

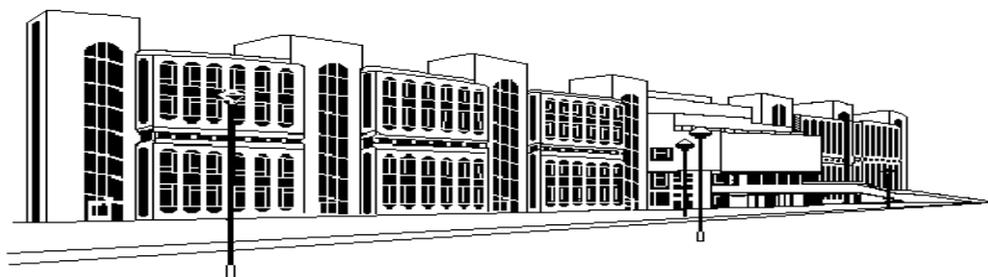


ISSN 2079-0619

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК  
МГТУ ГА

№ 174



Москва  
2011

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»**

---

# **НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК МГТУ ГА**

**№ 174 (12)**

Издается с 1998 г.

**Москва  
2011**

*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 экон. наук, проф. В.А. Казаков (МГУ им. М.В. Ломоносова);  
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. Б.В. Зубков

**Зам. ответственного редактора выпуска -** д-р техн. наук, проф. В.В. Воробьев

**Ответственный секретарь выпуска -** А.С. Агеев

**Члены редакционной коллегии -** д-р техн. наук, проф. Л.Н. Елисов;  
д-р техн. наук, проф. Н.И. Николайкин;  
канд. техн. наук, проф. С.Е. Прозоров

E-mail: [bpigd@mstuca.ru](mailto:bpigd@mstuca.ru)

тел. +7(495)459-07-16

ISBN 978-5-86311-809-3

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

---

---

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

---

---

№ 174

2011

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>Зубков Б.В., Прозоров С.Е.</b> Методический подход к оценке риска в системе управления безопасностью полетов	7
<b>Зубков Б.В., Макаров В.П.</b> Вероятностная оценка ошибки при техническом обслуживании воздушных судов	12
<b>Шаров В.Д., Макаров В.П.</b> Методология применения комбинированного метода FMEA-FTA для анализа риска авиационного события	18
<b>Прозоров С.Е.</b> Безопасность и экономичность полетов	25
<b>Прозоров С.Е., Еникеев Р.В.</b> Информационное обеспечение процессов управления безопасностью полетов	28
<b>Елисеев Б.П., Марьенкин Е.В.</b> К вопросу о надежности человека – оператора в системе управления авиационным персоналом	35
<b>Елисеев Б.П., Марьенкин Е.В.</b> Некоторые замечания по поводу понятия риск в связи с управлением авиационным персоналом	39
<b>Елисеев Б.П., Елисов Л.Н., Марьенкин Е.В.</b> О концепции системотехнического управления авиационным персоналом гражданской авиации	43
<b>Лебедев А.М.</b> Исследование критерия качества бортовой системы, реализующей минимальное отклонение переходного процесса реальной системы от переходного процесса идеальной системы	47
<b>Лебедев А.М.</b> Математическая модель контрольных параметров бортовых систем и комплексов летательного аппарата	53
<b>Лебедев А.М.</b> Анализ результатов внедрения автоматизированных систем контроля, САПР программ контроля и программных комплексов, ориентированных на решение приемо-сдаточных испытаний	57
<b>Лебедев А.М., Неськин В.А.</b> Разработка вероятностной математической модели надежности курсанта-пилота на основе анализа статистических данных по ошибкам, допущенным курсантами при выполнении учебных полетов	61
<b>Краснов С.И., Лебедев А.М.</b> Разработка критериев качества авиационной безопасности на основе квадратичной зависимости ущерба от отклонения параметров системы	66
<b>Агеев А.С.</b> Методика проведения экспертных оценок деятельности авиапредприятия по обеспечению безопасности полетов	69
<b>Кармызов М.В., Монахова С.В.</b> Применение интегрального подхода к проведению оценки безопасности в условиях авиационного предприятия	73
<b>Борисов Ю.А., Соловьев Б.А.</b> Информационная поддержка системы стратегического управления авиаремонтным предприятием	77
<b>Кравцов В.В.</b> Оценка общего риска катастроф воздушных судов при внедрении RVSM в Российской Федерации и регионе Евразия	84
<b>Саргсян Д.Р.</b> Анализ опыта применения альтернативных топлив на воздушных судах	91

<b>Хайдаров Р.А.</b> Алгоритм факторного анализа показателей безопасности полетов от причин-факторов.....	96
<b>Плотников Н.И.</b> Исследование понятий свойств и состояний в стандартах организации производства транспортных комплексов.....	100
<b>Плотников Н.И.</b> Исследование и моделирование нормативной надежности транспортного комплекса.....	107
<b>Ерохин Е.В.</b> Анализ величины дефекта назначения допусков и его зависимость от числа контрольных параметров.....	115
<b>Ерохин Е.В.</b> Анализ методов повышения достоверности контроля.....	120
<b>Дудник В.В.</b> Экспериментальные исследования датчиков контроля распыляющей аппаратуры летательных аппаратов.....	125
<b>Дудник В.В.</b> Построение упрощенной математической модели короткопериодического движения экспериментального сверхлегкого вертолета соосной схемы.....	131
<b>Рухлинский В.М., Свиркин В.А.</b> Некоторые аспекты повышения эффективности аварийно-спасательных работ в районе аэродрома.....	139
<b>Рухлинский В.М., Дяченко А.С.</b> Новые методы исследования информации портативных приемников спутниковой навигации при расследовании авиационных происшествий.....	144
<b>Рыбалкина А.Л.</b> О распределении надежностного ресурса в сложной системе при фиксированных средствах.....	151
<b>Курчавов В.В.</b> Оптимизация процесса интерпретации рентгеновского изображения на основе стратегии дизъюнктивного поиска.....	155
<b>Корнеев В.М.</b> Опыт использования в учебном процессе электронных альбомов схем.....	159
<b>Федосеева Г.А.</b> Анализ проблемы применения систем типа TAWS в целях повышения уровня безопасности полетов ВС.....	164
<b>Большов Д.С.</b> Анализ методов оценки сохранения летной годности силовых установок....	171
<b>Пересада С.В.</b> Системное противодействие террористам-смертникам на объектах транспорта	177
<b>Жилинский В.В., Шестаков В.З.</b> О подготовке в вузах специалистов по техногенной и экологической безопасности.....	185
<b>Ковалев А.А., Феоктистова О.Г.</b> Ранжирование задач в системе управления подбора кадров гражданской авиации.....	190
<b>Ковалев А.А., Феоктистова О.Г.</b> Управление менеджментом подбора кадров для предприятий гражданской авиации.....	193
<b>Чарышкина С.Н.</b> Дополнительные источники доходов авиакомпании в современных рыночных условиях.....	196

*В международной практике проблеме обеспечения безопасности полетов всегда уделялось первостепенное внимание. Поэтому в настоящее время воздушный транспорт занимает одно из первых мест по показателям безопасности по сравнению с другими видами транспорта. Это стало возможным благодаря совместным усилиям ученых и специалистов в области проектирования, производства и эксплуатации ВС.*

*В данном Научном Вестнике рассматриваются основные направления и результаты научных исследований в области комплексного подхода к обеспечению и поддержанию требуемого уровня безопасности полетов на протяжении всего жизненного цикла, включая все виды испытаний и эксплуатацию ВС. Особое внимание уделено вопросам выявления отклонений в работе отдельных элементов авиационно-транспортной системы, определению степени безопасности, количественной оценке уровня риска и разработке мероприятий по повышению безопасности полетов. Гражданская авиация России находится на таком этапе своего развития, когда при решении вопросов безопасности полетов необходимо учитывать стремительный рост объемов перевозок, массовое обновление парка ВС, средств управления воздушным движением и смену поколений авиационных специалистов.*

*Исследования показывают, что наиболее эффективным способом повышения уровня безопасности является системный подход к управлению безопасностью полетов. Сущность такого подхода заключается в том, что управление безопасностью полетов должно объединять различные виды деятельности в единое целое, требует планирования и организации мероприятий, налаживания взаимодействия между различными службами и соответствующего нормативного обеспечения.*

*Система управления безопасностью полетов должна давать авиапредприятию возможность прогнозировать и устранять проблемы безопасности полетов до того, как они приведут к авиационному происшествию.*

*С этой целью Международная организация гражданской авиации (ИКАО) разработала Руководство по управлению безопасностью полетов, практическому внедрению которого и посвящены многие статьи.*

*В настоящем Научном Вестнике нашли отражение и другие аспекты повышения уровня БП, которые представляют интерес для специалистов, занимающихся проектированием, производством и эксплуатацией авиационной техники, а также для студентов и аспирантов авиационных вузов.*

***Ответственный редактор –  
академик Академии авиации и воздухоплавания,  
доктор технических наук, профессор***

***Б.В. Зубков***

УДК 629.735.067

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ РИСКА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЁТОВ

Б.В. ЗУБКОВ, С.Е. ПРОЗОРОВ

Рассмотрен методический подход к систематизации исходных данных при оценке риска в СУБП авиакомпании, основанный на общепринятой классификации негативных событий, действующих нормах вероятностей особых ситуаций в полёте и корреляции статистических оценок их повторяемости между классами.

**Ключевые слова:** безопасность полётов, уровень риска, классификация негативных событий, особые ситуации в полёте, категории и предвестники инцидентов.

Основной задачей системы управления безопасностью полётов (СУБП) является обеспечение приемлемого уровня риска при выполнении авиационных перевозок и работ гражданскими воздушными судами.

Простейшая форма оценки риска в соответствии с Нормами лётной годности воздушных судов определяется двумя параметрами: степенью опасности последствий негативного события (или его угрозы) и вероятностью наступления такого события:

$$R_i = r_i q_i, \quad (1)$$

где  $r_i$  - опасность последствий  $i$ -го события (например, вероятность авиационной катастрофы вследствие возникновения  $i$ -го негативного события);  $q_i$  - вероятность возникновения (повторения)  $i$ -го события.

Оценка риска позволяет ранжировать выявленные события для групп однотипных событий по убыванию уровня риска  $R_i$  и, используя полученный ряд, устанавливать приоритетный порядок принимаемых мер по обеспечению БП.

Конечно, в оценке риска может возникнуть необходимость учитывать и другие параметры (например, степень тяжести последствий в зависимости от числа пассажиров терпящего авиационное происшествие ВС). В этом случае увеличивается размерность выражения оценки. Ограничимся в приведенных материалах двумерными оценками риска.

В связи с большим многообразием негативных событий, представляющих угрозу БП, одной из существенных методических задач в оценке рисков, связанных с их последствиями, является выбор схемы систематизации исходных данных, обеспечивающей их группирование по классам с заданными диапазонами значений ожидаемой опасности последствий с приемлемой для практики погрешностью.

Рассматриваемый методический подход к систематизации исходных данных при оценке риска в управлении БП авиакомпании, отличающийся исключительной простотой, состоит в использовании схемы, основанной на общепринятой классификации негативных событий, действующих нормах вероятностей особых ситуаций в полёте и корреляции статистических оценок их повторяемости между классами.

Соотношение частот повторяемостей событий для классов «Катастрофы – Аварии - Серьёзные инциденты - Инциденты», упорядоченных по степени их опасности (в порядке перечисления), известное как «Правило 1:10:30:600» [1], указывает на их коррелированность, основанную на единстве или, по крайней мере, значительной пересекаемости множеств исходных причинных факторов их возникновения. Иными словами, можно предположить, что для деятельности любой выбранной авиатранспортной системы, с некоторыми установленными и стабильно действующими в ней на достаточно длительном промежутке времени правилами классификации возникающих негативных событий, имеют место следующие тенденции:

- 1) чем выше степень опасности последствий негативных событий каждого из выбранных классов, тем меньше их повторяемость (количество на общем интервале времени наблюдения);
- 2) возрастание количества событий нижележащего по степени опасности класса на некотором интервале времени наблюдения влечет за собой увеличение количества событий вышележащего класса с тенденцией сохранения исходного соотношения их повторяемостей.

Для определения оценок рисков по результатам эксплуатационных наблюдений могут быть использованы Нормы лётной годности, регламентирующие вероятности особых ситуаций в полёте.

Между возникновением особых ситуаций в полёте и классифицируемым негативным событием по его завершении имеются следующие отношения: катастрофическая ситуация всегда приводит к катастрофе; аварийная ситуация завершается аварией или, реже, серьёзным инцидентом; сложная ситуация – серьёзным инцидентом; усложнение условий полёта – инцидентом. Действующая классификация допускает также определение части инцидентов как событий без возникновения особой ситуации (например, отказы отдельных резервированных функциональных систем ВС).

Учитывая изложенное, в качестве примера, введём следующую условную классификацию негативных событий: катастрофы (К), аварии (А), серьёзные инциденты категории А – при возникновении аварийной ситуации в полёте, не приведшей к аварии (СИ-А), серьёзные инциденты категории В – при возникновении сложной ситуации в полёте (СИ-В), инциденты категории А – при возникновении усложнения условий полёта (И-А), инциденты категории В – без возникновения особой ситуации в полёте (И-В).

Решение основной задачи обеспечения БП - предотвращение АП (катастроф и аварий) - обусловило необходимость расследования государством причин этих событий. Однако поскольку авиационные инциденты являются предвестниками АП, давно в мире сложилась практика государственного расследования причин и этих событий.

Вместе с тем, на практике имеется большой нижележащий пласт событий, которые можно рассматривать как предвестники (предпосылки) авиационных инцидентов. Это события, связанные с отклонениями в действиях авиационного персонала и работе авиационной техники, которые согласно принятой классификации по своим последствиям не отнесены к вышеупомянутым классам расследуемых событий.

Повторяемость этих событий неизмеримо выше всех других, что делает информацию о них весьма привлекательной для использования статистических оценок в условиях малых объёмов статистических данных, что свойственно небольшим авиационным предприятиям – эксплуатантам.

Этими обстоятельствами объясняется повышенный интерес к событиям низкого уровня опасности и существенное расширение информационных потоков в СУБП за счёт сбора данных для постоянного мониторинга обычных полётов, не содержащих событий, требующих обязательного расследования со стороны государства.

В связи с этим дополним рассмотренную выше классификацию классами событий, не подлежащих расследованию государством, но обуславливающих некоторые значения риска, соизмеримые с рисками для инцидентов, и обозначим их как «предвестники инцидентов» (ПИ): ПИ категории А – относительно высокой опасности последствий, близкой к опасности последствий инцидента (ПИ-А), ПИ категории В – более низкой опасности (ПИ-В). Такое введение двух классов ПИ обусловлено сложившейся практикой оценки отклонений полётных параметров от установленных нормативов: «5» - без отклонений (или в пределах заданного узкого диапазона); «4» - в пределах более широкого (по сравнению с отличным) диапазона, но выходящего за пределы отличного; «3» - на границе или вблизи границы допустимого, но без выхода за эксплуатационные ограничения (на грани инцидента). ПИ-А соответствует оценке «3», ПИ-В – оценке «4». В лётных спецификациях корпорации Airbus [2] используются три значения оценок степени опасности отклонений: высокая, средняя и низкая. Отнеся низкую степень опасности к приемлемой, можно воспользоваться двумя оставшимися для определения ПИ-А и ПИ-В.

Вместе с тем, как известно, действующими Нормами лётной годности установлены верхние ограничения для приемлемых уровней вероятности возникновения особых ситуаций в полёте при сложной отказной ситуации:

для катастрофической ситуации –  $Q_{KC} < 10^{-7}$  ;

для аварийной ситуации -  $Q_{AC} < 10^{-6}$  ;

для сложной ситуации -  $Q_{CC} < 10^{-4}$  ;

для усложнения условий полёта -  $Q_{VVI} < 10^{-3}$  .

Опираясь на приведенные нормы и рассмотренную выше условную классификацию событий, примем следующие условные нормы допустимых вероятностей их повторения, как показано в графе  $Q_i$  (табл. 1).

Если принять за единицу показатель опасности катастрофы (как допустимая вероятность наступления этого события на  $10^7$  часов налёта), то показатели остальных типов событий можно определить по формуле

$$r_i = Q_1 / Q_i, \quad i = 2, 3, \dots, 8. \quad (2)$$

Результаты приведены в графе  $r_i$  (табл. 1).

Соотношение нормируемых повторяемостей для классов негативных событий и степени их опасности графически представлены в виде пирамиды, известной как пирамида Хайнриха (рис. 1).

**Таблица 1**

Нормы повторяемости и показатели опасности негативных событий для выбранной системы их классификации

Класс $i$	Событие	Норма повторяемости, $Q_i <$	Показатель опасности, $r_i$
1	Катастрофа (К)	$10^{-7}$	1
2	Авария (А)	$10^{-6}$	0,1
3	Серьёзный инцидент категории А (СИ-А)	$10^{-6}$	0,1
4	Серьёзный инцидент категории В (СИ-В)	$10^{-4}$	$10^{-3}$
5	Инцидент категории А (И-А)	$10^{-3}$	$10^{-4}$
6	Инцидент категории В (И-В)	$2 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-5}$
7	Предвестник инцидента категории А (ПИ-А)	$5 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-5}$
8	Предвестник инцидента категории В (ПИ-В)	$10^{-2}$	$10^{-5}$



**Рис. 1.** Пирамида негативных событий, норм их повторяемости и показателей опасности

При этом риски могут быть определены по формулам

$$R_i = r_i q_i, \quad q_i \approx n_i / T, \quad R_\Sigma = \sum_{i=1}^7 R_i, \quad (3)$$

$$\text{т.е. } R_\Sigma \approx \sum_1 r_i n_i / T \quad (4)$$

где  $R_i$  - величина риска вследствие возникновения событий  $i$ -го класса на интервале времени наблюдения  $T$  лётных часов;  $r_i$  - показатель опасности для события  $i$ -го класса (табл. 1);  $q_i$  - наблюдаемая повторяемость событий  $i$ -го класса на интервале времени  $T$ ;  $n_i$  - количество наблюдаемых событий  $i$ -го класса на интервале времени  $T$ ;  $R_\Sigma$  - суммарное (интегральное) значение риска для всех контролируемых классов событий на интервале времени наблюдения  $T$  лётных часов.

Вариант матрицы риска для рассматриваемых условий приведен в табл. 2.

**Таблица 2**

Матрица рисков

		Диапазоны вероятности появления событий на 1 ч полёта							
		$< 10^{-7}$	$\geq 10^{-7}$ $< 10^{-6}$	$\geq 10^{-6}$ $< 10^{-4}$	$\geq 10^{-4}$ $< 10^{-3}$	$\geq 10^{-3}$ $< 2 \times 10^{-3}$	$\geq 2 \times 10^{-3}$ $< 5 \times 10^{-2}$	$\geq 5 \times 10^{-2}$ $< 10^{-2}$	$\geq 10^{-2}$
Классы событий	<b>К</b>	Анализ	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо
	<b>А</b>	Анализ	Анализ	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо
	<b>СИ-А</b>	Анализ	Анализ	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо
	<b>СИ-В</b>	Анализ	Анализ	Анализ	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо
	<b>И-А</b>	Анализ	Анализ	Анализ	Анализ	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо
	<b>И-В</b>	Анализ	Анализ	Анализ	Анализ	Анализ	Неприемлемо	Неприемлемо	Неприемлемо
	<b>ПИ-А</b>	Приемлемо	Приемлемо	Приемлемо	Приемлемо	Приемлемо	Анализ	Неприемлемо	Неприемлемо
	<b>ПИ-В</b>	Приемлемо	Приемлемо	Приемлемо	Приемлемо	Приемлемо	Приемлемо	Анализ	Неприемлемо

Отсутствие элементов «Приемлемо» в шести верхних строках (табл. 2) обусловлено обязательностью расследования АП и инцидентов согласно действующим нормативным документам [3].

Получаемые оценки, безусловно, имеют приближенный характер, но они отличаются простотой в практике применения и вполне приемлемы для мониторинга текущего уровня риска в процессе управления БП.

Использование событий нижнего уровня (ПИ) позволяет повысить эффективность такого мониторинга особенно в авиакомпаниях с невысокими объёмами полётов.

Определение характера особой ситуации в полёте может осуществляться на основе экспертной оценки лицами, уполномоченными для проведения расследования (членами государственной комиссии – для инцидентов или членами служебной комиссии – для предвестников авиационных инцидентов).

При использовании данного подхода целесообразно дополнить ПРАПИ соответствующими требованиями к проведению расследования инцидентов.

В заключение следует обратить внимание на то, что оценка рисков при определении уровня БП является дальнейшим развитием относительных оценок безопасности, поскольку желание использовать интегральную оценку для учёта разновеликих по степени опасности последствий

событий приводит к необходимости использования весовых коэффициентов  $k_i$  для каждого типа события (например, катастрофы, аварии, серьёзного инцидента, инцидента и т.д.) в известной формуле суммирования

$$Q_{\Sigma_i} = \sum k_i n_i / T . \quad (5)$$

Сравнивая выражения (4) и (5), легко увидеть их сходность и установить, что при  $k_i = r_i$  выражение (5) становится тождественным (4) и при этом  $Q_{\Sigma} = R_{\Sigma}$ .

Таким образом, использование категории рисков можно рассматривать как дальнейшее развитие получивших широкое применение на практике относительных оценок БП. При этом в формуле оценки рисков в качестве показателя повторяемости негативных событий  $i$ -й группы может использоваться не только показатель  $q_i(T)$  повторяемости в полётном времени, определяемый по формуле  $q_i \approx n_i / T$ , но и:

в суммарном путевом налёте

$$q_i(L_{\Sigma}) \approx n_i / L_{\Sigma} ; \quad (6)$$

в суммарном количестве полётов

$$q_i(N_n) \approx n_i / N_n ; \quad (7)$$

в суммарном количестве перевезённых пассажиров

$$q_i(N_{nacc}) \approx n_i / N_{nacc} . \quad (8)$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по управлению безопасностью полётов. Doc 9859AN/474. - 2-е изд. ИКАО, 2009.
2. Airbus Flight Profile Specification, 2004.
3. Правила расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в РФ: Постановление Правительства РФ от 01.06.98, № 609.
4. **Прозоров С.Е.** Безопасность полётов. Пособие по изучению дисциплины (в иллюстрациях). - М.: МГТУ ГА, 2008.

#### METHODOICAL APPROACH TO RISK ASSESSMENT IN SAFETY MANAGEMENT SYSTEM

**Zubkov B.V., Prozorov S.E**

The article presents review of a methodical approach to systematize the original data in assessing the risk to SMS air-lines, based on the standard classification of adverse events, existing norms of the probabilities for specific situations in flight and the correlation of statistical estimates of their frequency of occurrence between classes.

**Key words:** flight safety, level of risk, classification of adverse events, specific situations in-flight, category and precursors of incidents.

#### Сведения об авторах

**Зубков Борис Васильевич**, 1940 г.р., окончил КИИГА (1966), действительный член Академии наук авиации и воздухоплавания, доктор технических наук, профессор кафедры безопасности полётов и жизнедеятельности МГТУ ГА, автор более 140 научных работ, область научных интересов – вопросы обеспечения безопасности полётов и жизнедеятельности, авиационной безопасности.

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

УДК 629.735.063.02/06

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ОШИБКИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Б.В. ЗУБКОВ, В.П. МАКАРОВ

В статье исследуется математическая модель необнаружения отказа или неисправности воздушного судна при техническом обслуживании.

**Ключевые слова:** фактор опасности, ошибка, вероятность.

При анализе безопасности полетов (БП) и прогнозировании рисков авиационных событий (АС) необходимо учитывать барьеры безопасности [1], влияющие на развитие АС. Барьеры предотвращения предназначены не допустить проявления факторов опасности (ФО) в полете, барьеры парирования предназначены не допустить развитие последствий проявлений ФО до АС.

Вероятностная оценка риска АС предполагает использование соответствующих методов оценки надежности барьеров безопасности. Факторами опасности группы «Воздушное судно» (ВС), инициирующими или сопутствующими развитию АС, являются отказы функциональных систем самолета и двигателя, которые могут быть предотвращены при проведении технического обслуживания и ремонта ВС.

Диагностирование технического состояния систем ВС в процессе эксплуатации является существенным элементом системы управления безопасностью полетов и действенным проактивным [2] инструментом недопущения к полету неисправного воздушного судна со скрытыми ФО.

Для оценки ошибки при техническом обслуживании ВС, следствием которой является невыявление неисправности/отказа систем самолета и двигателя, применима вероятностная модель. Данная модель позволит оценить вероятность «не срабатывания» барьера предотвращения проявления ФО группы «Воздушное судно» при прогнозировании рисков авиационных событий.

Примем следующее обозначение:  $P_{ij}$  – вероятность совместного наступления двух событий: объект диагностирования находится в техническом состоянии  $i$ , а в результате диагностирования считается находящимся в техническом состоянии  $j$ . При этом, если  $i$  – исправное состояние, а  $j$  – неисправное состояние,  $P_{ij}$  – ошибка I-го рода. Если  $i$  – неисправное состояние, а  $j$  – исправное состояние,  $P_{ij}$  – ошибка II-го рода [3]. Функциональные системы и двигатель ВС объединим понятием – объект диагностирования (далее по тексту - объект).

Примем следующие обозначения:  $\alpha$  – вероятность признать в результате диагностирования исправный объект за исправный;  $(1-\alpha)$  – вероятность признать исправный объект за неисправный - ошибка I-го рода;  $\beta$  – вероятность признать неисправный объект за неисправный;  $(1-\beta)$  – вероятность признать неисправный объект за исправный (ошибка II-го рода).

Примем условие, что техническое состояние объектов контролируется с постоянной периодичностью, и в начальный момент времени их уровень надежности характеризуется вероятностью безотказной работы  $P_0$  (состояние  $E_0$  объекта диагностирования).

В момент первого контроля, через промежуток времени  $t_1$  из состояния  $E_0$  с вероятностью  $P(t_1)$  выделяется состояние  $E_{01}$  (объекты, которые остались исправными к моменту  $t_1$ ) и с вероятностью  $1-P(t_1)$  выделяется состояние  $\bar{E}_{01}$  (неисправные к моменту  $t_1$  изделия). После проведения контроля состояния  $E_{01}$  и  $\bar{E}_{01}$  трансформируются соответственно в состояния  $E_1$  и  $\bar{E}_1$ . Вся цепочка переходов состояний при периодическом контроле объекта показана на рис. 1.

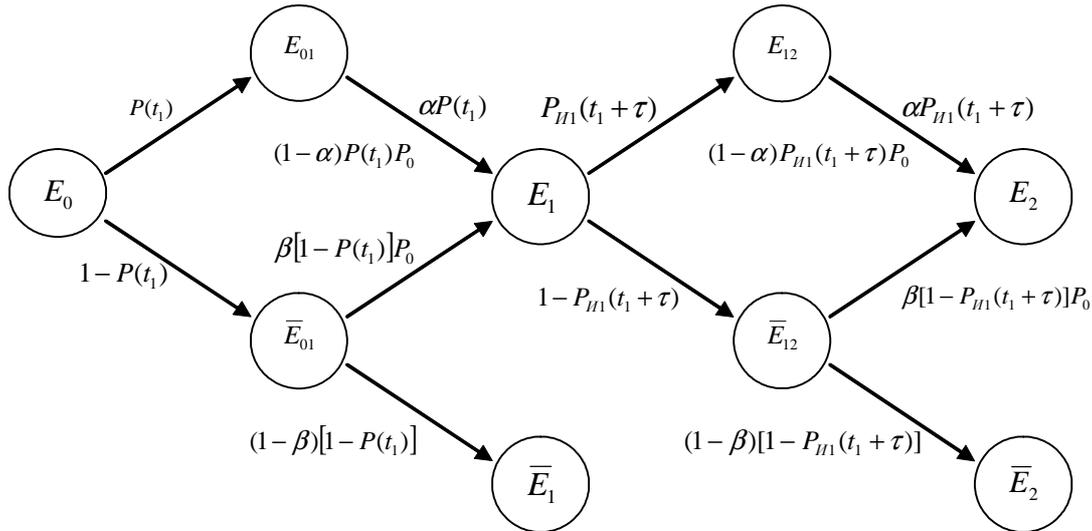


Рис. 1. Граф состояний контролируемого объекта

После первого контроля вероятность исправности объекта будет описываться следующим образом

$$P_{M1} = \alpha * P(t_1) + (1 - \alpha) * P(t_1) * P_0 + \beta * [1 - P(t_1)] * P_0. \tag{1}$$

Обозначим в последних двух слагаемых равенства (1) значение  $P(t_1)$  через  $P_1$

$$P_1 = e^{-\int_0^{t_1} \lambda(t) dt}.$$

Теперь выражение (1) примет вид

$$P_{M1} = \alpha * P_1 + (1 - \alpha) * P_1 * P_0 + \beta * [1 - P(t_1)] * P_0. \tag{2}$$

Если  $P_0 = 1$ , то при  $\alpha = \beta = 1$  из (2) с учетом (1) следует, что

$$P_{M1} = 1.$$

Рассмотрим момент времени  $t = t_1 + \tau$ . Вероятность исправного состояния объекта после первого контроля будет равна

$$P_{M1} = \alpha * P(t_1 + \tau) + (1 - \alpha - \beta) * P(t_1 + \tau) * P_1 + \beta * P_0(\tau). \tag{3}$$

Обозначим  $P_0(\tau)$  через  $P(\tau)$ . Получим следующее выражение

$$P_{M1}(t) = \alpha * P(t) + (1 - \alpha - \beta) * P(\tau) * P_1 + \beta * P(t). \tag{4}$$

Рассмотрим частный случай  $\lambda(t) = \lambda = const$ . Тогда

$$P_1 = e^{-\lambda t_1}, \quad P(\tau) = e^{-\lambda \tau}.$$

Подставляя значения  $P_1$  и  $P(\tau)$  в равенство (4), и, выполнив преобразования, получим

$$P_{M1}(t) = (1 - \beta) * e^{-\lambda t} + \beta * e^{-\lambda t}. \tag{5}$$

При экспоненциальном законе распределения вероятность безотказной работы объекта  $P_{M1}(t)$  не зависит от  $\alpha$ .

При  $\beta = 1$

$$P_{M1} = e^{-\lambda t}. \tag{6}$$

Последнее условие справедливо для любого момента времени

$$t = i * t + \tau.$$

Преобразуем уравнение (4). С этой целью выразим

$$P_1 = e^{-\int_0^{t_1+\tau} \lambda(t) dt} = e^{-\int_0^{t_1} \lambda(t) dt} * e^{-\int_{t_1}^{t_1+\tau} \lambda(t) dt} = P_1 * e^{-\int_{t_1}^{t_1+\tau} \lambda(t) dt}. \tag{7}$$

Введем обозначение

$$e^{-\int_0^{j_1+\tau} \lambda(t) dt} = R_j(t), j = 0; k \quad (8)$$

$$e^{-\int_0^{i_1} \lambda(t) dt} = P_i, i = 1; k.$$

Тогда равенство (4) примет вид

$$P_{И1}(t) = \alpha * P_1 R_1(\tau) + (1 - \alpha - \beta) * P_1 * R_0(\tau) + \beta * R_0(\tau) \quad (9)$$

или

$$P_{И1}(t) = a_{11} * R_1(\tau) + a_{10} * R_0(\tau) + \beta * R_0(\tau), \quad (10)$$

где

$$R_0(\tau) = P(\tau) = e^{-\int_0^{\tau} \lambda(t) dt}.$$

К моменту второго контроля ( $\tau = t_1$ ;  $t = 2t_1$ ) объект может находиться в одном из состояний (рис. 1): исправном  $E_{12}$  с вероятностью  $P_{И1}(t_1 + t_1)$  или неисправном  $\bar{E}_{12}$  с вероятностью  $1 - P_{И1}(t_1 + t_1)$ . После второго контроля вероятность исправного состояния объекта в момент времени  $t = 2t_1 + \tau$  будет равна

$$P_{И2}(t) = \alpha * P_{И1}(2t_1 + \tau) + (1 - \alpha) * P_{И1}(2t_1) * P(\tau) + \beta * [1 - P_{И1}(2t_1)] * P(\tau). \quad (11)$$

Подставляя в (11) вместо  $P_{И1}$  его выражение из (4) и делая преобразования с учетом (8), получим

$$P_{И2}(t) = \alpha^2 * P_2 * R_2(\tau) + \alpha * P_1 [(1 - \alpha - \beta) * P_1 + \beta] * R_1(\tau) + (1 - \alpha - \beta) * \{\alpha * P_2 + P_1 [(1 - \alpha - \beta) P_1 + \beta]\} * R_0(\tau) + \beta * R_0(\tau) \quad (12)$$

или

$$P_{И2}(t) = a_{22} * R_2(\tau) + a_{21} * R_1(\tau) + a_{20} * R_0(\tau) + \beta * R_0(\tau). \quad (13)$$

Нетрудно убедиться, что

$$a_{22} = \alpha * a_{11} * \frac{P_2}{P_1}; a_{21} = \alpha * P_1 (a_{10} + \beta); a_{20} = \frac{1 - \alpha - \beta}{\alpha} * (a_{22} + a_{21}). \quad (14)$$

Соблюдая указанное правило, для вероятности исправного состояния после третьего контроля в момент времени  $t = 3t_1 + \tau$  получим выражение

$$P_{И3}(t) = a_{33} * R_3(\tau) + a_{32} * R_2(\tau) + a_{31} * R_1(\tau) + a_{30} * R_0(\tau) + \beta * R_0(\tau). \quad (15)$$

При этом

$$a_{33} = \alpha * a_{22} * \frac{P_3}{P_2}; a_{32} = \alpha * a_{21} * \frac{P_2}{P_1}; a_{31} = \alpha * P_1 (a_{20} + \beta); a_{30} = \frac{1 - \alpha - \beta}{\alpha} * (a_{33} + a_{32} + a_{31}). \quad (16)$$

В справедливости формул нетрудно убедиться, если провести выкладки, аналогичные тем, которые выполнялись для отыскания вероятностей  $P_{И1}(t)$  и  $P_{И2}(t)$ . Теперь для вероятности исправной работы после  $k$ -го контроля в момент времени  $t = k * t_1 + \tau$  можно записать выражение

$$P_{Иk}(t) = a_{kk} * R_k(\tau) + a_{k(k-1)} * R_{k-1}(\tau) + a_{k(k-2)} * R_{k-2}(\tau) + \dots + a_{k(k-j)} * R_{k-j}(\tau) + \dots + a_{k1} * R_1(\tau) + a_{k0} * R_0(\tau) + \beta * R_0(\tau) \quad (17)$$

Коэффициенты  $a_{k(k-j)}$  будут определяться рекуррентными соотношениями:

$$a_{kk} = \alpha * a_{(k-1)(k-1)} * \frac{P_k}{P_{k-1}} = \alpha^k * P_k; \quad (18)$$

$$\begin{aligned}
a_{k(k-1)} &= \alpha * a_{(k-1)(k-2)} * \frac{P_{k-1}}{P_{k-2}} ; \\
a_{k(k-2)} &= \alpha * a_{(k-1)(k-3)} * \frac{P_{k-2}}{P_{k-3}} ; \\
&\dots\dots\dots \\
a_{k(k-j)} &= \alpha * a_{(k-1)(k-j-1)} * \frac{P_{k-j}}{P_{k-j-1}} ; \\
&\dots\dots\dots \\
a_{k1} &= \alpha * P_1(a_{(k-1)0} + \beta) ; \\
a_{k0} &= \frac{1 - \alpha - \beta}{\alpha} \sum_{\mu=1}^{\mu=k} a_{k\mu} .
\end{aligned} \tag{19}$$

Из формулы (17) следует, что минимальное значение равно

$$P_{И1} = \beta * e^{-\int_0^{\tau} \lambda(t) dt} .$$

При  $\lambda = const$  значение  $P_{Иk}(t)$  будет зависеть только от вероятности  $\beta$ , периодичности контроля и величины  $\lambda$ . Это нетрудно доказать методом индукции, учитывая соотношение (5). Для этого частного случая вместо (17) имеем

$$P_{Иk}(t) = \left[ \begin{aligned} &(1 - \beta)^k * P_1^k + \beta(1 - \beta)^{k-1} * P_1^{k-1} + \dots + \beta * (1 - \beta)^{k-i} * P_1^i + \\ &\dots + \beta(1 - \beta) * P_1 + \beta \end{aligned} \right] * R_0(\tau) . \tag{20}$$

Преобразуем уравнение (20). Обозначим  $(1 - \beta) * P_1$  через  $\alpha$ . Очевидно, что  $\alpha < 1$ . Тогда равенство (20) примет вид

$$P_{Иk}(t) = \left[ (1 - \beta)^k * P_1^k + \beta(1 + \alpha + \alpha^2 + \dots + \alpha^{k-1}) \right] * R_0(\tau) .$$

Но второе слагаемое есть геометрическая прогрессия. Поэтому

$$\sum_{i=1}^k \alpha^{i-1} = \frac{1 - \alpha^k}{1 - \alpha} .$$

Отсюда окончательно получаем

$$P_{Иk}(t) = \left[ (1 - \beta)^k * P_1 + \beta \frac{1 - (1 - \beta)^k * P_1^k}{1 - (1 - \beta) * P_1} \right] * R_0(\tau) , \tag{21}$$

где  $R_0(\tau) = e^{-\lambda t}$ .

Теперь возможно отыскать предельное значение  $P_{И\infty}(\tau)$  при условии  $k \rightarrow \infty$ . Так как  $(1 - \beta)^k * P_1^k$  при этом стремится к нулю, то

$$P_{И\infty}(t) = \frac{\beta * e^{-\lambda t}}{1 - (1 - \beta) * P_1} . \tag{22}$$

Полагая  $\tau = t_1$ , получаем

$$P_{И\infty} = \frac{\beta * P_1}{1 - (1 - \beta) * P_1} . \tag{23}$$

Для расчета вероятности необнаружения отказа или неисправности воздушного судна при техническом обслуживании получим формулу

$$P_{error} = 1 - \left[ \frac{\beta * P_1}{1 - (1 - \beta) * P_1} \right] . \tag{24}$$

Параметр  $\beta$  может быть определен с использованием модели ошибки технического персонала (рис. 2), приведенной в разработке программы CATS – «Причинная модель безопасности на воздушном транспорте» [4].



Рис. 2. Модель ошибки персонала по техническому обслуживанию ВС

В CATS ошибка технического персонала представлена, как Байесовская сеть доверия: ошибка человека и формирующие ее факторы выступают в качестве «узлов», связанных «дугами», представляющими вероятностное или функциональное влияние факторов на ошибку. В расчетах используются *распределения* величин факторов опасности, а не их точечные оценки (рис. 3).

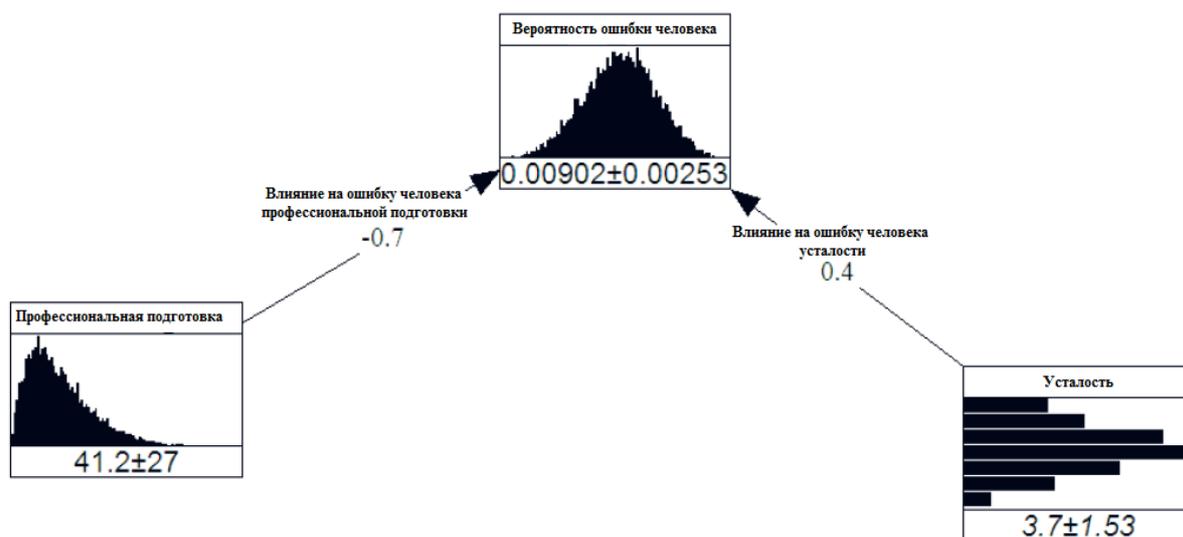


Рис. 3. Байесова сеть доверия

Вероятность ошибки человека вычисляется по формуле [4]

$$P_{error} = HEP * \sum_{i=1}^N PSF_i * W_i, \quad (25)$$

где  $HEP$  – вероятность ошибки при выполнении определенной задачи;  $PSF_i$  – влияние  $i$ -го влияющего фактора (*Shaping Factor*) на ошибку;  $W_i$  – вес  $i$ -го влияющего фактора.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Постановления Правительства РФ № 218.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шаров В.Д., Макаров В.П. Методология применения комбинированного метода FMEA-FTA анализа риска авиационного события // Статья в данном Научном Вестнике.
2. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). Doc 9859-AN/460. - 2-е изд. - ИКАО, 2009.
3. Лебедев А.М., Степанов С.М., Хайдаров Р.А. Математическая модель ошибок оператора первого и второго рода // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта, безопасность полетов. - 2009. - № 149.
4. Causal Model for Air Transport Safety/Final report. 2009.

