук, главный научный сотрудник, профессор кафедры эксплуатации авиационной техники СГАУ, автор более 100 научных работ, область научных интересов – гидродинамические технологии отработки и испытания гидротопливных систем ЛА.

**Показеев Владимир Петрович**, 1960 г.р., окончил КуАИ (1983), кандидат технических наук, научный сотрудник, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники СГАУ, автор 50 научных работ, область научных интересов – гидродинамические технологии испытания гидротопливных систем ЛА.

**Батанов Никита Владимирович**, 1983 г.р., окончил СГАУ (2006), аспирант кафедры эксплуатации авиационной техники СГАУ, автор 1 научной работы, область научных интересов – гидравлические испытания.

УДК 629.7:061.6

## СУЩНОСТЬ И СУЩЕСТВУЮЩИЕ СХЕМЫ УСКОРЕННЫХ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ИСПЫТАНИЙ (УЭИ)

В.И. САНЧУГОВ, В.П. ПОКАЗЕЕВ, Н.В. БАТАНОВ

Рассмотрены основные моменты теории ускоренных эквивалентных испытаний и основные схемы существующего оборудования для проведения ускоренных эквивалентных испытаний.

**Ключевые слова:** ускоренные эквивалентные испытания, сущность, метод, стендовое оборудование.

### 1. Сущность ускоренных эквивалентных испытаний (УЭИ)

Методики ускоренных испытаний основаны на теории физического моделирования, а эквивалентность режимов подтверждается достижением идентичного конечного технического состояния элементов гидросистем за более короткое, чем при нормальных режимах испытаний, время.

Техническое состояние гидроагрегата определяется как функциональными параметрами, так и конструктивными характеристиками: состоянием силовых элементов, величинами зазоров и износа в парах трения, состоянием поверхности, изменением характеристик пружин, усталостной прочностью силовых элементов и т.п.

Сокращение времени испытаний достигается интенсификацией процессов, определяющих конечное техническое состояние. В части, касающейся усталостной прочности, к ним относятся:

- увеличение температуры рабочей жидкости;
- увеличение давления рабочей жидкости;
- увеличение частоты циклов нагружения.

Пределы форсирования режимов устанавливаются исходя из условия сохранения природы основных физических процессов, сопровождающих сопротивление усталости (скорости накопления усталостных повреждений), идентичности наблюдаемых дефектов, законов распределения отказов по прототипам в эксплуатации и характера изменения рабочих характеристик агрегатов при нормальных и ускоренных испытаниях. Обоснование эквивалентности режимов ускоренных испытаний может осуществляться:

- расчетным путем;
- путем сравнения с результатами эксплуатации;
- путем сравнения с результатами испытаний прототипа;
- путем проведения сравнительных испытаний.

Существующая нормативно-техническая документация определяет методику назначения ускоренного эквивалентного режима нагружения (нагрузка, количество циклов, температура, частота циклов нагружения), обеспечивающего автономность режимов с количественной характеристикой накопленного усталостного повреждения. Она базируется на возможностях существующих последние 15...20 лет методов проведения испытаний на воздействие пульсаций давления и возможности стендового оборудования обеспечивать заданные режимы нагружения.

Расчет режимов ускоренных испытаний проводится для гидравлических агрегатов, ресурс которых составляет не менее 500 ч.

Исходными данными для расчета режимов ускоренных испытаний являются:

- основные технические данные агрегата, характеризующие режимы нормальных испытаний согласно ТУ (ТЗ);
- справочные материалы, характеризующие режимы работы элементов агрегата, старение уплотнений и электроизоляционных материалов, работу элементов в условиях циклического нагружения.

Расчет режимов ускоренных эквивалентных испытаний проводится для элементов и узлов, изменение технического состояния которых определяет работоспособность агрегата при испытаниях.

Расчету режимов предшествует анализ конструкции агрегата, режимов и условий испытаний с целью определения расчетных схем и параметров нагрузок.

При расчете режимов рассматриваются основные процессы, вызывающие изменение технического состояния элементов и узлов агрегата вследствие накопления усталостных повреждений под действием циклических нагрузок. Расчет производится для элементов, имеющих наименьший запас усталостной прочности. Число циклов нагружения при ускоренных испытаниях в случае растяжения, сжатия и изгиба определяется по формуле

$$N^y = N^H \left[ K_f \left( \frac{K_t^y}{K_t^H} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{aэкв}^H}{\sigma_{aэкв}^y} \right) \right],$$

где  $N^y$  - число циклов нагружения при ускоренных испытаниях;  $N^H$  - число циклов нагружения при нормальных испытаниях;  $K_f$  - коэффициент, характеризующий зависимость скорости накопления усталостных повреждений от изменения частоты циклов нагружения;  $K_t^y$  - коэффициент, характеризующий изменение предела выносливости с изменением температуры при ускоренных испытаниях;  $K_t^H$  - то же при нормальных испытаниях;  $\sigma_{aэкв}^H$  - эквивалентное напряжение при нормальных испытаниях;  $\sigma_{aэкв}^y$  - то же при ускоренных испытаниях, показатель степени уравнения кривой усталости для материалов силовых элементов.

Величины эквивалентных напряжений в опасном сечении элемента определяются по формуле

$$\sigma_{экв} = \sigma_a \frac{K_\sigma}{\alpha\beta} + \Psi_\sigma \sigma_m,$$

где  $\sigma_a$  - амплитудная составляющая напряжений от колебаний давления;  $\sigma_m$  - средняя составляющая напряжений от давления;  $K_\sigma$  - коэффициент концентрации напряжений;  $\alpha_1$  - масштабный фактор;  $\beta$  - коэффициент, характеризующий чистоту поверхности детали;  $\psi_\sigma$  - коэффициент чувствительности к асимметрии цикла.

Режимы ускоренных испытаний подвергаются анализу по условию сохранения природы основных физических процессов, определяющих работоспособность агрегата с учетом минимально допустимых нагрузок.

На основании приведенного расчета и анализа устанавливаются режимы нагружения при ускоренных испытаниях. На основании выбранных режимов разрабатывается программа ускоренных испытаний на ресурс. Программа ускоренных испытаний вводится в действующую техническую документацию по согласованию с представителем заказчика после подтверждения эквивалентности режимов нормальных и ускоренных испытаний.

Интенсификация УЭИ может быть достигнута:

- увеличением действующих нагрузок;
- увеличением температуры;
- повышением частоты циклов нагружения.

Увеличение нагрузок и температуры уменьшает количество циклов нагружения  $N_y$ , а повышение частоты сокращает время их отработки.

Существующие методы проведения УЭИ развивались по пути уменьшения числа циклов нагружения за счет увеличения действующих нагрузок при частотах 3...5 Гц, что закреплено нормативно-технической документацией.

## 2. Существующие схемы технологического стендового оборудования для УЭИ

В гидромеханике, как и в механике вообще, возможна реализация двух методов возбуждения колебаний давления потока жидкости:

- скачкообразное (ступенчатое) изменение давления на входе в объект испытаний;

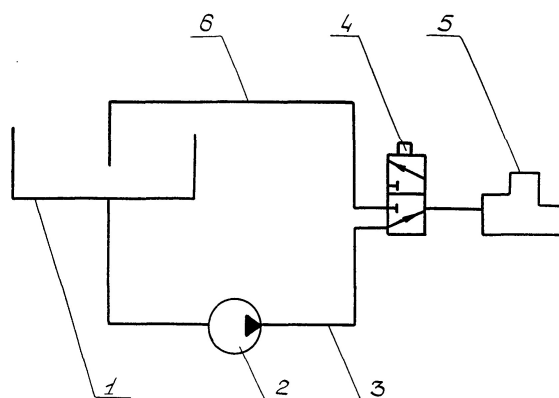
- периодическое (гармоническое) изменение давления или расхода на входе (выходе) в объект испытаний.

Движение, возникающее в первом случае, известно как результат ударного возмущения, а в теории автоматического регулирования и электротехнике - как переходный процесс. Во втором случае движение известно как периодическое (гармоническое) вынужденное движение.

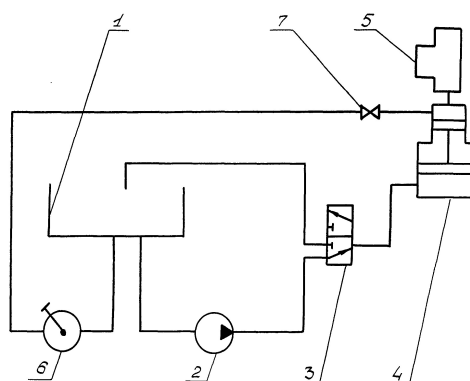
Исторически для решения задач УЭИ гидроагрегатов появилась схема ступенчатого нагружения объекта испытаний в результате срабатывания двухпозиционного распределителя (рис. 1). Применение схемы базировалось на законах стационарной гидравлики, предполагающей изменение давления в объекте испытаний от давления слива до давления нагнетания, развиваемого насосной станцией.

С увеличением рабочих давлений в гидросистемах до 20,0 МПа с середины 60-х годов в напорной линии перед распределителем стали размещать мультипликатор давления (рис. 2). Это позволило реализовывать режимы нагружения с размахом колебаний давления до 40,0...60,0 МПа, которые по уровню действующих в объекте испытаний напряжений являются предельными из условия сохранения подобия физической природы сопротивления усталости. Недостатками подобных стендов являются:

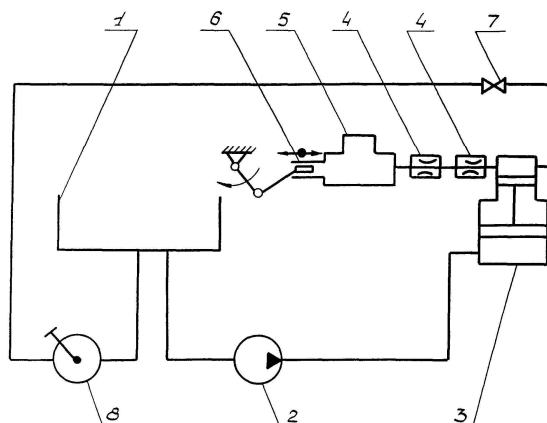
- низкая частота циклов нагружения (менее 1 Гц);
- низкая надежность;
- высокие энергетические затраты на создание давления в больших объемах полости мультипликатора.