## PROBABILITY ESTIMATION OF THE HUMAN ERROR AT AIRCRAFT MAINTENANCE

Zubkov B.V., Makarov V.P.

This article is devoted the mathematical model not detection of fault or malfunction of the aircraft at maintenance.

**Key words:** hazard, error, probability.

## Сведения об авторах

**Зубков Борис Васильевич**, 1940 г.р., окончил КИИГА (1966), действительный член Академии наук авиации и воздухоплавания, доктор технических наук, профессор кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, автор более 140 научных работ, область научных интересов - вопросы обеспечения безопасности полетов и жизнедеятельности, авиационной безопасности.

**Макаров Валерий Петрович**, 1987 г.р., окончил МГТУ ГА (2009), методист департамента предотвращения авиационных происшествий ГрК «Волга-Днепр», автор 4 научных работ, область научных интересов - риск-менеджмент, анализ надежности, управление безопасностью полетов.

УДК 347.822.4

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА FMEA-FTA ДЛЯ АНАЛИЗА РИСКА АВИАЦИОННОГО СОБЫТИЯ

В.Д. ШАРОВ, В.П. МАКАРОВ

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

В статье исследуется возможность применения комбинации двух известных методов анализа отказов технических систем FMEA и FTA к анализу рисков для безопасности полетов в авиакомпании.

**Ключевые слова:** авиационное событие/происшествие, фактор опасности, оценка риска.

### 1. Введение

Специалистам по управлению безопасностью полетов авиакомпаний хотелось бы иметь простой и надежный инструмент количественной оценки и прогнозирования риска. Для анализа безопасности технических систем в качестве такого метода предлагается FTA-FMEA методология анализа отказа. Это инновационная комбинация двух традиционных и широко используемых методов анализа надежности: «Анализ видов и последствий потенциальных отказов» (FMEA) и «Анализ дерева неисправностей» (FTA).

Известно, что FMEA [2, 4] применяется для анализа последствий единичных видов отказов, исследование построено по индуктивному принципу «снизу – вверх», результаты анализа представлены, как правило, в форме таблиц.

Метод FTA [2] позволяет исследовать комбинации отказов, построен по принципу «сверху – вниз», и визуально представляется как логическая диаграмма. Анализ комбинаций отказов – значимое преимущество FTA перед FMEA. Однако использование FTA требует специальных знаний, определенного опыта в области анализа и даже «творческого подхода», что в совокупности приводит к упущениям из анализа некоторых из видов отказа или их комбинаций.

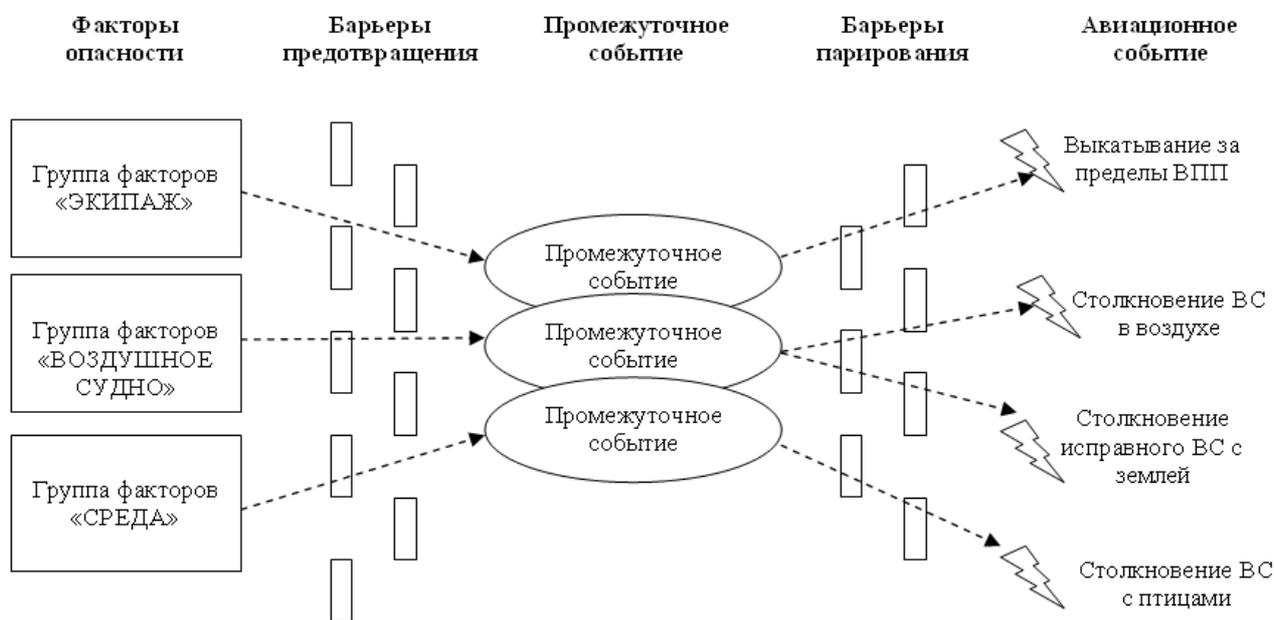
Объединение методов позволяет максимизировать их преимущества минимизировать недостатки, но использование объединенного метода для анализа безопасности на уровне авиапредприятия требует специальных подходов. В статье рассматривается применение подхода FTA-FMEA для построения «дерева событий» с целью расчета (прогнозирования) риска авиационного события.

### 2. Схема развития авиационного события

Для целей данного исследования под авиационным событием (АС) будем понимать авиационные происшествия и инциденты. Этот подход соответствует принятому в зарубежных публикациях, где часто разница между происшествием (*accident*) и инцидентом (*incident*) определяется только величиной ущерба [10, 11]. Развитие АС [5, 7] начинается с возникновения иницирующих событий, связанных со сбоями в *барьерах предотвращения* проявлений факторов опасности (*hazards*) – причин иницирующих событий. В результате возникает промежуточное событие, которое может быть охарактеризовано степенью опасности особой ситуации по [6]. Промежуточное событие может закончиться АС, если будут сломлены *барьеры парирования*, или может быть парированным без последствий для безопасности полетов (БП).

Подход к анализу рисков АС с учетом влияния барьеров безопасности нашел свое применение в методе, разработанном рабочей группой ARMS (EASA) и достаточно подробно описанном

в монографии [7]. В настоящее время этот подход находит все более широкое применение в системах управления безопасностью полетов (СУБП) передовых АК (<http://www.skybrary.aero/>), поэтому он и был взят за основу при разработке схемы развития АС в предлагаемой методике (рис. 1).



**Рис. 1.** Принципиальная схема развития авиационного события

Фактор опасности (ФО) – это состояние, условие или объект, обладающий потенциальной возможностью нанести травму персоналу, причинить ущерб оборудованию или конструкции, вызвать уничтожение материалов или понизить способность авиационно-транспортной системы (АТС) осуществлять предписанную функцию (на основе [5]).

Проявление ФО – это негативное воздействие ФО на функционирование АТС, связанное с БП и имеющее определенную характеристику. ФО воздействуют на АТС постоянно, однако это воздействие может быть *допустимым* (не иметь негативных последствий) или *опасным* – явиться причиной промежуточного события в цепочке развития АС. Рассмотрим ФО «Сдвиг ветра», который, согласно [8], может быть:

- ❖ слабым (*от 0 до 4 узлов включительно на 30 метрах (100 футов)*);
- ❖ умеренным (*от 5 до 8 узлов включительно на 30 метрах (100 футов)*);
- ❖ сильным (*от 9 до 12 узлов включительно на 30 метрах (100 футов)*);
- ❖ очень сильным (*выше 12 узлов на 30 метрах (100 футов)*).

Характеристикой опасности сдвига ветра является градиент скорости ветра. Слабый сдвиг ветра для БП не представляет угрозы и может быть отнесен к допустимому проявлению ФО. Другие категории необходимо учесть при анализе рисков АС.

Традиционно в безопасности полетов АТС используется сочетание групп факторов: «Экипаж»; «Воздушное судно»; «Среда».

«Барьеры предотвращения» предназначены не допустить проявления факторов опасности (т.е. предотвратить «промежуточное» событие), «барьеры парирования» предназначены не допустить развитие проявлений ФО до АС (т.е. парировать развитие «промежуточного» события до АС).

### 3. Методология построения дерева развития АС

В соответствии с методологией FMEA-FTA первоначально необходимо выявить опасные конечные последствия (*End Effects* – [1]) для объекта исследования. Учитывая сложность АТС,

предлагается выполнять расчеты для каждого *типа* АС. Перечень типов событий, используемых в базах данных АС в ГА РФ, содержится в Автоматизированной системе обеспечения безопасности полетов (АСОБП) [9]. Международный перечень *категорий* авиационных событий приведен в [10] и [11].

Однако эти существующие перечни разработаны для организации баз данных АС, но не для задач прогнозирования этих событий. Некоторые типы (категории) АС в указанных классификаторах к факторам опасности являются промежуточными событиями по схеме рис. 1. Для прогнозирования рисков необходима определенность в последствиях конечного события. В целях решения поставленной задачи авторами предлагается собственный классификатор АС, разработанный на основании классификатора АСОБП и международного классификатора ИКАО, представленный в табл. 1.

Таблица 1

## Классификатор событий

№	Код	Наименование
1	2	3
1	ARN	НЕБЕЗОПАСНОЕ КАСАНИЕ ВПП ABNORMAL RUNWAY CONTACT
2	BIRD	СТОЛКНОВЕНИЕ С ПТИЦАМИ BIRD
3	CFIT	СТОЛКНОВЕНИЕ ИСПРАВНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА С ЗЕМЛЕЙ CONTROLLED FLIGHT INTO OR TOWARD TERRAIN
4	FIRE	ПОЖАР FIRE
5	GCOL	СТОЛКНОВЕНИЕ С ОБЪЕКТОМ НА ЗЕМЛЕ GROUND COLLISION
6	LOC-I	ПОТЕРЯ УПРАВЛЕНИЯ В ВОЗДУХЕ LOSS OF CONTROL – INFLIGHT
7	MAC	СТОЛКНОВЕНИЕ МЕЖДУ ВОЗДУШНЫМИ СУДАМИ В ВОЗДУХЕ AIRPROX/ ACAS ALERT/ LOSS OF SEPARATION/ NEAR MIDAIR COLLISIONS/ MIDAIR COLLISIONS
8	RE	ВЫКАТЫВАНИЕ ЗА ПРЕДЕЛЫ ВПП RUNWAY EXCURSION
9	SEC	ПРОИСШЕСТВИЯ, СВЯЗАННЫЕ С АВИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ SECURITY RELATED
10	CTOL	СТОЛКНОВЕНИЕ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ НА ЭТАПЕ ВЗЛЕТА ИЛИ ПОСАДКИ COLLISION WITH OBSTACLES DURING TAKE-OFF AND LANDING
11	DECOM	РАЗГЕРМЕТИЗАЦИЯ DECOMPRESSION
12	ADES-I	РАЗРУШЕНИЕ ПЛАНЕРА В ВОЗДУХЕ AIRFRAME DESTRUCTION – INFLIGHT

Типы событий в соответствии с методологией ФТА являются верхними (головными) событиями [3].

Следующим шагом методологии FMEA-ФТА является составление перечня ФО, определяющих развитие конкретных типов АС. Существенную информационную поддержку можно получить из анализа статистических данных об АС. При этом реализуется восходящий метод FMEA – от ФО к типам АС.

Процедуру статистического анализа следует сочетать с исследованиями типов АС по принципу ФТА – от верхнего события через промежуточные события и барьеры безопасности к ФО.

Факторы опасности должны быть представлены в виде, позволяющем получить исходные данные для расчета степени серьезности их проявления в виде вероятности инициирующего события. Характеристиками ФО могут быть: числовые значения, случайные параметры стохастической природы с известными и неизвестными вероятностными распределениями, параметры

нечисловой природы, которые могут быть рассчитаны исключительно на основании экспертных оценок по [12], в том числе с применением нечетких методов «мягкого оценивания», описанных в [13].

В каждом конкретном случае нужно подходить творчески, стремясь использовать те данные, которые позволяют рассчитать искомую вероятность промежуточного события с наибольшей достоверностью.

Например, для одного из видов АС «Выкатывание за пределы ВПП при посадке» в качестве промежуточного события рассматривается значительный «перелет зоны приземления». Это событие является проявлением нескольких ФО группы «Экипаж», среди которых пролет порога ВПП на высоте значительно более рекомендованной, длинное выравнивание, значительное превышение скорости  $V_{app}$  и др. Однако для прогнозирования события «значительный перелет» в предстоящем полете целесообразно использовать вероятностное распределение величины «перелета» по данным ССПИ для конкретного пилота. Разумеется, необходимо учитывать и характеристики аэродромов, в частности, располагаемую посадочную дистанцию. Такой подход может существенно упростить структуру и процедуру построения «дерева» (рис. 3).

Следует различать понятия «проявление ФО» и «причина ФО». Например, факторами опасности группы «Экипаж» могут быть: превышение рекомендованной скорости снижения, создание крена, более допустимого на посадке, и т.д. Т.е. проявление ФО – это *событие*, имеющее однозначно определяемые последствия для конкретного типа АС. Причинами проявлений ФО могут быть: профессиональная подготовка; психофизиологические особенности человека и т.д. При этом невозможно четко определить, к каким именно последствиям в развитии данного типа авиационного события приведут, например, психофизиологические особенности человека. Анализ причин ФО и их оценивание необходимы для прогнозирования влияния этих факторов опасности на развитие авиационных событий.

Результатом анализа FMEA-FTA является построение *дерева развития авиационного события* – логической схемы, отражающей вероятные сценарии развития и проявления факторов опасности и их комбинаций через промежуточные (нежелательные) события и барьеры безопасности в АС (рис. 2).

Предлагается анализировать только *вероятные* сценарии развития АП, исключив *невероятные*. Это условие позволит построить модели деревьев, пригодные для практического применения в авиакомпании.

Одной из основных задач проводимого анализа является выявление кратчайших путей к АС, которые отражают наибольшую опасность в возможных сценариях.

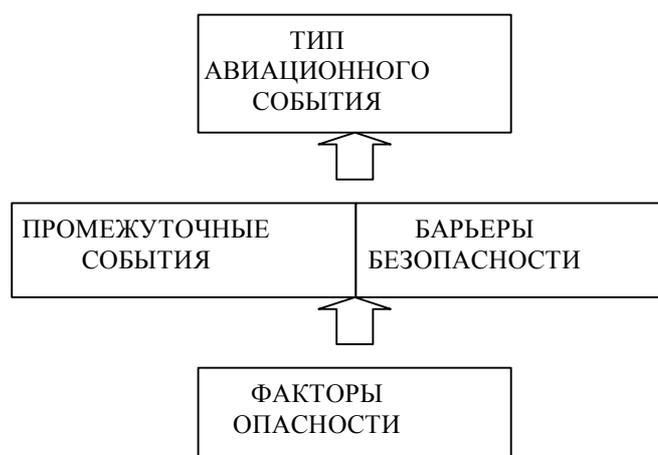


Рис. 2. Структура дерева развития авиационного события

Фактор опасности способен повлиять на развитие АС, только если будут «сломлены» и барьеры предотвращения, и барьеры парирования. Это условие необходимо реализовать при разработке дерева развития АС. Следует отметить, что несрабатывания барьеров безопасности также являются проявлениями факторов опасности.

Построение дерева события на примере развития АС типа «Выкатывание за пределы ВПП» представлено на рис. 3.

Логические знаки, использованные при построении дерева авиационного события, представлены в табл. 2 ([3]).

Таблица 2

Логические знаки и обозначения

Обозначение	Функция	Описание
	И	Выходное событие происходит, если все входные события происходят одновременно
	Или	Выходное событие происходит, если происходит любое из входных событий (или одно, или в любой комбинации)
	Основное событие	Символ используется для обозначения фактора опасности
	Неразработанное событие	Событие, дальнейшая разработка которого не была проведена

### Заключение

Проведенный анализ показал, что подход к расчету риска авиационных событий, основанный на построении деревьев событий, с использованием методологии FMEA-FTA, применим для задач прогнозирования вероятностей АС в авиакомпании.

Предлагаемая методология существенно упрощает процедуру и сокращает время построения деревьев по сравнению с использованием классического вероятностного анализа безопасности [4], позволяет приемлемо для практики решать задачу вычисления показателей безопасности, характерную для FTA, и задачу вычисления критичности отказов систем, на которую ориентирован FMEA.

Однако исключительная сложность АТС потребует проведения дополнительных специальных исследований как в части обеспечения полноты учета ФО, в частности, психофизиологических характеристик пилотов, так и по разработке методик описания воздействия на развитие событий (в вероятностных мерах) факторов опасности из групп «Экипаж» и «Среда». Остаются не до конца решенными проблемы по использованию для расчета технологии «последовательных связанных матриц» (*Hierarchical Interaction Matrix* [1]).

Очевидно также, что практическая реализация предлагаемой методологии потребует разработки специального программного обеспечения.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Постановления Правительства РФ № 218.*

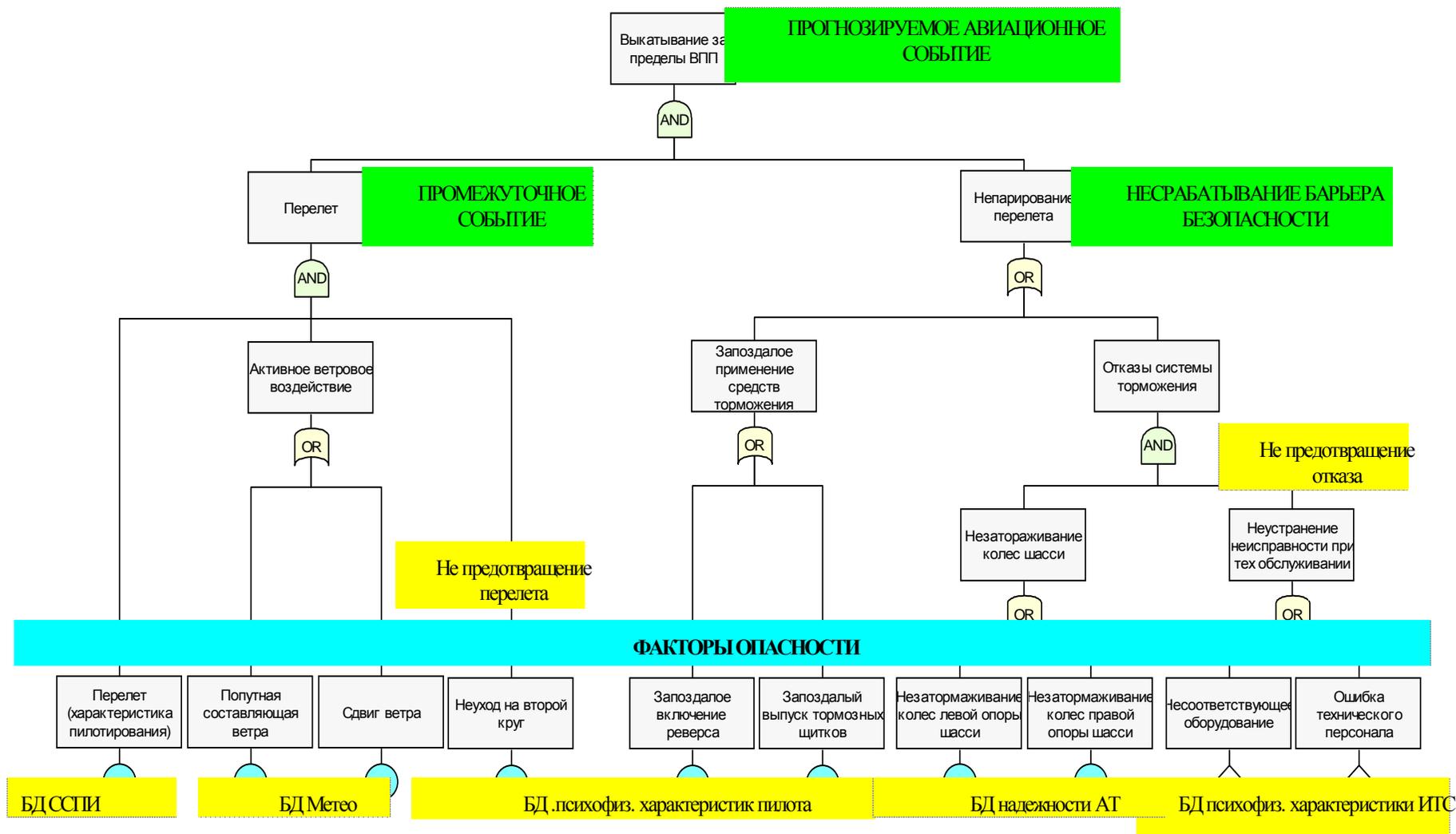


Рис. 3. Дерево развития события типа «Выкатывание за пределы ВПП при посадке»

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Bluvband Z** Bouncing failure analysis (BFA): the unified FTA-FMEA methodology / Z.Bluvband, R.Polak, P. Grabov // Reliability and Maintainability Symposium. Proceedings. Annual. – 2005. P. 463-467.
2. «Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)», QS-9000 Reference Manual, 1995.
3. ГОСТ Р 51901.13-2005 «Анализ дерева неисправностей».
4. **Александровская Л. Н.** и др. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: учебник. – М.: Логос, 2001.
5. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). Doc 9859-AN/460. - 2-е изд. - ИКАО, 2009.
6. Авиационные правила «Нормы летной годности самолетов транспортной категории» (АП-25). - МАК. - 2004. - Ч. 25.
7. **Зубков Б. В., Шаров В. Д.** Теория и практика определения рисков в авиапредприятиях при разработке системы управления безопасностью полетов. - М.: МГТУ ГА, 2010.
8. ICAO Doc9817. Руководство по сдвигу ветра. 2005.
9. Руководство по информационному обеспечению автоматизированной системы обеспечения безопасности полетов воздушных судов гражданской авиации Российской Федерации (АСОБП). - М.: Аэронавигационное консалтинговое агентство, 2002.
10. Aviation Occurrence Categories. Definitions and Usage Notes. / CAST/ICAO Common Taxonomy Team (CICTT) / October 2008 (4.1.4).
11. ICAO ADREP 2000 taxonomy, 2006г.
12. **Орлов А. И.** Организационно-экономическое моделирование: учебник. Экспертные оценки. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. - Ч. 2.
13. **Плотников Н. И.** Проектирование транспортных комплексов. Воздушный транспорт: монография. – Новосибирск: ЗАО ИПЦ «Авиаменеджер», 2010.

THE METODOLOGY OF USE OF UNIFIED FTA-FMEA METHOD  
FOR AVIATION ACCIDENT RISK ASSESSMENT

Sharov V.D., Makarov V.P.

This article is devoted to research of possibility of using an innovative combination of two traditional failure analysis techniques: FMEA and FTA in airline safety risk analysis.

**Key words:** aviation incident/accident, hazard, risk assessment.

## Сведения об авторах

**Шаров Валерий Дмитриевич**, 1955 г.р., окончил Академию ГА (1977), кандидат технических наук, заместитель директора департамента предотвращения авиационных происшествий ГрК «Волга-Днепр», автор более 50 научных работ, область научных интересов – безопасность полетов, аэронавигация.

**Макаров Валерий Петрович**, 1987 г.р., окончил МГТУ ГА (2009), методист департамента предотвращения авиационных происшествий ГрК «Волга-Днепр», автор 4 научных работ, область научных интересов - риск-менеджмент, анализ надежности, управление безопасностью полетов.

УДК 629.735.067

## БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПОЛЁТОВ

С.Е. ПРОЗОРОВ

Рассмотрены финансовые условия обеспечения безопасности полётов, как состояния приемлемого уровня риска.

**Ключевые слова:** безопасность полётов, финансовые расходы, конфликт интересов.

Безопасность полётов (БП) всегда была и остаётся приоритетной характеристикой в оценке авиационной деятельности ГА.

Однако в связи с тем, что обеспечение БП связано не только с моральными и профессиональными обязательствами, но требует определённых, вполне осязаемых, материальных затрат, возникает конфликт интересов в выборе приоритетов между безопасностью и коммерческой эффективностью авиационной деятельности. Не единичны случаи, когда этот конфликт разрешается не в пользу БП. При этом повышение эффективности может обеспечиваться как за счёт сокращения прямых финансовых затрат на БП (содержание соответствующих подразделений в структуре авиапредприятия, обучение и тренировка персонала, сохранение ЛГ ВС, контроль и анализ состояния БП и др.), так и за счёт нарушения правил БП (перегруз ВС, недозаправка топливом в интересах увеличения коммерческой загрузки, неуход на второй круг и др.).

По вопросу о взаимосвязи безопасности и прибыли авиакомпании уместно привести лаконичное, но ёмкое заключение доктора Дэвида Ханцингера (бывшего вице-президента по вопросам безопасности авиакомпании America West Airlines): *“Отсутствие одного приводит к уничтожению другого”*.

Пренебрежение безопасностью при конфликте интересов «безопасность – коммерческая эффективность» увеличивает риск АП. При этом возникающие негативные экономические последствия от АП часто недооцениваются, поскольку связанные с ними потери имеют как прямые, так и скрытые составляющие.

Прямые потери составляют очевидные затраты, которые легко определить. Высокую стоимость подверженности рискам можно сократить соответствующим страховым покрытием. Однако приобретение страховых полисов не повышает БП, а лишь перераспределяет финансовый риск.

Скрытые потери – это затраты, не покрытые страхованием. Понимание таких незастрахованных (скрытых) затрат жизненно важно для понимания экономических аспектов безопасности. К их числу относятся:

- потеря клиентуры;
- ущерб репутации;
- потеря производительности персонала;
- юридические процедуры и претензии;
- штрафы и выговоры;
- страховые отчисления и др.

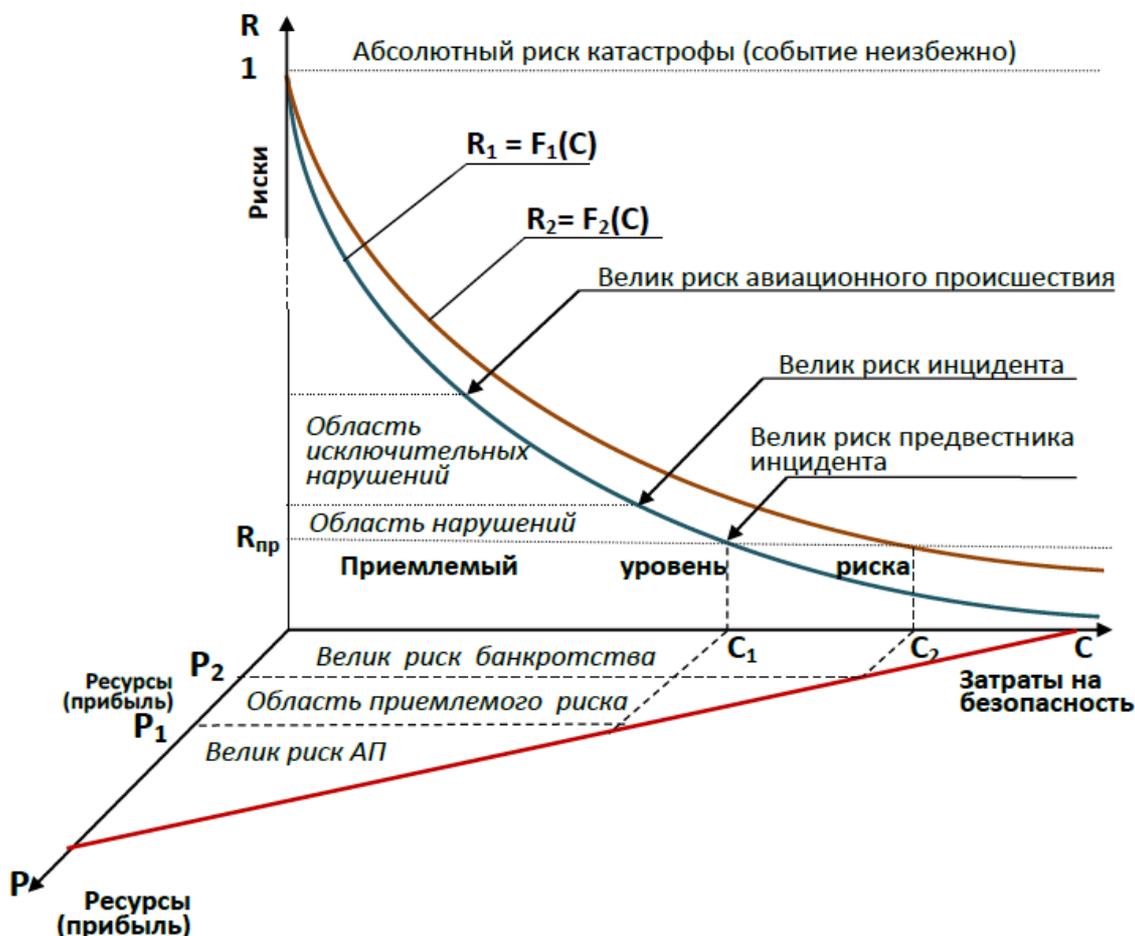
В итоге такие скрытые затраты обычно более значительны, чем прямые затраты, являющиеся результатом непосредственного потенциального влияния угроз.

Рассматривая взаимосвязь уровня безопасности и потребных финансовых затрат на его обеспечение, обратимся к графикам, приведенным на рис. 1.

В приведенной на рисунке ортогональной системе координат по оси ординат  $R$  отложены значения риска АП, по оси  $C$  – финансовые затраты на обеспечение БП, по оси  $P$  – располагаемые финансовые ресурсы (прибыль).

Графики  $R_1 = F_1(C)$  и  $R_2 = F_2(C)$  – зависимости риска (вероятности) АП от вложенных в обеспечение безопасности финансовых средств (в предположении разумного их использования).

Характер обоих графиков показывает, что по мере снижения уровня риска (роста достигнутого уровня БП), эффективность финансовых затрат на обеспечение безопасности падает примерно по экспоненте, которая асимптотически приближается к недостижимому абсолютному уровню  $R = 0$ .



**Рис. 1.** Выбор приемлемого соотношения «риск АП – расход финансовых ресурсов»

График  $R_1(C)$  отличается от  $R_2(C)$  большей крутизной, что характеризует более высокую эффективность финансовых вложений в обеспечение БП по сравнению с графиком  $R_2(C)$ . Это определяется более рациональным использованием финансовых средств, большей эффективностью принятой системы обеспечения БП, более высоким уровнем развития авиационной техники и технологий, более высокими профессиональными качествами авиационного персонала.

График  $P = F(C)$ , определяемый из выражения  $P = P_0 - C$ , где  $P_0$  – значение прибыли без затрат на БП, показывает, что ограниченность располагаемых ресурсов может ограничивать возможные затраты на БП, а значит и достижимый уровень риска.

С ростом затрат на БП и уменьшением прибыли до величины  $P_2$  возрастает вероятность банкротства предприятия до неприемлемой величины, т.е. достигается граница приемлемого уровня банкротства.

Сокращение затрат на БП ограничивается величиной  $C_1$ , при которой прибыль составит значение  $P_1$ , а риск достигнет границы приемлемого уровня  $R_{пр}$  – это граница области приемлемого риска по прибыли. Между  $P_1$  и  $P_2$  лежит область приемлемого риска как по опасности АП, так и по опасности банкротства. Наличие такой области создаёт некоторый «запас прочности», позволяющий маневрировать в условиях обострения факторов опасности.

Для случая  $R_2 = F_2(C)$  границы риска АП и приемлемого риска банкротства совпадают на значении  $C_2$  и безопасная деятельность возможна только строго на этой совмещённой границе без «запаса прочности».

Практически рост затрат на безопасность ограничивается соображениями рентабельности, а государственные требования к приемлемому уровню риска должны быть ограничены неким достижимым разумно обоснованным уровнем  $R_{пр}$ , учитывающим такие факторы, как существующий уровень риска, затраты/выгоды от совершенствования системы и ожидания общества в отношении безопасности авиационной отрасли.

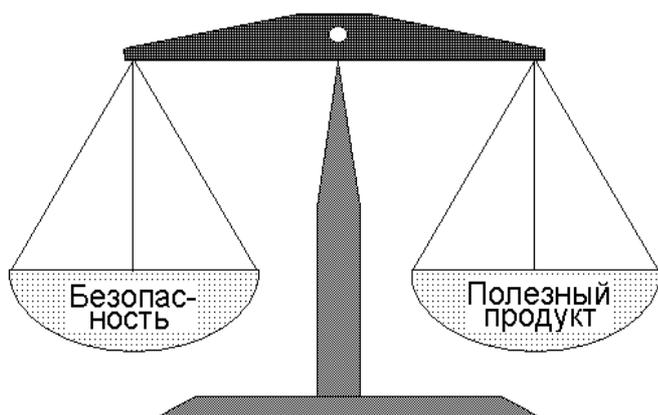


Рис. 2. Баланс интересов

Принятие решений в контексте действий по обеспечению БП представляет собой компромисс между стремлением достичь определенного результата в получении полезного продукта (стремление к экономии) и обеспечить безопасность (рис. 2) [1].

Вследствие этого авиапредприятия вынуждены действовать на границах пространства, определяющего безопасность работы системы.

Введение *допустимого (приемлемого) уровня риска  $R_{пр}$*  [2] отражает цели (или ожидаемые результаты) надзорного полномочного органа в области ГА, эксплуатанта или другого исполнителя в системе обеспечения полётов, которые должны быть достигнуты в области обеспечения безопасности.

Реализация мер по обеспечению допустимого (приемлемого) уровня риска является процессом управления БП, требующим системного подхода с активным и эффективным участием авиационных предприятий и организаций - эксплуатантов, организаций по техническому обслуживанию, предприятий по ОрВД и эксплуатантов аэродромов.

В соответствии с положениями Приложений 6, 11 и 14 к Конвенции ИКАО государства должны требовать от всех этих предприятий внедрения систем управления БП (СУБП), одобренных государством. Такие СУБП должны, как минимум, обеспечивать непрерывный мониторинг и регулярную оценку достигнутого уровня БП, выявлять фактические и потенциальные угрозы безопасности, способствовать принятию мер по уменьшению факторов риска.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проведение проверок безопасности полётов при производстве полётов авиакомпаниями (программа LOSA), ИКАО, 2002.
2. Руководство по управлению безопасностью полётов. Doc 9859AN/474. - 2-е изд. ИКАО, 2009.

#### SAFETY AND ECONOMY

Prozorov S.E.

The article presents review of financial terms of flight safety as the state of an acceptable level of risk.

**Key words:** flight safety, financial expenses, conflict of interest.

#### Сведения об авторе

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

УДК 629.735.067

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЁТОВ

С.Е. ПРОЗОРОВ, Р.В. ЕНИКЕЕВ

Рассмотрены основные источники информации для обеспечения работы системы управления безопасностью полётов (СУБП) авиакомпании и особенности их использования.

**Ключевые слова:** безопасность полётов, схема СУБП, виды и источники информации, добровольные сообщения, пирамида негативных событий.

В соответствии с современными инициативами ИКАО в авиапредприятиях должны быть внедрены системы управления безопасностью полётов (СУБП).

Обобщённая структурная схема СУБП приведена на рис. 1.

Как и в любой другой системе управления, можно выделить четыре её основных компонента: объект управления (чем управляют), субъект управления (осуществляет управление), управляющие воздействия или прямая связь (воздействия, влияющие на состояние объекта в процессе управления) и обратная связь между субъектом и объектом управления (измерительная информация о текущем состоянии объекта управления).



**Рис. 1.** Структурная схема СУБП

Эффективное управление требует от управляющих воздействий своевременности, обоснованности, эффективности и адресности. Достичь этого невозможно без использования достоверной, достаточно полной, своевременной и доступной информации об объекте управления. Таким образом, качество управления БП зависит не только от свойств объекта управления и определяется не столько профессиональными способностями субъекта управления, принимаю-

щего решения и реализующего управляющие воздействия, а в определяющей мере зависит от качества информационного обеспечения процесса управления.

Основные виды и источники первичной информации о состоянии безопасности полётов приведены на рис. 2.



Рис. 2. Виды и источники информации о безопасности полётов

#### Государственные источники информации

*Материалы расследования АП и инцидентов* являются источником ценной информации для причинно-факторного исследования этих наиболее опасных видов негативных событий и разработки мероприятий по их профилактике. Однако поскольку АП являются событиями весьма редкими, даже в условиях достаточно интенсивной авиационной деятельности в масштабе государства и на значительном периоде времени, статистическую оценку повторяемости АП нельзя считать надёжным показателем безопасности, что затрудняет возможность объективно установить приемлемый уровень риска на перспективу и с достаточной достоверностью оценивать соответствие текущего уровня риска установленному приемлемому уровню, а накапливаемый опыт далеко не может быть признан как исчерпывающий для использования в предотвращении АП. С этой точки зрения, наибольшей статистической ценностью обладают материалы расследования авиационных инцидентов.

*Результаты сертификационного контроля* обеспечивают государственный уполномочен-

ный орган периодически обновляемой информацией о соответствии сертифицируемых объектов установленным требованиям, что позволяет ему «держать руку на пульсе» контролируемых предприятий. Хотя одного контроля пульса обычно недостаточно для диагностики заболевания.

*Материалы надзорно-инспекторской деятельности* – единственный из рассматриваемых государственных источников информации о БП, обладающий высокой оперативностью. Основная роль здесь отводится государственным полевым инспекторам, осуществляющим свою надзорную деятельность непосредственно на производстве. Само присутствие на работе «государева ока» оказывает дисциплинирующее действие в соблюдении правил БП. При соответствующей организации процессов сбора и обработки получаемой здесь информации применение электронных баз данных (как в программе SAFA) может обеспечить высокую эффективность её использования. К сожалению, возможности данного вида государственного надзора ограничены располагаемыми ресурсами.

*Аналитические сведения по оценке состояния БП* – один из способов «добровольно-принудительного» сбора информации о БП от самих производств: в виде информационных справок, аналитических материалов, отчётов, направляемых в государственный уполномоченный орган по его запросам или периодически по установленному им правилу. К сожалению, данный вид информации не отличается высокими полнотой и достоверностью в силу ряда причин, относящихся, главным образом, к несовершенству взаимоотношений между предприятием и государственным уполномоченным органом, а также недостаткам корпоративной культуры.

*Сведения из добровольных сообщений о БП* – особый источник информации, обладающий большим потенциалом информативности, но требующий особого отношения к нему и создания необходимых условий, лежащих в сфере корпоративной культуры и её основной составляющей – культуры безопасности. Этот вопрос заслуживает отдельного рассмотрения, что будет сделано далее в настоящем разделе.

Использование информации, относящейся только к государственному источнику, позволяет реализовать лишь традиционную *ретроактивную стратегию* обеспечения безопасности, не обладающую требуемой эффективностью в современных условиях, с отдельными элементами проактивной стратегии, опирающейся на ограниченные источники первичной информации.

#### *Источники информации авиапредприятия*

*Материалы внутренних служебных расследований* – источник углублённых знаний о событиях, представляющих значительную угрозу БП, но не относящихся по классификации к АП и инцидентам (например, повторные отказы и неисправности авиационной техники и др.). Для определения причин таких событий и разработки профилактических мер целесообразно проведение расследования внутренней комиссией самого авиапредприятия. Это усиливает компетентность получаемого заключения, способствует технической и технологической дисциплине и информированности персонала вследствие издания соответствующего приказа или распоряжения.

*Материалы объективного контроля качества полёта и состояния АТ в полёте* – бесценный источник информации о технике пилотирования и соблюдении технологии работы экипажа ВС в полёте, отказах и неисправностях авиационной техники, её техническом состоянии, признанный в настоящее время во всей мировой авиационной практике и рекомендованный ИКАО в качестве одного из наиболее эффективных средств предотвращения АП, главного источника данных в СУБП. Этот источник заслуживает отдельного рассмотрения, что будет сделано в следующем разделе учебника.

*Материалы инспекторского контроля и аудита качества* – этот источник наполняется в результате деятельности собственной инспекции по БП и аудиторов системы менеджмента качества авиапредприятия. Это важный элемент СУБП, осуществляющий непрерывный и периодический контроль деятельности в сфере обеспечения БП и оценку её качества.

*Материалы субъективного контроля качества полёта* – эта информация представлена заключениями о качестве полёта проверяющих, инструкторов или наблюдателей (по программе LOSA, которая будет рассмотрена далее). Достоинствами этого вида информации являются:

возможность получения её в случаях, когда затруднено или невозможно использование технических средств объективного контроля (например, на этапах подготовки полёта и при выполнении послеполётных операций), оперативность получения экспертного заключения, способность выявления не только отрицательных данных (ошибки, нарушения, отклонения), но и положительных (новый передовой опыт действий в реальных ситуациях полёта). Недостатками являются: субъективность контроля, обусловленная зависимостью сделанной оценки от опыта и практики контролирующего лица, а также негативное психологическое воздействие на экипаж присутствия этого лица в пилотской кабине (что само по себе является фактором угрозы БП).

*Материалы субъективного контроля состояния АТ в полёте* – данные о работоспособности авиационной техники по результатам наблюдения экипажа ВС в полёте, как правило, регистрируемые в боржурнале или сообщаемые устно техническому персоналу после окончания полёта. Эти данные ограничены возможностями реализации такого субъективного контроля (технические знания и опыт экипажа, используемые средства контроля и т.д.).

*Материалы субъективного контроля состояния АТ на земле* – получаются в процессе технического обслуживания (осмотра, контроля состояния и диагностики неисправностей) авиационной техники. Очевидно, что чем более развиты средства объективного контроля состояния АТ в полёте, тем меньше потребность в данных субъективного контроля, больше пригодность ВС к реализации стратегии его обслуживания по техническому состоянию.

*Результаты технического контроля качества ТОиР* – эти данные получают при осуществлении технического контроля качества выполненных работ по ТОиР. При соответствующей организации накопления и систематизации эти данные могут послужить полезными дополнениями к информации в СУБП организации по ТОиР.

*Сведения из добровольных сообщений о БП* – как и в случае с государственными источниками информации о БП, может стать дополнительным источником информации в СУБП, обладающим большим потенциалом информативности.

Обобщённая информация, полученная на основе анализа и обработки вышеперечисленных первичных источников и представленная в виде результатов контроля и оценки факторов риска, аналитических сведений по оценке состояния БП и мониторинга состояния БП в авиапредприятии, составляет основу информационного обеспечения процессов управления БП.

#### *Система добровольных сообщений о БП*

Для своевременного выявления особых ситуаций, условий и причин их возникновения, угроз безопасности в соответствии с рекомендациями ИКАО необходимо активное использование не только данных обязательных донесений персонала, но и внедрение программы добровольных сообщений о таких случаях, снижающих уровень БП.

Активный интерес мировой авиационной практики к программе добровольных сообщений наблюдается уже около трёх десятилетий. Необходимо отметить, что в ряде стран (США, Австралии, Великобритании, Канаде, Новой Зеландии, Германии и др.) статус программ добровольных сообщений определен официально, с государственным финансированием и руководством на уровне федеральных авиационных администраций.

Руководящие принципы этих программ:

- 1) *добровольное участие;*
- 2) *защита анонимности;*
- 3) *освобождение от наказаний.*

Основным препятствием на пути эффективности внедрения программы добровольных сообщений по БП в авиационных организациях является несовершенство корпоративной культуры. Внедрение программы добровольных сообщений требует изменения авиационного общественного сознания и взглядов на проблему оптимизации информационного процесса в системе БП (формирование культуры безопасности и создание некарательной среды для деятельности системы добровольных сообщений), создание и поддержание структур, обеспечивающих сбор данных по случаям опасных ситуаций их анализ и оперативное информирование персонала, от

деятельности которого зависит безопасность.

Как следует из изложенного, основным источником и обладателем оперативной первичной информации различных видов является авиапредприятие. От доступности и эффективности использования этой информации во многом зависит эффективность СУБП.

Стратегия, принимаемая той или иной организацией для целей СУБП, отражает её корпоративную культуру безопасности и может варьироваться от чисто ретроактивной, реагирующей только на происшествия, до стратегий, отличающихся высокой степенью упреждения в поиске решений проблем безопасности.

Проактивная стратегия обеспечения безопасности предполагает активный сбор информации из различных источников, которая могла бы указать на возникающие проблемы в сфере безопасности и обеспечить возможность свести риск происшествий к минимуму путем выявления уязвимых мест, прежде чем они дадут сбой, и принятия необходимых мер по уменьшению этих рисков.

Соответственно они активно выявляют системные небезопасные условия, используя такой инструментарий, как:

а) системы представления данных об опасных факторах и инцидентах, способствующие выявлению скрытых небезопасных условий;

б) обследование состояния безопасности полетов для получения информации и замечаний от персонала «переднего края» в отношении неудовлетворительных областей и условий, которые могут способствовать возникновению происшествий;

в) анализ данных бортовых самописцев для выявления эксплуатационных нарушений и подтверждения нормальных эксплуатационных правил;

г) оперативные инспекции или проверки всех аспектов производства полетов для выявления уязвимых мест до того, как авиационные происшествия, инциденты или незначительные события в сфере безопасности подтвердят наличие какой-либо проблемы и т.д.

К современным особенностям системы сбора информации о состоянии БП (информационного обеспечения процессов управления БП) следует отнести существенное расширение информационных потоков за счёт сбора данных для постоянного мониторинга обычных полётов, не содержащих событий, требующих обязательного расследования со стороны государства.

Используя графическую интерпретацию соотношения негативных событий, упорядоченных по степени опасности и частоте повторяемости, известную как пирамида негативных событий по «Правилу 1:10:30:600» [65] (рис. 3), дополним её неким основанием для «Прочих негативных событий», не относящихся к основным группам событий – «Инциденты - Серьёзные инциденты – Аварии – Катастрофы».



Рис. 3. Пирамида негативных событий

Если принять, что все из контролируемых негативных событий (катастрофы, аварии, серьёзные авиационные инциденты, авиационные инциденты и другие негативные события, определённые принятой классификацией, на некотором ограниченном интервале времени наблюдения (например, месяц или год) равномерно размещены в ограниченном объёме пирамиды (т.е. имеют одинаковую удельную плотность на единицу объёма пирамиды) и порядок их размещения по высоте пирамиды определён по уменьшению степени опасности (тяжести) последствий, то пирамида будет разделена на части с возрастающими сверху-вниз объёмами в соответствии с ростом количества негативных событий соответствующей группы.

Основной задачей обеспечения БП является предотвращение АП (катастроф и аварий). Но поскольку авиационные инциденты (серьёзные инциденты и инциденты) являются предвестниками (как их ранее называли – предпосылками) авиационных происшествий, давно в мире сложилась практика обязательного расследования причин этих событий государством.

Вместе с тем, на практике имеется большой нижележащий пласт событий, которые можно рассматривать как предвестники (предпосылки) для авиационных инцидентов. Это события, связанные с отклонениями в действиях авиационного персонала и работе авиационной техники, которые согласно принятой классификации по своим последствиям не отнесены к указанным основным группам (на рис. 3 - «Прочие негативные события»). Указанные менее существенные случаи угрозы безопасности могут быть предвестниками более опасных негативных событий: согласно Руководству ИКАО, «хотя крупные катастрофы являются редкими событиями, вместе с тем авиационные происшествия с менее катастрофическими последствиями, а также самые разнообразные инциденты (в широком смысле) происходят достаточно часто. Указанные менее существенные случаи угрозы безопасности могут быть предвестниками скрытых проблем с обеспечением БП. Игнорирование таких скрытых источников угрозы безопасности может способствовать увеличению числа более серьёзных происшествий».

Повторяемость этих событий неизмеримо выше всех других, что делает информацию о них весьма привлекательной для использования статистических оценок.

Сбор и использование сведений о событиях, относящихся к нижнему уровню пирамиды, должен осуществляться авиапредприятиями. Это «золотой» запас системы управления БП авиапредприятия, составляющий, по некоторым оценкам, порядка 50% полезной информации. Поэтому в последние годы в мире наблюдается тенденция следования многолетнему опыту СССР, а затем России по использованию объективной полётной информации от бортовых систем для оперативного эксплуатационного контроля работы экипажей ВС и авиационной техники.

Применяемые программы мониторинга полётных данных являются эффективным средством активной идентификации потенциальных опасностей.

Наличие корреляции по частоте повторяемости между авиационными происшествиями и сходными по причинным факторам серьёзными авиационными инцидентами и другими опасными событиями более низкого уровня опасности (правило 1:10:30:600) позволяет предположить, что при оценке уровня риска могут быть достаточно эффективно использованы показатели, основанные на измерении частоты повторяемости инцидентов и других опасных событий. Это положение особенно актуально для «локальных» оценок уровней риска в системах управления безопасностью полётов на нижних уровнях структурной иерархии авиационной транспортной системы, т.е. непосредственно в предприятиях и службах.

Показатели, основанные на опасных событиях, эффективны лишь в той мере, в какой эффективны системы представления данных или мониторинга, предназначенных для регистрации и отслеживания таких событий, а также на эффективности действий по их профилактике в рамках соответствующих систем управления безопасностью полётов. Положительная динамика уменьшения частоты опасных случаев во всех звеньях системы является залогом уменьшения уровня риска для системы в целом.

В связи с изложенным, в качестве одной из ключевых целей обеспечения БП в современных условиях следует рассматривать создание жизнеспособной иерархической системы управ-

ления безопасностью полётов и достижение приемлемых текущих показателей уровня риска во всех её звеньях на основе непрерывного мониторинга результатов профилактики возникающих опасных событий. При этом государственный полномочный орган должен взять на себя функции по общему методическому обеспечению процессов управления безопасностью полётов, контролю выбора и соблюдения приемлемых уровней риска в рамках государственного надзора за деятельностью авиационных предприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по управлению безопасностью полётов. Doc 9859AN/474. - 2-е изд. ИКАО, 2009.
2. Государственная программа обеспечения безопасности полётов воздушных судов гражданской авиации РФ: Распоряжение Правительства РФ от 6 мая 2008 г., № 641-р.
3. Поправки к международным стандартам и рекомендуемой практике Конвенции о международной ГА № 10, 33, 47 (Приняты Советом ИКАО 2 марта 2009 года, вступили в силу 19.11.09, начало применения 18.11.10).
4. **Прозоров С.Е.** Безопасность полётов. Пособие по изучению дисциплины (в иллюстрациях). - М.: МГТУ ГА, 2008.

#### DATAWARE FOR SMS

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

The article presents review of the main sources of information to ensure safety management system (SMS) work of airlines and features of their usage.

**Key words:** flight safety, SMS chart, types and sources of information, voluntary reporting, pyramid of adverse events.

#### Сведения об авторе

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

**Еникеев Руслан Валериевич**, 1986 г.р., окончил МГТУ ГА (2009), аспирант МГТУ ГА, аудитор отдела обеспечения качества ООО «С 7 ИНЖИНИРИНГ», область научных интересов – вопросы обеспечения безопасности полетов и авиационной безопасности.

УДК 656.7:658

## К ВОПРОСУ О НАДЕЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКА – ОПЕРАТОРА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫМ ПЕРСОНАЛОМ

Б.П. ЕЛИСЕЕВ, Е.В. МАРЬЕНКИН

В работе рассматривается надежность специалиста гражданской авиации как один из параметров, анализируемых в системе управления авиационным персоналом.

**Ключевые слова:** надежность, система управления, авиационный персонал, факторы.

Одной из важнейших характеристик авиационного персонала, связанной со спецификой его профессиональной деятельности, является ответственность, в том числе ответственность за принимаемые решения. Отсюда вытекает понятие надежности авиационного персонала, которое в значительной степени определяется понятием «ошибка».

Понятие «ошибка» в деятельности человека-оператора или в работе технического устройства соотносится с понятием «погрешность». Любые отклонения регулируемых оператором параметров, находящиеся в пределах дозволенного «коридора», будем называть погрешностью управления, и будем считать такие события, как норму.

Когда человек-оператор допускает отклонение значений этих параметров за пределы установленных ограничений, то подобные события будем квалифицировать как ошибки в работе человека.

Итак, ошибка человека-оператора - это такое его действие или бездействие, которое привело к отклонению управляемых параметров технической части системы за допустимые пределы или запрещено правилами.

Отказ человека-оператора можно трактовать как переход его в такое состояние, при котором становится невозможным его дальнейшее нормальное функционирование или привели к такому отклонению управляемых параметров за установленные пределы, что управляемая система перестала выполнять возложенные на нее функции.

Надежность человека-оператора определяется его способностью в течение заданного интервала времени в предусмотренных условиях сохранять нормальное состояние жизнедеятельности и выдерживать технические параметры управляемой системы в установленных пределах, а также выполнять все возложенные на него функции по поддержанию заданного режима работы управляемой техники.

Первое отличие надежности от безопасности состоит в том, что надежность не учитывает последствий отказов.

Второе отличие заключается в том, что надежность рассчитывается применительно только к нормальным условиям функционирования системы, а безопасность принимает во внимание и так называемые "нештатные" ситуации.

В-третьих, в показателе безопасности учитываются возможности оператора содействовать безопасной работе всей системы.

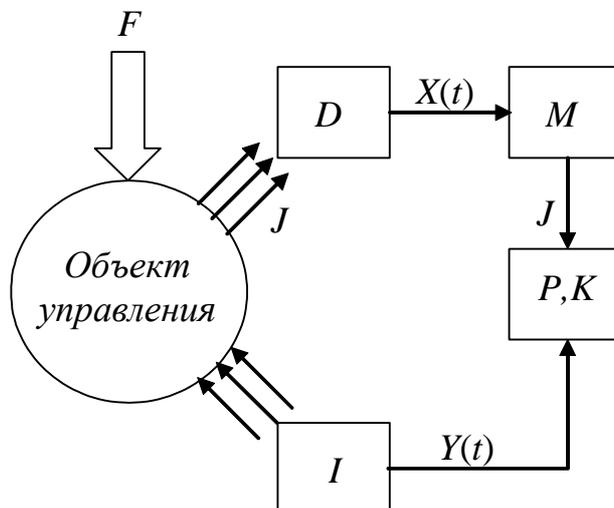
Анализ надежности персонала (АНП) предназначен для качественной и количественной оценки надежности персонала при нормальной эксплуатации и во время аварии.

Объектом анализа является надежность выполнения определенных функций персонала (ФП) во взаимодействии с комплексом технических средств системы управления (СУ). Здесь под СУ понимается система, состоящая из следующих технических средств [1,2]: датчиков  $D$ , определяющих значения параметров  $X(t)$  текущего состояния объекта управления; блока  $B$  принятия решений  $Y(t)$ ; исполнительных механизмов  $I$ ; линий связи и интерфейса  $J$  и некоторых фор-

мализованных и неформализованных описаний в виде модели объекта управления  $M$ , которая с той или иной степенью адекватности описывает объект управления и критерия управления  $K$ .

Система управления функционирует в условиях внешних возмущений  $F$ , что может привести к изменению  $M$  и/или  $K$ .

Упрощенная структура СУ представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Упрощенная структура системы управления

Невыполнение или неправильное выполнение функций персонала (ФП) может приводить к следующим последствиям:

- возникновение исходного события (ИС) аварии, неготовность элементов объекта в процессе эксплуатации;
- неготовность элементов объекта после ТО и ремонта;
- реализация аварийных последовательностей, которые предварительно не рассматривались, и конечных состояний объекта с тяжелыми последствиями при протекании аварии.

Рассматриваются следующие типы задач АНП:

- оценка показателей надежности персонала при эксплуатации;
- оценка показателей надежности персонала при техническом обслуживании и ремонте элементов;
- оценка показателей надежности персонала при аварии.

Причиной невыполнения или неправильного выполнения ФП являются ошибки или ошибочные действия. При анализе влияния человеческого фактора на безопасность объекта рассматриваются следующие ошибки персонала (ОП):

- пропуск - не выполняются требуемые в соответствии с алгоритмом операции;
- некачественное выполнение операций;
- нарушение следования операций;
- замещение операций;
- выполнение ложных действий;
- ошибочные включения;
- нарушение своевременности операций.

Надежность персонала может оцениваться качественно или количественно.

Качественный анализ надежности проводится с целью определения логико-временной структуры алгоритма выполнения каждой функции персонала в конкретных условиях его взаимодействия с СУ и последствий возможных ошибочных действий персонала.

Проведение качественного анализа надежности персонала включает в себя следующие этапы:

1. Определение ФП, выполнение которых влияет на возникновение рассматриваемой группы последствий.

2. Установление места выделенных функций персонала и разработанных «деревьев отказов» или «деревьев событий».

3. Анализ алгоритмов выполнения рассматриваемых ФП с учетом особенностей деятельности персонала.

На первом этапе определяются функции персонала, влияющие на возникновение рассматриваемой группы исходных событий, на показатели готовности СБЗ, а также функции, реализация которых может потребоваться в процессе анализа рассматриваемой аварии. В результате проведения этого этапа определяется перечень функций персонала для дальнейшего анализа его надежности.

Второй этап заключается в определении взаимосвязей ошибок персонала при выполнении им функции с другими событиями на объекте в рассматриваемой ситуации с целью установления места и роли оператора в ее реализации. Эти взаимосвязи рассматриваются на трех уровнях: функциональном, системном и элементном.

На функциональном и системном уровнях рассматриваются такие функции персонала, при выполнении которых ошибки непосредственно приводят к отказам систем в целом или их отдельных элементов.

На элементном уровне рассматриваются такие функции персонала, при выполнении которых ошибочные действия приводят к возникновению отказов на интервале времени, предшествующем данному техническому обслуживанию.

Третий этап качественного анализа надежности персонала заключается в анализе алгоритмов выполнения рассматриваемой функции персонала с учетом особенностей деятельности всех задействованных при этом специалистов из состава персонала. Цель этапа - выявление всех важных для оценки надежности персонала факторов деятельности (ФД).

Факторы деятельности - это любые условия, влияющие на качество и надежность действий персонала. Количественный анализ надежности персонала также основывается на сочетаниях ФД, которые являются основными определителями вероятности ошибок персонала.

Внешние ФД определяют условия работы персонала, характеристики требуемых от персонала функций и необходимые инструкции при выполнении этих функций.

Внутренние ФД определяют потенциальный уровень совершенствования качества и надежности человека, поддающийся развитию и совершенствованию при подготовке персонала.

Факторы стресса хотя и являются внутренними, но из-за своей важности рассматриваются отдельно.

Наиболее значимыми факторами при АНП являются: запас времени; факторы стресса; сложность и критичность задачи; характеристики человеко-машинного взаимодействия; инструкции по выполнению функций персоналом.

Количественный анализ надежности персонала проводится для вычисления численных значений ее показателей надежности. В качестве основного показателя надежности обычно выбирают вероятность безошибочного выполнения функции оператором (персоналом) или вероятность ошибки персонала (ВОП).

Вероятность безошибочного выполнения функции или ВОП может оцениваться на уровне отдельной операции или, в целом, на уровне функции.

Если обозначить через  $p_i$  вероятность безошибочного выполнения  $i$ -й операции, то в предположении, что все операции, входящие в соответствующую функцию, производятся последовательно, легко вычислить вероятность  $P$  безошибочной реализации функции

$$P = \prod_{i=1}^n p_i, i = \overline{1, n},$$

где  $n$  - число операций.

Для расчета вероятности безошибочного выполнения операции или ВОП используются два основных метода: статистический и экспертный.

*Статистический метод* заключается в исследовании деятельности оператора (как правило, в фазе устойчивой работы) и фиксации общего числа  $M_i$ ; операций  $i$ -го вида и допущенных при этом ошибок  $m_i$ . Тогда точечная оценка вероятности безошибочного выполнения  $i$ -й операции вычисляется по формуле

$$\hat{p}_i = (M_i - m_i) / M_i.$$

Эта формула справедлива при условии, что при проведении одной операции возможна только одна ошибка оператора. Точечная оценка вероятности ошибки персонала  $q_i$  при выполнении  $i$ -й операции  $\underline{p}_i$  вычисляется по формуле

$$\hat{q}_i = 1 - p_i = m_i / M_i.$$

В случае, когда  $m_i = 0$ , т.е. за время наблюдений ошибка персонала по  $i$ -й операции не зафиксирована, вычисляется нижняя доверительная граница для вероятности безошибочного выполнения  $i$ -й операции при доверительной вероятности  $\gamma$

$$\underline{p}_i = (1 - \gamma)^{1/M_i}.$$

Экспертные методы предполагают назначение вероятности безошибочного выполнения операций с помощью экспертного опроса, проводимого по специальной программе, или соответствующих таблиц, содержащих информацию о значениях  $p_i$  в зависимости от тех или иных ФД.

Таким образом, понятие надежность авиационного персонала может быть использовано для формирования параметра управления в системе управления авиационным персоналом. Однако при этом существуют определенные трудности, связанные с вероятностным характером этого параметра. Поэтому, с учетом того, что предполагается использование экспертных методов определения надежности, предлагается управлять авиационным персоналом по критерию качества.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев Б.П. К формулировке оптимизационных задач в области стратегии обучения // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2008. - № 142.
2. Елисов Л.Н., Баранов В.В. Управление и сертификация в АТС. - М.: Воздушный транспорт, 1999.

#### TO THE QUESTION OF THE RELIABILITY OF THE HUMAN OPERATOR IN THE CONTROL SYSTEM OF AVIATION PERSONNEL

Eliseev B.P., Marienkin E.V.

In this paper, we consider the reliability of specialist civil aviation as one and parameters, analyzed in the system of management of aviation personnel.

**Key words:** reliability, system management, aviation personnel factors.

#### Сведения об авторах

**Елисеев Борис Петрович**, 1957 г.р., окончил Дальневосточный государственный университет (1980), заслуженный юрист РФ, профессор, доктор юридических наук, ректор МГТУ ГА, заведующий кафедрой государственного регулирования и права, автор более 100 научных работ, область научных интересов - проблемы оптимизации производственных, экономических и социальных систем, транспортное право, организация и управление образовательными процессами.

**Марьенкин Евгений Викторович**, 1976 г.р., окончил Академию гражданской авиации (1999), соискатель ученой степени кафедры государственного регулирования и права МГТУ ГА, автор 7 научных работ, область научных интересов - проблемы управления авиационным персоналом, квалиметрия.

УДК 656.7:658

## НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ ПО ПОВОДУ ПОНЯТИЯ РИСК В СВЯЗИ С УПРАВЛЕНИЕМ АВИАЦИОННЫМ ПЕРСОНАЛОМ

Б.П. ЕЛИСЕЕВ, Е.В. МАРЬЕНКИН

В работе анализируется понятие риск применительно к безопасности воздушного транспорта и методы его оценки с целью использования при управлении авиационным персоналом.

**Ключевые слова:** авиационный персонал, риск, ущерб, безопасность полетов.

Одним из важнейших понятий, связанных с проблемой обеспечения безопасности воздушного транспорта, а следовательно, однозначно связанным с деятельностью персонала, является понятие риска.

Руководство по управлению безопасностью полетов [1] трактует это понятие следующим образом.

Управление факторами риска - это вид основной деятельности, которая обеспечивает управление безопасностью полетов и способствует осуществлению других, косвенно связанных с этим организационных процессов.

Риск для безопасности полетов определяется как оценка последствий опасности, выраженная в виде прогнозируемой вероятности или серьезности, при этом за контрольный ориентир принимается наихудшая предвидимая ситуация.

Риск представляет собой оценочную возможность возникновения неблагоприятных последствий в результате действия фактора опасности. Это вероятность того, что потенциальные возможности опасного фактора причинить вред реализуются.

Оценка риска предполагает учет как вероятности, так и степени тяжести любых неблагоприятных последствий; иными словами, определяется потенциальный ущерб.

Управление факторами риска для безопасности полетов - это общий термин, который охватывает оценку и уменьшение факторов риска для безопасности полетов, связанных с последствиями факторов опасности, которые угрожают производственным возможностям организации, до наименьшего практически возможного уровня (НПВУ).

Процесс взятия под организационный контроль факторов риска для безопасности полетов начинается с оценки вероятности факторов риска для безопасности полетов.

Вероятность факторов риска для безопасности полетов определяется как возможность возникновения небезопасного события или состояния.

Вторым этапом является оценка серьезности факторов риска для безопасности полетов.

Третьим этапом является оценка допустимости факторов риска для безопасности полетов.

На четвертом этапе необходимо задействовать стратегию контроля/уменьшения факторов риска.

Наиболее общим и универсальным методом расчета критериального значения риска [S] является подход, основанный на экономическом анализе безопасности [2]. Согласно этому методу критерием оптимума уровня безопасности служит минимум величины Z, представляющей собой сумму двух составляющих: X(r) приведенных расходов на обеспечение безопасности, характеризующейся риском r, и Y(r) - прямого ущерба, обусловленного риском r. Таким образом,

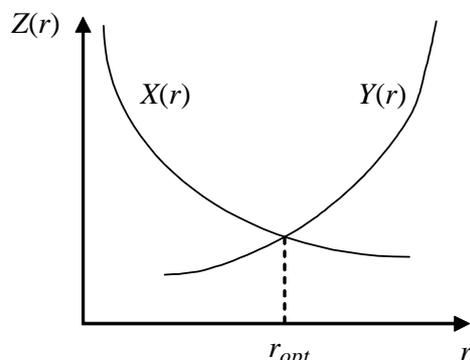
$$r_{opt} = \arg \min_r Z(r) = \arg \min_r [X(r) + Y(r)]. \quad (1)$$

Значение  $r_{opt}$  может быть принято в качестве критериального значения [S]. На рис. 1 представлена графическая иллюстрация выражения (1).

Здесь достаточно важна величина  $Y$  как функция риска  $r$ . При относительно малых рисках для многих опасных объектов считается справедливой линейная зависимость [3]

$$Y(r) = \alpha r, \quad (2)$$

где  $\alpha$  - цена риска.



**Рис. 1.** Графическая иллюстрация поиска оптимального значения риска  $r_{opt}$

Для некоторых объектов значения  $\alpha$  различаются на два порядка:  $\alpha = 10 \cdot 10^3$  ( $r = 2 \cdot 10^{-4}$ ). Эта величина учитывает только прямой экономический ущерб, поэтому она названа «хозяйственной» ценой риска -  $\alpha_x$ .

При оптимизации безопасности, т.е. для расчета критериального значения риска, важно учитывать также «социально-психологическую» цену риска  $\alpha_c$ , характеризующую баланс между качеством жизни и безопасностью.

Следовательно, величина  $Y(r)$  в (1) может быть представлена выражением

$$Y(r) = (\alpha_c + \alpha_x)r. \quad (3)$$

К числу факторов, затрудняющих формализацию расчета [S], относят:

1. Неприемлемость для общества высоких значений [S].
2. Индивидуальное отношение к риску.
3. Масштабы последствий.
4. Адаптацию к риску.
5. Невозможность проведения анализа со значениями вероятностей менее  $10^{-9}$ , поскольку такие величины выходят за пределы человеческого опыта.
6. Распределение риска.

Таким образом, нормирование риска является сложной проблемой, затрагивающей экономические, психологические, социальные, технические и медико-биологические аспекты, что затрудняет ее решение.

Анализ риска - процесс идентификации опасностей и оценки риска. Под опасностью понимается источник потенциального ущерба или вреда, либо ситуация с возможностью нанесения ущерба. Идентификация опасности - процесс выявления и признания, что опасность существует, и определение ее характеристик.

Под анализом риска подразумевается процесс выявления опасности и оценки возможных негативных последствий и представления этих последствий в количественных показателях.

Анализ риска имеет ряд общих положений, независимо от конкретной методики их анализа и специфики решаемых задач.

1. Общей является задача определения допустимого уровня риска.
2. Определение допустимого уровня риска происходит, как правило, в условиях недостаточной или непроверенной информации.
3. В ходе анализа приходится решать вероятностные задачи.

4. Анализ риска нужно рассматривать как процесс решения многокритериальных задач, которые могут возникнуть как компромисс между сторонами, заинтересованными в определенных результатах анализа.

Анализ риска может быть определен как процесс решения сложной задачи, требующий рассмотрения широкого круга вопросов и проведения комплексного исследования и оценки технических, экономических, управленческих, социальных и других факторов.

Основной элемент анализа риска - идентификация опасностей, которые могут привести к негативным последствиям.

С анализом риска тесно связан другой процесс – оценка риска.

Оценка риска – процесс, используемый для определения величины (меры) риска анализируемой опасности. Оценка риска – обязательная часть анализа, включающая анализ частоты, анализ последствий и их сочетаний.

Оценка риска включает в себя анализ частоты и анализ последствий, однако, когда последствия незначительны и частота крайне мала, достаточно оценить один параметр.

Существуют четыре разных подхода к оценке риска: инженерный, модельный, экспертный и социологический.

Управление риском – это часть системного подхода к принятию решений, процедур и практических мер в решении задач предупреждения или уменьшения опасности.

Общим в оценке риска и управлении риском является то, что они - два аспекта, две стадии единого процесса принятия решения, основанного на характеристике риска. Такая общность обусловлена их главной целевой функцией - определением приоритетов действий, направленных на уменьшение риска до минимума, для чего необходимо знать как его источники и факторы – (анализ риска), так и наиболее эффективные пути его сокращения (управление риском).

Количественный показатель риска представляет собой численное значение вероятности наступления нежелательного события или (и) результатов нежелательных последствий (ущерба).

Количественный риск может быть определен как частота реализации опасности.

Величина риска определяется как произведение величины нежелательного события на вероятность его наступления, т.е. как математическое ожидание нежелательных последствий.

Таким образом, понятие риска можно использовать как еще один из возможных критериев оптимизации процесса управления авиационным персоналом. В этом случае структура системы управления авиационным персоналом с учетом фактора риска будет выглядеть следующим образом (рис. 2).

Следует иметь в виду, что оценка фактора риска в данном случае представляет собой количественное отображение вероятности возникновения аварийной (критической) ситуации в процессе профессиональной деятельности конкретного представителя авиационного персонала предприятия на конкретном рабочем месте, возникшей по его вине в результате несоответствия его производственных (образовательных) характеристик требованиям. При этом учитывается так же предполагаемый ущерб.

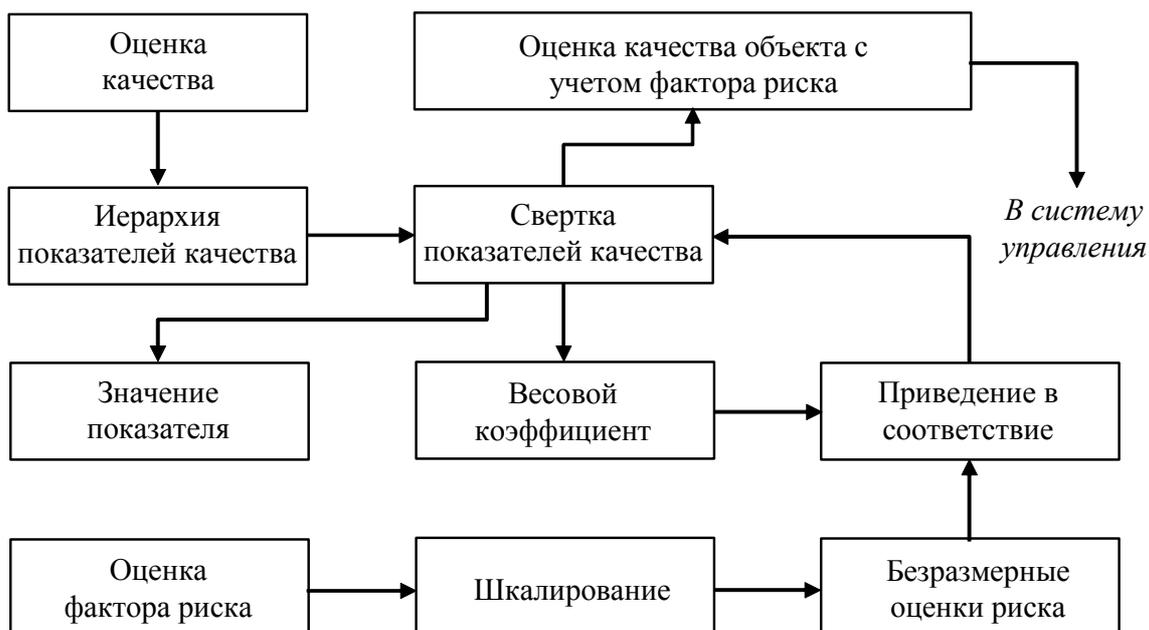


Рис. 2. Система управления авиационным персоналом, учитывающая фактор риска

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). Документ ИКАО. - DOC 9859. - AN/474. - 2009.
2. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем / под ред. В.П. Соколова. - М.: Логос, 2001.
3. Елисов Л.Н., Баранов В.В. Управление и сертификация в АТС. - М.: Воздушный транспорт, 1999.

#### SOME OF THE COMMENTS ABOUT THE CONCEPT OF RISK IN CONNECTION WITH THE MANAGEMENT OF AVIATION PERSONNEL

Eliseev B.P., Marienkin E.V.

The paper examines the concept of risk, with respect to the safety of air transport and the methods of its assessment with a view to use in the management of aviation personnel.

**Key words:** aviation personnel, the risk of damage, flight safety.

#### Сведения об авторах

**Елисеев Борис Петрович**, 1957 г.р., окончил Дальневосточный государственный университет (1980), заслуженный юрист РФ, профессор, доктор юридических наук, ректор МГТУ ГА, заведующий кафедрой государственного регулирования и права, автор более 100 научных работ, область научных интересов – проблемы оптимизации производственных, экономических и социальных систем, транспортное право, организация и управление образовательными процессами.

**Марьенкин Евгений Викторович**, 1976 г.р., окончил Академию гражданской авиации (1999), соискатель ученой степени кафедры государственного регулирования и права МГТУ ГА, автор 7 научных работ, область научных интересов - проблемы управления авиационным персоналом, квалиметрия.

УДК 656.071:629.73

## О КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННЫМ ПЕРСОНАЛОМ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Б.П. ЕЛИСЕЕВ, Л.Н. ЕЛИСОВ, Е.В. МАРЬЕНКИН

В работе предлагается оригинальный подход к решению проблемы управления авиационным персоналом по критерию качество с учетом фактора риска.

**Ключевые слова:** авиационный персонал, гражданская авиация, система, факторы.

Задача исследования формулируется как результат аналитического изучения проблем в области управления авиационным персоналом и критического анализа современных методов решения этих проблем.

Кратко эти результаты можно представить в следующем виде:

1. Проблема управления персоналом как научная задача в современных условиях относится к области социально-психологических исследований со всеми вытекающими отсюда плюсами и минусами. При всех положительных возможностях такого подхода необходимо констатировать, что управление в его классическом понимании, т.е. как корректировка отклонений от установленных значений измеряемого параметра, в этих условиях реализовать достаточно затруднительно, поскольку вопрос об измерении контролируемого параметра как социального или психологического фактора по отношению к персоналу является весьма проблематичным. Кроме того, физический смысл такого фактора достаточно трудно определить и, тем более, им оперировать как управляемой величиной.

2. Управление авиационным персоналом представляется гораздо более сложной и специфической задачей по сравнению с управлением персоналом других категорий работников по следующим причинам:

- авиационный персонал определяется как строго категоризованная совокупность специалистов, имеющих специальную подготовку и реализующих ответственную производственную деятельность в условиях интегрального критерия этой деятельности – безопасности полетов;
- лица из числа авиационного персонала допускаются к профессиональной деятельности при наличии сертификата (свидетельства);
- к авиационному персоналу гражданской авиации предъявляются жесткие профессиональные требования, устанавливаемые федеральными авиационными правилами;
- подготовка авиационного персонала проводится в образовательных учреждениях, имеющих выданные специально уполномоченным органом сертификации и лицензии;
- государственный контроль за деятельностью авиационного персонала осуществляется специально уполномоченным органом в области гражданской авиации;
- нормативная база, регламентирующая профессиональную деятельность авиационного персонала, строго гармонизирована с требованиями и стандартами международной организации гражданской авиации (ИКАО) и других международных организаций;
- авиационный персонал работает в условиях постоянного мониторинга результатов производственной деятельности по критериям безопасности полетов с регулярным анализом возникающих нештатных ситуаций;
- профессиональная деятельность авиационного персонала строго регламентирована, документирована и алгоритмизирована;
- авиационный персонал несет повышенную ответственность за результаты своей работы, вплоть до уголовной;

3. Одним из основных факторов, определяющих успешную профессиональную деятельность авиационного персонала, является его надежность. По результатам анализа некоторых разделов теории надежности применительно к авиационному персоналу можно сделать следующие замечания:

- понятие надежность авиационного персонала базируется на следующих основных понятиях: ошибка, погрешность, отказ, время реакции, резерв точности, факторы деятельности, вероятность безошибочного выполнения функции;

- надежность авиационного персонала – хорошо формализуемый параметр, процедура оценки которого легко поддается алгоритмизации;

- надежность авиационного персонала, как измеряемый параметр для целей управления персоналом, однозначно связан с более широким понятием – качество.

4. В системах управления авиационным персоналом, основанных на классической теории управления, в контур управления необходимо включить измеряемые параметры, основанные на понятии риска.

5. Производственная деятельность авиационного персонала включает, в том числе, обязательные процедуры решения конфликтных ситуаций. Производственные конфликты в данном случае следует рассматривать как прогрессивный, положительный фактор, представляющий собой одну из форм стратегического развития авиапредприятия. Учет данного фактора в системах управления авиационным персоналом дает возможность спрятать социально-психологические аспекты деятельности персонала в процедурах разрешения производственных конфликтов.

6. Авиационный персонал как объект управления нельзя рассматривать в отрыве от системы подготовки и повышения квалификации кадров гражданской авиации. Иными словами, в контур управления авиационным персоналом должны быть включены образовательные учреждения гражданской авиации, деятельность которых в современных условиях базируется на таких понятиях, как компетентность, компетенция, качество компетенции, компетентностный подход.

На основании вышеизложенного предлагается следующая концепция системотехнического управления авиационным персоналом (рис. 1).

В основе концепции лежат следующие основные факторы:

1. Генеральным критерием деятельности гражданской авиации является безопасность воздушного транспорта (1), которая подразделяется на безопасность полетов (2) и авиационную безопасность (3).

2. Безопасность воздушного транспорта более чем на 90% определяется человеческим фактором, который в гражданской авиации представлен авиационным персоналом (9).

3. С учетом специфики деятельности авиационного персонала методы управления авиационным персоналом (8) существенно отличаются от принятого в современных системах управления персоналом социально-психологического подхода и должны быть ориентированы на системотехническое управление (10).

4. В основе системотехнического управления авиационным персоналом, как методологической базы, должны быть следующие теории: теория надежности (4), теория рисков (5), теория конфликтов (6) и компетентностный подход (7).

5. Если эти исходные положения принимаются, то системотехническое управление авиационным персоналом (10) должно иметь два контура управления: производственная система (11) и образовательная система (12).

На основе этих системообразующих факторов выстраивается следующая системотехническая, управляющая по отношению к авиационному персоналу, структура.

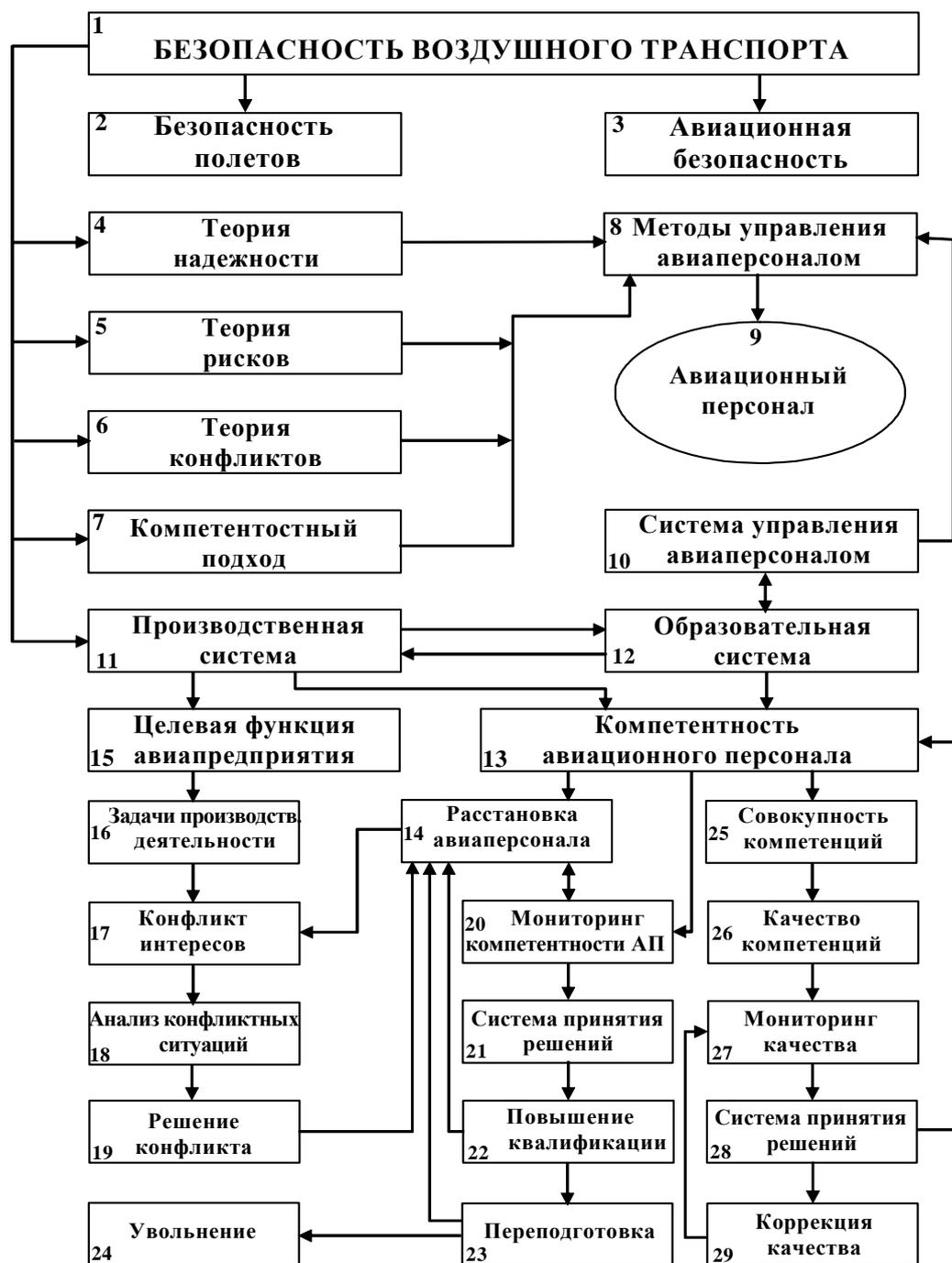


Рис. 1. Концепция управления авиационным персоналом

Измеряемым и контролируемым параметром в системе управления авиационным персоналом является компетентность авиационного персонала (13), на основе которой в системе (11) осуществляется реальное управление – расстановка персонала (14). Расстановка персонала здесь понимается в широком смысле: это не только динамика наполнения штатного расписания, но и весь комплекс вопросов, ориентированных на реализацию социально-экономических, психологических и многих других интересов авиационного персонала, с одной стороны, и стратегических целей развития предприятия – с другой.