**Рис. 1.** Принципиальная схема стенда для ускоренных эквивалентных испытаний: 1 – бак; 2 - насосная станция; 3 - линия нагнетания; 4 – распределитель; 5 - объект испытаний; 6 - линия слива



**Рис. 2.** Принципиальная схема стенда для ускоренных эквивалентных испытаний с мультипликатором давления: 1 - бак; 2 - насосная станция; 3 - распределитель; 4 - мультипликатор давления; 5 - объект испытаний; 6 - вспомогательный насос; 7 - кран зарядки мультипликатора



**Рис. 3.** Принципиальная схема стенда для ускоренных эквивалентных испытаний с генератором колебаний объемного типа: 1 - бак; 2 - насосная станция; 3 - мультипликатор давления; 4 - дроссели; 5 - объект испытаний; 6 - генератор колебаний объемного типа; 7 - кран зарядки мультипликатора; 8 - вспомогательный насос

Одновременно в связи с развитием теории автоматического регулирования для гидротопливных систем ЛА, систем автоматики ГТД, ЖРД возникла необходимость исследования динамических свойств элементов автоматики при возбуждении гармонических колебаний рабочих сред.

Эти так называемые частотные методы исследования потребовали возбуждения колебаний давления с размахом до 4,0 МПа на частотах до 1 кГц. Для этих целей нашли применение схемы возбуждения вынужденных колебаний с объемными (рис. 3) и дроссельными генераторами.

Несмотря на широкое использование объемных генераторов, попытка их применения при УЭИ для возбуждения колебаний давления с размахом свыше 10,0 МПа показала низкую надежность и малый ресурс.

Дроссельные генераторы, появившиеся с начала 70-х годов, после отработки и совершенствования конструктивных схем и способов подключения в стендовые системы показали высокую надежность, широкий частотный диапазон, способность возбуждения колебаний давления до 10,0 МПа. В результате они заняли доминирующее положение не только в области частотных испытаний, но и для ряда специальных задач, например, промывки гидродинамическими методами гидравлических систем и их элементов. Однако попытки возбуждения колебаний давления с размахом свыше 10,0 МПа потребовали значительных затрат мощности.

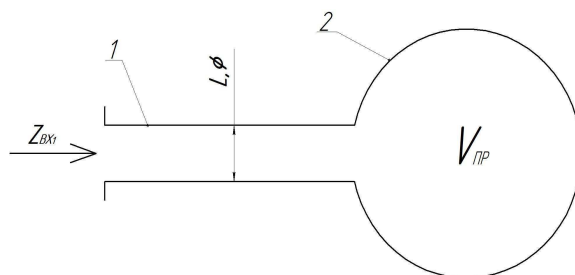
Опыт проведения усталостных испытаний в других отраслях машиностроения, например, материаловедении, свидетельствует о следующем. В инфразвуковом диапазоне частот возбуждаемых колебаний (до 10 Гц) образцов и элементов механических систем применяются резонансные и нерезонансные режимы возбуждения колебаний (механические и гидравлические устройства). Интенсивные циклические нагрузки на высоких частотах практически обеспечиваются лишь при резонансе механических систем самовозбуждения. Вне резонанса требуемые мощности для проведения испытаний оказываются чрезмерными.

Для проведения испытаний в звуковом (300...16000 Гц) и ультразвуковом (до 50 кГц) диапазонах в настоящее время применяются пневматические (до 20 кГц), электромагнитные (до 500...700 Гц), электродинамические (3...5000 Гц), магнитострикционные (3...50 кГц) и пьезоэлектрические (10...40 кГц) преобразователи.

Предпочтительными для решения задач УЭИ являются методы возбуждения вынужденных колебаний (близких к гармоническим) на резонансных режимах. В качестве простейших резонансных систем могут быть рассмотрены резонансные контуры, состоящие из элементов упругого и инерционного характера сопротивления (колебательное звено 2-го порядка).

Среди них наиболее перспективной является схема резонатора, состоящего из отрезка сосредоточенного гладкого цилиндрического канала с присоединительной полостью (рис. 4). Его динамические свойства оцениваются по величинам входного импеданса  $Z_{вх}$ , которые имеют различный характер со стороны канала и со стороны полости. Со стороны трубопровода расчетная модель резонатора представляет собой последовательный резонансный контур, состоящий из элементов активного, инерционного (канал) и упругого (полость) сопротивления.

Исследования частотных характеристик резонаторов показали высокую добротность систем на частотах до 500 Гц. Это подтвердилось в ходе предварительных экспериментов Санчугова В.И. с резонатором, представляющим собой емкость, имитирующую объект испытаний объемом  $160 \text{ см}^3$  с резонансным трубопроводом  $d = 12 \text{ мм}$ ,  $l = 190 \text{ мм}$  (рис. 4). Собственная частота резонатора, эквивалентная резонансной угловой частоте колебаний, составляла 152 Гц.



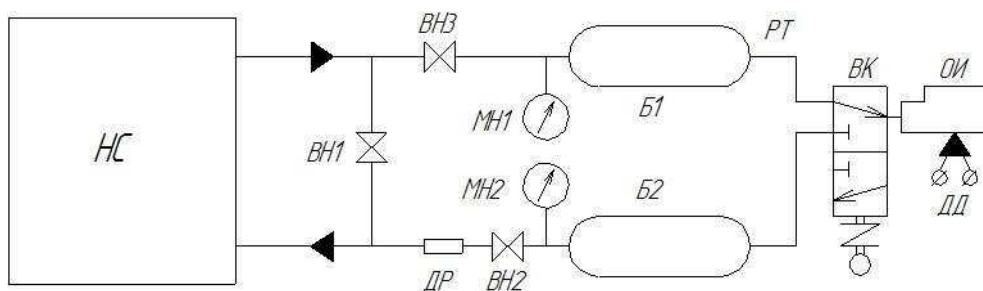
**Рис. 4.** Схема резонатора:

1 - гладкий цилиндрический канал; 2 - полость

Исследования возбуждения колебаний давления для УЭИ при ступенчатом возмущении проводились В.И. Санчуговым и В.П. Показеевым на универсальном стендовом оборудовании кафедры ЭЛАиД СГАУ по схеме, приведенной на рис. 5.

Быстродействующий распределитель 3 обеспечивал переключение гидролиний с частотой до 200 Гц при времени открытия (закрытия) до 0,001 с. Соотношения длительности подключения полости имитатора 4 к напорной и сливным гидролиниям составляло 2,2:1. Возбуждение колебаний проводилось при давлении питания в баллоне 1, равном 12,0 МПа, и различных частотах переключения гидролиний. В ходе проведения эксперимента измерялись:

- давление в полости имитатора объекта испытаний Р;
- расход жидкости в гидролинии слива Q;
- частота срабатывания распределителя f.



**Рис. 5.** Принципиальная гидравлическая схема экспериментальной установки:

НС - насосная станция; ВН1...ВН3 - вентили регулирующие; Б1, Б2 - баллоны высокого давления;  
РТ - резонансный трубопровод; ВК - возбудитель колебаний; ОИ - объект испытаний;  
ДД - датчик давления; М - привод возбудителя колебаний; МН1, МН2 - манометры; ДР - датчик расхода

Эксперименты показали следующее:

- метод позволяет осуществлять возбуждение высокоамплитудных колебаний на частотах, достигающих сотен Гц;

- размах циклов нагружения по давлению жидкости может достигать двухкратных значений давления нагнетания насосной станции;
- процесс возбуждения стабилен и достаточно просто управляем по статическим параметрам работы стенда;
- энергетические затраты на возбуждение колебаний в значительной мере определяются временем начала подключения гидролинии слива и имеют разброс, достигающий 300...500%;
- для расчета параметров стендовой системы, позволяющей реализовать заданную частоту испытаний и минимальные затраты мощности при максимальных размахах циклов нагружения, необходимо создание специальной методики расчета, учитывающей геометрию соединительных и переходных штуцеров и каналов в распределителе.

В работах, проведенных Показеевым В.П. по испытаниям партии электрогидравлических распределителей типа 775100 НГЖ 87001, решались следующие задачи:

- оценка эффективности проведения ускоренных эквивалентных испытаний при создании и доводке новой техники;
- исследование влияния режима нагружения как по диапазону пульсаций, так и по частоте на процессы сопротивления усталости;
- проверка методики прогнозирования долговечности.

Всего было подвергнуто нагружению четыре образца. Изделие находилось в стадии доработки и увеличения ресурса от 3000 часов до 15000 часов. Первые три агрегата (№№ 85003, 85004, 87001) одной партии нагружались на различных режимах с частотами 5, 8, 200 и 300 Гц. Испытания велись до возникновения повреждения (разрушение корпуса). После этого по методике прогнозирования долговечности производилось приведение режимов нагружения к эквивалентному эксплуатационному режиму и прогнозировался ресурс работы изделия в эксплуатации.

Низкочастотные испытания изделий №№ 85003 и 87001 (5 и 8 Гц) проводились на установке с мультипликатором давления АО «Агрегат». Испытания изделий № 85003, № 87001, а также доработанного изделия № 85002 проводились на специализированном стенде для ускоренных эквивалентных испытаний.