В основе решения всех этих проблем лежит компромиссный подход, т.е. последовательное решение конфликтных ситуаций в производственных условиях. Для этого целевая функция

авиапредприятия (15) трансформируется в динамическую совокупность задач производственной деятельности (16). При решении задач возникают конфликтные ситуации (17), которые требуют соответствующего анализа (18) и решения (19).

Решение конфликта основано на параметрическом анализе данных мониторинга компетентности авиационного персонала (20) и ситуационной модели расстановки персонала. При этом в основе мониторинга лежит главный критерий оптимизации управления – качество производственной деятельности авиационного персонала (компетентность). Тогда в системе принятия решений (21) может быть принято одно из управленческих решений: повышение квалификации (22), переподготовка (23) или увольнение (24). По завершении этих операций (22, 23) принимается новое решение по расстановке персонала (14).

Качество профессиональной деятельности авиационного персонала (компетентность) как управляемый параметр формируется в процессе подготовки авиационного персонала в рамках образовательной системы (12). Компетентностный подход в образовании определяет компетентность как совокупность некоторого объема компетенций (25). Тогда в образовательной системе управляемым параметром является качество компетенций (26). Отсюда контур управления включает мониторинг качества компетенций (27), анализ и принятие решений об уровне качества (28) и исполнительные процедуры в форме коррекции качества (29).

Оба контура системотехнического управления авиационным персоналом объединяются в единую систему управления через параметр компетентности авиационного персонала.

Концепция диссертационного исследования предполагает решение следующих основных задач:

1. Разработка методов и алгоритмов системотехнического управления авиационным персоналом по критерию качество.
2. Решение конфликтологических проблем в системе управления авиационным персоналом.
3. Разработка компетентностно - ориентированной системы управления авиационным персоналом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Елисов Л.Н., Баранов В.В. Управление и сертификация в АТС. - М.: Воздушный транспорт, 1999.

## ON THE CONCEPT OF СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКОГО MANAGEMENT AVIATION PERSONNEL OF CIVIL AVIATION

Eliseev B.P., Elisov L.N., Marienkin E.V.

The article offers an original approach to the solution of problems of management of aviation personnel on the criteria of quality of the given risk factor.

**Key words:** aviation personnel, civil aviation system, the factors.

## Сведения об авторах

**Елисеев Борис Петрович**, 1957 г.р., окончил Дальневосточный государственный университет (1980), заслуженный юрист РФ, профессор, доктор юридических наук, ректор МГТУ ГА, заведующий кафедрой государственного регулирования и права, автор более 100 научных работ, область научных интересов - проблемы оптимизации производственных, экономических и социальных систем, транспортное право, организация и управление образовательными процессами.

**Елисов Лев Николаевич**, 1945 г.р., окончил Пензенский политехнический институт (1967), доктор технических наук, профессор МГТУ ГА, автор более 200 научных работ, область научных интересов - безопасность воздушного транспорта, человеческий фактор, квалиметрия, образовательные системы.

**Марьенкин Евгений Викторович**, 1976 г.р., окончил Академию гражданской авиации (1999), соискатель ученой степени кафедры государственного регулирования и права МГТУ ГА, автор 7 научных работ, область научных интересов - проблемы управления авиационным персоналом, квалиметрия.

УДК 629.735.015

## ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ МИНИМАЛЬНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА РЕАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОТ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ИДЕАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

А.М. ЛЕБЕДЕВ

Рассматриваются вопросы разработки критерия качества бортовой системы, обеспечивающей минимальное отклонение переходного процесса реальной системы от переходного процесса идеальной системы.

**Ключевые слова:** бортовая система, критерий качества, трубка, гиперповерхность.

В теории контроля и испытаний введение Л.Г. Евлановым геометрического критерия качества в общем виде позволило значительно шире взглянуть на проблему, даже в таком абстрактном виде критерий сыграл огромную роль в развитии контроля и испытаний.

Критериев может быть предложено много и их надо исследовать и разрабатывать как средство постоянного увеличения качества и эффективности. Наибольший интерес представляют собой критерии, учитывающие функциональное назначение бортовых систем и воздушного судна в целом.

Для обеспечения требуемого качества бортовой системы целесообразно, с точки зрения трудоемкости, перейти от контроля функционирования системы в динамике к параметрическому или допусковому контролю. При проектировании системы автоматического управления в технических заданиях задаются следующие параметры: перерегулирование, длительность переходного процесса, статическая ошибка и т.д., которые определяют некоторую трубку, в которой должны находиться значения переходного процесса системы. В общем случае качество системы можно задать, определив трубку как полосу, окружающую переходный процесс идеальной системы.

Пусть нормальная система дифференциальных уравнений, описывающая систему, сведена к одному уравнению более высокого порядка. Это линейное дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами, имеющее решение  $u_{\text{вых}} = u_{\text{вых}}(t, x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

Тогда можно записать  $|u_{\text{вых}}(t) - u_o(t)| < \Delta$ ,

где  $u_{\text{вых}}(t, x_1, x_2, \dots, x_n)$  – выходной сигнал системы;  $u_o(t)$  – требуемое, оптимальное значение переходного процесса идеальной системы;  $t$  – время;  $\Delta$  – допустимое значение.

В данном случае в качестве критерия показателя качества  $W(x_1, \dots, x_n)$  принимается абсолютная величина отклонения выходного сигнала системы от заданного значения  $u_o(t)$ . Необходимо отметить, что выходной сигнал зависит от её технического состояния, характеризуемого контрольными параметрами. Таким образом

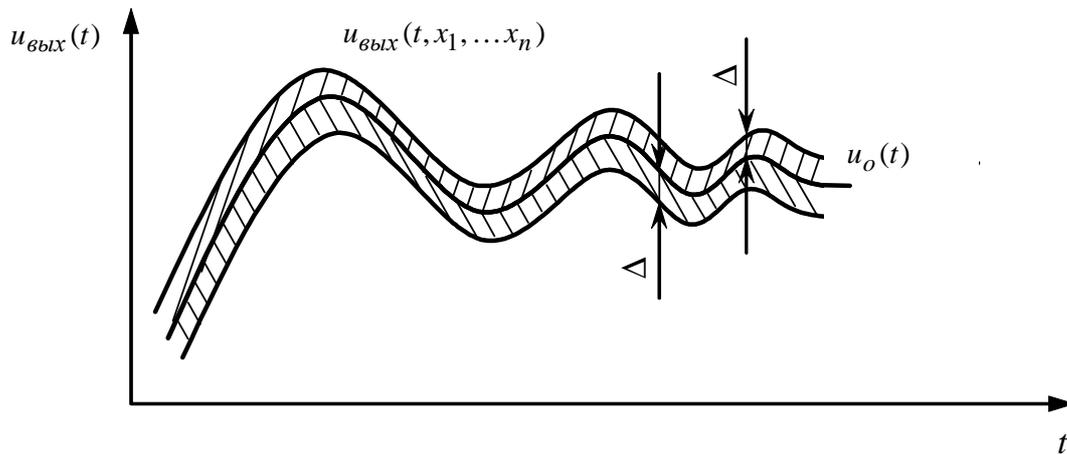
$$W(x_1, \dots, x_n) = |u_{\text{вых}}(t, x_1, x_2, \dots, x_n) - u_o(t)| \leq \Delta.$$

Это выражение является критерием качества системы, который представлен на рис. 1. Необходимо рассмотреть два случая:

а)  $u_{\text{вых}} > u_o$ ,  $u_{\text{вых}} - u_o > 0 \Rightarrow |u_{\text{вых}} - u_o| = u_{\text{вых}} - u_o$ .

На участке  $u_{\text{вых}} > u_o$  это выражение представляет собой прямую линию с положительным угловым коэффициентом;

б)  $u_{\text{вых}} < u_o$ ,  $u_{\text{вых}} - u_o < 0 \Rightarrow |u_{\text{вых}} - u_o| = u_o - u_{\text{вых}}$ .



**Рис. 1.** Трубка значений, наложенная на график переходного процесса, идеальной системы

Теперь необходимо исследовать некоторые свойства критерия качества, определенного формулой

$$W(\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n) = |u_{блх}(t, \Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n) - u_o(t)|.$$

Если переменные есть отклонения контрольных параметров, то можно записать

$$W(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) = -W(x_1, \dots, -x_i, \dots, x_n).$$

Тогда

$$\left( \frac{\partial W}{\partial \Delta x_i} \right)_{\Delta x_i} = - \left( \frac{\partial W}{\partial \Delta x_i} \right)_{-\Delta x_i}; \quad \left( \frac{\partial W}{\partial \Delta x_i} \right)_{\Delta x_i=0} = 0, \quad \text{Sign} \left( \frac{\partial W}{\partial \Delta x_i} \right)_{\Delta x_i > 0} = - \text{Sign} \left( \frac{\partial W}{\partial \Delta x_i} \right)_{\Delta x_i < 0}.$$

Аналогично для второй производной

$$\left( \frac{\partial^2 W}{\partial \Delta x_i^2} \right)_{\Delta x_i} = - \left( \frac{\partial^2 W}{\partial \Delta x_i^2} \right)_{-\Delta x_i}; \quad \text{Sign} \left( \frac{\partial^2 W}{\partial \Delta x_i^2} \right)_{\Delta x_i > 0} = \text{Sign} \left( \frac{\partial^2 W}{\partial \Delta x_i^2} \right)_{\Delta x_i < 0};$$

$$\left( \frac{\partial^2 W}{\partial \Delta x_i^2} \right)_{\Delta x_i=0} \neq 0; \quad \left( \frac{\partial^2 W}{\partial \Delta x_i^2} \right)_{\forall x_i} > 0.$$

Выполним то же самое для третьей производной критерия качества.

$$\left( \frac{\partial^3 W}{\partial \Delta x_i^3} \right)_{\Delta x_i > 0} = - \left( \frac{\partial^3 W}{\partial \Delta x_i^3} \right)_{\Delta x_i < 0}; \quad \text{Sign} \left( \frac{\partial^3 W}{\partial \Delta x_i^3} \right)_{\Delta x_i > 0} = - \text{Sign} \left( \frac{\partial^3 W}{\partial \Delta x_i^3} \right)_{\Delta x_i < 0}; \quad \left( \frac{\partial^3 W}{\partial \Delta x_i^3} \right)_{\Delta x_i=0} = 0.$$

Известно, что производная от нечетной функции есть функция четная и наоборот.

Разложение критерия качества в ряд Тейлора

$$W(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) = |U_{блх}(t, x_1, \dots, x_n) - U_0(t)| < \Delta,$$

$$U_{блх}(t, x_1, \dots, x_n) - U_0(t) = U_0(t) + \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial U}{\partial x_i} \right)_0 \Delta x_i + \frac{1}{2!} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x_i \partial x_j} \right)_0 \Delta x_i \Delta x_j + \dots - U_0(t) =$$

$$= \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial U}{\partial x_i} \right)_0 \Delta x_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x_i \partial x_j} \right)_0 \Delta x_i \Delta x_j + \dots$$

$$\text{Если } U_{блх} - U_0 > 0, \quad |U_{блх} - U_0| = U_{блх} - U_0 < \Delta.$$

Все производные нечетного порядка в нулевой точке разложения равны нулю, а все четные производные в общем случае не равны нулю и положительны. Кроме того, ранее было введено

допущение о некоррелированности контрольных параметров между собой. Это выражается в том, что все перекрестные или смешанные производные равны нулю, т.е.

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x_i \partial x_j} = 0, \quad \frac{\partial^n W}{\partial x_i^m \partial x_j^{n-m}} = 0 \text{ и т.д.}$$

Если ограничиться членами второго порядка, то это будет гиперповерхность второго порядка, в частности, гиперэллипсоид. Существует теорема, которая утверждает, что для нормального закона утверждение о некоррелированности эквивалентно независимости переменных. Это выражается в том, что оси симметрии гиперэллипсоида (области, в которой критерий качества выполняется) параллельны осям координат. Это гиперэллипсоид, оси которого параллельны координатным осям переменных, являющихся отклонениями контрольных параметров. В этих осях расположение эллипсоида является каноническим; в осях контрольных параметров это будет фигура, смещенная переносом с осями симметрии, параллельным осям координат.

Неравенство определяет в  $n$ -мерном пространстве область контрольных параметров, при нахождении системы, внутри которой критерий качества будет более заданного, т.е. выходной сигнал системы будет лежать внутри заданной трубки. Если же перейти к высшим степеням, то это будет гиперповерхность типа гиперэллипсоида, как это будет показано ниже. В этом случае, уравнение поверхности будет иметь вид

$$\frac{1}{2!} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial^2 W}{\partial x_i^2} \right)_0 \Delta x_i^2 + \frac{1}{4!} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial^4 W}{\partial x_i^4} \right)_0 \Delta x_i^4 + \frac{1}{6!} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial^6 W}{\partial x_i^6} \right)_0 \Delta x_i^6 \dots < \Delta.$$

Коэффициенты в разложении не отрицательны.

Перейдем к исследованию гиперповерхности качества. Данная задача усложняется тем, что это  $n$ -мерная задача. Исходная функция  $W(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ . Найдем первые частные производные и приравняем их к нулю.

Получим систему уравнений, решение которой будет определять точки возможных экстремумов

$$\frac{\partial W}{\partial x_1} = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial x_2} = 0, \dots, \frac{\partial W}{\partial x_n} = 0.$$

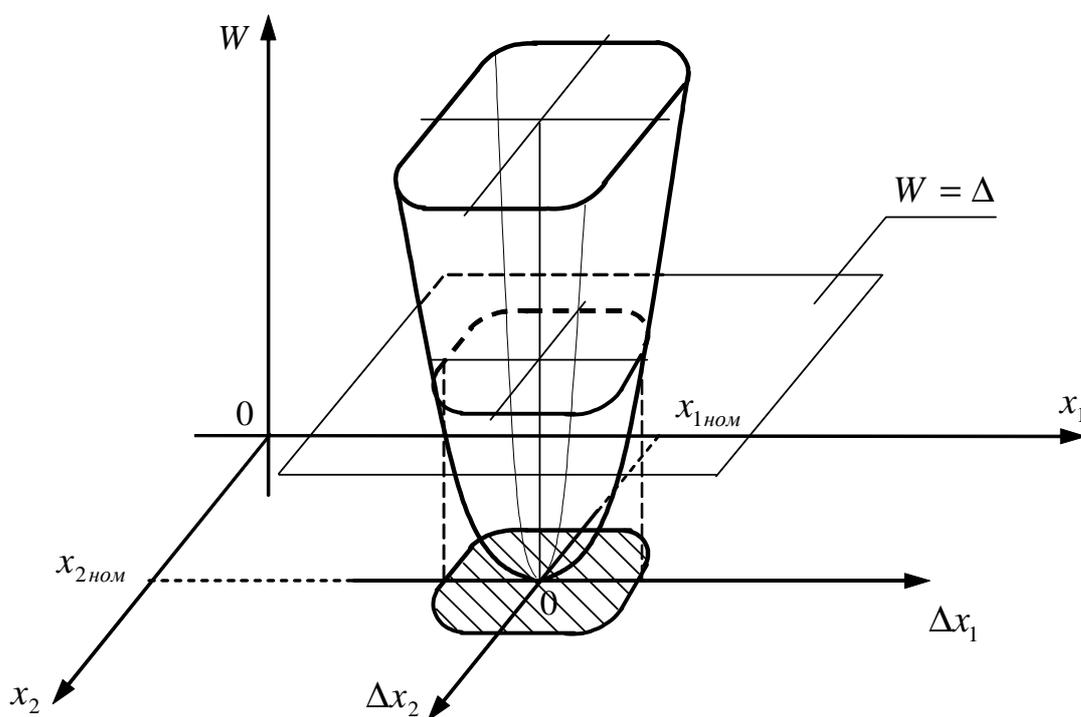
Исследование на вид экстремума (максимум или минимум) выполняется с помощью матрицы Гессе. Матрица Гессе составляется из вторых производных исследуемой функции

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial^2 W}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 W}{\partial x_1 \partial x_2} & \frac{\partial^2 W}{\partial x_1 \partial x_3} & \dots & \frac{\partial^2 W}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 W}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 W}{\partial x_2^2} & \frac{\partial^2 W}{\partial x_2 \partial x_3} & \dots & \frac{\partial^2 W}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ \frac{\partial^2 W}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 W}{\partial x_n \partial x_2} & \frac{\partial^2 W}{\partial x_n \partial x_3} & \dots & \frac{\partial^2 W}{\partial x_n^2} \end{pmatrix}.$$

Все коэффициенты этой матрицы положительны, как это было показано выше. Если учесть допущение о некоррелированности контрольных параметров, то все смешанные производные будут равны нулю, и матрица Гессе примет диагональный вид

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial^2 W}{\partial x_1^2} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{\partial^2 W}{\partial x_2^2} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{\partial^n W}{\partial x_1^n} \end{pmatrix} = \prod_{i=1}^n \frac{\partial^2 W}{\partial x_i^2} > 0.$$

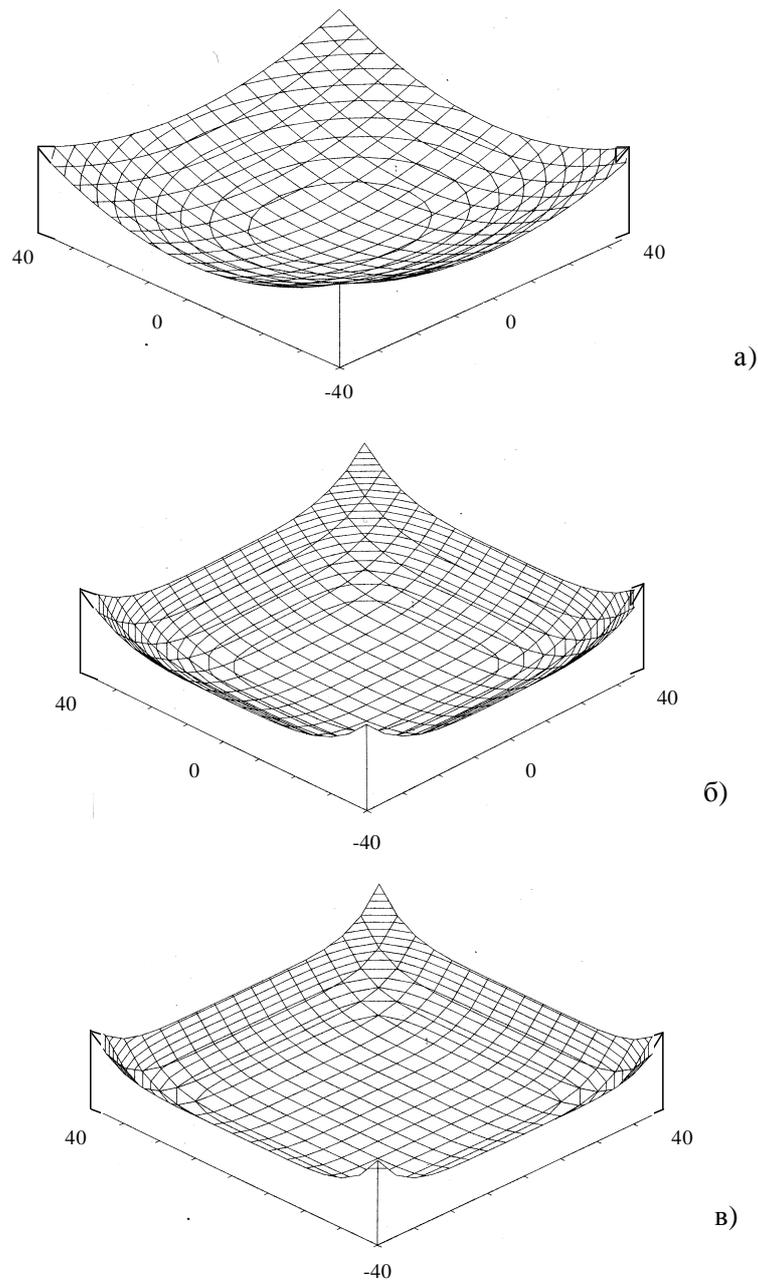
Геометрическая иллюстрация показана на рис. 2.



**Рис. 2.** Геометрический вид критерия качества в трехмерном случае

Понятие выпуклой функции определено и для функции многих переменных. Так для дважды дифференцируемой функции условие выпуклости заключается в знакоопределенности ее второго дифференциала. Из приведенной выше формулы гиперповерхности качества легко вытекает условие знакопостоянства второго дифференциала.

Исследование поверхности проведено с помощью пакета прикладных программ SURFER from Windows, версия 5.0 (рис. 3).



**Рис. 3.** Гиперповерхность качества при различных приближениях

В результате получена функция критерия качества, представленная в виде ряда Тейлора. Этой функции соответствует гиперповерхность качества не в форме гиперэллипсоида, как это считалось ранее, а гипероваля, что уточняет теорию контроля и испытаний. Реализация этой гиперповерхности качества находится в области выбора контрольных параметров, имеющих определенную связь с критерием качества бортовой системы или в реализации ее на уровне программного обеспечения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем. - М.: Наука, 1982.

**2. Лебедев А.М.** Разработка критерия качества для контроля бортовых систем воздушного судна / Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Международная научно-техническая конференция, посвященная 80-летию гражданской авиации России. 17-18 апреля 2003 г. - М.: МГТУ ГА, 2003.

**STUDY OF CRITERION OF AN AIRBORNE SYSTEM QUALITY ACHIEVING  
MINIMUM DEVIATION OF A REAL SYSTEM TRANSITION PROCESS  
FROM THE TRANSITION PROCESS OF AN IDEAL SYSTEM**

**Lebedev A.M.**

The aspects of working-out the criterion of an airborne system quality providing minimum deviation of a real system transition process from the transition process of an ideal system are considered.

**Key words:** board system, quality criterion tube, hypersurface.

**Сведения об авторе**

**Лебедев Алексей Михайлович**, 1947 г.р., окончил Казанский авиационный институт (1971), доктор технических наук, профессор кафедры естественно-научных дисциплин УВАУ ГА, автор более 120 научных работ, область научных интересов - безопасность полетов, математическое моделирование испытаний.

УДК 629.735.015

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВЫХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А.М. ЛЕБЕДЕВ

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

В статье математически описывается система контрольных параметров испытываемой системы.

**Ключевые слова:** математическая модель, летательный аппарат, система.

Создание математической модели становится первоочередной задачей изучения системы организации контрольных параметров с математической точки зрения и изменений, которым она подверглась в последние десятилетия. Необходимость сжатия контрольной информации с целью сокращения ее объемов привела к возникновению ступенчатой системы организации контрольных параметров. В беспилотной технике достаточно давно были введены дежурные и сопутствующие параметры. Постоянному циклическому контролю подвергаются дежурные параметры. В случае их выхода за пределы допуска, что говорит об отказе системы, переходят к контролю дежурных параметров, по состоянию которых диагностируют отказ системы. В авиационной технике к такому контролю пришли несколько позднее, путем перехода от однопараметрического контроля к многопараметрическому контролю (введение иерархии контрольных параметров). Контроль и принятие решений осуществляется по параметрам высшего уровня, как правило, это параметры, связанные с пространственным положением ЛА, а затем по параметрам низшего уровня, являющимся параметрами бортовых систем. Значимость параметров осуществляется по их влиянию на параметры высшего уровня.

Существующие математические описания выходных параметров бортовых систем или критериев качества ориентированы на представление их функций от аргументов, которыми являются значения элементов бортовых систем. В теории испытаний вводятся те же функции, но имеющие аргументы контрольных параметров. В связи с этим встает важная задача перехода от функций, выраженных через значения элементов систем, к функциям от контролируемых параметров.

Пусть имеется система, состоящая из  $n$  конструктивных элементов, характеризующихся величинами  $r_i, i = 1, \dots, n$  (например, сопротивление, емкость, конструктивные размеры детали и т.п.). Система функционирует, получая какие-то входные воздействия  $U_{вх}$  и, выдавая выходное воздействие  $U_{вых}$ , которое в общем случае можно представить как функцию

$$U_{вых} = U_{вых}(r_1, r_2, \dots, r_n, U_{вх}).$$

Кроме того, система имеет  $m$  контрольных параметров  $x_j, j = 1, 2, \dots, m$ , являющихся функциями от определенного множества конструктивных элементов

$$\begin{aligned} x_1 &= x_1(r_1, r_2, \dots, r_{n_1}) \\ x_2 &= x_2(r_{n_1+1}, r_{n_1+2}, \dots, r_{n_2}) \\ x_j &= x_j(r_{n_j}, \dots, r_{n_{j+1}}) \cdot \\ &\dots\dots\dots \\ x_m &= x_m(r_{n_m}, \dots, r_n) \end{aligned} \tag{1}$$



Следующей важной задачей является задача о преобразовании функции выходного воздействия от вида  $U_{вых} = U_{вых}(r_1, r_2, \dots, r_n)$  к виду  $U_{вых} = U_{вых}(x_1, x_2, \dots, x_m)$ , где функции контрольных параметров соответствуют (1). Это две формы одной и той же функции

$$U_{вых}(r_1, r_2, \dots, r_n) = U_{вых}(x_1, x_2, \dots, x_m),$$

представленной в виде разложения ряда Тейлора.

Разложим их в ряд Тейлора в окрестности номинальной точки  $r_{i_0}, i = \overline{1, n}$  с точностью до первых членов

$$\begin{aligned} U_{вых_0} + \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial U_{вых}}{\partial r_i} \right)_0 \Delta r_i &\equiv U_{вых_0} + \sum_{i=1}^{n_1} \left( \frac{\partial U_{вых}}{\partial x_i} \right)_0 \left( \frac{\partial x_i}{\partial r_i} \right)_0 \Delta r_i + \\ &+ \sum_{i=1}^{n_2} \left( \frac{\partial U_{вых}}{\partial x_i} \right)_0 \left( \frac{\partial x_i}{\partial r_i} \right)_0 \Delta r_i + \dots + \sum_{i=n_m}^n \left( \frac{\partial U_{вых}}{\partial x_i} \right)_0 \left( \frac{\partial x_i}{\partial r_i} \right)_0 \Delta r_i \end{aligned} \quad (2)$$

Учитывая, что это выражение есть тождество, можно приравнять коэффициенты при равных значениях  $r_i$  (метод неопределенных коэффициентов)

$$\left( \frac{\partial U_{вых}}{\partial r_i} \right)_0 = \sum_{j=1}^m \left( \frac{\partial U_{вых}}{\partial x_j} \right)_0 \left( \frac{\partial x_j}{\partial r_i} \right)_0$$

или

$$\left( \frac{\partial U_{вых}}{\partial x_i} \right)_0 = \frac{\left( \frac{\partial U_{вых}}{\partial r_i} \right)_0}{\sum_{j=1}^m \left( \frac{\partial x_j}{\partial r_i} \right)_0}, \quad i = const. \quad (3)$$

Данная формула позволит вычислить производные функции через контрольные параметры, не выполняя преобразования исходной функции  $u(r_1, \dots, r_n)$  к виду  $u(x_1, x_2, \dots, x_m)$ . Если контрольные параметры некоррелированы, то формула (3) примет вид

$$\left( \frac{\partial U_{вых}}{\partial x_i} \right) = \frac{\left( \frac{\partial U_{вых}}{\partial r_i} \right)_0}{\left( \frac{\partial x_j}{\partial r_i} \right)_0}, \quad i = const. \quad (4)$$

Эта формула позволяет получить выражения для анализа переходных процессов в системах, не имея зависимости  $U_{вых}(x_1, x_2, \dots, x_m)$ , путем применения методов теории чувствительности, основываясь на экспериментально измеренных приращениях и вычисленных по ним значениях этих производных. Это позволяет внедрять метод с первых изделий как опытных, так и серийных.

В случае применения многопараметрического контроля полученные формулы несколько усложнятся, т.к. многоуровневая система организации допускового контроля может быть представлена в виде сложной функции.

Пусть  $x$  – контрольный параметр низшего уровня иерархии;  $X$  – контрольный параметр высшего уровня иерархии.

Целесообразно ввести допущение о некоррелированности контрольного параметра высшего уровня и контрольных параметров низшего уровня. Тогда можно записать

$$\left(\frac{\partial U_{\text{вых}}}{\partial r_i}\right)_0 = \left(\frac{\partial U_{\text{вых}}}{\partial X_j}\right)_0 \left(\frac{\partial X_j}{\partial x_i}\right)_0 \left(\frac{\partial x_i}{\partial r_i}\right)_0$$

или аналогично

$$\left(\frac{\partial U_{\text{вых}}}{\partial X_j}\right)_0 = \frac{\left(\frac{\partial U_{\text{вых}}}{\partial r_i}\right)_0}{\left(\frac{\partial X_j}{\partial x_i}\right)_0 \left(\frac{\partial x_i}{\partial r_i}\right)_0}, \quad i = \text{const}$$

или

$$\left(\frac{\partial U_{\text{вых}}}{\partial X_j}\right)_0 \left(\frac{\partial X_j}{\partial x_i}\right)_0 = \frac{\left(\frac{\partial U_{\text{вых}}}{\partial r_i}\right)_0}{\left(\frac{\partial x_i}{\partial r_i}\right)_0}, \quad i = \text{const}.$$

Полученная формула полностью аналогична предыдущей (4).

Для нахождения производных высших порядков можно таким же образом применять метод неопределенных коэффициентов к двум разложениям выходного сигнала системы по формуле (2).

В результате получены формулы определения производных выходного сигнала бортовой системы в зависимости от контрольных параметров. Этих данных нет в технической документации на системы. Полученные формулы позволяют представить функции критерия качества при отсутствии зависимости  $W(x_1, x_2, \dots, x_n)$  в виде разложения в степенной ряд Тейлора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем. - М.: Наука, 1982.

#### MATHEMATICAL MODEL OF TEST PARAMETERS OF A FLYING VEHICLE AIRBORNE SYSTEMS AND COMPLEXES

Lebedev A.M.

The system of test parameters of a system-under-test is mathematically described in the article.

**Key words:** mathematical model of the apparatus, system.

#### Сведения об авторе

**Лебедев Алексей Михайлович**, 1947 г.р., окончил Казанский авиационный институт (1971), доктор технических наук, профессор кафедры естественно-научных дисциплин УВАУ ГА, автор более 120 научных работ, область научных интересов - безопасность полетов, математическое моделирование испытаний.

УДК 629.735.015

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ, САПР ПРОГРАММ КОНТРОЛЯ И ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА РЕШЕНИЕ ПРИЕМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

А.М. ЛЕБЕДЕВ

В статье рассмотрены общие закономерности внедрения автоматизированных систем контроля (АСК), САПР программ контроля и программных комплексов. К таким закономерностям относятся: экономический эффект, повышение объективности контроля, габаритно-массовые, энергетические и информационные характеристики.

**Ключевые слова:** анализ, экономический эффект, структура, коэффициент автоматизации.

Экономический эффект от внедрения в производство АСК и САПР является одним из основных критериев целесообразности выполнения этих работ. Техничко-экономические показатели часто имеют вероятностный характер, т.к. отказы на борту и их предотвращение – случайные явления.

Структура этих формул заключается в сравнении двух вероятностей:

$p_1$  - вероятность аварии при неавтоматизированном контроле;

$p_2$  - вероятность аварии при автоматизированном контроле.

$$p_1 > p_2.$$

Пусть в результате аварии теряем ВС ( $C$  – стоимость ВС).

$$\mathcal{E} = (p_1 - p_2)nC,$$

где  $n$  – парк ВС;  $C$  – стоимость ВС.

$$p_1 = \frac{m_1}{n}; \quad p_2 = \frac{m_2}{n}; \quad \mathcal{E} = \left(\frac{m_1}{n} - \frac{m_2}{n}\right)nC = (p_1 - p_2)nC.$$

Эта формула позволяет связать вероятностные показатели с экономическими. Обосновать окупаемость таких систем только за счёт снижения трудоёмкости трудно, поэтому приходилось учитывать весь комплекс факторов, дающих прибыль. Наличие дешёвой рабочей силы и дорогой вычислительной техники создавало сложности при разработке технико-экономических обоснований. В тот период времени вопрос заключался не в снижении трудоёмкости, хотя это сам по себе достаточно важный фактор, а в изготовлении качественной авиационной техники, чего нельзя было сделать без эффективного выявления дефектов и неисправностей, обеспечения объективности и достоверности контроля.

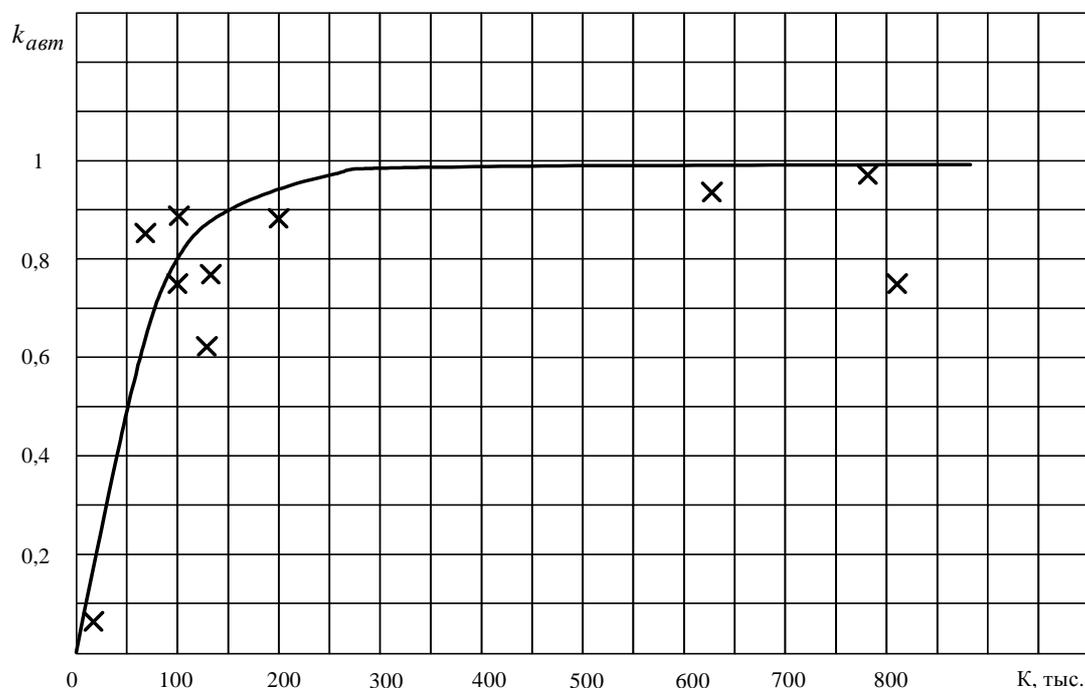
В результате этих работ было внедрено 26 мероприятий с общим экономическим эффектом 1531313 руб. в ценах 1985 г. Внедрения проводились на одном из предприятий в период с 1985 по 1989 гг.

Было получено значение коэффициента автоматизации от 0,619 до 0,99. При этом наибольший коэффициент автоматизации имеют САПР программ контроля (за счёт очень большого числа операций), аппаратные средства контроля имеют более низкий уровень автоматизации. Как правило, большим коэффициентам автоматизации соответствуют большие значения объективности контроля. График зависимости коэффициента автоматизации от капитальных затрат на создание АСК приведен на рис. 1.

Повышение объективности контроля оценивалось по формуле

$$\eta = \frac{1 - D_{КПА}}{1 - D_{АСК}},$$

где  $D_{АСК}$  – вероятность сбоя при работе автоматизированной системы контроля;  $D_{КПА}$  – достоверность выполнения работы оператором в ручном режиме на соответствующем КПА.



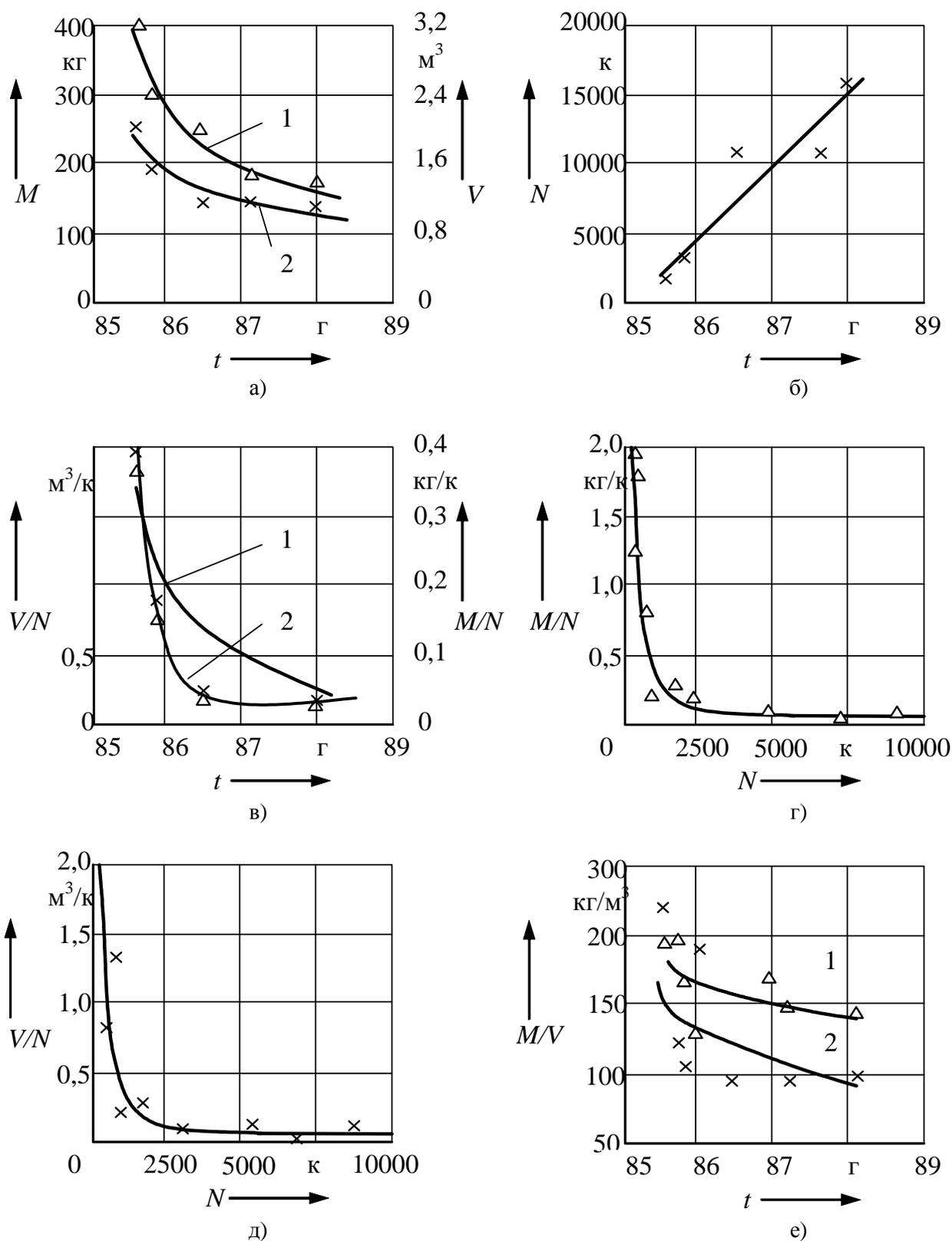
**Рис. 1.** Коэффициент автоматизации в зависимости от капитальных затрат на создание АСК

Повышение объективности контроля составляет от 3,18 до 51,34 раза для аппаратных средств, в то же время для программных средств эта цифра высока и составляет от 99,8 до 392 и даже 582 раз. Программа контроля содержит огромное количество операций, и вероятность ошибки в ручном варианте может быть велика.

Относительное сокращение времени испытаний и трудоемкости испытаний отличаются друг от друга в пределах от 4 до 28-30, но есть примеры 40-45 кратного и даже уменьшения в 111 раз.

Экономический эффект наибольший имеют аппаратные средства, а программные средства несколько ниже. Это объясняется уровнем зарплаты цехового персонала и технологов, занятых разработкой программ контроля.

При внедрении больших систем существует вполне справедливое требование о проведении в течение определённого времени опытной эксплуатации, т.к. в процессе эксплуатации, как правило, выявляются различные конструкторские и технологические дефекты и различные ситуации (иногда имеющие случайный характер), которые не проработаны на этапе технического проекта. Очень часто этот срок устанавливается директивно различными отраслевыми документами.