Результаты испытаний партии электрогидравлических распределителей показали высокую эффективность метода проведения ускоренных эквивалентных испытаний на частотах свыше 150 Гц. Время проведения испытаний на частоте 200 Гц по сравнению с низкочастотными режимами сократилось в 8-10 раз. Время подтверждения ресурса в 45000 часов на режиме 18-24 МПа и  $f_n=200$  Гц составило около 100 часов.

Сокращение времени испытаний на воздействие пульсаций давления при отработке на ресурс в 8-10 раз приводит к сокращению времени создания и доводки новой техники в 2-3 раза. Так, по результатам испытания партии электрогидравлических распределителей было принято решение об изменении конструкции корпуса распределителя и технологии его изготовления. Доработанное изделие №85002 было испытано на высокочастотном режиме и подтвердило ресурс 45000 часов.

Календарное время работ по увеличению ресурса изделия от 3230 часов до 15000 часов составило 4,5 месяца.

Следует отметить, что использование метода возбуждения колебаний давления при помощи ступенчатого возмущения имеет ограничение по частоте, что связано, с одной стороны, с собственной частотой системы, с другой стороны, с тем, что распределитель (ВК) имеет ограничения по закону изменения площади проходного сечения и количеству пазов на вращающемся золотнике. В результате максимальная частота возбуждаемых колебаний в экспериментах не превышала 250 Гц, а работа на резонансных режимах резко повышала расход рабочей жидкости, потребные мощности и нагрузки (гидродинамические силы) на возбудитель колебаний.

Исследования дроссельных генераторов в системе с параллельным резонатором несмотря на высокую добротность ограничивались относительно небольшими амплитудами гармонических колебаний для частотных испытаний.



## NATURE AND EXISTING SCHEMES OF ACCELERATED EQUIVALENT TEST

**Sanchugov V.I., Pokazeev V.P., Batanov N.V.**

We consider the main aspects of the theory of accelerated equivalent test and basic schemes of the existing equipment for accelerated tests.

**Key words:** accelerated equivalent tests, the essence of the method, bench equipment

### Сведения об авторах

**Санчугов Валерий Иванович**, 1946 г.р., окончил КуАИ (1967), доктор технических наук, главный научный сотрудник, профессор кафедры эксплуатации авиационной техники СГАУ, автор более 100 научных работ, область научных интересов – гидродинамические технологии отработки и испытания гидродопливных систем ЛА.

**Показеев Владимир Петрович**, 1960 г.р., окончил КуАИ (1983), кандидат технических наук, научный сотрудник, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники СГАУ, автор 50 научных работ, область научных интересов – гидродинамические технологии испытания гидродопливных систем ЛА.

**Батанов Никита Владимирович**, 1983 г.р., окончил СГАУ (2006), аспирант кафедры эксплуатации авиационной техники СГАУ, автор 1 научной работы, область научных интересов – гидравлические испытания.

УДК 629.7.351

## УСТАНОВЛЕНИЕ ДОПУСКОВ НА ОЦЕНИВАЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ С УЧЕТОМ РИСКОВ ЗАКАЗЧИКА И ИЗГОТОВИТЕЛЯ

И.Б. ГУБЕРМАН

**Статья представлена доктором технических наук, профессором Рубцовым В.Д.**

В статье рассмотрена проблема установления допусков для неадекватных моделей оцениваемого параметра и условий эксплуатации аппаратуры, установление допуска как стохастической или нечеткой величины и в случае функционально связанных параметров.

**Ключевые слова:** оценка соответствия, допуски, вероятность, параметры.

Значительная часть недостоверных решений при оценке соответствия (далее ОС) объясняется проблемой установления допусков контролируемых параметров. Допуски играют роль системного интерфейса в иерархической гибридной системе ОС. Для радиоэлектронной аппаратуры (далее РЭА) проблема установления допусков особенно важна из-за специфики РЭА как многопараметрической аппаратуры с весьма большим уровнем изменчивости параметров и характеристик, работающей в широком диапазоне условий эксплуатации.

Выход параметров РЭА за допуски может сопровождаться появлением опасности для человека или оборудования, сбоем, отказом, выходом из строя аппаратуры или объекта управления, а также приводить к снижению качества РЭА, то есть выполнению функциональной задачи аппаратуры с пониженной точностью.

Среди многочисленных аспектов проблемы допусков рассмотрим следующие: установление допусков при неадекватных моделях оцениваемого параметра и условий эксплуатации аппаратуры, установление допуска как стохастической или нечеткой величины и в случае функционально связанных параметров.

Устанавливаемый допуск на оцениваемый параметр РЭА может становиться неточным, так как в процессе измерений сам оцениваемый параметр подменяется моделью этого параметра, не являющейся полностью адекватной собственно параметру. Так, при переходе на цифровые методы измерения может возникнуть подмена параметра - объекта измерения цифровой моделью по сравнению с теоретическим определением этого параметра. Однако имеются измерительные задачи, требующие высокоточных измерений частоты и фазы, например, измерение малых доплеровских сдвигов и задержек сигналов при сближении или посадке воздушных судов. В этом случае требуется установление допусков, учитывающих неадекватность моделей частоты и фазы.

Известен пример замены объекта измерений - частоты сигнала.

При замене частоты ее цифровым эквивалентом в виде числа пересечений смесью сигнала и помехи нулевого уровня смещение оценки частоты возрастает с увеличением отношения сигнал/помеха и отношения ширины полосы помехи к средней частоте сигнала и может достигать значительной величины [1].

Смещение фазы при измерениях с помощью типовых цифровых фазометров, в которых строгое определение фазы с использованием преобразования Гильберта [2] заменяется измерением в количестве «счетных» импульсов временным интервалом между «нулевыми» переходами опорного сигнала и смеси сигнала и помехи, для современных широкополосных сигналов также весьма значительно.

Таким образом, в условиях помех замена измеряемых частоты и фазы их цифровыми эквивалентами уменьшает достоверность измерений цифровыми методами.

Устанавливаемый допуск может становиться неточным, так как при его установке применялась модель условий эксплуатации, не являющаяся полностью адекватной реальным условиям эксплуатации РЭА. Неточно поставленный с точки зрения реальных условий эксплуатации допуск может ухудшить качество функционирования, а также привести к полному срыву работы РЭА.

Рассмотрим пример, когда допуск устанавливается на параметры системы частотно-фазовой автоподстройки частоты (ЧФАПЧ), применяемой в канале синхронизации радионавигационной системы (РНС). При включении РНС и попадании сигнала  $u(t) = U_0 \cos [(\omega_0 + \Omega_c)t + \varphi]$  в полосу схватывания системы частотной автоподстройки ( $\Omega_c < \Omega_{\text{схв}}$ ) происходит уменьшение начальной расстройки  $\Omega_c$  до значения  $\Omega_{\text{схв}}^{\Phi}$ , определяющего границы полосы схватывания системы фазовой автоподстройки, и при  $\Omega(t) < \Omega_{\text{схв}}^{\Phi}$  происходит захват сигнала и слежение за ним с точностью до фазы [3]. При воздействии на ЧФАПЧ широкополосной помехи текущая расстройка  $\Omega(t)$  сигнала может оказаться за пределами  $\Omega_{\text{схв}}$ .

Выражения для математического ожидания ( $F(\Omega - \psi)$ ) дискриминационной характеристики частотного детектора (ЧД), где  $\psi$  - производная фазы смеси сигнала и помехи, и спектральной плотности  $G(0, \Omega)$  процесса на выходе ЧД имеют вид [4]

$$F(\Omega - \psi) = S_{\text{чд}} \beta \frac{q\Omega_0}{(1 + s + \Omega_0^2)(1 + \Omega_0^2)};$$

$$G(\Omega - \psi) = S_{\text{чд}} \beta \frac{(1 + \Omega_0^2) + 16s\Omega_0^2}{2(1 + s + \Omega_0^2)^2(1 + \Omega_0^2)^2},$$

где  $\beta$  - раствор дискриминационной характеристики ЧД,  $\Omega_0 = \Omega / \beta$  и  $\Omega_{\text{с0}}$  - нормированные к полосе текущая и начальная расстройки сигнала;  $S_{\text{чд}}$  - крутизна характеристики ЧД;  $s$  - отношение сигнал/помеха на входе ЧД.

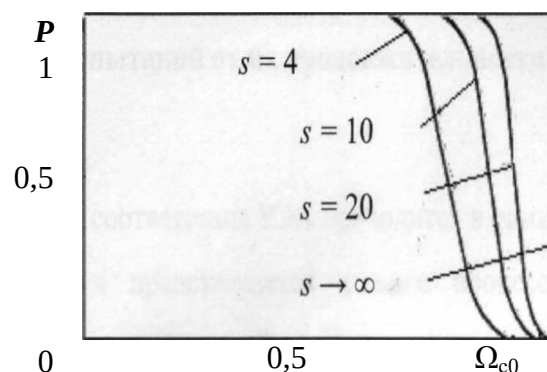
Тогда выражение для вероятности установления работоспособного состояния в системе можно записать [5]

$$P_y(\Omega_{\text{с0}}) = 1 - \left[ \int_{\Omega_{\text{схв}}^{\Phi}}^{\Omega_{\text{с0}}} \left( \frac{1 - \Omega_0^2}{1 + s + \Omega_0^2} \right)^{aK_p} e^{a(\Omega_0 - \Omega_{\text{с0}})^2} d\Omega_0 \right] \times \left[ \int_{\Omega_{\text{схв}}^{\Phi}}^{\Omega_{\text{схв}}^{\Gamma}} \left( \frac{1 - \Omega_0^2}{1 + s + \Omega_0^2} \right)^{aK_p} e^{a(\Omega_0 - \Omega_{\text{с0}})^2} d\Omega_0 \right]^{-1},$$

где  $a = \frac{\beta}{\alpha_0 S_{\text{чд}} N(s)}$ ,  $\Omega_{\text{схв}}^{\Gamma}$  - граница полосы схватывания при отсутствии помехи;

$N(s) = \int_{-\infty}^{\infty} G(\Omega) \rho(\Omega) d\Omega$  - усредненное по  $\Omega$  значение спектральной плотности  $G(\Omega)$ ;  $\rho(\Omega)$  - плот-

ность вероятности значений  $\Omega$ ,  $\alpha_0$  и  $K_p$  - полоса пропускания фильтра нижних частот и коэффициент усиления в конце частоты по фазовой автоподстройке частоты (ЧФАПЧ).



**Рис. 1.** Зависимость вероятности установления работоспособности системы ЧФАПЧ от нормированной начальной расстройки ( $K_p = 10$ )

На рис. 1 приведена зависимость вероятности установления работоспособного состояния в системе ЧФАПЧ для разных соотношений сигнал/помеха при изменении начальной расстройки  $\Omega_{c0}$  сигнала. Как видим, вероятность установления работоспособного состояния в системе ЧФАПЧ уменьшается с увеличением допуска на начальную расстройку частоты и уменьшением отношения сигнал/помеха к увеличению времени установления работоспособного состояния в системе ЧФАПЧ и может приводить к отказу РНС, в которой используется ЧФАПЧ.

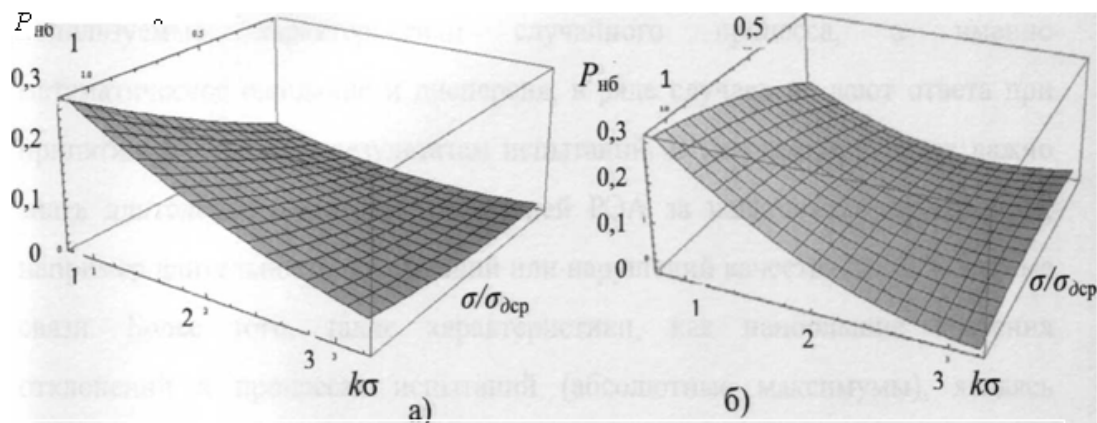
Основной рекомендацией по увеличению достоверности ОС при работе РЭА в условиях помех является сужение допускowej области на изменение параметров РЭА. В условиях эксплуатации для одной и той же РЭА помеховая ситуация может быть различной, так что граница допускowej области на параметры становится функцией времени и соотношения сигнал/помеха. Такой адаптивный подход к определению допускowej области позволит в более полной мере использовать возможности РЭА, а также уменьшить издержки на ее техническое обслуживание.

В рамках гипотезы случайности допуск устанавливается как стохастическая величина и может становиться неточным, если при его установке применять недостаточно отражающий поставленную задачу закон распределения вероятностей. Обычно для него предполагается равномерный закон распределения в интервале, соответствующем заданной доверительной вероятности. Иногда это оправдано, но, очевидно, что равномерный закон не исчерпывает всех возможных случаев при стохастическом установлении допуска. Если требуется учесть нежелательность больших отклонений от среднего значения, например, когда большое отклонение опасно для объекта, то применим нормальный закон распределения допускowego значения.

Результаты компьютерного моделирования для вероятности необнаруженного брака для двух видов закона распределения оцениваемого параметра при нулевых значениях математических ожиданий параметра и допуска на них показаны на рис. 2, где вероятность необнаруженного брака зависит от аргументов - отношения среднеквадратических значений отклонений параметра и допуска от их математических ожиданий  $\sigma/\sigma_0$  и значения допуска в долях среднеквадратического отклонения  $k\sigma$ .

Полученные результаты иллюстрируют общую картину влияния стохастического характера допускowych значений на достоверность ОС. Назначение неравномерного допуска в доверительном интервале в какой-то мере эквивалентно введению функции потерь в теории оценок. Рассмотренный вариант назначения допуска может также использоваться при проектировании для оценки работы РЭА с вариацией допусков.

Рассмотрим установление допусков как нечетких величин с применением теории нечетких множеств и нечеткой логики, которое может применяться для оценки качества функционирования РЭА в условиях отсутствия достаточных статистических данных и знаний о взаимных зависимостях между отдельными параметрами и качеством функционирования РЭА.



**Рис. 2.** Зависимость вероятности необнаруженного брака  $P_{нб}$  при распределении допускowego значения по нормальному закону и распределении измеряемого параметра по нормальному закону (а) и по закону Вейбулла (б)

В этом случае допуск  $d_i$  на параметр  $x_t$  ( $i = 1...m$ ) и выходная переменная  $Y$  задаются как элементы нечетких множеств, так что расчет  $Y$  позволит прогнозировать качество функционирования РЭА при различных допусках.

Связывая допуски на оцениваемые параметры с качеством выполнения РЭА функциональной задачи в конкретных условиях эксплуатации, можно применить подход к назначению допусков с точки зрения теории нечетких множеств [6].

Если задать «показатель качества» РЭА в описанном выше смысле как элемент нечеткого множества  $\tilde{A}$  на универсальном множестве  $U\{u_1, u_2...u_n\}$  в виде

$$Y\{y_1, y_2...y_n\} \in \tilde{A}$$

с функцией принадлежности  $\mu_a(U_i)$ , позволяющей вычислить степень принадлежности нечеткому множеству

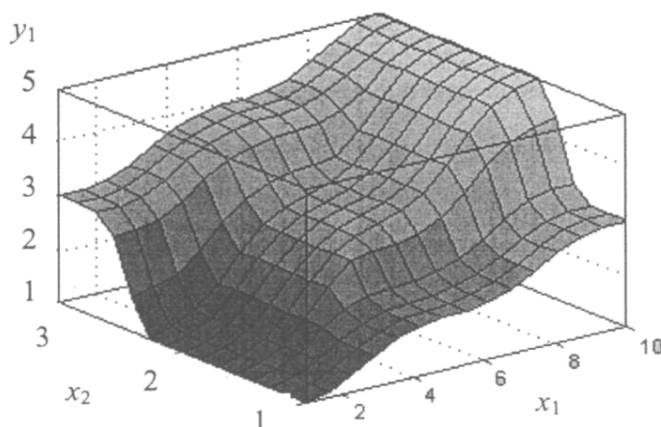
$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \mu_A(u_i)/u_i.$$

«Показатель качества» зададим набором лингвистических значений (терм-множеством)  $L = \{L_1, L_2...L_k\}$ . В нечеткой модели процесса сортировки «качество» является нечеткой выходной переменной. Аналогично определим нечеткие входные переменные «значение допуска»  $X\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ . Диагностические признаки каждого элемента определяются с учетом дополнительных конкретных характеристик. Значения  $n$  и  $k$  выбираются такими, чтобы обеспечить требуемую точность,  $m$  определяется принимаемыми во внимание параметрами РЭА, для которых устанавливаются допуски.

В качестве примера применим пятиуровневую шкалу для «показателя качества»  $y_1$  и положим  $m=2$ , то есть примем во внимание два параметра РЭА, для которых устанавливаются допуски. При этом приняты десятиуровневая и трехуровневая шкалы для допусков  $x_1$  и  $x_2$  соответственно.

Тогда множество значений может состоять из следующих компонентов:  $y_1$  – («показатель качества») – {Уровень 5 (5), Уровень 4 (4), Уровень 3 (3), Уровень 2 (2), Уровень 1 (1)};  $x_1$  («допуск на оцениваемый параметр 1») и  $x_2$  («допуск на оцениваемый параметр 2»), соответственно – {Допуск 1(1), Допуск 2 (2),...Допуск 10(10)}, {Допуск 1 (1), Допуск 2 (2), Допуск 3 (3)}.

Функции принадлежности показателей приняты в виде гауссовых для переменных  $x_1, x_2$  и в виде треугольной функции для переменной  $y_1$ .



**Рис. 3.** Поверхность нечеткой модели качества РЭА при установлении допуска как нечеткой величины

На рис. 3 приведена поверхность нечеткой модели «показателя качества» РЭА при применении следующих нечетких правил:

$$x_1 = 1 \wedge x_2 = 1, 2 \rightarrow y_1 = 1;$$

$$x_1 = 2 \wedge x_2 = 3, 4 \rightarrow y_1 = 2;$$

$$x_1 = 3 \wedge x_2 = 5, 6 \rightarrow y_1 = 3;$$

$$x_1 = 4 \wedge x_2 = 7, 8 \rightarrow y_1 = 4;$$

$$x_1 = 5 \wedge x_2 = 9, 10 \rightarrow y_1 = 5.$$

На основании результатов моделирования можно принять решение о выборе допуска на параметры РЭА на основе приемлемости определенного уровня «показателя качества».

Если допуски назначаются к функционально связанным параметрам РЭА, то возникает «поле допуска» для таких параметров. При этом возможно ужесточение требований к одним параметрам путем смягчений требований к другим. Последнее является следствием общего принципа неопределенности для сложных систем: повышение точности определения какого-либо количественного свойства сверх некоторого предела влечет за собой понижение возможной точности определения другого свойства. То есть одновременно измерить значения двух (или более) параметров с точностью, превышающей определенный уровень, невозможно, так как «поле допуска» является внутрисистемным инвариантом.