**Рис. 2.** Графики кривых: а -  $M = f_1(t)$  (кривая 1),  $V = f_2(t)$  (кривая 2); б -  $N = f_3(t)$ ; в -  $M/N = f_5(t)$  (кривая 1),  $V/N = f_4(t)$  (кривая 2); г - 1 -  $N = f_6(t)$ ; д -  $V/N = f_7(t)$ ; е -  $M/V = f_8(t)$  (кривая 1),  $P = f_9(t)$

В процессе данной работы подобран значимый материал для оценки необходимого времени опытной эксплуатации. Для этого из сводных технико-экономических показателей сделана выборка по различным группам работ.

Для получения достоверных данных из выборки исключались самая большая и самая малая величины. Опытные данные за несколько лет работы показывают следующие:

1. Опытная эксплуатация при внедрении автоматизированных испытаний составляет 0,5 года;
2. Опытная эксплуатация САПР программ контроля автономных испытаний составляет 0,5 года;
3. Опытная эксплуатация программных комплексов для отдельных испытаний работ составляет  $0,1 \div 0,5$  года;
4. Опытная эксплуатация АСК бортовых систем, функционирующих в составе изделия, составляет наибольшее время от 1,5 до 2,5 лет;
5. Опытная эксплуатация САПР программ контроля при проведении испытаний в составе изделия составляет 1 год;
6. Опытная эксплуатация стендов комплексирования для отработки бортового оборудования составляет 1,5 года.

Полученные данные позволяют уточнить цифру  $1 \div 2$  года, приведенную в различных отраслевых методических и директивных материалах.

Далее приведены экспериментальные данные (рис. 2), показывающие зависимости технических характеристик по годам с 1985 по 1989 гг. Принятые сокращения: М - масса аппаратурной части; V - объем аппаратурной части; N - число информационных каналов;  $\frac{M}{V}$ ,  $\frac{V}{N}$ ,  $\frac{N}{V}$  - удельные показатели.

Коэффициент корреляции выявления неисправностей в электрожгутах составляет - 0,74 при увеличении объема автоконтроля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Комплект технической документации на автоматизированную систему проведения испытаний. - Ульяновск: УАПК, 1991.

#### THE ANALYSIS OF RESULTS OF THE IMPLEMENTATION OF AUTOMATED SYSTEMS MONITORING, TEST PROGRAMMES FOR THE AUTOMATED DESIGN SYSTEM AND SOFTWARE AIMED AT PASSING ACCEPTANCE TRIALS

Lebedev A.M.

General regularities of implementing automated test systems, test programmes for the automated design system and software are considered. The given regularities include the economic effect, increase of test validity, dimension-weight, energy-consuming and information characteristics.

**Key words:** analysis, economic impact, the structure, the coefficient of automation.

#### Сведения об авторе

**Лебедев Алексей Михайлович**, 1947 г.р., окончил Казанский авиационный институт (1971), доктор технических наук, профессор кафедры естественно-научных дисциплин УВАУ ГА, автор более 120 научных работ, область научных интересов - безопасность полетов, математическое моделирование испытаний.

УДК 519.8: 658.336

## РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАДЁЖНОСТИ КУРСАНТА-ПИЛОТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО ОШИБКАМ, ДОПУЩЕННЫМ КУРСАНТАМИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ УЧЕБНЫХ ПОЛЁТОВ

А.М. ЛЕБЕДЕВ, В.А. НЕСЬКИН

Рассмотрены вероятностная математическая модель надёжности курсанта-пилота, интенсивность событий, являющихся ошибками курсанта, интенсивность исправления инструктором ошибок курсанта, а также интенсивность потока событий (ошибок), не исправленных инструктором, что эквивалентно АС (катастрофе, инциденту и т.д.). Решение данной системы можно выполнить аналитически.

**Ключевые слова:** безопасность полётов, надёжность, интенсивность ошибочных действий.

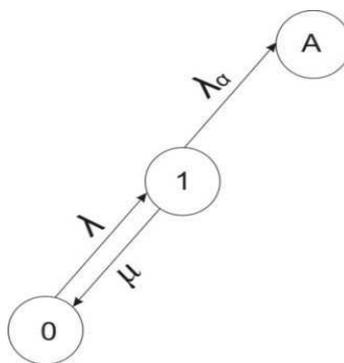
Известно, что из-за отрицательного влияния человеческого фактора (ЧФ) на исход полётов по данным ИКАО происходит от 70% до 80% авиационных происшествий (АП) и инцидентов (И).

Эти факты свидетельствуют о потенциальной опасности ошибок экипажа. Исследованию взаимосвязи личностного фактора и безопасности полётов (БП) посвящена литература [1, 2, 5], из которой следует, что основная доля причин АП по личностному фактору связана с лётным составом – 60% - 70% [3].

Определённый процент этих причин АП связан с ошибочными действиями пилота, не вызванными предшествующими отказами авиационной техники (АТ) или попаданием воздушного судна (ВС) в неблагоприятные условия [4].

Представленная ниже вероятностная математическая модель разработана на основе анализа ошибок курсантов-пилотов, выполняющих учебные полёты на ВС Ан-26. Данные по ошибкам курсантов-пилотов были собраны на базе УВАУ ГА. На основе анализа ошибок, причин ошибок и их интенсивности можно судить о подготовленности курсанта-пилота, а по правильным и своевременным действиям пилота (исправление ошибок, допускаемых курсантом) можно судить о подготовленности пилота-инструктора и экипажа.

Для выполнения расчётов необходимо создать информационную базу (табл. 1, 2). В связи с ограниченностью объёма статьи выкладки не приводятся. Полученные решения и графики вероятностей, а также примеры информационной базы приведены ниже.



**Рис. 1.** Размеченный граф состояний. Этап взлёта и набора высоты Ан-26:

$\lambda$  - интенсивность потока событий, являющихся ошибками курсанта;  $\mu$  - интенсивность потока событий, являющихся исправлениями инструктора ошибок курсанта;  $\lambda_\alpha$  - интенсивность потока событий, являющихся событиями, замечаемыми в том, что ошибка курсанта не исправлена инструктором, что эквивалентно аварии или катастрофе, или серьёзному инциденту (авиационное происшествие)

Таблица 1

№	Угол тангажа более рекомендованного	Угол тангажа менее рекомендованного	Отклонение от взлётно-го курса	Действие инструктора по исправлению ошибок курсанта	Количество ошибок	Интенсивность ошибок, $\lambda_{\text{час}}^{-1}$
1	1	0	0	Инструктор парирует ошибку уменьшением тангажа	52	$\frac{52}{2450} = 0,021$
2	0	1	0	Инструктор парирует ошибку увеличением тангажа	51	$\frac{51}{2450} = 0,02$
3	0	0	1	Инструктор парирует ошибку рулями для выхода на взлётный курс	43	$\frac{43}{2450} = 0,018$
4	1	0	1	Инструктор парирует ошибку рулями для выхода на взлётный курс уменьшением тангажа	95	$\frac{95}{2450} = 0,039$
5	0	1	1	Инструктор парирует ошибку рулями для выхода на взлётный курс увеличением тангажа	94	$\frac{94}{2450} = 0,038$

Случайный процесс является марковским, т.е. потоком без последствий. Математической моделью такого графа являются уравнения Колмогорова  $P(0) = 1$ ,  $P_1(0) = 0$ ,  $P_A(0) = 0$

$$\begin{cases} \frac{dP_0}{dt} = -\lambda P_0 + \mu P_1 \\ \frac{dP_1}{dt} = +\lambda P_0 - \mu P_1 - \lambda P_1 \\ \frac{dP_A}{dt} = +\lambda P_1 \end{cases} \quad (1)$$

$$P_0 = \frac{\frac{dP_1}{dt} + \mu P_1 + \lambda P_1}{\lambda} \quad (2)$$

Из уравнения (2)

$$\frac{dP_1}{dt} + (\mu + \lambda)P_1 = \lambda P_0$$

$$P_1(t) = \frac{\lambda}{\sqrt[2]{\frac{(\lambda + \mu + \lambda_\alpha)^2}{2} - \lambda\lambda_\alpha}} \left[ e^{\left( \frac{\lambda + \mu + \lambda_\alpha}{2} + \sqrt{\frac{(\lambda + \mu + \lambda_\alpha)^2}{2} - \lambda\lambda_\alpha} \right) t} - e^{\left( \frac{\lambda + \mu + \lambda_\alpha}{2} - \sqrt{\frac{(\lambda + \mu + \lambda_\alpha)^2}{2} - \lambda\lambda_\alpha} \right) t} \right].$$

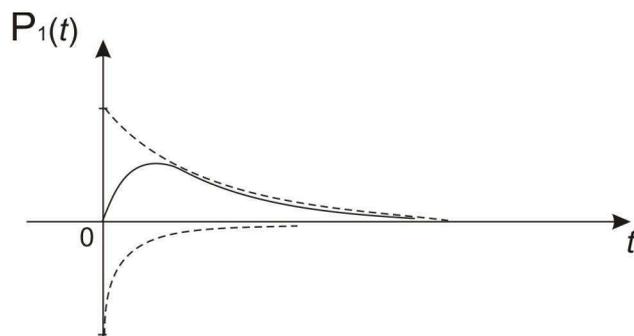
Таблица 2

## Этап горизонтального полёта Ан-26

№	Невыдерживание заданной высоты эшелона	Скорость полёта более рекомендованной	Неправильное выполнение разворотов, виражей	Действия инструктора по исправлению ошибок курсанта	Количество ошибок	Интенсивность ошибок, $\lambda_{\text{час}^{-1}}$
1	1	0	0	Инструктор увеличивает или уменьшает тангаж, увеличивая или уменьшая режимы работы двигателей	114	$\frac{114}{2450} = 0,046$
2	0	1	0	Инструктор парирует ошибку уменьшением режима работы двигателей	67	$\frac{67}{2450} = 0,027$
3	0	0	1	Инструктор парирует ошибку курсанта отклонением рулей, элеронов	43	$\frac{43}{2450} = 0,018$
4	1	1	0	Инструктор уменьшает/увеличивает тангаж, уменьшая/увеличивая режим работы двигателей или оставляет его неизменным	181	$\frac{181}{2450} = 0,074$
5	1	0	1	Инструктор парирует ошибку курсанта отклонением рулей, элеронов, уменьшая/увеличивая режим работы двигателей или оставляет его неизменным	157	$\frac{157}{2450} = 0,064$
6	1	1	1	Инструктор парирует ошибки курсанта отклонением рулей, элеронов, уменьшая/увеличивая тангаж, уменьшая режим работы двигателей или оставляя его неизменным	224	$\frac{224}{2450} = 0,091$

$$P_1(t) = \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{(\lambda + \mu + \lambda_\alpha)^2}{2} - \lambda\lambda_\alpha}} \left[ e^{\left( \frac{\lambda + \mu + \lambda_\alpha}{2} + \sqrt{\frac{(\lambda + \mu + \lambda_\alpha)^2}{2} - \lambda\lambda_\alpha} \right) t} - e^{\left( \frac{\lambda + \mu + \lambda_\alpha}{2} - \sqrt{\frac{(\lambda + \mu + \lambda_\alpha)^2}{2} - \lambda\lambda_\alpha} \right) t} \right].$$

Таким образом получено частное решение дифференциального уравнения. График функции  $P_1(t)$  изображен на рис. 2.



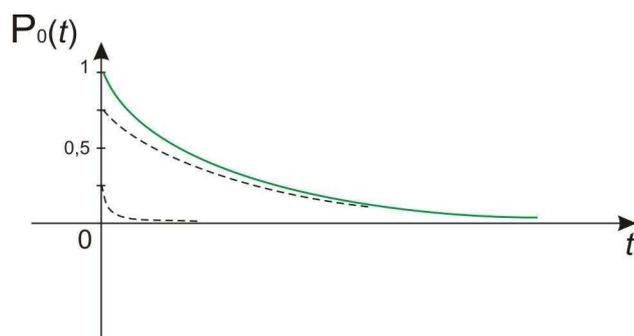
**Рис. 2.** График функции  $P_1(t)$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_1(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} C_1(e^{r_1 t} - e^{r_2 t}) = 0.$$

$P_0(t)$  можно определить из уравнения (2)

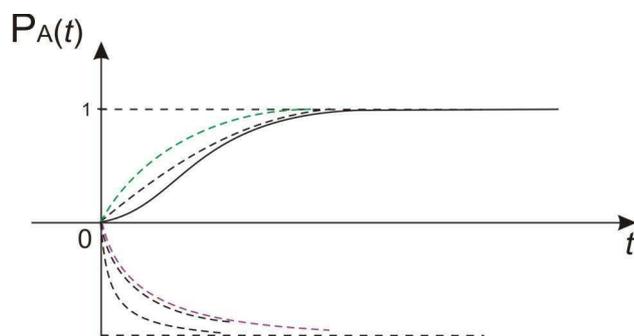
$$P_0(t) = \frac{\frac{dP_1}{dt} + \mu P_1 + \lambda_\alpha P_1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} \left[ \frac{d}{dt} (C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t}) + (\mu + \lambda_\alpha)(C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t}) \right].$$

График функции  $P_0(t)$  изображен на рис. 3.



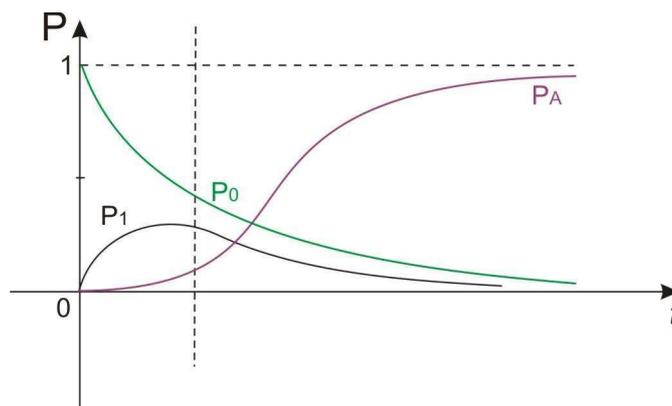
**Рис. 3.** График функции  $P_0(t)$

$$P_A(t) = \frac{\lambda \lambda_\alpha}{\sqrt[2]{\left(\frac{\lambda + \mu + \lambda_\alpha}{2}\right)^2 - \lambda \lambda_\alpha}} \left( \frac{1 - e^{r_1 t}}{|r_1|} + \frac{1 - e^{-r_2 t}}{|r_2|} \right)$$



**Рис. 4.** График вероятности  $P_A(t)$  авиационного происшествия во времени

Графическая зависимость вероятностей  $P_1(t)$ ,  $P_0(t)$  и  $P_A(t)$  на одном графике представлена на рис. 5.



**Рис. 5.** Совместное изменение вероятностей системы и их стремление к финальным вероятностям

Нахождение системы в одном из состояний является достоверным событием и сумма всех вероятностей равна 1.

Информационная база для выполнения расчетов приведена в табл. 1, 2. Общее количество ошибок равно 2220. Из них одна ошибка привела к авиационному происшествию, 2219 ошибок было парировано инструкторами.

Отсюда

$$\mu = \frac{2219}{2450} = 0,905714285; \quad \lambda_{\alpha} = \frac{1}{2450} = 0,000408163; \quad \lambda = \frac{2220}{2450} = 0,906122448.$$

Если просуммировать отдельные  $\lambda_i$ , то  $\mu = 0,803\dots$

В конечном итоге, эта система 29 дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Она сведется к одному дифференциальному уравнению 29-го порядка. Если попытаться её решить операционным методом с получением оригинала по теореме разложения, то это приведет к решению алгебраического уравнения 29-й степени.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богачев С.К. Авиационная эргономика. – М.: Машиностроение, 1978.
2. Бугаев Б.П., Денисов В.Г. Пилот и самолет. – М.: Машиностроение, 1976.
3. Гузий А.Н., Скрипник Ф.И. Основы безопасности полетов. – Киев: КИИ ГА, 1981.
4. Жулев В.И., Иванов В.С. Безопасность полетов летательных аппаратов. - М.: Транспорт, 1986. - С. 138 - 140.
5. Калачев Г.С. Самолет, летчик и безопасность полета. – М.: Машиностроение, 1976.

#### CREATION OF STUDENT-PILOT RELIABILITY PROBABILISTIC MATHEMATICAL MODEL BASED ON ANALYSIS ACCORDING TO ERRORS STATISTICS DURING TRAININGS

Lebedev A.M., Neskin V.A.

It is examined the probabilistic mathematical model of student-pilot reliability, intensity of student's errors events, intensity of student's errors correction by the instructor, also the intensity of event's cascade (errors) that are not corrected by the instructor ( equal to aviation event-incident, catastrophe and so on ).The solution of the system can be made analytically.

**Key words:** flight safety, reliability, intensity of mistaken actions.

#### Сведения об авторах

**Лебедев Алексей Михайлович**, 1947 г.р., окончил Казанский авиационный институт (1971), доктор технических наук, профессор кафедры естественных научных дисциплин, автор более 120 научных работ, область научных интересов – математическое моделирование, безопасность полётов.

**Неськин Владимир Александрович**, 1960 г.р., окончил Ульяновское высшее авиационное училище гражданской авиации (2005), аспирант кафедры лётной эксплуатации и безопасности полётов УВАУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – безопасность полётов.

УДК 629.735:629.7(07):658/562:621.396:681.5:338.45(075.8)

## РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА АВИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ КВАДРАТИЧНОЙ ЗАВИСИМОСТИ УЩЕРБА ОТ ОТКЛОНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ

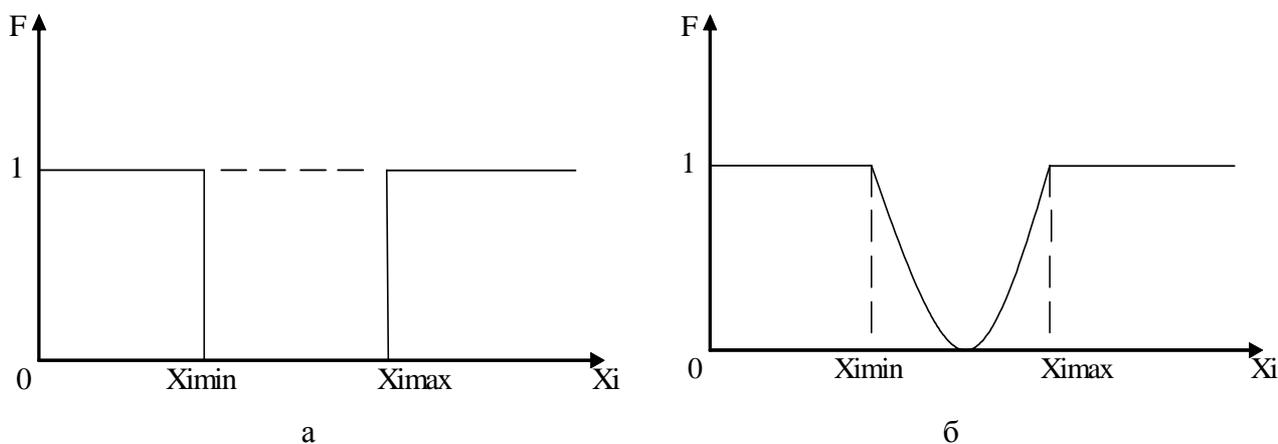
С.И. КРАСНОВ, А.М. ЛЕБЕДЕВ

В статье рассмотрено качество авиационной безопасности как услуги, так и качество персонала службы авиационной безопасности, технических средств обеспечения и качества выполнения работ. Предложена структура критериев качества на основе новых тенденций.

**Ключевые слова:** авиационная безопасность, система, потери, поверхности качества.

Понятие авиационной безопасности и соответственно качества авиационной безопасности выделилось из концепций безопасности полетов и связанного с ней качества сравнительно недавно. Поэтому при формулировании требований к качеству авиационной безопасности необходимо учесть последние тенденции, возникшие в управлении качеством. Качество авиационной безопасности как качество услуги проявляет себя через восприятие пассажиров, перевозчиков и других потребителей и характеризуется как логическая переменная или бинарная величина.

Рассмотренное качество авиационной безопасности является следствием качества выполнения работ (досмотров, проверок), качества персонала службы авиационной безопасности (САБ) и качества технического оборудования обеспечения авиационной безопасности (ТСО АБ). Определение последних составляющих качества авиационной безопасности значительно более сложная задача и характеризуется более широким набором понятий. В конечном итоге должны существовать критерии качества для каждой составляющей. Критерии могут быть функциями логических переменных или функциональными зависимостями этих переменных, или комбинацией этих двух критериев. В настоящее время в общей теории управления качеством появились новые концептуальные подходы. В течение последних столетий существовал принцип Тейлора, который ввел функцию потери качества. Если контролируемый параметр находится в пределах поля допуска ( $X_{imin}; X_{imax}$ ), то объект контроля считается годным (рис. 1а), где F-функция потери качества.



**Рис. 1.** Функции потери качества:

а - функция потери качества по Тейлору; б - функция потери качества по Тагучи

В послевоенные годы функцию потери качества пересмотрел Тагучи, и он ввел ее как параболу, вписанную в участок, где она по Тейлору равна нулю [1], при этом:  $X_{ин}$  – номинальное значение контролируемого признака;  $X_{ином} = \frac{X_{i\min} + X_{i\max}}{2}$ ,  $X_{i\max} - X_{i\min} = T$ ;  $X_{i\max}$  – верхняя граница допуска;  $X_{i\min}$  – нижняя граница допуска;  $T$  – ширина поля допуска;  $X_i$  – текущее значение контролируемого параметра, тогда

$$F = \left[ \frac{2}{T} \left( X_i - \frac{X_{i\max} + X_{i\min}}{2} \right) \right]^2.$$

Тагучи предложил оценивать тот ущерб, который некачественная продукция может причинить обществу. Ущерб, который терпит заказчик из-за несоблюдения его требований, пропорционален квадрату величины отклонения показателей качества. Это надо учитывать, устанавливая требования к качеству производственных процессов.

Формулированием требований к критериям качества занимался Ф. Кросби, который получил связь зависимости отклонения контролируемых параметров от показателя качества. Интегрированным показателем качества выступает ущерб потребителя

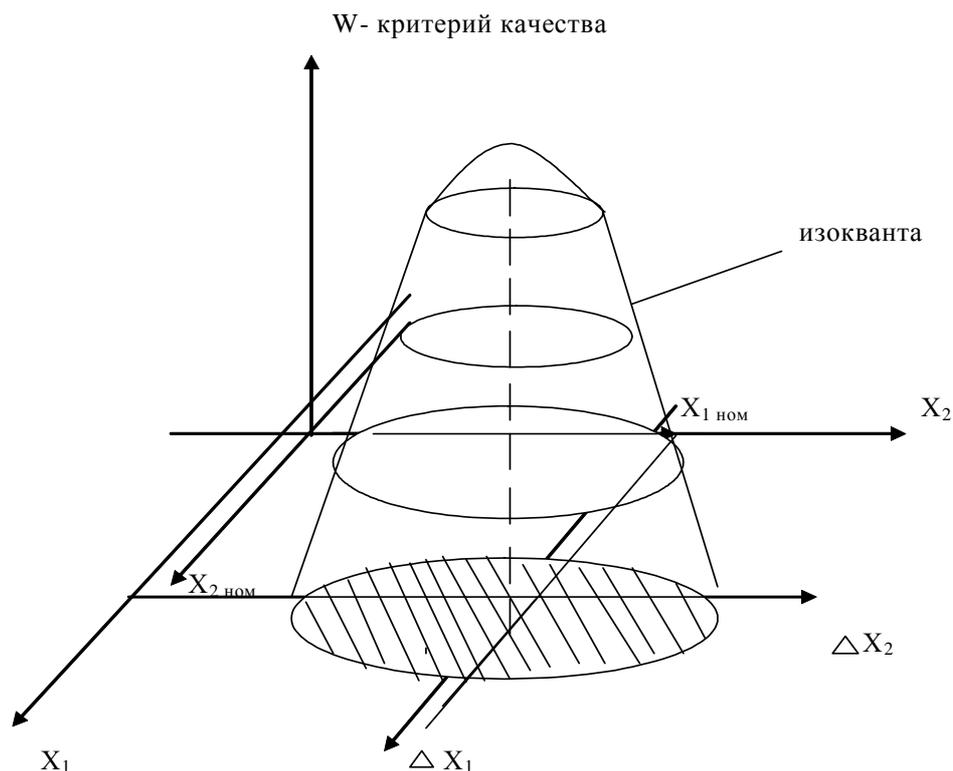
$$\text{Ущерб} = k \left( \sum_{i=1}^n a_i \Delta X_i^2 \right),$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $a_i$  – весовой коэффициент отклонения контролируемого параметра от номинального значения  $\Delta X_i = X_i - X_{ином}$ .

Аналогичные критерии качества были введены Л.Г. Евлановым [2]. Подробное исследование этих критериев приведено в работе [3].

Такие критерии представляют собой функцию нескольких вещественных переменных. Область их определения представляет собой  $n$ -мерное пространство, ограниченное гиперэллипсоидом качества в пространстве контролируемых параметров и эллиптическим гиперцилиндром, если учитывать наличие контролируемых параметров, ограниченных с одной стороны. С учетом значения критерия качества, которое представляет собой  $(n+1)$ -мерную компоненту, это будет гиперповерхность качества.

Как правило, такая гиперповерхность является выпуклой или вогнутой в зависимости от знакопостоянства матрицы Гессе. В области допустимых значений контролируемых параметров существует экстремум (максимум или минимум) показателя качества. Поверхности уровня этой гиперповерхности качества являются изоквантами. В целом гиперповерхность будет эллиптическим гиперпараболоидом, сечение ее гиперплоскостью параллельной плоскости контролируемых параметров будет гиперэллипсоидом. Вид поверхности для трехмерного пространства представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** Вид поверхности качества

Применение квадратичных критериев качества позволит повысить качество авиационной безопасности. Определение параметров критерия качества можно провести, основываясь на методах статистического анализа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Александровская Л.Н. Современные методы обеспечения безопасности сложных технических систем. - М.: Логос, 2003.
2. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем. - М.: Наука, 1967.
3. Лебедев А.М. Теория и методы синтеза автоматизированных систем диагностического управления, контроля и испытаний бортовых систем и комплектов воздушного судна в целях обеспечения летной годности и безопасности полетов: монография. - Ульяновск: УВАУ ГА, 2005.

#### AVIATION SECURITY QUALITY CRITERIA DEVELOPMENT BASED ON LOSS QUADRATIC DEPENDENCE ON DIVERGENCE OF SYSTEM PARAMETERS

Krasnov S.I., Lebedev A.M.

The paper studies quality of aviation security qua service, aviation security service personnel, security engineering, performed works and based on recent trends quality criteria structure.

**Key words:** security, system, losses, surface quality.

#### Сведения об авторах

**Краснов Сергей Иванович**, 1959 г.р., окончил Всесоюзный юридический заочный институт (1985), кандидат философских наук, ректор УВАУ ГА (И), автор более 40 научных работ, область научных интересов – комплекс вопросов обеспечения авиационной безопасности.

**Лебедев Алексей Михайлович**, 1947 г.р., окончил Казанский авиационный институт (1971), доктор технических наук, профессор кафедры естественно-научных дисциплин УВАУ ГА, автор более 120 научных работ, область научных интересов - безопасность полетов, математическое моделирование испытаний.

УДК 629.73:35.078

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АВИАПРЕДПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

А.С. АГЕЕВ

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

В статье представлена методика проведения экспертных оценок деятельности авиапредприятия гражданской авиации, направленной на повышение уровня безопасности полетов.

**Ключевые слова:** повышение уровня безопасности полетов, анкетирование, авиапредприятия ГА, экспертные оценки.

При решении ряда практических задач, связанных с повышением БП, приходится сталкиваться с большим числом критериев и неопределенностью, обусловленной недостаточной информацией, причем не всегда информация выражается числом. Такое положение возникает и при оценке деятельности авиапредприятия ГА, направленной на повышение уровня БП. В этом случае предоставляется целесообразным использовать вспомогательную информацию, полученную при проведении анкетирования командно-руководящего состава авиапредприятия ГА.

Целью проведения анкетирования является исследование информационного обеспечения БП в авиапредприятии ГА и анализ предложений по проведению организационно-методических мероприятий в подразделениях авиапредприятия по повышению уровня БП.

В качестве информационной базы для повышения уровня БП берется АСУ ПАП ГА. Эта система позволяет охватывать и систематизировать большое количество информации.

Однако существуют вопросы, которые требуют учета работы специалистов авиапредприятия, их непосредственной оценки П/Ф, событий, приводящих к инцидентам и их мнению по повышению уровня БП.

Анкетирование специалистов авиапредприятия ГА позволило уточнить следующие вопросы:

- качество и полнота руководящих документов;
- качество, достаточность, целенаправленность поступающей в авиапредприятии ГА информации;
- причины, приводящие к отклонению в выполнении руководящих документов;
- необходимая степень контроля профессиональной подготовки;
- личное мнение специалистов авиапредприятий ГА о возможностях повышения уровня БП;
- влияние на уровень БП взаимосвязи служб авиапредприятия ГА и ряд других вопросов.

Для проведения данного эксперимента использовались аналитические экспертные оценки, которые позволили получить качественные признаки объекта (процесса). Основу всех этих методов составляет устанавливаемое экспертом предпочтение одного объекта (события и т.п.) перед другими с точки зрения меры качества, существенного в условиях данной задачи.

К основным методам проведения аналитических экспертных оценок относятся [1, 2]:

- ранжирование;
- ранжирование с приписыванием удельных весов;
- последовательное сравнение;
- частичное попарное сравнение;
- полное парное сравнение.

Во многих работах показано, что парные сравнения, ранжировки и последовательные сравнения приводят почти к идентичным результатам. Поэтому, исходя из минимума затрат времени для экспериментов целесообразно использовать ранжирование с применением удельных весов.

Определение оценок относительного предпочтения методам Черимена-Акофа основано на последовательном выполнении двух процедур: производство оценок путем сравнения каждого объекта (службы, процесса) с "наилучшим" и теста на логичность, состоящего в парном сравнении каждого объекта с комбинацией других объектов. Рассмотрим реализацию метода на примере.

Некоторый эксперт упорядочивает объекты А, Б, С, Д по степени важности влияния на уровень БП ( $A > B > C > D$ ). Объекту А, результат работы которого эксперт считает важнейшим, присписывается «Вес»  $v_1 = 300$ .

Остальным объектам присписываются «Веса»  $v_B = 80$ ,  $v_C = 50$ ,  $v_A = 30$ , отражающие, по мнению эксперта, степень важности достигнутого научного результата.

Применяем «Тест на логичность». Производится сравнение влияния объекта А с влиянием совокупности объектов В, С, Д на уровень БП, т.е. выясняется, предпочитает ли эксперт объект А всем остальным объектам вместе взятым. Предположим: эксперт утверждает, что результат А предпочтительнее. Тогда следует уменьшить значение оценок В, С, Д так, чтобы выполнялось неравенство.

Например, можно принять

$$v_B = 40, v_C = 25, v_D = 15.$$

Сравним теперь В с совокупностью С и Д. Тогда требуется дальнейшее изменение первоначальных оценок. Например, можно  $v_B = 40$ ,  $v_C = 30$ ,  $v_D = 20$ . В итоге все эти значения не противоречат мнениям эксперта. Определение оценок закончено. Однако часто производится «нормирование» полученных оценок по формуле

$$v_i = \frac{v_i}{v_\Sigma}, \quad (1)$$

где  $v_i$  - вес каждого объекта;  $v_\Sigma$  - сумма всех весов объекта ( $v_A, v_B, v_C \dots v_i \dots$ ).

Практическое применение методов экспертных оценок возможно при выполнении некоторых условий, которым должны удовлетворять сравниваемые объекты.

1. Условия определенности цели. В условии поставленной перед экспертами задачи должна быть сформулирована цель сравнения объектов, т.е. указано назначение получаемых результатов.

В данной статье ставятся следующие цели (экспертные оценки будут проводиться по всем службам авиапредприятия ГА):

- определить факторы, которые указывают наиболее существенное влияние на уровень БП;
- какая степень контроля необходима для устранения причин, приводящих к инцидентам;
- как сказывается на уровне БП взаимосвязь отдельных служб авиапредприятия ГА.

2. Условие общности уровня и группы подразделения, к которым относятся сравниваемые объекты. Если достижение основной цели сопоставления (повышения общего уровня БП) предполагает достижение цели группок независимых подцелей (техническое состояние ВС, управление воздушным движением, аэродромная служба и т.д.), каждая из которых распадается на подцели следующего уровня (например, техническое состояние: оперативное ТО, периодическое ТО, текущий ремонт и т.д.), то сравнению могут подлежать только объекты, относящиеся к одному уровню и к одной группе подразделений.

3. Условие транзитивности индивидуальных предпочтений (постулат логичности эксперта). Это условие состоит в том, чтобы эксперт, предполагая предпочтение  $A > B$  и  $B > C$ , в то же время предлагал предпочтение  $A > C$ , но не наоборот.

4. Условие независимости относительного предпочтения объектов А и В от расположения в ряду предпочтения третьего объекта С. Встречаются задачи, в которых оценки предпочтения некоторых пар объектов зависят от расположения в ряду предпочтения других объ-

ектов. В этом случае для правильного решения задачи недостаточно получить от экспертов одни только аналитические оценки. Необходимо поставить перед экспертами вопрос о вскрытии взаимного влияния расположения объектов.

5. Условия применения оценок предпочтения, выраженных с помощью балльной шкалы. Для того чтобы приписывание балльных оценок сравниваемых объектов имело смысл, необходимо, чтобы оцениваемые объекты могли образовывать некоторые комбинации (смеси), и выработанные балльные оценки удовлетворяли следующим постулатам смесей [4]:

– весовые оценки объектов должны быть выбраны так, что если совокупность объектов (деятельность служб, информация и т.д.) предпочтительнее объекта А, то и сумма оценок этих объектов больше оценки объекта А;

– если объекты могут участвовать в комбинации не только в целом, но и по частям, то абсолютная величина вклада части объекта С в комбинацию должна зависеть от величины этой части, но не от того, с каким именно объектом и с какой частью того или иного объекта образуется комбинация.

То есть если  $v_A > v_B$ , то  $v_{\alpha(AB)} > v_{\alpha(BC)}$  - все объекты должны образовывать аналогичные комбинации, т.е. если может существовать комбинация а (АВ) и оценка этой комбинации

$$v_{\alpha(AB)} = K_A v_A + K_B v_B, \quad (2)$$

то может существовать аналогичная комбинация объектов А с любым другим объектом С, причем оценка этой комбинации определяется по формуле

$$v_{\alpha(AC)} = K_A v_A + K_C v_C.$$

Для обработки аналитических экспертных оценок используются статистические методы.

Основными задачами статистической обработки ранговых экспертных оценок являются определение показателя обобщенного мнения, характеристик положения объекта и характеристик неопределенности положения объекта.

Пусть имеется  $n$  экспертов, производящих ранжирование объектов. Положение рабочего объекта А в совокупности ранжировок можно характеризовать с помощью следующих показателей:

1. Частота присвоения объекту А ранга 1 (частота максимально возможных оценок для объекта А):

$$P_A = \frac{\text{число экспертов, присвоивших А ранг 1 } (n_A)}{\text{общее число объектов}} \quad (3)$$

2. Модальный ранг  $r_{Mo}$  - ранг, присвоенный объекту наибольшим числом экспертов.

3. Для каждой пары объектов А и В может быть определена частота предпочтения объекта А объекту В и наоборот. Эти величины обозначаются  $P(A>B)$  и  $P(B>A)$ . Неопределенность положения объекта по совокупности экспертных ранжировок можно характеризовать с помощью следующих показателей:

1. Концентрация экспертных оценок возле модального ранга: указывается процент (доля) экспертов, присвоивших объекту модальный ранг, и два ранга, смежным с модальным.

2. Размах (диапазон) отклонений объекта: указываются максимальный и минимальный ранги, присвоенные объекту.

3. Неопределенность взаиморасположения двух объектов А и В можно характеризовать меньшей из величин  $P(A>B)$  или  $P(B>A)$ . Таким образом, максимальная неопределенность расположения объектов будет равна 0,5 при  $P(A>B)=P(B>A)$ . В качестве примера приведены вопросы анкеты, которую предполагается использовать для проведения анкетирования в эксплуатационных подразделениях ГА:

1. Использование какой поступающей в авиапредприятие ГА информации наиболее эффективно для предупреждения инцидентов (пронумеровать по степени важности):

а) информация Департамента и УГА по БП;

- б) анализы производственной деятельности и состояния БП, проводимые комитетом МАК;  
в) информация систем «Безопасность-1» и «Безопасность-2».
2. Какая информация, необходимая Вам еще для работы по обеспечению БП?
  3. Какая поступающая к Вам информация по БП не используется в работе?
  4. Ваше мнение о системах «Безопасность-1», «Безопасность-2», «Надежность АТ», о путях их совершенствования?
  5. Какая информация о деятельности Вашего подразделения позволяет наиболее объективно судить об уровне БП в подразделении?
  6. Какая еще информация о деятельности подразделения на Ваш взгляд может использоваться для контроля уровня БП в подразделении?
  7. Какие факторы в деятельности других родственных эксплуатационных подразделений в наибольшей степени влияют на деятельность Вашего подразделения по обеспечению БП?
- Полученные с привлечением эвристических методов анализа результаты дали возможность, используя аппарат факторного анализа [15], построить некоторые модели, связывающие между собой уровень БП в авиапредприятии ГА и параметры, характеризующие деятельность подразделений авиапредприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Зубков Б. В., Шаров В. Д.** Теория и практика определения рисков в авиапредприятиях при разработке системы управления безопасностью полетов. - М.: МГТУ ГА, 2010.
2. Руководство по информационному обеспечению автоматизированной системы обеспечения безопасности полетов ВС гражданской авиации Российской Федерации (АСОБП). - М.: ООО "Аэронавигационное консалтинговое агентство", 2002.

#### TECHNIQUE OF CARRYING OUT OF EXPERT ESTIMATIONS OF ACTIVITY OF AVIATION ENTERPRISE ON SAFETY OF FLIGHTS

Ageev A.S.

In article the technique of carrying out of expert estimations of activity of aviation enterprise of the civil aircraft directed on increase of level of safety of flights is presented.

**Key words:** increase of level of safety of flights, questioning, aviation enterprises, expert estimations.

#### Сведения об авторе

**Агеев Александр Сергеевич**, 1984 г.р., окончил МГТУ ГА (2010), аспирант МГТУ ГА, автор 3 научных работ, область научных интересов – безопасность полетов, управление качеством работы авиапредприятий.

УДК 629.735.067

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОДХОДА К ПРОВЕДЕНИЮ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ АВИАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

М.В. КАРМЫЗОВ, С.В. МОНАХОВА

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

В статье представлена методика интегральной оценки летной годности авиационных газотурбинных двигателей гражданской авиации в условиях эксплуатации.

**Ключевые слова:** интегральная оценка, производственная безопасность, авиационное предприятие.

Результаты анализа современных методов оценки технически сложных систем указывают на тот факт, что для более достоверной оценки состояния многопараметрического объекта, которым может являться как самолет, так и авиационно-транспортная система в целом, необходима совокупность различных параметров, их характеризующих.

Одним из путей обеспечения достоверной информации о техническом состоянии авиационных и производственных систем является использование научных подходов, основанных на обобщении априорной статистической информации оцениваемых эксплуатационных и производственных параметров, характеризующих его работу. Кроме того, целесообразнее использовать параметры, обладающие максимальной информативностью, дополняющие и уточняющие друг друга.

Из-за большой сложности задач такого рода и достаточно высоких требований к точности и детальности их решения первенствующее значение имеют не аналитические, а численные методы решения, которые, в противоположность аналитическим методам, оперируют исключительно конкретными числами. При этом каждый частный случай получает смысл самостоятельной задачи со своим решением, применимым только в условиях этого случая.

Существует ряд подходов к интегральной оценке состояния технических систем [3,4,6]. Они сводятся к выявлению обобщенного параметра состояния объекта. Идея заключается в том, что процесс постепенного изменения уровня работоспособности, безопасности или надежности, характеризуемый многими компонентами, описывается одномерной функцией, численные значения которой зависят от контролируемых компонентов процесса. Такая функция рассматривается как обобщенный параметр процесса. При этом может оказаться, что показатель не имеет конкретного физического смысла, а является математическим выражением, построенным искусственно из контролируемых компонентов процесса.

Интегральный показатель должен соответствовать определенным требованиям. Эти требования, в числе других, предусматривают так называемую обработку частных параметров контроля, включающую:

- ранжирование их по степени значимости;
- определение среди частных параметров критерия, имеющего решающее значение при установлении состояния объекта.

Частные параметры ранжируют на 3 группы: существенные, второстепенные и несущественные. Для каждой группы определяют по статистическим данным свои весовые коэффициенты и назначают пределы допуска. Среди существенных параметров выбирается один, изменение которого полагают определяющим при оценке реакции состояния объекта в целом [1]. Практическое использование такого подхода при подготовке частных параметров для включе-

ния их в качестве составляющих в интегральный показатель представляется затруднительным, поскольку в каждом конкретном случае решающее значение для оценки состояния объекта или системы может иметь любой параметр, уход которого за пределы допуска способен повлиять на безопасность. Таким образом, предлагаемый подход к ранжированию частных параметров в большей степени ориентирован для использования при организации планово-предупредительной стратегии эксплуатации и не вполне применим для эксплуатации техники по фактическому техническому состоянию.

К интегральному показателю предъявляются следующие основные требования, которые должны:

- максимально характеризовать качество объекта;
- быть критичным к изменению частных параметров;
- характеризовать наступление критического состояния объекта.