Так, в радиолокационной РЭА точность одновременного измерения дальности и скорости цели имеет предел, зависящий от конкретного вида сигнала при заданной его энергии [7].

Проведенный анализ показал, что:

- при установлении допусков без учета неадекватности модели измеряемого параметра, а также неадекватности учета реальных условий эксплуатации возникают ошибки установления допусков в РЭА, что ведет к уменьшению достоверности ОС;
- при установлении допуска как стохастической величины необходима оценка влияния статистических характеристик допусковых значений на достоверность ОС;
- применение предложенного подхода к установлению допуска как нечеткой величины позволяет оценить влияние допуска на качественные показатели функционирования РЭА;
- при установлении допусков без учета функциональной связи оцениваемых параметров РЭА допуски на эти параметры могут оказаться противоречивыми.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков В.П. Систематические погрешности электронно-счетного частотомера, вызванные шумами // Известия вузов. Радиотехника. - 1964. - Т. 7. - № 6. - С. 732-738.
2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов. - М.: Высшая школа, 2003.
3. Шахгильдян В. В., Ляховкин А. А. Системы фазовой автоподстройки частоты. - М.: Связь, 1972.
4. Первачев С.В., Валуев А.А., Чиликин В.М. Статистическая динамика радиотехнических следящих систем. - М.: Сов. радио, 1973.
5. Зданович Н.П. Вероятность схватывания в линейной статистической системе ЧАП 1-го порядка // Теория и техника радиолокации, радионавигации и радиосвязи в гражданской авиации: междунар. сб. науч. трудов. - Рига: РКИИГА. - 1976. - Вып. 11. - С. 34 - 38.
6. Новак В., Перфильева И., Мочкорж И. Математические принципы нечеткой логики / пер. с англ. - М.: Физматлит, 2006.
7. Оценивание дальности и скорости в радиолокационных системах / под ред. А.И. Канащенкова, В.И. Меркулова. - М.: Радиотехника, 2007.

#### ESTABLISHMENT OF ADMISSIONS ON ESTIMATED PARAMETERS OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT TAKING INTO ACCOUNT RISKS OF THE CUSTOMER AND THE MANUFACTURER

Guberman I.B.

In article the problem of an establishment of admissions for inadequate models of the appreciated parameter and conditions of operation of equipment, an admission establishment as stochastic or indistinct size and in case of functionally connected parameters is considered.

**Key words:** the conformity estimation, admissions, probability, parameters.

#### Сведения об авторе

Губерман Игорь Борисович, 1961 г.р., окончил ОЛАГА (2004), начальник сектора УВД отдела сертификации объектов ЕС ОрВД ГА и юридических лиц ФГУП ГосНИИ «Аэронавигация», автор 2 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация радиоэлектронных систем воздушного транспорта, навигация и управление воздушным движением.

УДК 662.76

## FAME – ПРЯМАЯ УГРОЗА БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

А.Н. ТИМОШЕНКО, С.П. УРЯВИН, А.Н. КОЗЛОВ

**Статья представлена доктором технических наук, профессором Коняевым Е.А.**

Представлена информация об авиационных событиях, связанных с забивкой фильтров по причине загрязнения топливных баков и агрегатов топливных систем ВС метиловыми эфирами жирных кислот (FAME). Предложены пути разрешения проблемы загрязнения авиакеросина биодизелем.

**Ключевые слова:** авиационное топливо, загрязнения, биодизельное топливо, метиловые эфиры жирных кислот (FAME).

24.05.2009 года произошло событие с воздушным судном Ту-204 бортовой № 64046 авиакомпании «Ред Вингс». При выполнении полета по маршруту Пермь – Анталия через 1,5-2 часа полета последовательно сработала сигнализация о засорении топливных фильтров обоих двигателей. Экипаж принял решение о выполнении вынужденной посадки в аэропорту «Краснодар». В процессе снижения экипаж запустил ВСУ для сохранения энергообеспечения самолета в случае останова двигателей. Через несколько минут работы ВСУ сработала сигнализация о засорении топливного фильтра ВСУ. Посадка в аэропорту «Краснодар» выполнена благополучно. К работе комиссии по расследованию авиационного события привлечен ЦС авиаГСМ ГосНИИ ГА.

Для исследования отобраны пробы из всех топливных баков воздушного судна. Во всех пробах была обнаружена жидкость, окраска которой варьировалась от красно-бурой до желто-оранжевой. Жидкость скапливалась на дне посуды, то есть имела плотность, большую чем керосин. Между керосином и жидкостью присутствовал слой пены. При взбалтывании жидкость и пена легко перемешивались с керосином и легко выпадали в осадок. Маслянистая жидкость легко налипала на стенки бутылок и с трудом смывалась с них.

Для исследования были сняты топливные фильтры двигателей и ВСУ.

На фильтрах двигателей присутствовали загрязнения пленочного и чешуйчатого характера зеленоватого цвета.

Корпус фильтра ВСУ снаружи и внутри был загрязнен отложениями мажеобразной консистенции рыжего цвета. На фланцах фильтра также были загрязнения мажеобразного характера рыжего цвета. Загрязнения на сетке фильтра ВСУ были аналогичны загрязнениям на фильтрах двигателей.

С целью исследования причин авиационного события были вскрыты и осмотрены все крыльевые топливные баки-кессоны. На днищах всех баков были обнаружены жидкие загрязнения мажеобразной консистенции. На стенках баков также имелись загрязнения мажеобразной и лакообразной консистенции. На крышке баков загрязнения носили преимущественно лакообразный характер. На агрегатах топливной системы имелись загрязнения в виде лакообразных и мажеобразных отложений и в виде капель. На внутренней поверхности крышек люков-лазов были обильные мажеобразные отложения. То есть загрязнения баков носили сплошной характер.

18.06.2009 года произошло аналогичное событие с воздушным судном Ту-204 бортовой № 64047 авиакомпании «Ред Вингс». При выполнении полета по маршруту Пермь – Анталия при подлете к Анталии сработала сигнализация о засорении топливного фильтра СУ №1. Посадка в аэропорту «Анталия» выполнена благополучно.

По вполне очевидным соображениям первыми и безусловно господствующими версиями причин загрязнения топливных баков самолетов у подавляющего большинства членов комиссий по расследованию событий были версии заправки некачественным топливом в аэропорту

вылета. Однако благодаря тому, что ряд производителей авиатоплива активно сотрудничает с ГосНИИ ГА в плане мониторинга за производством своей продукции, Центру сертификации авиаГСМ удалось выявить происхождение топлива и подтвердить отсутствие связи авиационного события с качеством продукции конкретного производителя. Если бы такой мониторинг не проводился, то между эксплуатационным предприятием гражданской авиации, производителем и поставщиком авиатоплива могла бы возникнуть серьезная конфликтная ситуация.

В результате длительных исследований (1 год) было установлено, что топливные баки самолетов были загрязнены FAME.

FAME – это метиловые эфиры жирных кислот.

FAME представляет собой так называемую биодобавку к дизельному топливу.

Дизельное топливо, смешанное с FAME, за рубежом носит наименование биодизельного топлива. В настоящее время в большинстве стран разрешено добавлять в дизельное топливо до 5% FAME. Однако государственные программы по внедрению FAME предусматривают увеличение содержания FAME в дизельном топливе до 12%.

В Европе и Америке производство FAME осуществляется в рамках концепций и программ разработки биотоплива. FAME представляет собой продукт, получаемый из растительного масла путем его обработки метиловым спиртом в присутствии щелочи. Для производства FAME подходит любое растительное масло, животные жиры, любые отходы растительного масла типа отработанного масла из фритюрниц системы фастфуда. Номенклатура товарных марок метиловых эфиров жирных кислот неуклонно расширяется. Многие страны (в первую очередь европейские) уже разработали национальные стандарты на биодизельное топливо.

В настоящее время в Европе, США, Канаде и ряде других стран производство биодизельного топлива осуществляется в рамках государственных программ. Эти программы основываются в первую очередь на политических решениях, имеющих целью поддержать собственных сельскохозяйственных производителей, и подкрепляются лозунгами обеспечения экологии окружающей среды и энергетической независимости.

В 2008 году в Германии под рапс, из которого производится FAME, было занято 30% сельскохозяйственных площадей.

Пока в Европе и США активно рекламировались программы разработки и производства биотоплива, то говорилось и писалось все очень хорошо. Были сформулированы здравые требования к альтернативным топливам. В том числе, главное условие допуска к применению альтернативного биотоплива – полное, абсолютное топливозамещение традиционного нефтяного топлива. Принцип полного топливозамещения, в частности, состоит в том, что любой вариант альтернативного биотоплива должен обеспечивать:

- транспортировку посредством имеющейся инфраструктуры для поставок топлива, включая существующую систему трубопроводов;
- использование существующей топливозаправочной инфраструктуры;
- применение в современных топливopотребляющих устройствах альтернативного биотоплива как в чистом виде, так и в условиях свободного смешения в любой пропорции с существующими нефтяными топливами аналогичных по предназначению марок;
- аналогичные последствия как от смешения различных марок нефтепродуктов между собой, так и от смешения этих марок нефтепродуктов с альтернативным топливом.

События с российскими самолетами и уже неединичные события с зарубежными воздушными судами свидетельствуют о том, что главное условие допуска к применению альтернативного биотоплива, к сожалению, оказалось пустой декларацией наших зарубежных коллег.

В силу особенностей технологии производства FAME этот продукт никогда не удастся получить в чистом виде. В нем всегда присутствуют метанол, глицерин, жиры, щелочи, мыла, вода, механические примеси. Сам по себе FAME содержит в себе поверхностно активные вещества в виде загрязняющих примесей и, в первую очередь, в виде мыл.



Попадание FAME в топливные баки воздушных судов происходит в силу того, что биодизельное топливо или FAME в чистом виде поставляется теми же транспортными средствами и по тем же трубопроводам, которые используются для транспортировки керосина. Как поверхностно активное вещество FAME обладает повышенной способностью к налипанию на поверхность цистерн и стенок трубопроводов, откуда потом смывается керосином.

Присутствие поверхностно активных веществ, а значит и FAME с его примесями, в авиационном топливе не допускается в соответствии с требованиями ГОСТ 10227-86. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия.

FAME является продуктом с коротким жизненным циклом (3 месяца). После разложения он расслаивается в основном топливе, образуя сгустки плотной каучукоподобной массы.

В силу своей природы и природы содержащихся в нем примесей FAME способен:

- нарушить топливопитание двигателей из-за засорения фильтров и топливорегулирующей автоматики;
- вызвать повышенное нагарообразование в камерах сгорания;
- вызвать коррозионные повреждения топливных баков, коммуникаций и оборудования топливопитания;
- разрушить резинотехнические изделия;
- разрушить ЛКП;
- вызвать рост микробиологических загрязнений.

За рубежом проблема загрязнения баков воздушных судов FAME стоит очень остро. На конференциях IATA проблеме FAME посвящается как минимум 20-30 % докладов.

В Европе и Америке уже издано достаточно много директивных и рекомендательных документов по проблеме FAME [1-3].

Несмотря на очевидное и подтвержденное негативное влияние FAME на безопасность полетов и техническое состояние воздушных судов, прогнозируется усугубление проблемы загрязнения FAME топливных систем летательных аппаратов, обусловленное наращиванием выпуска и расширением сфер применения FAME.

Аналогичные программы по выпуску FAME приняты в Белоруссии и на Украине. Неуклонно нарастает объем коммерческих предложений по поставке минизаводов по производству FAME. Правительством России также подготовлены поручения по проектам использования биотоплива.

В рамках работы по производству FAME в России утверждены и введены в действие ряд ГОСТов [5-8].

На второй международной конференции по химмотологии (Москва, 30. 10. 2008 года) дебатировались вопросы производства биотоплива из водорослей, специально выращенных в Азовском море.

Экспресс-методы, технологическая оснастка, лабораторное оборудование для оперативного определения наличия FAME в авиационном керосине в России и за рубежом не разработаны.

Поиск путей разрешения проблемы загрязнения авиакеросина биодизелем должен идти по следующим направлениям:

1. Проведение научных исследований по изучению влияния биотоплива на работоспособность авиационной техники.
2. Разработка рекомендаций по допустимым концентрациям FAME в топливе, при которых разрешается дальнейшая эксплуатация воздушных судов без ограничений.
3. Разработка рекомендаций по действиям авиакомпаний в случае превышения допустимой концентрации FAME в авиатопливе (очистка топливных баков, техническое обслуживание воздушных судов и двигателей, списание авиатехники и т.д.).
4. Разработка рекомендаций по техническому обслуживанию воздушных судов, двигателей, ВСУ в случае попадания FAME в авиатопливо.

5. Уточнение регламентов обслуживания и руководств по технической эксплуатации летательных аппаратов с целью достоверного выявления FAME в топливных баках.
6. Доработка регламентов технического обслуживания воздушных судов с целью ужесточения требований по периодичности и качеству слива отстоя авиатоплива (воды) из баков ВС, особенно при заправке в зарубежных аэропортах.
7. Разработка рекомендаций для российских авиакомпаний при полетах за границу.
8. Разработка качественных методов определения присутствия биотоплива в керосине экипажами воздушных судов.
9. Разработка, испытания и постановка на производство приборов для проведения анализов авиатоплив на предмет содержания биотоплива. Разработка рекомендаций по оснащению этими приборами лабораторий контроля качества авиаГСМ аэропортов.
10. Разработка мероприятий для организаций авиатопливообеспечения полетов воздушных судов гражданской авиации с учетом воздействия на процесс АТО нового негативного фактора – биотоплива.
11. Разработка нормативных правовых актов по вопросам транспортировки, перекачки, хранения биотоплива и очистки резервуаров после биотоплива (вплоть до разработки соответствующего технического регламента или уточнения уже имеющегося).
12. Изучение зарубежного опыта по противодействию загрязнению авиатоплив биодизелем.
13. Оперативное информирование эксплуатантов гражданской авиации, организаций авиатопливообеспечения, транспортировщиков нефтепродуктов, Министерства обороны России о возникшей угрозе безопасности полетов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Спецификация ASTM D 7566 – 09 «Стандартная спецификация для авиационного турбинного топлива, содержащего синтезированные углеводороды» (2009 г.).
2. Бюллетень JIG № 26 «Предотвращение взаимодействия FAME с реактивным топливом в аэропортах» (июнь 2009 г.).
3. Специальный информационный бюллетень летной годности Федеральной авиационной администрации (FAA) США SAIB NE-09-25 R 1 «Содержание биодизеля в реактивном топливе» (19.08.2009 г.).
4. ГОСТ Р 52808-2007. Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Термины и определения.
5. ГОСТ Р 53605-2009. Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME) для дизельных двигателей. Общие технические требования.
6. ГОСТ Р ЕН 14103-2008. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение содержания эфиров и метилового эфира линоленовой кислоты.
7. ГОСТ Р ЕН 14104 -2009. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение кислотного числа.
8. ГОСТ Р ЕН 14105-2008. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение содержания свободного и общего глицерина, моно-, ди-, триглицеридов (метод сравнения).

#### FAME - DIRECT THREAT OF SAFETY OF FLIGHTS

Timoshenko A.N, Uravin S.P, Kozlov A.N.

The information on aviation events of the filters linked to clogging because of pollution of fuel tanks and aggregates of fuel systems of the aircraft methyl aethers of fatty acids (FAME) is represented. Ways of the permission of a problem of pollution of aviakerosene biodiesel are offered.

**Key words:** aviation fuel, impurity, biodiesel fuel, fat acids methyl ethers.

---

**Сведения об авторах**

**Тимошенко Андрей Николаевич**, 1959 г.р., окончил МИИГА (1981), зам. директора ЦС авиаГСМ ГосНИИ ГА, автор 7 научных работ, область научных интересов – эксплуатация воздушного транспорта, обеспечение качества авиационных ГСМ.

**Урявин Сергей Петрович**, 1957 г.р., окончил МИИГА (1981), директор ЦС авиаГСМ ГосНИИ ГА, автор 7 научных работ, область научных интересов – эксплуатация воздушного транспорта, обеспечение качества авиационных ГСМ.

**Козлов Александр Николаевич**, 1945 г.р., окончил МИНХ и ГП им. Губкина (1968), кандидат технических наук, доцент кафедры авиатопливообеспечения и ремонта ЛА МГТУ ГА, автор более 40 научных работ, область научных интересов – эксплуатация воздушного транспорта, обеспечение качества авиационных ГСМ.

УДК 629.7:061.6

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДРОССЕЛЯ ПОСТОЯННОГО РАСХОДА НУ5810-40М-1 ПРИ УСКОРЕННЫХ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ (УЭИ)

В.И. САНЧУГОВ, В.П. ПОКАЗЕЕВ, Н.В. БАТАНОВ

Рассмотрена конструкция дросселя постоянного расхода. Проведён анализ напряжённо-деформированного состояния дросселя. Проведён расчёт на прочность по классической и альтернативной теории прочности, а также расчёт в пакете программ «Ansys». Результаты обобщены и сведены в итоговую таблицу.

**Ключевые слова:** дроссель постоянного расхода, анализ, испытания, прочность, напряжённо-деформированное состояние.

### 1. Объект исследования

В качестве объекта исследования был выбран дроссель постоянного расхода гидросистемы самолета Ту-154, предложенный НИО гидросистем ЛА НИИСУ для определения усталостной прочности и остаточного ресурса методами УЭИ на повышенных частотах циклов нагружения. Выбор был обусловлен, с одной стороны, большим количеством этих элементов в составе гидросистем магистральных и военно-транспортных самолетов 3-го поколения, находящихся в эксплуатации, с другой стороны, за более чем 30-летнюю эксплуатацию не было зафиксировано ни одного повреждения, что свидетельствует о достаточной или даже избыточной прочности агрегата и, с третьей стороны, заказчиком была предоставлена партия образцов, отработавших назначенный ресурс в составе гидросистемы самолета Ту-154.

Гидродроссель - гидроаппарат неклапанного действия, предназначенный для снижения давления потока рабочей жидкости, проходящей через агрегат. В линейных дросселях потери давления определяются в основном внутренним трением жидкости в канале. Линейный дроссель НУ5810-40М-1 (рис. 1) представляет собой многокамерное лабиринтное сопротивление и предназначается для поддержания постоянного минимального расхода рабочей жидкости в линии нагнетания. В главной камере расположены тонкий сетчатый фильтр 6, создающий защиту каналов лабиринта диаметром 1,1 мм от засорения, упор 7, предупреждающий выдавливание дроссельной катушки 3. При номинальном рабочем давлении 21,0 МПа и расчётном перепаде давления расход жидкости должен быть в пределах  $4,2 \pm 0,3$  л/мин. Материал изготовления дросселя: сталь 30ХГСА, ГОСТ 4543-61,  $\sigma_s = 1080$  МПа;  $\sigma_{-1} = 470$  МПа;  $\tau_{-1} = 268$  МПа.