Исходя из этого, при свертке частных параметров к обобщенному необходимо решить следующие задачи:

- определить относительные значения частных параметров;
- оценить значимость частного параметра для оценки состояния объекта;
- построить математическое выражение для обобщенного параметра.

Определение относительных значений частных параметров считают необходимым, поскольку состояние объекта или системы может характеризоваться параметрами, имеющими различную размерность. Все контролируемые параметры приводят к единой системе измерения, в которой они могут быть сравнимы друг с другом. Одной из таких систем является система безразмерного (нормированного) относительного исчисления [5]. Для каждого параметра  $a_i$  ( $i = 1, n$ ) выделяют допустимое значение  $a_i^*$ , при достижении которого объект теряет работоспособность, и оптимальное, с точки зрения надежности, значение  $a_{ionm}$  (как правило, оно равно номинальному значению  $a_{ином}$ ). Если в процессе функционирования объекта или системы соблюдается условие  $a_i(t) > a_i^*$ , тогда можно записать безразмерный (нормированный) параметр  $a_i'(t)$  в виде

$$a_i'(t) = \frac{a_i(t) - a_i^*}{a_{ionm} - a_i^*}. \quad (1)$$

На практике изменение частного параметра ограничено определенным диапазоном и определено верхней и нижней границами:  $a_{ин}^* \leq a_i(t) \leq a_{ис}^*$  (рис. 1).

$$\text{Если } a_{ionm} \geq a_i \geq a_{ин}^*, \text{ то } a_i'(t) = \frac{a_i(t) - a_{ин}^*}{a_{ionm} - a_{ин}^*}.$$

$$\text{Если } a_{ionm} \leq a_i \leq a_{ис}^*, \text{ то } a_i'(t) = \frac{a_i(t) - a_{ис}^*}{a_{ionm} - a_{ис}^*}.$$

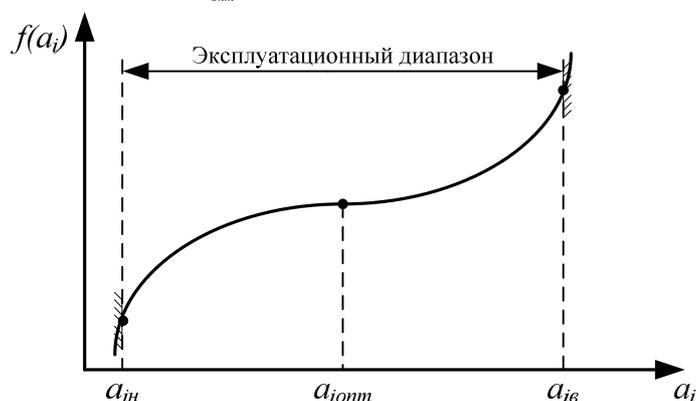


Рис. 1. Распределение значения  $a_i'(t)$  относительно  $a_{ionm}$

Таким образом, с помощью выражения (1) нормируется параметр  $a_i(t)$ , а безразмерная нормированная величина  $a_i'(t)$  изменяется с течением времени в диапазоне:  $1 \geq a_i'(t) \geq 0$ . Отсюда, по величине  $a_i'(t)$  судят о степени работоспособности объекта по данному параметру. Для решения частных задач предлагаются и другие нормирующие выражения применительно к конкретным случаям

$$\begin{aligned} a_i'(t) &= a_i(t) / a_{i0} \quad \text{или} \quad a_i'(t) = a_i(t) / a_{in}; \\ a_i'(t) &= a_i(t) / a_{imax}; \\ a_i(t) &= a_i(t) / Ma_i; \\ a_i(t) &= [a_i(t) - a_{imy}] / a_{imy}, \end{aligned}$$

где  $a_i$ ,  $a_{i0}$ ,  $a_{imax}$ ,  $a_{imy}$ ,  $Ma_i$  - соответственно текущее, нулевое, максимальное, заданное по техническому условию (ТУ) значения и математическое ожидание 1-го параметра.

В случае несоблюдения условия  $a_i(t) \leq a_i^*$ , значение безразмерного (нормированного) частного параметра становится меньше нуля  $a_i'(t) < 0$ . Это свидетельствует о выходе данного параметра за допустимое значение и требует перехода от интегральной оценки летной годности к частным методам оценки.

Следовательно, нормирование параметров позволяет получить совокупность безразмерных величин, которые характеризуют состояние объекта.

Тем не менее количественно одинаковое изменение этих величин не является равнозначным по степени влияния на изменение уровня безопасности и работоспособности объекта исследования. Поэтому необходимо дифференцировать частные параметры. Этот процесс осуществляется с помощью весовых коэффициентов, величины которых характеризуют существенность соответствующих параметров. При оценке состояния объекта, каждому из частных параметров  $a_1, a_2, \dots, a_n$  ставят в соответствие весовые коэффициенты  $k_1, k_2, \dots, k_n$ , удовлетворяющие тем или иным заданным критериям.

Учитывая принятые условия, интегральный показатель  $I_{up}$  принимает следующий вид

$$I_{up} = \sum_{i=1}^n a_i'(t) \cdot k_i \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $n$  – количество частных параметров, входящих в интегральный показатель;  $a_i(t)$  – частный показатель, изменяющийся  $0 \leq a_i(t) \leq 1$ ;  $k_i$  – весовой коэффициент значимости частного показателя.

Коэффициенты значимости устанавливаются эмпирическим путем на основе опыта эксплуатации рассматриваемого объекта или системы. При этом необходимо руководствоваться условием  $\sum_{i=1}^n k_i = 1$ , а коэффициент принимает значения  $k_i \geq 0,03$  при условии  $n \leq 10$ . Это ограничение необходимо для обеспечения значимости частных показателей, имеющих наименьшую информативность, но входящих в интегральный показатель.

Значения частных параметров, их верхние и нижние эксплуатационные границы, а также оптимальные значения и весовые коэффициенты отображены в табл. 1.

Оценив уровень безопасности, надежности, работоспособности и т.п., согласно предложенной методике, необходимо установить нормативные значения. По полученному значению можно будет судить об ее оставшемся запасе и отслеживать тенденции дальнейшего изменения состояния исследуемого объекта или системы.

В зависимости от уровня, в котором находится оцененный показатель  $I_{up}$ , принимается дальнейшее решение об мероприятиях, направленных на дальнейшее воздействие на объект наблюдения. Выявляются опасности, степени их влияния, а также вырабатываются меры и рекомендации по их устранению.

Как правило, устранить все существующие опасности невозможно и экономически не выгодно. В данном случае вступает в силу правило выбора приоритетных направлений [5]. На практике должен быть найден баланс между стоимостью и практичностью различных решений.

Наряду с очевидными преимуществами обобщенной оценки состояния технических систем, рассмотренные подходы к определению обобщенного параметра обладают определенными недостатками, затрудняющими их практическое использование.

Таблица 1

	1	2	3	$i$	$n$	
Характерный параметр $a_i$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_i$	$a_n$	
Нижнее предельное значение $a_{ин}^*$	$a_{1н}^*$	$a_{2н}^*$	$a_{3н}^*$	$a_{ин}^*$	$a_{нн}^*$	
Верхнее предельное значение $a_{ив}^*$	$a_{1в}^*$	$a_{2в}^*$	$a_{3в}^*$	$a_{ив}^*$	$a_{нв}^*$	
Оптимальное значение параметра $a_{ином}$	$a_{1ном}$	$a_{2ном}$	$a_{3ном}$	$a_{ином}$	$a_{нном}$	
Приведенное значение параметра $a_i'(t)$	$a_1'(t)$	$a_2'(t)$	$a_3'(t)$	$a_i'(t)$	$a_n'(t)$	$\sum a_i'(t) \leq n$
Весовой коэффициент $k_i$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_i$	$k_n$	$\sum k_i = 1$

Необходимость введения весовых коэффициентов для учета определяющих нормированных частных параметров приводит к снижению объективности общей оценки уровня работоспособности объекта, поскольку решение этой задачи базируется на использовании статистических данных без учета технологических и эксплуатационных особенностей конкретного объекта. Обобщенные и нормированные частные параметры лишены физического смысла, что также затрудняет оценку существенности их влияния на состояние объекта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. - М.: Мир, 1976.
2. Ицкович А.А. Надежность летательных аппаратов и авиадвигателей. - М.: МГТУ ГА, 1995. - Ч. 2.
3. Кутепов А.М., Полянин А.Д., Запрянов З.Д., Вязьмин А.В., Казенин Д.А. Химическая гидродинамика. - М.: Бюро Квантум, 1996.
4. Лэнинг Дж.Х., Бэттин Р.Г. Случайные процессы в задачах автоматического управления. - М.: Изд-во иностр. лит., 1958.
5. Сиротин Н.Н., Коровкин Ю.М. Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей. - М.: Машиностроение, 1979.
6. Смирнов Н.Н., Владимиров Н.И., Черненко Ж.С. Техническая эксплуатация летательных аппаратов. - М.: Транспорт, 1990.
7. Кармызов М.В. Разработка методики интегральной оценки летной годности авиационных ГТД гражданской авиации в условиях эксплуатации: дис. . . . канд. техн. наук. - М.: МГТУ ГА, 2010.

#### THE INTEGRATED ESTIMATION OF THE AVIATION JET ENGINES FLIGHT VALIDITY

Karmyzov M.V., Monakhova S.V.

This article about the method of an integrated estimation of the flight validity aviation jet engines for civil aircraft.

**Key words:** Integral assessment, industrial safety, aviation enterprise.

#### Сведения об авторах

**Кармызов Максим Валерьевич**, 1984 г.р., окончил МГТУ ГА (2007), кандидат технических наук, старший преподаватель ЕАТК, автор 20 научных работ, область научных интересов - оценка уровня безопасности полетов и летной годности авиационной техники.

**Монахова Светлана Валерьевна**, окончила МГТУ ГА (2000), кандидат технических наук, доцент ЕАТК, автор 15 научных работ, область научных интересов - производственная безопасность на предприятиях и в организациях ГА.

УДК 629.735.015.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА СИСТЕМЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АВИАРЕМОНТНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Ю.А. БОРИСОВ, Б.А. СОЛОВЬЁВ

В статье обоснована необходимость особого подхода к разработке информационной поддержки управления авиаремонтным предприятием в условиях рыночной экономики. Сформулированы предложения по разработке двух контуров управления: оперативного и стратегического. Рассмотрено взаимодействие блоков контура стратегического управления при принятии решения о реализации управляющих воздействий. Дана методология разработки «стратегической модели авиаремонтного предприятия» и получение среднесрочного прогноза деятельности предприятия при реализации управляющих воздействий. Приведены примеры функционирования контура стратегического управления.

**Ключевые слова:** руководство предприятия, контур, блок, стратегическая модель.

В условиях рыночной экономики при наличии конкуренции промышленные предприятия в силу изменения рыночной конъюнктуры и действий конкурентов периодически попадают либо в условия, благоприятствующие развитию бизнеса, либо в условия, представляющие опасность для бизнеса. В первом случае руководство предприятия при наличии резервов должно принять решение о внесении изменений в производственный процесс и, если необходимо, в структуру предприятия, позволяющих реализовать новые рыночные условия. Во втором случае руководство предприятия принимает меры по парированию негативного воздействия рынка. И в первом и во втором случаях решение должно приниматься как можно быстрее. Даже правильное, с опозданием принятое решение может не дать ожидаемого эффекта.

Руководство предприятия сможет принимать правильные и своевременные решения, если будет иметь так называемую информационную поддержку, решающую две задачи.

Суть первой задачи – выдача руководству в режиме online данных о состоянии рынка и статусе конкурентов и прогнозе их поведения на некоторое время вперед.

Суть второй задачи – обеспечить руководство инструментами, позволяющими спрогнозировать изменение показателей предприятия при различных изменениях производственного процесса и структуры предприятия с тем, чтобы выбрать вариант, наилучший для возникших условий.

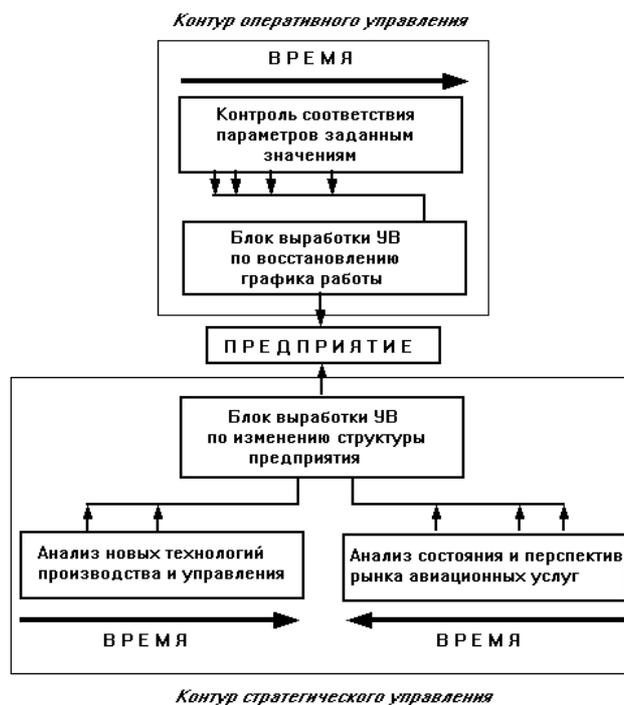
Помимо этих двух задач, назовём их стратегическими, информационная поддержка должна обеспечить решение оперативной задачи, т.е. должна обеспечить данными, позволяющими в режиме online определять отклонения производственного процесса от принятого за норму и вырабатывать мероприятия, ликвидирующие эти отклонения [2].

Укрупнённая схема системы управления предприятием, обеспечивающей решение вышеперечисленных задач информационной поддержки, приведена на рис. 1.

*Контур оперативного управления* предназначен для обеспечения функционирования предприятия в плановом режиме. Функционирование *контура оперативного управления* подробно описано в работе [3].

*Контур стратегического управления* обеспечивает защиту предприятия от негативных внешних воздействий (ухудшения условий на рынке, агрессивного поведения конкурентов и др.) и способствует дальнейшему развитию предприятия. Основой этого контура управления являются квалифицированные и опытные эксперты в области рынка, а также в области финансового, технического, технологического и других аспектов управления предприятием. Эксперты в области рынка внимательно следят за тем сегментом рынка, в котором работает предприятие, анализируют поведение имеющихся и потенциальных потребителей продукции предпри-

ятия и политику конкурентов и, используя собранную информацию, с помощью моделирования прогнозируют изменение ситуации на рынке на некоторое время вперёд. В двух случаях вся информация о состоянии рынка и прогнозе изменения передаётся в блок выработки управляющих воздействий.



**Рис. 1.** Укрупнённая схема системы управления

Первый случай, когда состояние рынка и прогноз весьма благоприятны для дальнейшего развития предприятия. Второй случай, наоборот, когда состояние рынка и прогноз свидетельствуют о возможном уменьшении спроса на продукцию предприятия, что может сказаться неблагоприятно на деятельности предприятия [1]. Эксперты в области рынка, а также в области финансового, технического, технологического и других аспектов управления предприятием внимательно следят за применяемыми на родственных предприятиях технологиями и методами управления, а также за новинками науки и техники. В тех случаях, когда, по мнению экспертов, полученная информация может способствовать совершенствованию производства, вся информация передаётся в блок выработки управляющих воздействий. Эксперты, курирующие этот блок, подробно анализируют информацию и вырабатывают несколько вариантов по изменению структуры и/или производственного процесса, которые, по их мнению, могут привести к получению ожидаемого эффекта. Все варианты «проигрываются» на «стратегической модели предприятия (СМП)», которая позволяет получить для каждого варианта прогноз поведения предприятия и изменения показателей эффективности. В процессе расчёта для каждого варианта определяются необходимые для его реализации ресурсы: финансовые, кадровые, территориальные, производственные и другие. Таким образом, материал подготавливается для принятия ЛПР окончательного варианта воздействия. Принятый ЛПР вариант становится основой для составления бизнес-плана, реализующего изменения в структуре предприятия и/или производственного процесса. «Стратегическая модель предприятия» отличается от «оперативной модели предприятия», прежде всего, глубиной прогноза. ОМП прогнозирует поведение производства на период длительности производственного цикла продукции, а СМП составляет прогноз предприятия на несколько лет. Основные блоки ОМП в модернизированном виде входят в состав СМП.

Как и в [3], в качестве авиаремонтного предприятия, применительно к которому будет рассмотрен контур стратегического управления, примем упрощенный вариант авиаремонтного предприятия ОАО «СПАРК», ремонтирующего вертолёты семейств Ми-8 и Ка-32, а также их агрегаты с меньшим межремонтным ресурсом.

Вертолётный рынок авиационных услуг состоит из двух частей. Первая часть это услуги, которые выполняются вертолётами, в интересах потребителей (лиц и организаций), не входящими в структуру гражданской авиации. Эта часть рынка сегментируется на: перевозки пассажиров и грузов и на выполнение авиационных работ. В силу ряда причин вертолётами перевозятся так называемые служебные пассажиры. Например, вахтовые бригады, обслуживающие нефтедобывающие в море платформы, медицинский персонал в труднодоступной местности, специалисты и грузы при освоении полярных и антарктических станций. Это далеко не полный перечень услуг этого сегмента рынка.

Перечень услуг в сегменте «авиационные работы» многообразен, вот только некоторые:

- контроль с воздуха состояния нефтепроводов и газопроводов, доставка ремонтных бригад на место аварий;
- монтажные строительные работы: установка фрагментов высотных сооружений, монтаж и демонтаж строительных конструкций и технологического оборудования в стеснённых условиях и другие;
- различного вида съёмки: фото, гравитометрическая, акустическая и другие;
- пожарное патрулирование;
- тушение пожаров;
- установка опор линий электропередач и раскатка проводов.

Вторая часть рынка авиационных услуг – оказание услуг организациям, владельцам или арендаторам вертолётов, оказывающим в свою очередь авиационные услуги в первой части рынка. В этой части рынка можно выделить три сегмента:

- техническое обслуживание вертолётов – оперативное и периодическое обслуживание (выполнение регламентных работ) и обеспечение этих работ необходимым оборудованием, запасными частями и расходными материалами;
- капитально-восстановительный ремонт и ремонт аварийных вертолётов, а также ремонт агрегатов, снятых с вертолёта в период эксплуатации;
- подготовка, переподготовка и повышение квалификации лётного и технического состава, эксплуатирующего вертолёты.

В каждом из сегментов рынка авиационных услуг действуют несколько конкурирующих между собой организаций, отличающихся друг от друга, иногда очень значительно. Каждый сегмент рынка формирует требования к организациям, работающим в этом сегменте. Для освоения некоторых сегментов требуются большие капиталовложения, например, покупка вертолётов для обслуживания крупной нефтедобывающей компании. Для других – освоенные современные информационные технологии и опытный квалифицированный персонал, например, для обучения лётного и технического состава. Практика показывает, что практически все организации, желающие работать на рынке авиационных услуг, находят себе место.

В контур стратегического управления рассматриваемого авиаремонтного предприятия входят два блока, которые являются «возмутителями» производственной жизни авиапредприятия (рис. 1).

*Блок анализа состояния и перспектив рынка авиационных услуг*

Ядром этого блока является группа квалифицированных, разноплановых экспертов-аналитиков. Первая задача этой группы – создать банк данных (своеобразный информационный портрет) для каждого сегмента рынка авиационных услуг как в России, так и в зарубежных странах. В банке должны быть сведения как об организациях потребителей авиационных услуг, так и об организациях поставщиках авиационных услуг (конкурентах), с описанием количест-

венных и качественных характеристик услуг и их объёмов. Вторая задача – следить и прогнозировать изменение состояния сегментов рынка авиационных услуг. Решение этих двух задач должно позволить экспертам определить момент, когда предприятие сможет начать работу в определённом сегменте рынка или расширить в нём своё присутствие. О появившейся возможности сообщается в блок выработки управляющих воздействий. Сообщение в блок выработки управляющих воздействий выдаётся также в случае, когда, по мнению экспертов-аналитиков, возникает опасность ухудшения положения предприятия в каком-либо сегменте рынка авиационных услуг.

#### *Блок анализа новых технологий производства и управления*

Ядром этого блока также является группа опытных и квалифицированных в соответствующих областях науки и техники экспертов-специалистов. Эта группа решает две следующие задачи. Первая задача – знакомиться с прогрессивными технологиями передовых предприятий и следить за новинками науки и техники. Вторая задача – анализировать используемые на предприятии технологические процессы и системы управления и находить возможность их замены на новые, более прогрессивные. О появившейся возможности эксперты сообщают в блок выработки управляющих воздействий.

#### *Блок выработки управляющих воздействий*

Задача блока - подобрать (определить) наилучший вариант управляющих воздействий, реализация которого позволит за счёт совершенствования показателей продукции предприятия повысить эффективность производства и улучшить его положение на рынке авиационных услуг. Не конкретизируя, управляющие воздействия можно объединить в группы:

- технологическое совершенствование процесса ремонта выпускаемой продукции – замена некоторых технологических процессов на более совершенные и/или введение новых технологических процессов;
- организация выпуска новой для предприятия продукции;
- модернизация стендового и иного оборудования, используемого в производственном процессе предприятия;
- совершенствование деятельности организационной структуры предприятия;
- совершенствование работы обеспечивающих служб и подразделений: материально-технического снабжения, маркетинга и других.

Группа экспертов, изучив все обстоятельства сложившейся на рынке ситуации и ориентируясь на реальные возможности предприятия, разрабатывает несколько вариантов управляющих воздействий. Каждый вариант «проигрывается» на «стратегической модели предприятия». Цель – получить среднесрочный или долгосрочный прогноз деятельности предприятия. При прогнозировании выясняется: какое финансовое обеспечение потребуется, достаточно ли имеющихся на предприятии кадров, возможна ли реализация этого варианта управляющих воздействий на имеющихся площадях, какое положение в соответствующем сегменте рынка будет занимать предприятие и многое другое. Полученные результаты передаются ЛПР для выбора окончательного варианта и принятия решения.

«Стратегическая модель предприятия» формируется на базе «оперативной модели предприятия», модернизированной для учёта рассматриваемого варианта управляющих воздействий. Модернизация заключается в замене технологических цепочек и элементов «старых» технологий на технологические цепочки и элементы «новых» технологий. Если управляющие воздействия предусматривают выпуск новой для предприятия продукции, то формируется оперативная модель для новой продукции, и она наравне с моделями выпускаемой продукции участвует в формировании «оперативной модели предприятия».

С помощью «оперативной модели предприятия» формируется годовой портрет предприятия – определяются результаты работы предприятия за год, а именно, выпуск продукции по всем позициям, себестоимость продукции, цена продукции по всем позициям, прибыль, норма

прибыли, кредиты, материально-техническое обеспечение, численность рабочих, ИТР и аппарата управления и другие необходимые для прогноза показатели. При определении выпуска и цены продукции учитывается прогноз состояния рынка авиационных услуг, составленный специалистами блока анализа рынка.

Несколько примеров функционирования контура стратегического управления ОАО «СПАРК».

1. После преобразования государственного АРЗ № 21 в ОАО «СПАРК» появилась возможность выхода на рынок авиационных услуг как в России, так и за рубежом. Анализ сегмента рынка авиационных услуг – профессиональная подготовка, поддержание и повышение квалификации и переподготовка пилотов вертолётов семейства Ми-8 – показал отсутствие и потребности в новых образовательных технологиях, ориентированных на использование современной вычислительной техники как в России, так и за рубежом. Было принято решение о создании современного Учебного центра на территории ОАО «СПАРК». Размещение Учебного центра на территории авиаремонтного предприятия давало большие преимущества. Преподаватели учебного центра могли проводить занятия в цехах и использовать натурные узлы и агрегаты как в собранном состоянии, так и в разобранном виде, в качестве учебных пособий. Наличие лётно-испытательного подразделения позволяло, при необходимости, организовать учебные полёты. Была образована группа соответствующих специалистов для разработки и последующего внедрения профессионально ориентированных образовательных технологий. Специалистами этой группы были разработаны компьютерные обучающие программы, компьютерные дисплейные тренажёры практически для всех модификаций семейства Ми-8 (Ми-8Т, Ми-8МТВ, Ми-8АМТ). Помимо этого совместно с фирмой – разработчиком программного обеспечения был изготовлен и введён в эксплуатацию первый в мире комплексный тренажёр вертолёта Ми-8МТВ с современной системой визуализации. Были решены вопросы финансирования и определены сроки окупаемости средств, затраченных на создание Учебного центра. Проект был реализован и оказался успешным. К настоящему времени в Учебном центре прошли подготовку и повышение квалификации более 3000 пилотов и техников, из них более 250 из зарубежных стран. Путём передачи разработанных компьютерных программ в учебные подразделения некоторых российских авиакомпаний изучение теоретического материала курсов повышения квалификации пилотов перенесено на территорию авиакомпаний.

2. В тот же период предприятие ОАО «СПАРК» стало выходить на зарубежный рынок технического обслуживания и ремонта вертолётов семейства Ми-8, принадлежащих зарубежным авиакомпаниям в разных странах мира. Сначала выездные бригады по мере потребности выполняли регламентные работы, используя привозимое с собой оборудование. Вертолёты, работавшие межремонтный ресурс, доставлялись в Россию и ремонтировались на территории ОАО «СПАРК». Прогноз этих сегментов рынка показал устойчивое увеличение покупаемых зарубежными авиакомпаниями вертолётов семейства Ми-8 и необходимость предложения на рынке новых видов организации технического обслуживания и ремонта. Такие виды были разработаны специалистами ОАО «СПАРК» и предложены зарубежным авиакомпаниям. Для разного количества вертолётов в авиакомпании и разных условий их использования были предложены 4 уровня Сервисных центров. Первый уровень предусматривал организацию технического обслуживания на территории авиакомпании и капитальный ремонт на территории ОАО «СПАРК» в России. Четвёртый уровень предусматривал организацию технического обслуживания и капитального ремонта вертолётов на территории авиакомпании. Второй и третий уровни были промежуточными вариантами: планер и часть агрегатов предполагалось ремонтировать в Сервисном центре на территории авиакомпании, другую часть – в России на территории ОАО «СПАРК». Работа с руководством одной из авиакомпаний, показ выгоды предложений позволил ОАО «СПАРК» заключить контракт на создание на территории авиакомпании Сервисного центра 3 уровня с последующим превращением в Сервисный центр 4 уровня. Для выполнения контракта был разработан бизнес-план, определены ресурсы, необходимые для его выполнения, и составлена оперативная модель контракта. С помощью моделирования была оп-

ределена возможность выполнения контракта совместно с основной деятельностью ОАО «СПАРК» на имеющихся производственных площадях и потребность в дополнительных специалистах. Диспетчирование производства велось с помощью новой оперативной модели предприятия, сформированной с учётом оперативной модели контракта. Помимо Сервисного центра авиакомпания заказала создание Учебного центра с использованием разработанного в ОАО «СПАРК» методического и программного обеспечения учебного процесса. В контракте предусматривалась подготовка преподавателей для Учебного центра и специалистов для Сервисного центра в Учебном центре ОАО «СПАРК». К настоящему времени контракт выполнен, Сервисный и Учебный центры успешно работают. Специалисты по маркетингу ведут работу по заключению новых контрактов.

3. Специалисты блока анализа новых технологий выяснили, что появились новые лакокрасочные покрытия и новые технологии их нанесения. Эти покрытия по сравнению с лакокрасочными покрытиями, применяемыми при покраске вертолётов после ремонта в ОАО «СПАРК», обладали лучшими свойствами по долговечности, износоустойчивости и внешнему виду. Применение новых технологий покраски позволяло надеяться на повышение цены ремонта вертолётта и получение новых заказов. Примерно в то же время специалисты блока анализа рынка сообщили о желании заказчиков улучшить качество лакокрасочного покрытия ремонтируемых в ОАО «СПАРК» вертолётов. Специалистами ОАО «СПАРК» были выполнены технологические проработки по замене старой технологии покраски на новую технологию. Было выяснено, что для покраски по новой технологии нужны: другие марки лакокрасочных покрытий, новое краскораспыляющее оборудование, специально подготовленный ангар с системами обеспыливания, вентиляции и сушки. По технологическим проработкам была составлена смета на выполнение всех подготовительных работ, в том числе на постройку нового ангара для окончательной покраски вертолётов по новой технологии. Изменения в «оперативную модель вертолётта» вносились в вертолётты всех модификаций и комплектаций и заключались в замене технологических цепочек покраски по старой технологии на технологические цепочки покраски по новой технологии. По процедурам, описанным выше, формировались «оперативная модель предприятия» и «стратегическая модель предприятия». Среднесрочное прогнозирование деятельности с помощью «стратегической модели предприятия» позволило составить график потребного финансирования и определить время окупаемости затрат. Проект модернизации процесса покраски вертолётов был успешно осуществлён. Впоследствии на базе ОАО «СПАРК» была проведена международная конференция по новым технологиям лакокрасочных покрытий.

## Заключение

Успешное стратегическое управление современным авиаремонтным предприятием должно иметь информационную поддержку, включающую: банк данных новых технологий, прогноз развития рынка авиационных услуг, среднесрочное прогнозирование деятельности предприятия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барзилович Е.Ю., Лончаков Ю.В., Николайкин Н.И. Оптимальное управление состоянием систем на основе решений, упреждающих неблагоприятные ситуации: монография. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2006.
2. Батищев В.И., Яговкин Н.Г. Методология поддержки принятия решений при управлении интегративными крупномасштабными производственными системами. - Самара: Российская академия наук, Самарский научный центр, 2008.
3. Борисов Ю.А., Арцыман С.М. Информационная поддержка оперативного управления авиаремонтным предприятием // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2010. - № 155.
4. Гипич Г.Н., Чинючин Ю.М. Некоторые вопросы современного состояния и развития авиационной деятельности в России // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2004. - № 75 (9).

**INFORMATION SUPPORT OF STRATEGIC MANAGEMENT  
SYSTEM AT THE AIRCRAFT OVERHAUL COMPANY****Borisov J.A., Solovjev B.A.**

The article explains why an information support of an aircraft overhaul company management needs a specialized approach in a market economy. It suggests the development of operational and strategic management frames and studies the interaction of strategic management frame blocks while making a decision on the control action implementation. The article contains the methods of the strategic management development at the aircraft overhaul company, describes how to obtain a medium-term forecast of the company activity in implementing of control action and gives a case study of the strategic management frame work.

**Key words:** management, circuit, block, strategic model.

**Сведения об авторах**

**Борисов Юрий Александрович**, 1956 г.р., окончил РИИГА (1978), кандидат технических наук, генеральный директор СПАРК, автор 10 научных работ, область научных интересов – поддержание летной годности воздушных судов, современные технологии управления производствами в сфере авиационных услуг.

**Соловьёв Борис Александрович**, 1932 г.р., окончил ЛКВВИА им. А.Ф. Можайского (1956), доктор технических наук, профессор СПбГУ ГА, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, автор более 100 научных работ, область научных интересов – поддержание летной годности воздушных судов, современные образовательные технологии.

УДК 347.821.4

## ОЦЕНКА ОБЩЕГО РИСКА КАТАСТРОФ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ RVSM В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И РЕГИОНЕ ЕВРАЗИЯ

В.В. КРАВЦОВ

**Статья представлена доктором технических наук Спрысковым В.Б.**

В статье рассматриваются методы оценки общего риска катастроф воздушных судов при внедрении и последующем использовании RVSM в Российской Федерации и государствах, участвующих в проекте Евразия RVSM.

**Ключевые слова:** безопасность полетов, риск катастроф, общий риск, RVSM.

В декабре 2009 г. по инициативе Российской Федерации Европейское/Североатлантическое бюро ИКАО образовало Целевую группу по внедрению сокращённых интервалов вертикального эшелонирования в восточной части европейского региона (Евразия RVSM). Участниками проекта по внедрению RVSM в регионе Евразия стали: Российская Федерация, Казахстан, Монголия, Таджикистан, Туркменистан, Кыргызстан, Узбекистан и Афганистан. Планируемой датой внедрения является 17 ноября 2011 г. [1]. Так как в настоящее время во всех других регионах мира переход на RVSM уже осуществлен, внедрение RVSM в воздушном пространстве государств региона Евразия будет являться завершающим этапом перехода к всемирному использованию RVSM.

В соответствии с требованиями ИКАО [2] при внедрении и последующем использовании RVSM необходимо обеспечить соблюдение требуемых показателей безопасности полетов, а именно:

- технический риск не должен превышать  $2.5 \times 10^{-9}$  катастроф на час полета;
- общий риск не должен превышать установленного на основе регионального соглашения ( $5 \times 10^{-9}$  катастроф на час полета [1]).

Исходя из обозначенных в [2] двух подходов, разработанных для оценки общего риска в регионах NAT и EUR, в регионе Евразия следует выполнить:

- определение возможных причин, приводящих к атипичным отклонениям ВС по высоте;
- выявление характерных участков атипичных отклонений на основе декомпозиции возможных схем атипичных отклонений ВС по высоте;
- определение математической модели оценки риска для характерных участков атипичных отклонений;
- определение методов оценки параметров математической модели с целью нахождения требуемого перечня и объема исходных данных;
- определение методов сбора исходных данных;
- организацию сбора данных, их обработку и проведение расчетов общего риска.

### Причины и характерные участки атипичных отклонений ВС по высоте

Учитывая практику внедрения RVSM в других регионах ИКАО, для региона Евразия в качестве возможных причин появления атипичных отклонений ВС по высоте рассматривались ошибки УВД и/или экипажа, особые случаи в полете, влияние турбулентности, срабатывание БСПС и др. Указанные причины имеют разную природу, но все они могут привести к большим (атипичным) отклонениям высоты ВС, принятым согласно [2] равным или превышающим 300ft (90м).

Декомпозиция возможных схем больших отклонений позволяет выявить следующие три характерных участка траектории ВС, различными сочетаниями которых можно описать любой процесс атипичного отклонения ВС по высоте:

- участок с отклонением в пределах эшелонов полета, смежных к заданному;
- участок неразрешенного пересечения соседнего эшелона полета;
- участок пребывания ВС на неразрешенном эшелоне полета.

### Расчет риска для участков атипичных отклонений в пределах эшелонов полета, смежных к заданному

Исходя из [2],[3], при моделировании атипичных отклонений ВС, не приводящих к пересечению смежных эшелонов, их допустимо рассматривать в виде процессов случайных отклонений высоты от заданного эшелона с нулевой систематической составляющей. Как и при расчете технического риска, полагается, что большое отклонение по высоте в пределах смежных эшелонов не влияет на ВС, находящиеся на эшелонах, несмежных заданному. Таким образом, нет принципиальной разницы в моделировании риска катастроф для типичных отклонений ВС и атипичных, которые не приводят к пересечению смежных эшелонов полета.

Практически целесообразным и широко используемым является подход, при котором оценку доли общего риска за счет атипичных отклонений менее величины минимума вертикального эшелонирования производят путем оценки риска за счет всех отклонений в пределах смежных эшелонов. То есть получают суммарное значение риска за счет типичных отклонений и атипичных, не превышающих по величине минимума вертикального эшелонирования  $S_z$ .

Математическая модель для расчета риска катастроф с учетом типичных отклонений и больших отклонений без пересечения смежных эшелонов полета представляется в следующем виде

$$N_{az}^* = P_z(S_z)^* \cdot P_y(0) \cdot n_z(opp) \cdot \left[ 1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \cdot \frac{|\bar{y}|}{2|\bar{V}|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \cdot \frac{|\bar{z}|}{2|\bar{V}|} \right] +$$

$$+ P_z(S_z)^* \cdot \sum_{i=1}^n n_z(cross(\Theta_i)) \left[ 1 + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{|\bar{z}|}{|V_{zop}^{omu}(\Theta_i)|} \cdot \frac{\lambda_{xy}}{\lambda_z} \right], \quad (1)$$

где  $N_{az}^*$  - риск катастроф за счет типичных отклонений и больших отклонений без пересечения смежных эшелонов полета;  $P_z(S_z)^*$  - вероятность вертикального перекрытия ВС на смежных эшелонах за счет типичных отклонений и больших отклонений без пересечения смежных эшелонов полета;  $P_y(0)$  - вероятность бокового перекрытия ВС при выдерживании одной линии заданного пути;  $n_z(opp)$  - частота перекрытий ВС на встречных направлениях;  $n_z(cross(\Theta_i))$  - частота перекрытий ВС на  $i$ -й паре пересекающихся маршрутов;  $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$  - осредненные размеры ВС соответственно по длине, ширине и высоте;  $\lambda_{xy}$  - осредненный габарит ВС в горизонтальной плоскости;  $|\bar{y}|, |\bar{z}|$  - модули средних относительных скоростей ВС в боковом и вертикальном направлениях;  $|\bar{V}|$  - средняя путевая скорость движения ВС;  $|V_{zop}^{omu}(\Theta)| = |\bar{V}| \sqrt{2(1 - \cos \Theta)}$  - модуль средней относительной скорости ВС в горизонтальной плоскости при движении по смежным пересекающимся маршрутам;  $\Theta_i$  - угол между  $i$ -й парой

пересекающихся маршрутов.

Значение  $P_z(S_z)^*$  представляется в виде

$$P_z^*(S_z) = \int_{-\lambda_z}^{\lambda_z} f^{a_z^*}(S_z, a_z) da_z, \quad (2)$$

где  $f^{a_z^*}$  - плотность вероятности относительного вертикального расстояния между ВС на смежных эшелонах за счет типичных отклонений и атипичных отклонений без пересечения смежных эшелонов полета;  $a_z$  - относительное вертикальное расстояние между ВС на смежных эшелонах  $a_z = S_z + z_1 - z_2$ ;  $z_1, z_2$  - отклонения от заданного эшелона воздушных судов, находящихся на смежных эшелонах.

Принимая, что отклонения ВС на смежных эшелонах независимы и имеют одинаковое вероятностное распределение, значения плотности вероятности  $f^{a_z^*}$  равно

$$f^{a_z^*}(S_z, a_z) = \int_{-\infty}^{\infty} f^{TVE^*}(z) f^{TVE^*}(S_z + z - a_z) dz, \quad (3)$$

где  $f^{TVE^*}$  - плотность вероятности отклонений ВС с учетом типичных отклонений и атипичных отклонений без пересечения смежных эшелонов полета.

Учитывая (3), выражение (2) записывается в виде

$$P_z^*(S_z) = \int_{-\lambda_z}^{\lambda_z} \int_{-\infty}^{\infty} f^{TVE^*}(z) f^{TVE^*}(S_z + z - a_z) dz da_z. \quad (4)$$

На практике это выражение может быть аппроксимировано как

$$P_z^*(S_z) \approx 2\lambda_z \int_{-\infty}^{\infty} f^{TVE^*}(z) f^{TVE^*}(S_z + z) dz. \quad (5)$$

Плотность вероятности  $f^{TVE^*}$ , определяющая  $f^{a_z^*}$ , равна

$$f^{TVE^*}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f^{ASE^z}(a_1) \cdot f^{AAD^*}(z - a_1) da_1, \quad (6)$$

где  $f^{ASE^z}$  - средневзвешенная плотность вероятности ошибок ASE (полностью равна принятой при расчете технического риска);  $f^{AAD^*}$  - суммарная плотность вероятности ошибок выдерживания заданного эшелона за счет типичных отклонений и больших отклонений без пересечения смежных эшелонов полета ( $AAD_{amin+amin}$ ).

Плотность вероятности  $f^{AAD^*}$ , как и в случае расчета технического риска, отражает вероятность отклонений ВС от заданного эшелона полета, но в данном случае помимо  $AAD_{min}$  дополнительно учитывает и большие отклонения, не превышающие величины минимума вертикального эшелонирования  $AAD_{amin}$ . Тип  $f^{AAD^*}$  может соответствовать различным законам распределения. В случае DE-распределения  $AAD_{min}$  целесообразно принять, что плотность вероятности  $f^{AAD^*}$  представляет собой взвешенную сумму DE-плотностей, характеризующих типичные и атипичные отклонения и записывается в виде

$$f^{AAD^*}(a) = (1 - \alpha) \cdot \frac{1}{\sigma_{amin}^{AAD} \sqrt{2}} \cdot e^{\frac{|a|\sqrt{2}}{\sigma_{amin}^{AAD}}} + \alpha \cdot \frac{1}{\sigma_{amin}^{AAD} \sqrt{2}} \cdot e^{\frac{|a|\sqrt{2}}{\sigma_{amin}^{AAD}}}, \quad (7)$$

где  $\sigma_{amin}^{AAD}$  - среднеквадратическое отклонение ВС от заданного эшелона за счет  $AAD_{min}$ ;

$\sigma_{amin}^{AAD}$  - среднеквадратическое отклонение ВС от заданного эшелона за счет  $AAD_{amin}$ ;  $\alpha$  - весовой коэффициент, лежащий в интервале [0,1].

Таким образом, учет доли общего риска, связанного с отклонениями ВС от заданного эшелона полета, проводится путем расчета по формуле (1). При этом вероятность вертикального перекрытия ВС на смежных эшелонах за счет типичных отклонений и больших отклонений без пересечения смежных эшелонов полета  $P_z(S_z)^*$  рассчитывается по формуле (4) или (5). Плотность вероятности  $f^{TVE^*}$  за счет отклонений  $AAD_{min}$  и  $AAD_{amin}$  рассчитывается по формуле (6) с использованием суммарной плотности вероятности ошибок ASE и плотности вероятности  $f^{AAD^*}$ , которая представляется в виде DDE-распределения (7).