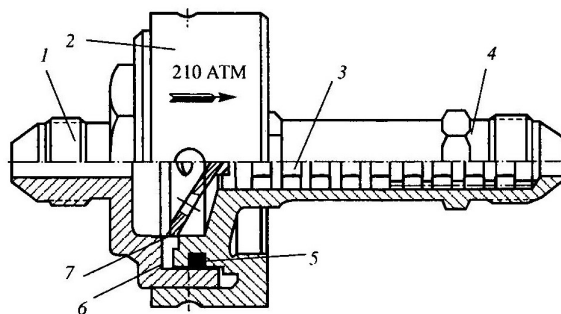


Рис. 1. Дроссель НУ5810-40М-1:

1 – входной штуцер; 2 – гайка; 3 – дроссельная катушка; 4 – корпус;  
5 – кольцо уплотнителя; 6 – сетчатый фильтр; 7 – упор

## 2. Выбор расчётных сечений

Для выбора расчётных сечений проведём расчёт дросселя в пакете компьютерных программ «Ansys». Для этого необходимо ввести некоторые допущения: деталь разбиваем на конечное число элементов в виде «пирамидок», необходимо упростить (при этом представить менее прочными) некоторые геометрические переходы детали. Результаты расчёта представлены на рис. 2, при этом для удобства восприятия деталь окрашивается различными цветами, в зависимости от того, какие напряжения действуют в той или иной области, шкала перевода цветового изображения в численные значения напряжения приведена в нижней части каждого рисунка.

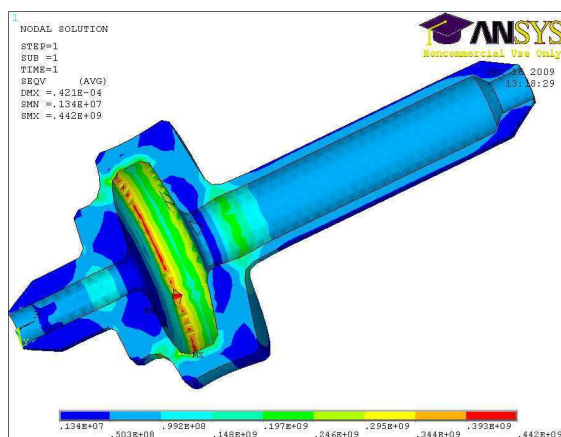


Рис. 2. Суммарные напряжения, действующие на корпус дросселя

Выпишем максимальные напряжения, полученные через пакет «Ansys», по классической и альтернативной теории прочности в различных сечениях и рассчитаем коэффициенты запаса прочности по сечениям:

$$\sigma_{\text{Ансис}}^1 = 246 \text{ МПа}, n_{\text{Ансис}}^1 = \frac{\sigma_6}{\sigma_{\text{Анс}}^1} = \frac{1080 \cdot 10^6}{246 \cdot 10^6} = 4,4;$$

$$\sigma_{\text{Ансис}}^2 = 197 \text{ МПа}, n_{\text{Ансис}}^2 = \frac{\sigma_6}{\sigma_{\text{Анс}}^2} = \frac{1080 \cdot 10^6}{197 \cdot 10^6} = 5,5;$$

$$\sigma_{\text{Ансис}}^3 = 442 \text{ МПа}, n_{\text{Ансис}}^3 = \frac{\sigma_6}{\sigma_{\text{Анс}}^3} = \frac{1080 \cdot 10^6}{442 \cdot 10^6} = 2,4.$$

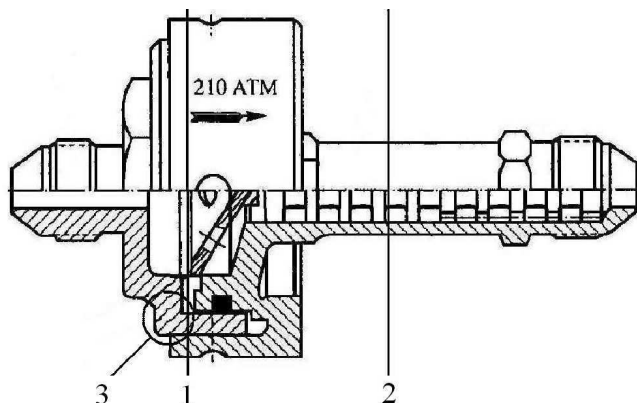


Рис. 3. Выбранные расчётные сечения дросселя

### 3. Расчёт по классической теории прочности

Проведём расчёт согласно IV теории прочности. В качестве расчётных сечений выбираем сечение расположения дросселирующего пакета (сечение № 1) и штуцера подвода жидкости (сечение № 2) (рис. 3). Также проверим переход под прямым углом (сечение № 3). Расчёт будем проводить только для корпуса дросселя, т.к. внутреннее содержимое (упор, фильтроэлемент и решётка) дросселя находится в гидростатическом равновесии. Корпус дросселя изготовлен из стали 30ХГСА и является толстостенным (отношение толщины стенки к внутреннему диаметру:  $S/D=0,13>0,1$ ). По IV теории прочности расчётное напряжение вычисляется по формуле

$$\sigma_{IV} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + (\sigma_x - \sigma_y)^2};$$

где  $\sigma_y = \frac{2PD^2}{D_H^2 - D^2}$  - окружное напряжение;  $\sigma_x = \frac{PD^2}{D_H^2 - D^2}$  - осевое напряжение;  $\sigma_z = 0$  - радиальное напряжение;  $P = 21 \text{ МПа}$  – рабочее давление;  $D_H$  – наружный диаметр дросселя в расчётном сечении;  $D$  – внутренний диаметр дросселя в расчётном сечении.

Проведя расчёт по вышеуказанным формулам, получили следующие результаты:

$$\text{запас прочности сечения «1» равен } n_1 = \frac{\sigma_s}{\sigma_{IV}^1} = \frac{1080 \cdot 10^6}{49 \cdot 10^6} = 22;$$

$$\text{запас прочности сечения «2» равен } n_2 = \frac{\sigma_s}{\sigma_{IV}^2} = \frac{1080 \cdot 10^6}{310 \cdot 10^6} = 35.$$

При оценке усталостной прочности будем использовать методику через расчёт эквивалентного напряжения

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sigma_a \frac{K_\sigma}{\alpha\beta} + \Psi_\sigma \sigma_m;$$

где  $\sigma_a$  – амплитудная составляющая напряжений от колебаний давления;  $\sigma_m$  – средняя составляющая напряжений от давления;  $K_\sigma = 1,5$  – коэффициент концентрации напряжений;  $\alpha_1 = \alpha_\infty + (1 - \alpha_\infty)e^{-\lambda d} = 0,733$  – масштабный фактор;  $\alpha_2 = 0,9$ ;  $\beta = 0,8$  – коэффициент, характеризующий чистоту поверхности детали;  $\psi_\sigma = 0,7$  – коэффициент чувствительности к асимметрии цикла.

Частота пульсаций давления, при которой работает дроссель  $f=600 \text{ Гц}$ , наработка в составе гидросистемы самолёта Ту-154 составляет  $T=10000 \text{ часов}$  ( $N=2 \cdot 10^{10}$  циклов), амплитудная составляющая давления  $P_a = \pm 7,5 \%$ .

После проведения расчётов получен следующий результат

$$n_{-1}^1 = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{\text{ЭКВ}}^1} = \frac{470 \cdot 10^6}{71,3 \cdot 10^6} = 6,6;$$

Запасы прочности равны

$$n_{-1}^2 = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{\text{ЭКВ}}^2} = \frac{470 \cdot 10^6}{46,1 \cdot 10^6} = 10,2.$$

Также проверим расчётом на прочность сечение 3 (рис. 3). Данный радиусный переход можно рассчитать как элемент дна гидроцилиндра. По методике проекторочного расчёта считаем толщину стенки

$$S = 0,405D \sqrt{\frac{P}{\sigma}}.$$

Из данной зависимости выразим напряжения

$$\sigma_{np} = \frac{0,164D^2P}{S^2} = \frac{0,164 \cdot 34 \cdot 10^{-3} \cdot 21 \cdot 10^6}{(4 \cdot 10^{-3})^2} = 248,8 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Коэффициент запаса по прочности в этом случае будет равен

$$n^3 = \frac{\sigma_s}{\sigma_{np}} = \frac{1080 \cdot 10^6}{248,8 \cdot 10^6} = 4,34.$$

#### 4. Расчёт по альтернативной теории

Методика данного расчёта используется разработчиком (калькодержателем) данного изделия (ОАО «Агрегат», г. Самара), хотя применяется только для стационарных режимов нагружения.

Рассчитаем стенку штуцера (сечение № 3, рис. 3) как пластину с защемлёнными концами

$$\sigma_3 = P \cdot \frac{D^2}{h^2} \cdot \frac{1}{C_p},$$

где  $h = 33,5 - 20 - 9,5 = 4$  мм – толщина вертикальной стенки штуцера;

$D = 34$  мм – диаметр в расчётном сечении;

$C_p = f\left(\frac{d}{D}\right) = f\left(\frac{5,5}{34}\right) = 12,196$  – масштабный коэффициент.

Таким образом можем рассчитать  $\sigma_{np}$

$$\sigma_3 = 21 \cdot 10^6 \cdot \frac{(34 \cdot 10^{-3})^2}{(4 \cdot 10^{-3})^2} \cdot \frac{1}{12,196} = 124,4 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Коэффициент запаса

$$n_3 = \frac{\sigma_e}{\sigma_3} = \frac{1080 \cdot 10^6}{124,4 \cdot 10^6} = 8,7.$$

Рассчитаем обечайку штуцера (сечение № 1, рис. 3). В данном сечении действуют только напряжения растяжения

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot D}{D_H^2 - D^2} = \frac{21 \cdot 10^6 \cdot (34 \cdot 10^{-3})^2}{(42 \cdot 10^{-3})^2 - (34 \cdot 10^{-3})^2} = 40 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Коэффициент запаса

$$n_1 = \frac{\sigma_e}{\sigma_1} = \frac{1080 \cdot 10^6}{40 \cdot 10^6} = 27.$$

Аналогично проведём расчёт для сечения «2»

$$\sigma_2 = P \cdot \frac{D_H^2 + D^2}{D_H^2 - D^2} = 21 \cdot 10^6 \cdot \frac{(13,5 \cdot 10^{-3})^2 + (10 \cdot 10^{-3})^2}{(13,5 \cdot 10^{-3})^2 - (10 \cdot 10^{-3})^2} = 72,1 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Запас прочности равен  $n_2 = \frac{\sigma_e}{\sigma_2} = \frac{1080 \cdot 10^6}{72,1 \cdot 10^6} = 15,3.$

Анализ результатов расчёта показывает, что максимальные напряжения будут возникать в штуцере, в месте перехода доньшка в обечайку (сечение № 3, рис. 3). Для данного сечения проведём расчёт на усталостную прочность.

Амплитудная составляющая давления  $P_a = \pm 7,5\% = 1,58 \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Соответственно максимальное давление  $P_{\max} = (21 + 1,58) \cdot 10^6 \text{ Па} = 22,58 \cdot 10^6 \text{ Па}$ , а минимальное давление  $P_{\min} = (21 - 1,58) \cdot 10^6 \text{ Па} = 19,42 \cdot 10^6 \text{ Па}$ .

При  $P = 21 \cdot 10^6 \text{ Па}$  напряжения  $\sigma = 124,4 \cdot 10^6 \text{ Па}$ .

При  $P_{\max} = 22,58 \cdot 10^6 \text{ Па}$  напряжения  $\sigma = 22,58 \cdot 10^6 \cdot \frac{(34 \cdot 10^{-3})^2}{(4 \cdot 10^{-3})^2} \cdot \frac{1}{12,196} = 114,9 \cdot 10^6 \text{ Па}.$

При  $P_{\min} = 19,42 \cdot 10^6 \text{ Па}$  напряжения  $\sigma = 19,42 \cdot 10^6 \cdot \frac{(34 \cdot 10^{-3})^2}{(4 \cdot 10^{-3})^2} \cdot \frac{1}{12,196} = 133,9 \cdot 10^6 \text{ Па}.$

Таким образом, средние напряжения равны  $\sigma_m = 124,4 \cdot 10^6 \text{ Па}$ , а амплитудная составляющая напряжений равна  $\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = 9,5 \cdot 10^6 \text{ Па}.$

## Пределные напряжения асимметричного цикла

$$\sigma_{пред} = \frac{\sigma_{-1}}{K_0} + \left(1 - \frac{\Psi_\sigma}{K_0}\right) \cdot \sigma_m,$$

где  $K_0 = S_1 \cdot S_2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot M_1 \cdot M_2 \cdot T_1$ ;  $S_1 = 1$  – коэффициент надёжности материала;  $S_2 = 1$  – требования к надёжности работы изделия;  $K_1 = 1$  – коэффициент точности расчёта;  $K_2 = f\left(\frac{r}{D}\right) = f\left(\frac{0,3}{34}\right) = 2,5$  – коэффициент концентрации напряжений ( $r = 0,3$  – радиус скругления в сечении № 3);  $M_1 = 1$  – коэффициент проверки детали;  $M_2 = 1,25$  – масштабный фактор;  $T_1 = 1,1$  – коэффициент состояния поверхности детали.

Таким образом  $K_0 = 2,5 \cdot 1,25 \cdot 1,1 = 3,44$ .

$$\Psi_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{\hat{a}}} = \frac{470 \cdot 10^6}{1080 \cdot 10^6} = 0,44; \text{ принимаем } \Psi_\sigma = 0,7.$$

$$\sigma_{пред} = \frac{\sigma_{-1}}{K_0} + \left(1 - \frac{\Psi_\sigma}{K_0}\right) \cdot \sigma_m = \frac{470 \cdot 10^6}{3,44} + \left(1 - \frac{0,7}{3,44}\right) \cdot 124,4 \cdot 10^6 = 236 \cdot 10^6.$$

Коэффициент запаса прочности по усталостным напряжениям в сечении № 3

$$n_{-1}^3 = \frac{\sigma_{пред}}{\sigma_{max}} = \frac{236 \cdot 10^6}{133,9 \cdot 10^6} = 1,76.$$

Сведём полученные значения напряжений в разных сечениях в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты запаса прочности в различных сечениях дросселя

| № сечения                                | 1                              | 2                               | 3                                |
|------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Запас прочности по классической теории   | $n^1 = 22$<br>$n_{-1}^1 = 6,6$ | $n^2 = 35$<br>$n_{-1}^2 = 10,2$ | $n^3 = 4,34$                     |
| Запас прочности по альтернативной теории | $n^1 = 27$                     | $n^2 = 15,3$                    | $n^1 = 8,7$<br>$n_{-1}^1 = 1,76$ |
| Запас прочности по программе «Ansys»     | $n_{Ансис}^1 = 4,4$            | $n_{Ансис}^1 = 5,5$             | $n_{Ансис}^1 = 2,4$              |

## 5. Назначение режима ускоренных эквивалентных испытаний (УЭИ)

Проведём расчёт коэффициентов запаса по прочности следующим образом: примем для расчёта четыре значения среднего давления 10, 15, 20, 25 МПа, каждому среднему значению будут соответствовать значения амплитудных давлений 5; 10; 15; и 20 МПа. Таким образом получим 16 значений коэффициентов запаса. Расчёт проведём по следующим формулам:

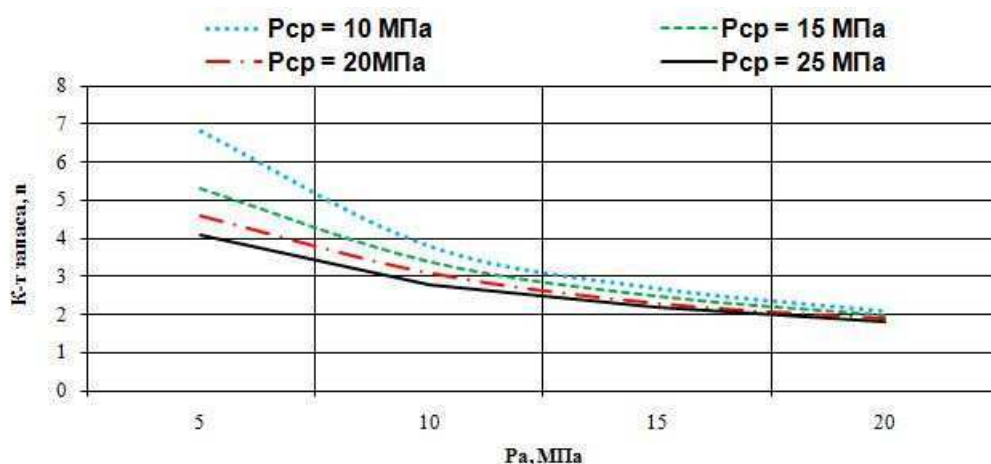
$$\text{для амплитудных напряжений } \sigma_a^{5,10,15,20,25} = \frac{2PD^2}{D_H^2 - D^2};$$

$$\text{для эквивалентных напряжений } \sigma = \sigma_a^1 \frac{K_\sigma}{\alpha\beta} + \Psi_\sigma \sigma_m^1;$$



для коэффициентов запаса  $n = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{ЭКВ}}$ .

Отобразим полученные данные на рис. 4 и в табл. 2.



**Рис. 4.** Зависимость коэффициентов запаса от среднего и амплитудного давлений

**Таблица 2**

Зависимость коэффициентов запаса от среднего и амплитудного давлений

| Амплитудное значение / среднее значение | $P_A=5$ МПа | $P_A=10$ МПа | $P_A=15$ МПа | $P_A=20$ МПа |
|-----------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| $P_{cp}=10$ МПа                         | 6,2         | 3,8          | 2,7          | 2,1          |
| $P_{cp}=15$ МПа                         | 5,3         | 3,4          | 2,5          | 2,0          |
| $P_{cp}=20$ МПа                         | 4,6         | 3,1          | 2,3          | 1,9          |
| $P_{cp}=25$ МПа                         | 4,1         | 2,8          | 2,2          | 1,8          |

Полученные результаты показывают избыточную прочность корпуса дросселя даже для предельного режима нагружения  $25,0 \pm 20,0$  МПа и по оценкам разработчика показывают невозможность исчерпания сопротивления усталости без нарушения подобия процессов накопления усталостных повреждений при УЭИ.

#### ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF THROTTLE FLOW NU-58 ACCELERATED AT EQUIVALENT TEST

Sanchugov V.I., Pokazeev V.P., Batanov N.V.

The construction of continuous flow throttle is considered. The analysis of the stress-strain state of the throttle is done. The strength of traditional and alternative theories of strength, and also calculation software package «Ansys» are calculated. The results are summarized and are shown in the summary table.

**Key words:** continuous flow throttle, analysis, testing, strength, stress-strain state.

**Сведения об авторах**

**Санчугов Валерий Иванович**, 1946 г.р., окончил КуАИ (1967), доктор технических наук, главный научный сотрудник, профессор кафедры эксплуатации авиационной техники СГАУ, автор более 100 научных работ, область научных интересов – гидродинамические технологии отработки и испытания гидротопливных систем ЛА.

**Показеев Владимир Петрович**, 1960 г.р., окончил КуАИ (1983), кандидат технических наук, научный сотрудник, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники СГАУ, автор 50 научных работ, область научных интересов – гидродинамические технологии испытания гидротопливных систем ЛА.

**Батанов Никита Владимирович**, 1983 г.р., окончил СГАУ (2006), аспирант кафедры эксплуатации авиационной техники СГАУ, автор 1 научной работы, область научных интересов – гидравлические испытания.

ББК 05  
Н 34  
Св. план 2012 г.

Научный Вестник МГТУ ГА  
№ 178

ISBN 978-5-86311-826-0

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 Е.А. Колотушкина, И.В. Вилкова  
Компьютерная верстка Т.Н. Котиковой

---

Подписано в печать 04.04.12 г.

Печать офсетная  
23,75 усл. печ. л.

Формат 60х90/8  
Заказ № 1412/

22,5 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, 2012