### Расчет риска для участков отклонений, связанных с неразрешенным пересечением соседних эшелонов полета

Очевидно, что основными факторами, влияющими на риск катастроф ВС, связанными с неразрешенным пересечением ВС занятого эшелона, являются вероятность продольного и поперечного перекрытия ВС, а также среднее время перекрытия пары ВС в вертикальной плоскости. Это время вертикального перекрытия определяется вертикальными габаритами ВС и их относительной вертикальной скоростью.

Подход, применяемый для расчета общего риска за счет неразрешенных пересечений целого числа эшелонов полета, подобен используемому при расчете технического риска на пересекающихся маршрутах и также подразумевает то, что:

- цилиндр, аппроксимирующий находящийся в переменном вертикальном профиле ВС, охватывается параллельным другому ВС, эшелон которого он пересекает;
- вероятность вертикального перекрытия не зависит от вероятности горизонтального перекрытия ВС.

Риск катастроф для пары ВС можно представить в виде

$$N_{az}^{cl/d} = P_z(S_z)^{cl/d} \cdot P_y(0) \cdot n_z(opp) \cdot \left[ 1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \cdot \frac{|\dot{y}|}{2|\dot{V}|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \cdot \frac{|\dot{z}|}{2|\dot{V}|} \right] + P_z(S_z)^{cl/d} \cdot \sum_{i=1}^n n_z(cross(\Theta_i)) \left[ 1 + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{|\dot{z}|}{|V_{zop}^{omn}(\Theta_i)|} \cdot \frac{\lambda_{xy}}{\lambda_z} \right], \quad (8)$$

где  $N_{az}^{cl/d}$  - риск катастрофы для пары ВС за счет атипичных отклонений, приводящих к неразрешенным пересечениям соседних эшелонов полета;  $P_z(S_z)^{cl/d}$  - вероятность вертикального перекрытия пары ВС за счет атипичных отклонений, приводящих к неразрешенным пересечениям соседних эшелонов полета.

В отличие от расчета технического риска в данном случае применяется иной подход для расчета вероятности вертикального перекрытия и значения относительной вертикальной скорости для пары ВС. Рассматриваемая пара ВС представляется в виде одного ВС, выполняющего горизонтальный полет на заданном эшелоне и второго ВС, пересекающего этот эшелон с вертикальной скоростью  $\dot{z}_c$ . Тогда время вертикального перекрытия рассматриваемой пары ВС

$$t_z = \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|}.$$

Учитывая то, что вероятность вертикального перекрытия ВС соответствует отношению времени пребывания ВС в состоянии вертикального перекрытия к суммарному полетному вре-

мени и проводя обобщение для множества случаев перекрытий, можно записать

$$P_z^{cl/d} = \frac{\sum_i^{n^{cl/d}} \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_{ci}|}}{T_\Sigma}, \quad (9)$$

где  $P_z^{cl/d}$  - вероятность вертикального перекрытия пары ВС при неразрешенных пересечениях одним ВС эшелона другого ВС;  $n_z^{cl/d}$  - общее количество неразрешенных пересечений эшелонов;  $\dot{z}_{ci}$  - скорость  $i$ -го пересечения неразрешенного эшелона;  $T_\Sigma$  - суммарное полетное время всех ВС в рассматриваемом ВП.

Практически допустимо использовать упрощение (9) на основе усреднения  $\dot{z}_{ci}$ , в результате чего выражение (8) можно записать в виде

$$N_{az}^{cl/d} = \frac{n^{cl/d} \cdot \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|}}{T_\Sigma} \cdot \left( P_y(0) \cdot n_z(opp) \cdot \left[ 1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \cdot \frac{|\dot{y}|}{2|\dot{V}|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \cdot \frac{|\dot{z}|}{2|\dot{V}|} \right] + \sum_{i=1}^n n_z(cross(\Theta_i)) \left[ 1 + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{|\dot{z}_c|}{|V_{zop}^{omn}(\Theta_i)|} \cdot \frac{\lambda_{xy}}{\lambda_z} \right] \right), \quad (10)$$

где  $|\dot{z}_c|$  - усредненная скорость пересечения неразрешенных эшелонов.

### Расчет риска для участков отклонений, связанных с пребыванием ВС на неразрешенных эшелонах полета

Математическая модель расчета риска катастроф, связанных с пребыванием ВС на неразрешенных эшелонах полета, подобна модели расчета риска для пары ВС, находящихся на смежных эшелонах. Основным отличием является способ вычисления вероятности вертикального перекрытия  $P_z(S_z)$ .

Вероятность вертикального перекрытия пары ВС  $P_z^{wl}(S_z)$  за счет пребывания одного из ВС на неразрешенном эшелоне полета равна произведению вероятности пребывания этого ВС на неразрешенном эшелоне полета и вероятности его вертикального перекрытия с ВС, находящимся на этом эшелоне

$$P_z^{wl}(S_z) = P^{wl} \cdot P_z(0),$$

где  $P^{wl}$  - вероятность пребывания ВС на неразрешенном эшелоне полета;  $P_z(0)$  - вероятность вертикального перекрытия ВС, номинально движущихся на одном эшелоне.

Таким образом, выражение для расчета записывается в виде

$$N_{az}^{wl} = P^{wl} \cdot P_z(0) \cdot \left( P_y(0) \cdot n_z(opp) \cdot \left[ 1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \cdot \frac{|\dot{y}|}{2|\dot{V}|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \cdot \frac{|\dot{z}|}{2|\dot{V}|} \right] + \sum_{i=1}^n n_z(cross(\Theta_i)) \left[ 1 + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{|\dot{z}|}{|V_{zop}^{omn}(\Theta_i)|} \cdot \frac{\lambda_{xy}}{\lambda_z} \right] \right), \quad (11)$$

где  $N_{az}^{wl}$  - риск катастроф, связанных с пребыванием ВС на неразрешенном эшелоне полета.

Вероятность пребывания ВС на неразрешенном эшелоне полета  $P^{wl}$  связана со временем пребывания ВС на неразрешенном эшелоне.

$$P^{wl} = \frac{1}{T_{\Sigma}} \sum t_i^{wl},$$

где  $t_i^{wl}$  - время пребывания ВС на неразрешенном эшелоне полета при  $i$ -м частном случае;  $T_{\Sigma}$  - суммарное полетное время всех ВС в рассматриваемом ВП.

Принимая количество случаев пребывания ВС на неразрешенном эшелоне полета равным  $n^{wl}$  и вводя среднюю продолжительность пребывания ВС на неразрешенном эшелоне полета  $t_c^{wl}$ , можно записать

$$P^{wl} = \frac{1}{T_{\Sigma}} \cdot n^{wl} \cdot t_c^{wl},$$

$$\text{где } t_c^{wl} = \frac{1}{n^{wl}} \cdot \sum_{i=0}^{n^{wl}} t_i^{wl}.$$

Таким образом, выражение (11) записывается в виде

$$N_{az}^{wl} = \frac{n^{wl} \cdot t_c^{wl} \cdot P_z(0)}{T_{\Sigma}} \cdot \left( P_y(0) \cdot n_z(opp) \cdot \left[ 1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \cdot \frac{|\dot{y}|}{2|\dot{V}|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \cdot \frac{|\dot{z}|}{2|\dot{V}|} \right] + \sum_{i=1}^n n_z(cross(\Theta_i)) \left[ 1 + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{|\dot{z}|}{|V_{zop}^{omn}(\Theta_i)|} \cdot \frac{\lambda_{xy}}{\lambda_z} \right] \right). \quad (12)$$

### Расчет общего риска катастроф, связанных с атипичными отклонениями ВС от разрешенных эшелонов полета

Подытоживая все ранее приведенное, общий риск катастроф по всем возможным причинам, в том числе приводящим к атипичным отклонениям ВС по высоте, вычисляется как

$$N_{az}^{total} = N_{az}^* + N_{az}^{cl/d} + N_{az}^{wl}, \quad (13)$$

где  $N_{az}^{total}$  - риск катастроф за счет всех факторов, приводящих к отклонениями ВС по высоте;  $N_{az}^*$  - риск катастроф за счет типичных отклонений и атипичных отклонений без пересечения смежных эшелонов полета (включает технический риск);  $N_{az}^{cl/d}$  - риск катастроф за счет атипичных отклонений, приводящих к неразрешенным пересечениям соседних эшелонов полета;  $N_{az}^{wl}$  - риск катастроф, связанных с пребыванием ВС на неразрешенном эшелоне полета.

Следует отметить, что приведенная в статье модель оценки общего риска вошла в методику проведения контроля за характеристиками выдерживания высоты воздушных судов, выполняющих полеты в условиях сокращенных интервалов вертикального эшелонирования [4], утвержденную заместителем руководителя Федерального агентства воздушного транспорта.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мастер-план Евразия RVSM, Программа внедрения сокращенного минимума вертикального эшелонирования в воздушном пространстве государств Евразии (Казахстан, Кыргызстан, Монголия, Российская Федерация, Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан). Материалы Целевой группы Евразия RVSM. - М., 2009.
2. Руководство по применению минимумов вертикального эшелонирования в 300 м (1000 ft) между ЭП 290 и ЭП 410 включительно. ICAO Doc 9574, AN/934. - Монреаль, ИКАО. - 2-е изд. - 2002.

3. EUR RVSM Mathematical Supplement, Document RVSM 830, European Organization for the Safety of Air Navigation (Eurocontrol), August 2001.

4. Методика проведения контроля за характеристиками выдерживания относительной высоты воздушных судов, выполняющих полеты в условиях сокращенных интервалов вертикального эшелонирования и обеспечения безопасности полетов в воздушном пространстве Российской Федерации. - М., 2011.

### **OVERALL RISK ASSESSMENT FOR IMPLEMENTATION OF RVSM IN THE RUSSIAN FEDERATION AND EURASIA REGION**

**Kravtsov V.V.**

This article deals with the overall risk assessment for implementation of RVSM in the Russian Federation and Eurasia region.

**Key words:** safety assessment, collision risk, overall risk, RVSM.

#### **Сведения об авторе**

**Кравцов Вадим Всеволодович**, 1966 г.р., окончил МАИ им. С.Орджоникидзе (1988), начальник сектора ФГУП ГосНИИ «Аэронавигация», автор более 25 научных работ, область научных интересов – мониторинг безопасности полетов в воздушном пространстве с RVSM.

УДК 629.735;

## АНАЛИЗ ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ НА ВОЗДУШНЫХ СУДАХ

Д.Р.САРГСЯН

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

В статье анализируется опыт применения альтернативных топлив на воздушных судах, виды и особенности топлив. Описываются требования к СПГ и обеспечению БП.

**Ключевые слова:** альтернативное топливо, виды альтернативных топлив, сжиженный природный газ (СПГ), безопасность полетов (БП).

### Введение

Постоянно нарастающий спрос на авиаперевозки за последние годы развития экономики, а также техники и технологий вызвало большую потребность топливных ресурсов. Вследствие чего инженеры многих ведущих авиастроительных компаний в разных странах, в том числе и в России, начали разработки по обеспечению авиации новым видом топлива. Рассматривается огромное количество альтернатив керосину: *биотопливо, синтетическая нефть, сжиженный природный газ (СПГ), водород*. Весь накопившийся опыт с момента первого в мире полета на альтернативном топливе (самолета Ту-155 в 1988 году) показывает эффективность, экономичность и экологичность разработок в данном направлении.

В российской авиации рассматривается возможность использования СПГ, в частности, из-за запасов природного газа, а также сопутствующие нефтедобыче газы, которые сжигаются в факелах месторождений при добыче нефти. На данном этапе развития гражданской авиации наиболее близки к реализации проекты вертолетов и самолетов, которые применяют в качестве топлива сжиженные попутные газы, получаемые при добыче нефти (*пропан и бутан*).

Переоборудование воздушных судов требует минимальных затрат - лишь переделки топливных баков и системы подачи топлива в двигатели. Также требуется обеспечить аэропорты *криогенными* заправочными станциями, хранилищем топлива и инфраструктуры доставки СПГ до хранилищ. На данном этапе требуется не только участие авиапромышленного комплекса, но и участие газодобывающих компаний для создания соответствующей инфраструктуры.

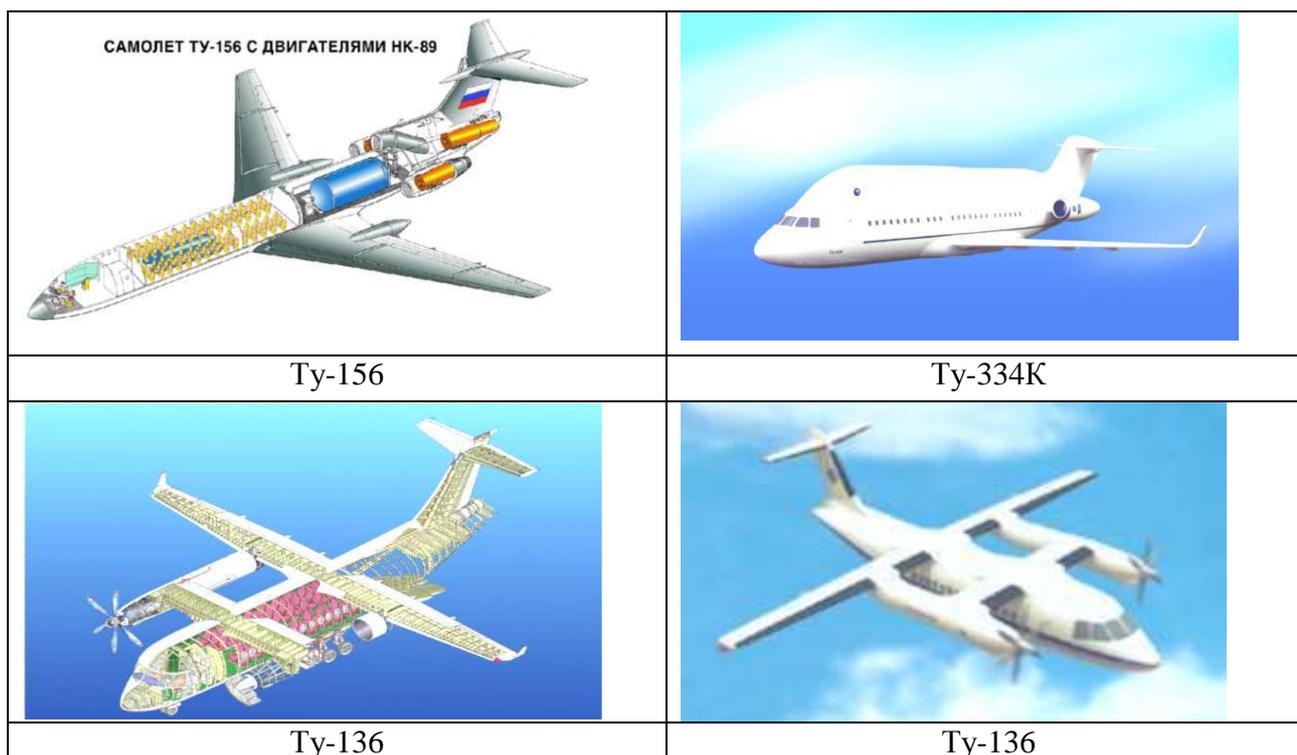
### Опыт применения

Альтернативу авиакеросину начали искать еще в середине XX века. История работ в ОКБ А.Н. Туполева по альтернативным видам топлива уходит в 60-е гг. - уже тогда рассматривалась возможность перевода силовых установок проектируемых в ОКБ А.Н. Туполева самолетов на жидкий водород.

В середине 70-х гг. Академией наук СССР совместно с рядом научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро была разработана программа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по широкому внедрению альтернативных видов топлива в народное хозяйство. Так 15 апреля 1988 года впервые поднялся в небо Ту-155 с экспериментальным двигателем НК-88 на криогенном топливе, который выполнил на СПГ и водороде почти 100 полетов. В октябре 1989 года этот самолет совершил показательный перелет по маршруту Москва-Братислава-Ницца (Франция) на 9-й Международный конгресс по природному газу. В июле 1991 г. самолет совершил полет по маршруту Москва- Берлин для участия в Международном конгрессе по природному газу.

При разработке этого самолета была создана экспериментальная база для испытания крио-

генного оборудования и сложился единственный в мире коллектив высококвалифицированных специалистов в области криогенной авиации. В результате этой работы были определены пути создания самолетных и аэродромных криогенных систем и оборудования. Однако в ОКБ А.Н.Туполева продолжились работы в этом направлении, на уровне технических предложений разработаны проекты модифицированных криогенных самолетов Ту-204 (Ту-204К), Ту-334 (Ту-334К), Ту-330 (Ту-330СПГ), нового регионального самолета Ту-136. Кроме того, эти самолеты будут способны одновременно применять альтернативные топлива и авиационный керосин, что делает их более универсальными и надежными. Наиболее глубоко проработаны модификации самолета Ту-204 (Ту-204К) и проект нового регионального самолета Ту-136, учитывающий особенности криогенного топлива (рис. 1).



**Рис. 1**

Топливная экономичность самолетов Ту-334К и Ту-330СПГ практически не будет отличаться от базовых Ту-334 и Ту-330. Все эти самолеты могут быть переоборудованы под применение СПГ в течение 3-4 лет. Особое внимание заслуживает проект грузопассажирского регионального криогенного самолета Ту-136 с двумя турбовинтовыми двигателями ТВ7-117СФ, способного при небольших доработках применять СПГ, жидкий водород и пропан-бутановое топливо.

### **Виды и особенности альтернативных топлив**

Самым распространенным альтернативным топливом можно считать *сжиженный природный газ (СПГ)*. Газ относится к категории криогенных топлив. Теплофизические и теплотехнические характеристики показывают ряд преимуществ *авиационных сконденсированных топлив (АСКТ)* перед традиционным авиакеросином ТС-1. Также существуют *синтетические топлива*, получаемые из угля, газа, биомасс и растительного масла. Но синтез таких веществ требует дополнительных затрат на переработку угля, биомасс и растительных масел, что дороже керосина, и ему сопутствуют те же проблемы ресурсов и экологии. Поэтому оно вряд ли может рассматриваться как перспективное. Спирты (этиловый и метиловый) и аммиак также могут заменить керосин, но они почти в два раза уступают ему по

теплоте сгорания, следовательно, их удельный расход будет больше. Кроме того, в выхлопе при сгорании этих топлив содержатся вредные окиси азота и углерода.

В качестве альтернативы керосина для авиации может быть рассмотрено криогенное топливо - жидкий *водород*  $H_2$  и легкие углеводороды от *метана*  $CH_4$  до *пентана*  $C_5H_{12}$ .

К преимуществам *водорода* как авиационного топлива можно отнести следующее:

- во-первых, наибольшую теплоту сгорания на единицу массы, что дает удельный расход топлива примерно в три раза меньший, чем у керосина. Это позволяет существенно улучшить летно-технические характеристики самолетов;

- во-вторых, наибольший хладоресурс на единицу массы (в 12-15 раз больше, чем у керосина), что можно эффективно использовать для охлаждения горячих деталей двигателя и самолета;

- в-третьих, повышенную температуру самовоспламенения и меньшую излучательную способность, что положительно скажется на работе камеры сгорания.

Однако водородному топливу присущи недостатки, требующие решения сложных технических проблем. Жидкий водород серьезно уступает стандартным авиакеросинам по объемной теплоте сгорания из-за низкой (почти в 11 раз меньше, чем у керосина) плотности, что значительно ухудшает габаритно-весовые характеристики ЛА при переходе с авиакеросина на водород.

Преимущества легких углеводородов также относятся к категории преимуществ водорода, но отличаются доступностью и дешевизной получения (табл. 1).

Таблица 1

Теплофизические и теплотехнические характеристики водорода, углеводородных компонентов АСКТ и авиационного топлива ТС-1

Показатель	$H$ (водород)	$CH_4$ (метан)	$C_2H_6$ (этан)	$C_3H_8$ (пропан)	$C_4H_{10}$ (бутан)	$C_5H_{12}$ (пентан)	ТС-1
$M$	2,016	16,04	3007	44,10	5812	7215	140
$t_{пл.}, C$	-259,21	-182,49	-183,27	-187,69	-138,33	-129,72	-60
$t_{кип.}, C$	-252,78	-161,73	-88,63	-42,07	-0,50	36,07	180
$t_{ж.с.}, C$	6,43	20,76	94,64	145,62	137,83	165,79	290
пл., кг/м	77,15	453,4	650,7	733,1	736,4	762,2	835
кип., кг/м	71,05	422,4	546,4	582,0	601,5	610,5	665
$Q_H, кДж/кг$	114480	50060	47520	46390	45740	45390	43290
$Q_{в.пл.}, кДж/дм$	8832	22700	30920	34010	33680	34550	36150
$Q_{в.кип.}, кДж/дм$	8136	21150	25970	27000	27530	27710	28900
$H_{исп.}, кДж/кг$	455,1	511,2	485,7	424,0	385,5	3575	287
$t_{св.}, C$	510	542	518	470	405	284	-
$U^*_H, см/с$	267	33,8	40,1	39,0	37,9	38,5	39
$C_H, \%$ (об)	4,1	5,3	3,0	2,2	1,9	-	1,2
$C_B, \%$ (об)	75,0	15,0	12,5	9,5	8,5	-	7,1
$R_O, Дж/(кг C)$	4157,2	518,8	276,7	188,6	143,2	115,5	59,4
$L_O, кг_{возд}/кг_{топл}$	34,5	17,19	16,05	15,65	15,42	15,29	-

СПГ - (*метан*) его плотность (даже при температуре кипения) в 1,7 раза больше, чем у керосина, что приводит к необходимости увеличения объемов топливных баков более чем в 1,5 раза (при равной энергоёмкости). Кроме того, метан имеет очень низкий диапазон нахождения в жидкой фазе (-20 C), низкую критическую температуру (-82,6 C). Это вызывает необходимость

создания для баков, арматуры и коммуникаций топливных магистралей новых хладостойких конструкций у уплотнительных материалов, а также высококачественной низкотемпературной теплоизоляции, предотвращающей быстрое вскипание метана и обледенения конструкции.

В отличие от керосина, метан в камеру сгорания двигателя для исключения двухфазного состояния придется подавать в газообразном виде, что полностью исключает использование штатных топливных агрегатов, коммуникаций, коллекторов и форсунок. Это значительно усложняет конструкцию двигателя, а в ряде случаев делает невозможной его модификацию для питания двумя видами топлива.

Из-за этих же свойств жидкого метана потребуются весьма громоздкие и дорогостоящие наземные средства для его транспортировки, хранения, заправки и т.д., близкие по своим параметрам к водородным. Дооборудование криогенно-топливной базы аэропорта должно включать в себя специальные хранилища, оборудованные тепловой защитой, средствами поддержания криогенного состояния топлива и устройствами, предотвращающими его потери, а также сеть приемораздаточных устройств, парк специальных транспортных средств с теплоизолированными емкостями и т.п.

В то же время по массовой теплоте сгорания метан превосходит керосин на 14%, что обеспечит дальность полета и полезной нагрузки. Сжиженный метан имеет охлаждающую способность в 5 раз выше, чем у керосина, что позволяет использовать хладоресурс для охлаждения деталей и узлов двигателя. Опыт эксплуатации газотурбинных двигателей, применяемых в качестве нагнетателей на компрессорных станциях газопроводов и работающих на природном газе, показал, что срок службы таких двигателей увеличивается на 25%.

### **Безопасность полетов при применении СПГ**

К основным видам опасностей, создаваемых специфическими свойствами, сжижению углеводородных газов, в том числе и СПГ, а также условиями их производства, хранения, транспортировки и заправки относятся: огнеопасность (пожароопасность), взрывоопасность, химическая активность, воздействие низких температур, токсичность. Правила безопасности при производстве, хранении и выдаче сжиженного природного газа (СПГ) на газораспределительных станциях магистральных газопроводов (ГРС МГ) и автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС) содержат организационные, технические и технологические требования по организации безопасности производства, выполнение которых является обязательным для всех предприятий, производящих и перевозящих СПГ, при проектировании и эксплуатации комплексов по производству, хранению и выдаче СПГ.

Для обеспечения безопасной эксплуатации такого топлива необходимо располагать качественными и количественными методами оценки и сравнения каждого вида опасности. Качественная и количественная оценка, т.е. определение вида и степени опасности, позволяет провести сравнительный анализ сконденсированного топлива по критериям опасности, и в перспективе формализовать задачу выбора технических средств и методов безопасной эксплуатации топливных систем, использующих СПГ, а также его хранения и транспортировки.

Требования к кандидатам на получение Сертификата технической подготовленности обслуживанию самолета предъявляются по тем характеристикам, которые непосредственно влияют на обеспечение безопасности полетов и на выполнение производственных заданий в установленные сроки.

К ним относятся:

А - возраст;

Б - психофизическая способность выполнять предстоящую работу;

В - базовая подготовка (вуз, училище, техникум, профтехучилище и т.п.);

Г - специальная подготовка для работы на данном виде воздушного судна или АТ, знание конкретной авиационной техники, назначения и содержания её технического обслуживания, технологии выполнения и контроля качества работ на ней, применяемого оборудования;

Д - умение выполнять работы, предусмотренные функциями, право на осуществление которых представляет запрашиваемый Сертификат;

Е - общий опыт работы на авиационной технике.

Как показал анализ требований по безопасной эксплуатации самолета Ту-154 при заправке и хранении топлива (СПГ), инженерно-технический персонал ИАС должен знать особенности применения этого вида топлива.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативные виды авиационного топлива / Материалы совещания по международной авиации и изменению климата. Документ ИКАО HLM-ENV/09-WP/9.- Монреаль, 10.08.09.
2. [www.tupolev.ru](http://www.tupolev.ru) Криогенная техника.
3. Правила безопасности при производстве, хранении и выдаче сжиженного природного газа (СПГ) на газораспределительных станциях магистральных газопроводов (ГРС МГ) и автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС) ПБ 08-342-00.

#### ANALYSIS EXPERIENCE OF ALTERNATIVE FUELS ON AIRCRAFT

**Sargsyan D.R.**

In article the technique of carrying out of expert estimations of activity of aviation enterprise of the civil aircraft directed on increase of level of safety of flights is presented.

**Key words:** increase of level of safety of flights, questioning, aviation enterprises, expert estimations.

#### Сведения об авторе

**Саргсян Давид Робертович**, 1982 г.р., окончил МГТУ ГА (2010), аспирант МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – безопасность полетов, альтернативное топливо, ремонт и модернизация ВС.

УДК 656.7.08

## АЛГОРИТМ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ОТ ПРИЧИН-ФАКТОРОВ

Р.А. ХАЙДАРОВ

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

В статье представлен алгоритм множественного регрессивного анализа, направленного на повышение уровня безопасности полетов.

**Ключевые слова:** алгоритм, модель, метод регрессивного анализа.

Подсистема «АСУ ПАП ГА» позволяет накапливать большие массивы данных об авиационных происшествиях, инцидентах, чрезвычайных происшествиях, повреждениях ВС. Состав этих данных позволяет, в частности, получать распределение АП, инцидентов чрезвычайных происшествий, повреждений ВС по приведшим к их возникновению П/Ф. Причем, классификатор «АСУ ПАП ГА» содержит разбиение П/Ф по каждому из подразделений авиапредприятия, что дает возможность анализировать и выявлять взаимосвязи между показателями БП и такими П/Ф, которые характеризуют нарушение и отклонения в деятельности отдельных подразделений. При таком анализе представляет интерес проведение исследований в следующих основных направлениях:

- идентификация зависимостей между показателями БП и нарушениями и отклонениями в деятельности подразделений авиапредприятия;
- выявление корреляционных связей между П/Ф, характеризующими нарушения и отклонения в деятельности отдельных подразделений;
- выявление корреляционных связей между П/Ф, характеризующими нарушения и отклонения в деятельности различных подразделений авиапредприятия.

По результатам анализа возможно получение таких практических результатов, как уточнение классификатора «АСУ ПАП ГА» за счет исключения Г1/Ф, слабо влияющих на показатели БП, определение нарушений и отклонений в деятельности различных подразделений, связанных друг с другом, и ряд других.

При проведении исследований в них можно выделить два этапа: во-первых, определение П/Ф, наиболее существенным образом влияющих на изменение показателей БП1, и во-вторых, выявление корреляционных связей между этими П/Ф и идентификация зависимостей показателей БП от П/Ф.

Для определения П/Ф, наиболее существенным образом влияющих на изменение показателей БП, при проведении данного исследования использовался критерий частоты проявления конкретных П/Ф при инцидентах. То есть в первую очередь рассматривались те нарушения, которые наиболее часто проявлялись в инцидентах за анализируемый период времени.

Для идентификации зависимостей показателей БП от П/Ф целесообразно использовать метод линейного по параметрам множественного регрессионного анализа, позволяющий на основе имеющегося статистического материала подобрать некоторую аппроксимацию искомой функциональной связи.

Метод основан на определении параметров исследуемой модели с помощью метода наименьших квадратов.

В общем виде исследуемая модель записывается следующим образом

$$y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 \dots + B_jx_j \dots + B_mx_m + \xi, \quad (1)$$

где  $y$  - зависимая переменная (показатель уровня БП);  $x_j$  - независимая переменная (П/Ф);  $B_j$  - параметр модели;  $j = 0, 1 \dots m$ ;  $\xi$  - ошибка модели.

Под  $x_j$  подразумеваются в общем случае и любые произведения переменных, чье влияние на зависимую переменную исследуется.

Задача состоит в определении оценок  $b_j$  параметров  $B_j$  путем обработки имеющихся результатов наблюдений. При этом в качестве процедуры оценивания используется метод наименьших квадратов, что позволяет получать несмешанные оценки, обладающие минимальными дисперсиями.

Рассмотрим метод регрессионного анализа на примере одномерного случая, т.е. случая, когда исследуемая модель имеет вид

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon. \quad (2)$$

Тогда предсказываемое значение зависимой переменной выражается уравнением

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x, \quad (3)$$

где  $\hat{y}$  - предсказываемое значение зависимой переменной.

Для получения оценок  $b_0$  результаты наблюдений представляются в уравнении (2)

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i. \quad (4)$$

Оценки по методу наименьших квадратов находятся путем минимизации по параметрам и суммы квадратов отклонений от действительной зависимости

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2, \quad (5)$$

где  $S$  - сумма квадратов отклонений от действительной зависимости. Из решения получаемой при этом системы двух уравнений находятся выражения для коэффициентов уравнения регрессии (3)

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x},$$

$$b_1 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \frac{1}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (6)$$

где  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  - математические ожидания величин  $x$  и  $y$ ;  $(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$  - центрированные значения величин.

Для оценки точности полученного уравнения (3) анализируется основное уравнение дисперсионного анализа

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 + \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2, \quad (7)$$

которое получается возведением в квадрат и последующим суммированием обеих частей

$$y_i - \hat{y}_i = y_i - \hat{y}_i - (\bar{y}_i - \bar{y}). \quad (8)$$

Очевидно, что чем ближе к 1 отношение

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2},$$

тем более пригодно полученное уравнение регрессии при использовании для целей предсказания значений зависимой переменной. Отношение  $R^2$  в общем многомерном случае называют множественным коэффициентом корреляции и обычно выражают в процентах.

Другая характеристика точности уравнения регрессии - средний квадрат относительной регрессии  $S^2$  - дает оценку дисперсии относительно регрессии  $\delta^2$ , которая при достаточно большом числе наблюдений представляет ошибку, с которой любое значение  $y$  представляется для данного значения  $x$  по уравнению (3).

Под средним квадратом здесь понимается отношение суммы квадратов  $\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$  к количеству ее степеней свободы (количество степеней свободы показывает, как много независимых элементов информации, получающих из  $p$  независимых чисел, требуется для образования данной суммы квадратов). Все вышесказанное можно обобщить для многомерного случая.

В матричной форме модель (2) записывается в виде

$$y = x\beta + \varepsilon, \quad (9)$$

где  $y$  - вектор наблюдений показателя БП размерности  $(n \cdot 1)$ ;  $x$  - матрица независимых переменных размерности;  $\beta$  - вектор параметров, подлежащих оцениванию, размерности  $(m \cdot 1)$ ;  $\varepsilon$  - вектор ошибок размерности  $(n \cdot 1)$ ;  $n$  - количество наблюдений;  $m$  - количество параметров модели.

Минимизация суммы квадратов ошибок приводит к системе уравнений, решение которой выглядит следующим образом

$$b = (x'x)^{-1} x'y, \quad (10)$$

где  $b$  - оценка вектора  $\beta$  по методу наименьших квадратов;  $x'$  - транспонированная матрица.

Тогда вектор предсказываемых значений определяется из выражения

$$\hat{y} = xb. \quad (11)$$

После нахождения параметров выражения (11) возникает вопрос о том, насколько предложенная модель соответствует действительности. Для ответа на него необходимо провести исследование распределения остатков

$$e_i = y_i - \hat{y}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

т.е. наблюдаемых проявлений ошибок в случае правильности модели. Использование регрессионного анализа основывается на предположении о том, что ошибки независимы и подчиняются нормальному закону распределения с нулевым средним и постоянной дисперсией  $\sigma^2$ . То есть если используемая модель правильна, то графики зависимостей остатков от предсказываемых значений  $\hat{y}$  или от независимых переменных  $\hat{x}$  не должны противоречить вышеизложенным предположениям. В противном случае модель следует уточнить.

Описанный алгоритм множественного регрессионного анализа программно можно реализовать с применением ПЭВМ, а разработанная программа позволяла бы:

- формировать массив исходных данных по нарушениям для каждой из служб авиапредприятия;
- производить выборку из массива исходных данных значений тех переменных, которые принимаются за зависимую и независимые переменные;
- проводить корреляционный анализ статистических данных;
- идентифицировать зависимости показателей БГ1 от П/Ф;
- определять точностные характеристики получаемых регрессионных уравнений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Зубков Б.В., Шаров В.Д.** Теория и практика определения рисков в авиапредприятиях при разработке системы управления безопасностью полетов. - М.: МГТУ ГА, 2010.
2. Руководство по информационному обеспечению автоматизированной системы обеспечения безопасности полетов ВС гражданской авиации Российской Федерации (АСОБП). - М.: ООО "Аэронавигационное консалтинговое агентство", 2002.

---

**THE ALGORITHM OF FACTOR ANALYSIS OF SAFETY INDICATORS  
FROM CAUSES OF FACTORS**

**Haidarov R.A.**

In the article the algorithm of multiple regression analysis, aimed at increasing the level of flight safety.

**Key words:** algorithm, model, a method of regression analysis.

**Сведения об авторе**

**Хайдаров Равшоджон Абдуробиевич**, 1986 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), аспирант МГТУ ГА, автор 3 научных работ, область научных интересов - безопасность полетов.

УДК 656.7.01.078.13; 658.012.2.656.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОНЯТИЙ СВОЙСТВ И СОСТОЯНИЙ В СТАНДАРТАХ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ТРАНСПОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Н.И. ПЛОТНИКОВ

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

Выполняется исследование понятий свойств качества и состояний надежности, эффективности и безопасности для установления меры их взаимосвязи в практическом использовании в стандартах организации производства деятельности транспортных комплексов.

**Ключевые слова:** транспортный комплекс, объект, категория, надежность, задачи наблюдения.

### 1. Введение

Транспортный комплекс (ТК) обладает проектируемыми свойствами<sup>1</sup>, которые мы называем также *ресурсами назначения* объекта производственной деятельности  $O_{TK}$ . Суть *свойства* объекта легко понять в отличии назначения перемещения на плоскости (X, Z) для наземного транспорта и в трехмерном (X, Y, Z) пространстве в назначении летательного аппарата (ЛА). Соответствие назначению устанавливается путем наблюдения изменений и взаимосвязи свойств в *состояниях*, называемых надежностью, эффективностью, безопасностью и т.п. В настоящей работе исследуются понятия свойств и состояний в технических стандартах организации производства транспортных комплексов. Выполняется краткий обзор исследований указанных понятий для установления меры взаимосвязи, иерархии понятий в практическом использовании в стандартах деятельности.

### 2. Содержание проблемы

Проблема исследований и практического применения в стандартах деятельности понятий свойств и состояний ТК структурируется следующим образом. В целом, взаимосвязь и иерархия отношений понятий качества, надежности, эффективности, безопасности и других подобных понятий может считаться крайне сложной и неустановленной. В теоретических описаниях и в стандартах данные понятия смешиваются. Примеры. Понятие надежности продолжительное время именовалось «ключевым свойством» безотказности. В [6] надежность - «свойство готовности и влияющие на него свойства безотказности и ремонтпригодности, и поддержка технического обслуживания». В гражданской авиации в НПП ГА-85 безопасность полетов (БП) называлась «комплексной характеристикой воздушного транспорта и авиационных работ», в [12, 13] БП называется «состоянием». Наблюдение (измерение, оценивание) деятельности ТК есть также установление противоположных мер состояний, например состояния опасности или состояния безопасности. Возникает вопрос, насколько правильно наблюдать состояния в отдельности или совместно для оптимального управления деятельностью. Для наименования совокупности действий в деятельности используются понятия регулирования, управления, обеспечения. Возникает неопределенность, что является объектом регулирования, управления и обеспечения – свойство или состояние объекта.

<sup>1</sup> «Обладанием или *свойством* *hexis* называется проявление некоторой деятельности того, что обладает, и того, чем оно обладает; такое расположение по отношению к другому, например здоровье есть некоторое свойство. Преходящим свойством или *состоянием* *pathos* называется свойство, по отношению которого возможны изменения; разного рода проявления этих свойств и применения их». Аристотель. Метафизика [5, с. 244].

### 3. Постановка задачи

В проектировании объекта  $O_{TK}$  состояния могут составлять следующее выражение

$$O_{TK} : \{TK\} S_i \xrightarrow{U_k(n)} S_j, \quad (1)$$

где  $S_i$  - есть описание настоящего состояния объекта до перемещения;  $i$  – отличительный признак (номер) ситуации;  $S_j$  - описание измененного состояния объекта после перемещения по назначению;  $j$  – отличительный признак новой ситуации;  $U_k$  - метод наблюдения объекта;  $k$  - отличительный признак наблюдения качеств;  $n$  - число различных признаков. Метод наблюдения  $U_k$  может рассматриваться в области определения [четкие меры ( $M$ ), нечеткие меры ( $\tilde{M}$ )] – соответственно для измерения и оценивания деятельности, подробно [11, с. 47-59]. Структура задачи:

1. Установление, чем является признак наблюдения качества ТК - свойством или состоянием.
2. Установление  $k(n)$ , как соотносятся признаки и их количество для наилучшего наблюдения производственной деятельности ТК.
3. Установление необходимого и достаточного числа  $n$  признаков. Например, достаточно ли описание практической деятельности ТК в одном понятии качества или в сочетании различных понятий. В настоящей работе решение вышепоказанного содержания составлено в виде начальной формализации путем обзора существующих аналитических описаний и составления моделей.

### 4. Обзор исследований понятий

**Качество деятельности сложного объекта.** Современная теория квалиметрии (qualitas, лат. свойство; quails, лат. какой; метрео, греч. мерить) имеет множество определений категории качества<sup>2</sup>, из них: «совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворить определенные потребности в соответствии с назначением» [6]; «Совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением», ISO 9001. В стандартах квалиметрии не раскрываются взаимосвязи параметров качества: эргономические, эстетические, технологические, экологические, экономические, патентно-правовые, а также транспортабельности, стандартизации и унификации [9]. Формализованное описание качества транспортного комплекса  $Q_{TK}$  рассматривается в [8, с. 15]

$$Q_{TK} = F\{\{\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}, \bar{W}\}\}, \quad (2)$$

где  $\bar{X}$  - вектор всех человеческих составляющих комплекса;  $\bar{Y}$  - вектор природной внешней среды;  $\bar{Z}$  - вектор технических факторов;  $\bar{W}$  - вектор полетных факторов;  $\Omega(t)$  - вектор параметров неблагоприятных факторов. Вектор  $\bar{X}$  имеет разновременную и разнопространственную характеристику деятельности всех участников транспортного комплекса. Современное представление среды значительно шире природной составляющей и вектор  $\bar{Y}$  может иметь разнообразное описание. Отклонение от нормативного качества  $Q_n$  идентифицируется как проектная погрешность

$$\gamma = Q_n \pm \Delta Q. \quad (3)$$

Совокупность многочисленных частных показателей представляется как

$$E_{TK} = \sum_{i=1}^n \alpha_i E_i, \quad (4)$$

<sup>2</sup> Качество по Аристотелю, «видовое отличие, признак, который отличает данную сущность в ее видовом содержании от другой сущности, принадлежащей к тому же роду». То есть качеством мы называем видовое отличие сущности. Качество есть преобразование формы в иную форму с другим наименованием.

где  $\alpha_i$  и  $E_i$  - весовые и нормативные коэффициенты частных показателей качества. Стоимостные ресурсные составляющие транспортного комплекса представляются как сумма затрат

$$C_{TK} = C_T + \alpha_n (C_q + C_3), \quad (5)$$

где  $C_T$  - затраты создания техники;  $C_q$  - стоимость подготовки человеческих профессиональных ресурсов;  $C_3$  - затраты эксплуатации;  $\alpha_n$  - нормативный коэффициент проектирования качества комплекса.

**Эффективность деятельности ТК.** Категория эффективности, начиная с классических трудов экономики (А. Смит, 1776, Д. Риккардо, 1817), позже трудов по управлению - менеджменту (Г. Таун, 1886, Г. Эмерсон, 1900, Ф. Тейлор 1911), понимается как результативность, успех, полезность, ценность, выгодность, оптимальность и как их соотношения. В экономике эффективность рассматривается в области определения [результат, затраты], в праксиологии [цель, результат], в маркетинге [цель, потребность], в прагматизме [результат, выгодность], в утилитаризме [результат, полезность], в аксиологии [результат, ценность], [результат, смысл]. Наиболее близким понятием эффективности является понятие результативности в теории стратегического маркетинга: соотношение продукции «что производить» и способа «как удовлетворить потребность». Этот вариант содержания принят в [7]: *эффективность* применения effectiveness – способность удовлетворять требованиям к услуге с заданными количественными характеристиками. Значительно шире понятия эффективности реализуется в теории стратегического управления в формировании миссии [3, 4]. Стратегия (дальновидение) будущих состояний объекта рассматривается в длительном периоде времени как переход из настоящего состояния (НС) в желаемое состояние (ЖС). Миссия-эффективность формулируется как совокупность установок в многомерных планах длительного существования организации. Планы включают социодемографические, технологические, экономические и политические воздействия дальней внешней среды компании (макросреды) или СТЭП-стратегия, подробнее в [10, с. 411-412]. Столь обширная историческая интерпретация, конечно, не способствует нормализации понятия, определения и термина эффективности. Поэтому до настоящего времени не существует общепринятого описания и технологии исчисления эффективности. Вследствие этого меру соотношения цели и результата нередко рассматривают как устойчивость или даже как надежность деятельности.

**Надежность деятельности ТК.** Существует трудность различения понятий надежности, безопасности и риска. Надежность в простейшем виде оценивается вероятностью выполнения безотказных операций

$$p = 1 - n/N, \quad (6)$$

где  $n$  – число отказов, а  $N$  – общее число операций исследуемого и испытываемого множества. При отказах техники возникают состояния за пределами стандартизированной деятельности. При этом события опасности – авария, катастрофа могут исключаться. Если за пределами стандартизированной деятельности возможен негативный исход, то безопасность  $P_S$  оценивается вероятностью

$$P_S = 1 - \sum_{j=1}^n P_{B_i} P_{B_j}, \quad (7)$$

где  $P_{B_i}$  - вероятность выхода за пределы стандартизированной деятельности, а  $P_{B_j}$  - вероятность неблагоприятного исхода за пределами стандартизированной деятельности. С введением [7] формализации (6) и (7) следует вести уже в понятиях «готовности» как нового ключевого термина надежности, предлагаемого разработчиками данного стандарта. Итак, предметное содержание понятия надежности обладает значением состояния ТК. Раскрытие содержания понятия надежности составляет теоретическую задачу нормативного описания параметров надежности, различного от понятий качества, безопасности и риска.

## 5. Обсуждение

Исследуемые в настоящей работе понятия коррелируют и нечетко соотносятся между собой, что крайне затрудняет их формализацию и практическое применение в стандартах. Понятия имеют весьма различный возраст теорий и применения, которые создавались в разное время, относительно независимо и продвинуты в разной степени. Категория качества разрабатывалась в древности Аристотелем, в трудах Г. Гегеля в 1812-1816 гг. Категория надежности техники интенсивно формируется только с середины XX-го века. Современные стандарты качества не раскрывают взаимосвязи включенных в них параметров, а также рассматривает не все параметры, которые могли бы быть в составе категории качества. Например, надежность, безопасность, риск изучаются как самостоятельные понятия, описываются в отдельных стандартах, несогласованных между собой. Категория безопасности имеет смысловой акцент к человеку и жизнедеятельности. Надежность также применяют относительно человека, нередко отождествляют с безопасностью. Безопасность рассматривают как часть теории надежности. Качество в управлении до сих пор разрабатывается в понятиях бездефектности, безошибочности, правильности, точности. Данные понятия раскрывают также понятие надежности [7]. Рассмотрение такого понятия, как риск может осуществляться как оценивание, как мера наблюдения события «куда склонится чаша весов» - на позитивный или негативный исход. Мера наблюдения величины исхода связана с различием свойства события в исчислении величины. Таким образом, иллюстрируется нетождественность понятий состояний и событий надежности, безопасности и риска. Столь произвольное применение понятий, безусловно, не удовлетворительно для стандартизации деятельности ТК. Разрешение проблемы требует междисциплинарных исследований за пределами технических наук.

## 6. Примеры формализации задач деятельности ТК

**Задача наблюдения регулярности ТК.** Регулярность деятельности задается идеей назначения деятельности: организационных комплексов, процессов или создаваемых объектов. Создание летательных аппаратов определяется пределами задаваемых условий деятельности. Неформальная постановка задачи регулярности деятельности воздушного транспорта может быть изложена следующим образом (табл. 1).

Регулярность является свойством деятельности, минимаксной функцией. Минимальная активность регулярности является порогом коммерческой целесообразности, максимальная активность ограничена пределом возможностей, задаваемых средой применения и содержанием деятельности.

**Когнитивная решетка «эффективность-безопасность».** Формализация содержания деятельности по состояниям возможна путем составления совокупности понятий в виде когнитивных решеток (КР). Данный подход много лет используется в социальной психологии [1]. КР используются в профессиональной подготовке в технологиях управления ресурсами летных экипажей cockpit resources management CRM. Классическая КР составляется в масштабе 9-9. Покажем пример простой КР «эффективность-безопасность» в масштабе 3-3 (табл. 2).

Таблица 1

Задачи наблюдения регулярности деятельности воздушного транспорта

Задаваемые и ожидаемые условия назначения	Параметры и показатели
<u>Задаваемое содержание деятельности.</u> Целевые условия, планы деятельности во времени и пространстве: структура маршрутов, расписаний. Целесообразность (эффективность) применения в соответствии с назначением	Отношение фактически выполненных полетов (вылетов) к числу запланированных. Время нарушения регулярности: задержки вылета, прибытия. Рейтинг перевозчика. Рейтинг аэропорта
<u>Содержание профессии пилота.</u> Проектируемое и заданное содержание профессии. Состояние профессиональных ресурсов индивида, сертифицируемое как личные допуски и минимумы	Среднее число задержек на 1000 вылетов. Среднее число отстранений экипажа на 1000 вылетов
<u>Природная среда.</u> Физические свойства среды: безвоздушная, воздушная; динамика перемещения воздушных масс, плотность, температура, влажность, видимость, грозы, обледенение, сдвиг ветра	Частоты, количество, величины неблагоприятных метеоусловий, препятствующих регулярности
<u>Воздушное судно (ВС).</u> Физические, динамические характеристики: масса, размеры, скорость, ускорение. Эксплуатационные и технические характеристики. Перечень допустимых неисправностей. Регламент технического обслуживания и ремонта (ТОиР)	Наименования, количество систем агрегатов, частоты их неисправных состояний. Время восстановления работоспособного состояния. Отношение времени простоя на ТОиР к календарному ресурсу эксплуатации. Среднее число задержек на 1000 вылетов. Среднее число отстранений ВС на 1000 вылетов
<u>Техносферная инфраструктура.</u> Организационные условия аэропортов и техническое оснащение трасс, аэродромов, минимумы взлета и посадки	Среднее число прерванных взлетов на 1000 взлетов. Среднее число вынужденных посадок на 1000 посадок

Таблица 2

Когнитивная решетка «эффективность-безопасность»: А - точка иррациональной нецелесообразной деятельности; Х - точка маргинального состояния избранной деятельности

		Х		
Эффективность	3	3.1. Область недостижимой эффективности деятельности	3.2. Область предельно достижимой эффективности деятельности	3.3. Область запрещенных нереализуемых состояний деятельности
	2	2.1. Область практически возможной эффективности деятельности	2.2. Область номинальной эффективности, заданной назначением деятельности	2.3. Область катастрофических состояний деятельности
	1	1.1. Область нецелесообразных состояний деятельности	1.2. Область состояний отказов и ошибочной деятельности	1.3. Область аварий и инцидентов деятельности
А	1	2	3	
		Безопасность		

Оси КР могут иметь варианты двойных наименований состояний: «эффективность-неэффективность», «безопасность-опасность». КР разрабатываются и применяются для экспертного оценивания нефизических данных нечисловой природы объектов исследуемой предметной области.

## 7. Заключение

Резюмируем вышеизложенное содержание следующим образом. Теоретическая, понятийная незавершенность, взаимная несогласованность, сложность формализации для практического применения составляет содержание проблемы описания свойств и состояний сложных объектов, таких как ТК. Наиболее отвлеченным началом описания ТК является понятие качества. Наблюдение качества ТК обладает определенностью – заданным назначением свойства<sup>3</sup>. Наблюдение качества ТК осуществляется в мерах оценивания. Наблюдение количества обладает неопределенностью из-за дискретности и изменений свойств объектов. Соотношение качественных и количественных изменений свойств объектов во времени обладает мерой устойчивости. Устойчивость есть мера надежности. Эффективность в широком понимании тождественна целесообразности. Безопасность, понимаемая как мера защищенности, также обладает значением надежности. Риск в мерах позитивных и негативных исходов есть мера эффективности и опасности. В настоящей работе понятие качества  $Q$  рассматривается как свойство, наблюдаемое в состояниях: эффективность  $E$ , безопасность  $S$ , надежность  $R$ . Иначе качество может быть представлено как параметрическое множество

$$Q = \langle E, S, R \rangle. \quad (8)$$

Следовательно, составление требований к изделию является описанием свойств объекта и условий применения. Например, установление физических размеров летательного аппарата, предназначенной скорости и высоты полета. Это определяется как задача проектирования и установления назначения ресурса объекта. Изменение свойств наблюдается в состояниях (параметрах) и событиях, определяемых как состояния надежности, эффективности, безопасности. Таким образом, описание требований к объекту, его свойств есть назначение ресурса, а наблюдение состояний является необходимым условием управления надежностью, эффективностью и безопасностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Blake R.R., Mouton J.S.** Effective crisis management // Across the board. - 1988. - V. 26, № 6. - P. 41-45.
2. **Heath W.G.** Concepts of unreliability underlying the factor of safety for aircraft structures // Aeronautical Journal. - 1988. - V. 92, № 911. - P.1-3.
3. **Ансофф И.** Стратегическое управление. - М.: Экономика, 1989.
4. **Ансофф И.** Новая корпоративная стратегия. - СПб.: Питер, 1999.
5. **Аристотель.** Политика. Метафизика. Аналитика / пер с древнегреческого. - М.: Эксмо; - СПб.: Мидгард, 2008.
6. ГОСТ 15467-79. - Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.
7. ГОСТ-Р 53480-2009. Надежность в технике. - М.: Стандартинформ, 2010.
8. **Зубков Б.В., Минаев В.Р.** Основы безопасности полетов. - М.: Транспорт, 1987.
9. **Минько Э.В., Кричевский М.Л.** Качество и конкурентоспособность. - СПб.: Питер, 2004.
10. **Плотников Н.И.** Консультант: учеб. пособие Сибирской школы консультантов. - М.: Интелбук, 2007.
11. **Плотников Н.И.** Проектирование транспортных комплексов. Воздушный транспорт: монография. - Новосибирск: ЗАО ИПЦ «АвиаМенеджер», 2010.
12. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) Doc 9859 AN/474 ИКАО. - 2009.
13. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) Doc 9859 AN/460 ИКАО. - 2006.

<sup>3</sup> Тело обладает свойством тяжести и может пребывать в состояниях движения и покоя. Свойство есть качество, состояние есть количество.

**THE STATES AND PROPERTIES CONCEPTS OF PRODUCTION ORGANIZATION  
STANDARDS IN TRANSPORT COMPLEXES STUDY**

**Plotnikov N.I.**

The of quality and properties and reliability states, efficiency and security concepts study in order to establish their relationship in practical use in the transport systems production standards.

**Key words:** transport complex subject, category, reliability, tasks of supervision.

**Сведения об авторе**

**Плотников Николай Иванович**, 1946 г.р., окончил Академию гражданской авиации (1973), кандидат технических наук, инженер-пилот, генеральный директор ЗАО Исследовательского проектного центра «АвиаМенеджер», автор более 100 научных работ, область научных интересов - теория информации, теория ресурсов, теория сложных объектов, воздушный транспорт, консалтинг.

УДК 656.7.01.078.13; 658.012.2.656.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Н.И. ПЛОТНИКОВ

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

Исследуются возможности использования теории надежности техники и переноса ее содержания для разработки теории надежности транспортного комплекса. Формулируется общая задача нормативного наблюдения надежности транспортного комплекса.

**Ключевые слова:** моделирование, объект, автомат надежности, метод.

### 1. Введение

Транспортный комплекс (ТК) рассматривается как сложный объект физических и нефизических элементов искусственного происхождения. Проектирование ТК составляет совокупность описаний назначения и надежности организационной, человеческой и технической составляющих комплекса. Наблюдение (измерение, исчисление, оценивание) свойств назначения ТК понимается как установление надежности в определениях и терминах принятой нормативной документации и количественного аппарата расчетов. Теория надежности техники имеет полувековую историю, научное содержание и нормативную базу: ГОСТ 13 377; ГОСТ-Р 53480-2009-67; ГОСТ 13.337-75; ГОСТ-27.002-89. Исходным понятием надежности было понятие исправности технического устройства. Поскольку машины работали и с частичными неисправностями, это создавало нечеткость понимания области определения [исправность, неисправность]. Введение термина «отказ» определяет невозможность использования технического изделия. До введения [4] надежность определялась ключевым свойством *безотказности*, дополнительно: долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость. К настоящему времени эволюция понятия надежности в стандартах раскрывается в последовательности: исправность → безотказность → работоспособность → готовность. В настоящей работе исследуются возможности использования теории надежности техники и переноса ее содержания для разработки теории надежности ТК. Выполняется краткий обзор нормативной базы надежности. Формулируется общая задача нормативного наблюдения надежности ТК. При этом опускаем критический анализ стандартов, представляя собственное понимание нормативного содержания надежности.

### 2. Основные понятия, определения и термины надежности

В соответствии с [4] надежность<sup>1</sup>, *dependability* - свойство готовности и влияющие на него свойства безотказности и ремонтпригодности и поддержка технического обслуживания. Готовность, *availability* - способность изделия выполнять требуемую функцию при данных условиях в предположении, что необходимые внешние ресурсы обеспечены. Безотказность, *reliability* - способность изделия выполнять требуемую функцию в заданном интервале времени при данных условиях. Ремонтпригодность, *maintainability* - способность изделия при данных условиях использования и технического обслуживания к поддержанию или восстановлению состояния, в котором оно может выполнять требуемую функцию. Долговечность, *durability* - способ-

<sup>1</sup> Существительное *надежность* мотивируется, т.е. является производным от глагола *надеяться* – «на деяние являться», что означает возможность осуществления, действия. Данный термин используют только для общего некоего количественного описания надежности [4, с. 12].

ность изделия выполнять требуемую функцию до достижения предельного состояния при данных условиях использования и технического обслуживания. Комплексное материально-техническое обеспечение, *integrated logistic support ILS* - процесс скоординированного управления обеспечением всех материалов и ресурсов, требуемых для эксплуатации изделия. Сохранность, *storability* - способность изделия выполнять требуемую функцию в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Надежность описывается как *свойство*, структурируемое в частных свойствах, которые проявляются в *состояниях*. *Работоспособное* состояние, *up state* - состояние изделия, при котором оно способно выполнить требуемую функцию при условии, что представлены необходимые внешние ресурсы. *Неработоспособное* состояние *disabled state*: состояние изделия, при котором оно способно выполнить требуемую функцию по любой причине. *Предельное* состояние, *limiting state* - состояние изделия, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна по причинам опасности экономическим или экологическим. *Критическое* состояние, *critical state* - состояние изделия, которое может привести к тяжелым последствиям: травмированию людей, значительному материальному ущербу или неприемлемым экологическим последствиям.

Изменения и переходы состояний проявляются в *событиях*: повреждение, неисправность, отказ. *Повреждение*, *damage* - приемлемая для пользователя неполная способность изделия выполнять требуемую функцию. *Неисправность*, *fault* - состояние<sup>2</sup> изделия, характеризующееся неспособностью выполнять требуемую функцию, исключая такую неспособность во время профилактического технического обслуживания или других запланированных действий или из-за нехватки внешних ресурсов. *Отказ*, *failure* - потеря способности изделия выполнять требуемую функцию. Техническое обслуживание (ТО), *maintenance* - совокупность всех технических и организационных действий, направленных на поддержание или возвращение изделия в работоспособное состояние. ТО осуществляется в основных *процессах* обслуживания: профилактическое, корректирующее и ориентированное на безотказность.

Нормативные описания надежности разработаны для техники, технических изделий, машин и устройств. Отказ элемента структурно сложных объектов может быть не зависимым от состояния других элементов и зависимым от повреждений или отказов других элементов данного объекта [1, 3, 13]. Для сложных объектов основным показателем надежности принимается наработка на отказ. Остальные показатели представляются несущественными или невозможными для количественного исчисления. Для описания надежности структурно сложных объектов, таких как транспортный комплекс, теория надежности техники может быть лишь исходным пунктом для разработки [6, 10, 12].

### 3. Предметное содержание понятий назначения и надежности сложных объектов

Нормативное содержание сформировано не только в стандартах надежности, но также в составе стандартов качества ГОСТ 22851-77, ГОСТ 15467-79, РД 50-149-79, в стандартах ISO и других, где есть группы назначения, надежности, безопасности, ресурсосбережения. Сложный объект описывается в понятиях, определениях и терминах назначения и надежности. Разделение на группы назначения и надежности принципиально необходимо, но в существующих стандартах осуществляется нечетко. Главные трудности описания параметров назначения определяются в выборе приоритетов свойств. Для потребителей показатели надежности стоят выше показателей назначения. Между тем само понятие назначения, как цель применения, требует дополнительного исследования уже потому, что оно вообще отсутствует в стандартах. Понятиями, отчасти раскрывающими назначение, могут считаться понятия требования, соответствия. Параметры назначения содержат описания свойств (величин): принадлежности, функцио-

<sup>2</sup> Здесь *неисправность* в отличие от [4] отнесена к событиям.

нальные, конструктивные, структурные. Существуют расхождения содержания отечественных и международных стандартов качества, которые проявляются в том, что отечественные стандарты ориентированы на количественное техническое нормирование к изготовлению изделий. Зарубежная политика стандартизации направлена на разработку программ и руководств [11].

Для установления взаимосвязи понятий назначения и надежности необходимо обратиться к смыслу понятий свойства и состояния. Свойством называют объективную особенность познаваемой предметности объекта. Состояние, по Аристотелю, это проявляемые в изменениях свойства. «Обладанием или свойством hexis называется проявление некоторой деятельности того, что обладает, и того, чем оно обладает; такое расположение по отношению к другому, например, здоровье есть некоторое свойство». Далее, «Преходящим свойством или состоянием pathos называется свойство, по отношению которого возможны изменения; разного рода проявления этих свойств и применения их» [2, с. 244]. Состояния объектов на собственном эпистемологическом уровне могут рассматриваться как свойства<sup>3</sup>. Таким образом, понятие назначения является и описывается в параметрах свойства качества объекта, а использование, применение объекта наблюдается (исчисляется) в параметрах состояний надежности.

Назначение destination сложного объекта  $\bar{D}$  описывается свойствами назначения и основными условиями надежности  $D$ , называемой здесь триадой назначения-надежности: проектирования, изготовления (производства) и эксплуатации объекта. При этом наблюдение свойств и параметров надежности является средством наблюдения и условием соответствия свойств назначения целям деятельности

$$\bar{D} : \{D | (D_{np}, D_{изг}, D_{экс})\} \xrightarrow{def} = \bar{D}. \quad (1)$$

Основой теоретического и практического исчисления надежности является вероятностный подход и статистические расчеты показателей по установленным свойствам [5, 10]. В показателях безотказности рассматривается время безотказной работы основной случайной величины  $T$ : а) вероятность безотказной работы  $p$  технического объекта в заданных условиях и заданной продолжительности времени работы  $t$

$$p(t) = p(T \geq t); \quad (2)$$

б) вероятность отказа  $q$  в случае времени безотказной работы  $T$  меньше заданного  $t$

$$q(t) = q(T \leq t). \quad (3)$$

Используя выражение суммы вероятностей несовместимых событий  $p(t) + q(t) = 1$ , рассчитывают вероятность отказа

$$q(t) = 1 - p(t) \quad (4)$$

или безотказности

$$p(t) = 1 - q(t). \quad (5)$$

Для сложных объектов показатель надежности определяется статистической оценкой

$$p(t) = \frac{N - n(t)}{N}, \quad (6)$$

где  $N$  - число однотипных элементов сложного объекта;  $n(t)$  - число отказавших объектов за время  $t$ . Соответственно статистическая оценка вероятности отказов определяется

$$q(t) = 1 - \frac{N - n(t)}{N}. \quad (7)$$

Оценка работоспособности сложных объектов может определяться практикой применения. Коэффициент операционной готовности operation availability  $\theta_{oa}$  определяется

$$\theta_{oa} = \theta_a p(t_p), \quad (8)$$

<sup>3</sup> Свойства воды проявляются в состояниях жидком, твердом, парообразном, кристаллическом. В каждом из этих состояний вода имеет отдельные свойства, которые также могут проявляться в состояниях.

где  $\theta_a$  – коэффициент готовности;  $p(t_p)$  – вероятность безотказной работы в период времени  $t_p$ , заданного назначением объекта. Эффективность применения объектов определяется как коэффициент технического использования. Данный коэффициент  $\theta_{tu}$  есть отношение математического ожидания общего времени работоспособного состояния в установленный период эксплуатации и перерывов по видам технического обслуживания и ремонта ТООР

$$\theta_{tu} = \sum_{i=1}^n t_i / \left( \sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^m \tau_i + \sum_{j=1}^k \tau_j \right), \quad (9)$$

где  $t_i$  – период работоспособности в  $i$ -м цикле;  $\tau_i$  – время восстановления после  $i$ -го отказа;  $\tau_j$  – длительность выполнения регламента профилактического  $j$ -го ТООР, требующего вывода объекта из эксплуатации;  $n$  – число рабочих циклов за рассматриваемый период эксплуатации;  $m$  – число отказов и восстановлений;  $k$  – число профилактических ТООР.

#### 4. Метод категорийного переноса надежности деятельности

Отношение категории надежности может устанавливаться через аналоги, другие категории и тождественные понятия. Категория надежности человека может раскрываться через понятия правильности, точности, устойчивости, уверенности деятельности. Однако использование тождеств требует предварительно раскрывать содержание вводимых понятий. В настоящей работе данный подход называется *методом категорийного переноса*. Аналогом надежности человека является категория надежности техники. В этом случае необходима адекватность переноса разработанной теории надежности техники на деятельность человека. Для описания категории надежности в исследованиях преимущественно используется вероятностная мера. В настоящей работе надежность человека и пилота  $H_n$  понимается как возможностная мера наблюдения  $\mu$ , адекватная условиям избранной среды назначения деятельности:  $M_n$

$$H_n = \mu_{A_n} \{M_n | s(M_n)\}, \quad (10)$$

где  $M_n$  – множество, определяемое условиями  $s$ .

#### 5. Надежность как правильность

Под *правильностью*, ассигасу, понимают выполнение действий в соответствии стандартным ограничениям во времени и пространстве. Действие обладает значением величины работы и характеристикой времени, называемой *своевременностью* [7]. Надежность пилота описывается как мера правильного решения задач

$$H_n = m/N, \quad (11)$$

где  $m$  – число правильно решенных задач, а  $N$  – общее число задач. Правильное действие, action  $a_i$ , выполняется в стандартной операционной процедуре (СОП), Standard Operation Procedure (SOP), в моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_i$ , с резервом времени  $\mp \Delta t$ . Правильное или нормальное действие выполняется при своевременном обнаружении оператором сигнала или совокупности сигналов о необходимости действия. Далее происходит идентификация соответствия сигналов стандартным конфигурациям, принятие решения, действие, оценка результата. Понятие резерва времени связывают с важностью или значимостью процедуры. Связь резервного времени действия аппроксимируется экспоненциальной зависимостью

$$C(\bar{t}_{pвз}) = e^{-\lambda \bar{t}_{pвз}}, \quad (12)$$

где  $C(\bar{t}_{рез})$  - значимость по содержательным и временным ограничениям;  $e^{-\lambda \bar{t}_{рез}}$  - непрерывность или интенсивность потока событий  $\lambda = 1/\bar{t}_{рез}$ . Время действия, время процедуры  $T_p = T_a + T_r$  увеличивается на время реакции  $T_r$ .

## 6. Надежность как точность

*Точность*, precision - степень соответствия действительных значений параметров объекта их номинальным (заданным) значениям. Точность как понятие составляет пространственные (геометрические) величины (свойства), единообразие показателей множеств материальных объектов. В качестве категории, обратной точности, используется понятие погрешности. Соответствие конкретного значения конкретного параметра определяется понятием погрешности. Погрешность – отличие действительного значения параметра объекта от номинального. В технических дисциплинах точность параметра объекта определяют измерением. Различают точность: конструкторскую (КТ), технологическую (ТТ) и эксплуатационную (ЭТ). КТ – задает (номинарует) принципы проектирования деятельности. ТТ – составляет варианты и выборы применения объекта. ЭТ – отслеживает соответствие фактических параметров объекта заданным условиям применения. Различают систематическую погрешность и случайную. Систематическая погрешность является следствием заданных принципов КТ и проявляется в статистических показателях. Случайная погрешность может быть следствием ТТ и ЭТ. Мерой точности параметра является величина  $G$ , вычисляемая по формулам

$$G = X_R / X_N, \text{ если } X_R < X_N \text{ и } V < T \quad (13)$$

или

$$G = X_R / X_N, \text{ если } X_R > X_N \text{ и } V < T (G \leq 1), \quad (14)$$

где  $X_R$  - действительное значение параметра;  $X_N$  - номинальное значение параметра;  $V$  - рассеяние действительных значений параметров;  $T$  - допуск отклонений параметра. Абсолютная погрешность  $\Delta_x$  выражается в единицах параметра и рассчитывается

$$\Delta_x = |X_R - X_N|. \quad (15)$$

Относительная погрешность  $\Delta_o$  - это отношение абсолютной погрешности к номинальному значению

$$\Delta_o = (\Delta_x / X_N) 100\% . \quad (16)$$

*Точность* действий оператора зависит от систематических и случайных причин и определяется по приближенной формуле

$$\delta_s = M + 2\sigma_s, \quad (17)$$

где  $M = m_1 + \dots + m_k$  есть систематические погрешности системы

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_k^2} \quad (18)$$

среднеквадратичные отклонения случайных погрешностей в элементах системы. Абсолютная точность действия оператора практически не достижима, для этого рассчитывается общая приемлемая погрешность и резерв точности

$$\delta_{jрез} = D_j - \delta_{min}, \quad (19)$$

где  $D_j$  есть граница допустимого отклонения параметра через  $D_j$ , а  $\delta_{min}$  - общая минимальная погрешность управления по параметру  $j$ , состоящая из погрешности прибора измерения параметра и погрешности оценки оператором параметра и действия. Резерв точности определяется наибольшей погрешностью, которую можно допускать.

## 7. Надежность человека как аналог надежности техники

Существуют эмпирические утверждения о компенсаторной надежности оператора, равной четырехкратному резервированию технических устройств. Надежность пилота как аналог технических компонент может быть представлена

$$H_n = H_n / \prod_{i=1}^n H_i(T_f), \quad (20)$$

где  $H_i(T_f)$  - надежность технических компонент в полете. Надежность техники описывается с помощью функции распределения безотказной работы. Простая схема содержит три этапа изменения надежности. Первый называют этапом приработки с повышенной плотностью вероятности отказов, второй этап - наступает длительная стабилизация надежности, на третьем этапе старения и износа плотность отказов увеличивается. Надежность профессиональной деятельности человека может качественно совпадать с описанной кривой жизненного цикла надежности воздушного судна. Характеристики надежности машины и человека имеют отличающуюся природу, динамику, интенсивность изменений во времени. Возможно составление следующих терминов теории надежности человека, эквивалентных терминам теории надежности технических объектов (табл. 1).

Таблица 1

Тождество понятий техника-человек

Техника	Человек
Безотказность	Безошибочность
Сохраняемость	Устойчивость навыков
Долговечность	Профессиональное долголетие
Ремонтопригодность	Реабилитация организма
Восстанавливаемость	Рекреация трудоспособности
Резервирование	Толерантность к ошибкам

Возможность переноса теории надежности технических объектов на деятельность оператора иллюстрируется практикой используемых приемов и методов. Например, безотказность технического объекта эквивалентна *методу минимизации ошибки* - непосредственного воздействия на источник ошибки путем уменьшения числа факторов, способствующих ошибке, или их исключения. Примерами таких методов являются совершенствование технологии технического обслуживания авиатехники и совершенствование эргономики пилотских кабин. Резервирование технического объекта эквивалентно *методу перехвата* ошибки человеком. Метод предполагает, что ошибка уже совершена и ее нужно «перехватить», прежде чем проявятся ее неблагоприятные последствия. Метод перехвата ошибок отличается от метода минимизации тем, что он не предназначен непосредственно для уменьшения числа ошибок или их исключения. Примерами таких методов являются перекрестные контрольные проверки правильности выполнения задач и испытательные полеты. Резервирование технического объекта эквивалентно *методу толерантности* к ошибкам человека. Примером является программа проверки конструкции воздушного судна, обеспечивающая несколько возможностей человеку обнаружить и контролировать усталостную трещину до того, как она достигнет опасных размеров.

## 8. Обсуждение

Современная теория и количественный аппарат расчета надежности рассматривает сложные объекты, состоящие из множества объектов и изделий физической природы. Однако во всем многообразии деятельности основные определения, термины и методы расчета создания и использования конкретных объектов обретают специфическое содержание. Термины «повреж-

дение», «неисправность», «отказ» могут иметь множество вариантов наименований. Подобным вариантом может быть понятие «задержка вылета воздушного судна» по какой-либо причине. Под отказами могут пониматься события авиационных происшествий. Следовательно, представляется допустимым перенос содержания теории надежности техники для описания ТК. Используя выражение (9), можно показать, что деятельность авиакомпании, как ключевой части ТК, ее основных структур – летного комплекса (ЛК), авиатехнического комплекса (АТК), коммерческого комплекса (КК) возможно описать в терминах формулы: периоды работоспособности, простоев, число рабочих циклов и т.д. Данное описание является задачей нормативного наблюдения надежности ТК.

### 9. Постановка задачи нормативного наблюдения надежности

В соответствии с вышеизложенным содержанием построим простейший автомат надежности, показывающий взаимосвязи процессов, состояний и событий надежности. Для образца разработки принято описание [4], где цифры - номера терминов (рис. 1).

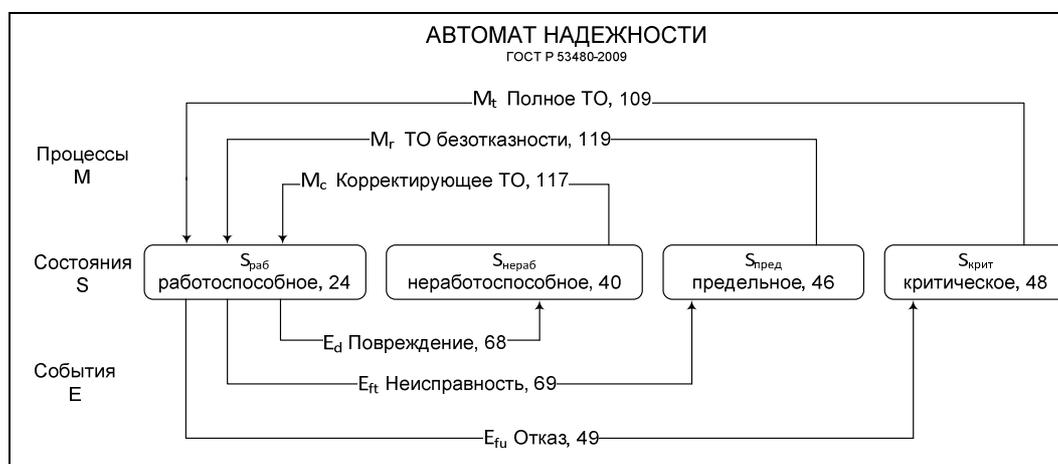


Рис. 1

Автоматом надежности будем называть кортеж

$$\sum : \{Q, \delta, M, E\}, \tag{21}$$

где  $Q$  - множество состояний объекта: работоспособное, неработоспособное, предельное, критическое ( $S_{раб}, S_{нераб}, S_{пред}, S_{крит}$ );  $\delta$  - функция перехода ресурсов в событиях и процессах, такая что  $\delta_i$ ;  $S_i \rightarrow S_i$ ;  $M$  - множество процессов восстановления надежности;  $E$  - множество событий нарушения надежности. Задача наблюдения (измерения, исчисления, оценивания) надежности  $D$  состоит в упреждении события  $E_i$  путем выполнения ресурсного процесса технического обслуживания  $M_i$ , таким что

$$D = Q : \delta_i(E_i) M_i \left\{ \begin{array}{l} E_i \ll M_i \text{ событие исключается} \\ E_i \leq M_i \text{ событие маловероятно} \end{array} \right\}. \tag{22}$$

Иначе, ресурсное возмещение процессов восстановления работоспособности опережает ресурсный дефицит объекта, который ведет к отказам, происшествиям, катастрофам. Далее задача наблюдения надежности ТК раскрывается в следующем содержании:

1. Разработка структуры содержания (автомата надежности) для каждого элемента ТК.
2. Установление наименований специфических понятий процессов, состояний и событий, тождественных нормативным (рис. 1).
3. Определение метода и выбор показателей расчета надежности ТК.

## 10. Выводы

Для наблюдения надежности возможно применение возможностной меры в теории мягких вычислений (Л. Заде, 1994) и в теории свидетельств включает меры доверия, вероятности и правдоподобия. Возможностная мера позволяет применять аппарат нечетких множеств, что расширяет наблюдение деятельности. Параметры надежности являются следствием описания параметров назначения, поскольку надежность наблюдается как состояния изменяемых свойств объектов, называемых назначением. Существует необходимость наблюдения эксплуатации сложных объектов в описании, изложенном от предельных состояниях деятельности: отказ, опасность, ущерб. Подобный подход рассматривается в исследованиях структурно-сложных технических объектов [12, с. 22]. Данные предельные состояния устанавливаются как базовые или база наблюдения. На их основе формируются производные состояния: работоспособность, защищенность (безопасность), результативность. Наблюдение применения сложных объектов возможно в структуре областей значений  $[0, 1]$ ,  $[-1, 1]$  или в шкалах наименований исходов деятельности: в теории надежности [отказ, работоспособность] в теории безопасности [опасность, защищенность (безопасность)], в теории риска [ущерб, результативность]. Дальнейшей целью является исследование возможности переноса содержания теории надежности технических объектов на разработку теории надежности деятельности человека и групп.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Акимов В.А.** Надежность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов, В.Л. Лапин, В.М. Попов, В.А. Пучков. - М.: Деловой экспресс, 2002.
2. **Аристотель.** Политика. Метафизика. Аналитика / пер с древнегреческого. - М.: Эксмо; СПб.: Мидгард, 2008.
3. **Беленький А.С.** Исследование операций в транспортных системах: идеи и схемы методов оптимизации планирования. - М., 1992.
4. ГОСТ-Р 53480-2009. - Надежность в технике. - М.: Стандартиформ, 2010.
5. **Елисов Л.Н., Баранов В.В.** Управление и сертификация в авиационной транспортной системе. - М.: Воздушный транспорт, 1999.
6. **Зайцев Г.Н., Любомудров С.А., Федюкин В.К.** Системы обеспечения качества и сертификации. - СПб, 2008.
7. **Коваленко Г.В., Микинелов А.Л., Чепига В. Е.** Летная эксплуатация. - М.: Машиностроение, 2007.
8. Методологические основы испытаний сложных систем. Безопасность полетов летательных аппаратов при испытаниях и учениях разнородных сил / Иванов А.И., Иванющенко А.С., Нарбут С.Р., Перевозчиков Н.И., Соловцов Н.Е., Чельцов Б.Ф. - М., 2003.
9. **Минько Э.В., Кричевский М.Л.** Качество и конкурентоспособность. - СПб.: Питер, 2004.
10. **Моломин В.П.** Модели управления надежностью авиационной техники. - М., 1981.
11. **Мурашев Ю.Г., Гайков-Алехов А.А.** Проблемы определения показателей надежности в квалиметрическом анализе // ВОЕНМЕХ. Вестник Балтийского ГТУ. - 2008. - № 1. - С. 61-65.
12. **Рябинин И.А.** Надежность и безопасность структурно-сложных систем. - СПб.: СПбГУ, 2007.
13. **Хенли Э.Д., Кумамото Х.** Надежность технических систем и оценка риска / пер. с англ. - М.: Машиностроение, 1984.

## TRANSPORT COMPLEX REGULATORY AND RELIABILITY STUDY AND SIMULATION

Plotnikov N.I.

Explores the possibilities of using the theory of technology reliability and its content transfer to develop theories of reliability of the transport complex. Is the overall objective of the regulatory monitoring reliability of the transport complex.

**Key words:** modeling, object, machine reliability, method.

## Сведения об авторе

**Плотников Николай Иванович**, 1946 г.р., окончил Академию гражданской авиации (1973), кандидат технических наук, инженер-пилот, генеральный директор ЗАО Исследовательского проектного центра «АвиаМенеджер», автор более 100 научных работ, область научных интересов - теория информации, теория ресурсов, теория сложных объектов, воздушный транспорт, консалтинг.

УДК 629.047

## АНАЛИЗ ВЕЛИЧИНЫ ДЕФЕКТА НАЗНАЧЕНИЯ ДОПУСКОВ И ЕГО ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ЧИСЛА КОНТРОЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Е.В. ЕРОХИН

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

В данной статье был произведен анализ величины дефекта допусков и его зависимость от числа контрольных параметров для случая закона равной плотности для выяснения сути дефекта допусков наиболее простым методом.

**Ключевые слова:** допусковый контроль, дефект назначения допусков, закон равной плотности вероятности, риск заказчика, гиперсфера, гиперкуб.

В настоящее время в практике проведения испытаний широкое распространение получил допусковый контроль, ввиду простоты его технической реализации. Развитие методов допускового контроля и практические задачи испытаний потребовали оценки и анализа вероятности признания годного изделия негодным (риск изготовителя) и негодного изделия годным (риск заказчика).

Произведем анализ величины дефекта назначения допусков и его зависимость от числа контрольных параметров для случая равной плотности вероятности, который представляет собой наиболее простой случай в отличие от нормального закона распределения.

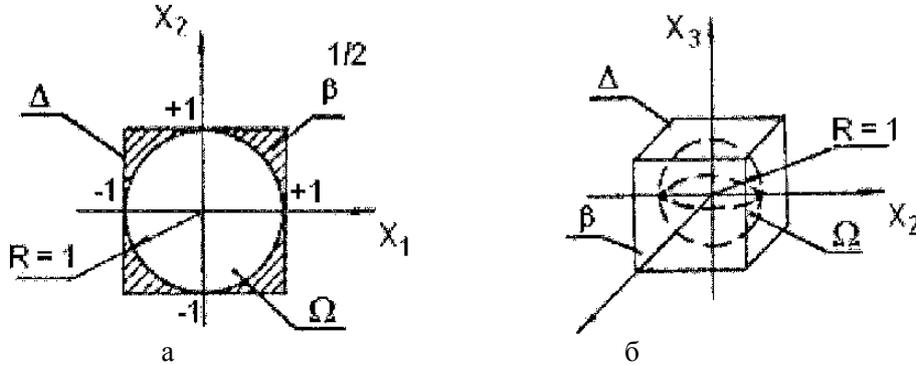
Пусть контролируемая система имеет  $n$  контрольных параметров и каждый из них как случайная величина описывается законом равной плотности вероятности в пределах контрольного допуска на соответствующий параметр, т.е., с точки зрения допускового контроля, система является заведомо исправной. Для простоты выкладок за гиперповерхность качества принимается единичная гиперсфера, которая определяет равенство полей допусков для всех контролируемых параметров. В этом случае область дефекта допусков минимальна, что доказано Л.Г. Евлановым [1] - чем меньше разворот главных осей гиперэллипсоида относительно координатных осей и чем меньше сплюснутость эллипсоида, тем меньше область дефекта допусков. Закон равной плотности вероятности может быть принят как приближение для законов распределения, называемых распределениями арксинуса и арккосинуса, а также и для сильно усеченного нормального закона [2].

Требуется вычислить величину риска заказчика для  $n$  - мерного случая и затем проанализировать зависимость риска заказчика от числа контрольных параметров.

Расчетная схема для двух и трех контрольных параметров изображена на рис. 1. В данном случае дефект допусков выражается только риском заказчика на основании допущений, которые были оговорены в монографии А.М. Лебедева [3] при анализе риска заказчика и риска изготовителя, порожденных дефектом допусков.

Примем следующие обозначения:  $\beta$  - область пространства контрольных параметров, принадлежащая гиперкубу и не принадлежащая гиперсфере качества, область риска заказчика;  $\Delta$  - область пространства контрольных параметров, принадлежащая единичному гиперкубу;  $\Omega$  - область пространства контрольных параметров, принадлежащая гиперсфере качества;  $P[(x_1, x_2, \dots, x_n) \subset \Delta]$  - вероятность нахождения вектора контрольных параметров в пределах единичного гиперкуба;  $P[(x_1, x_2, \dots, x_n) \subset \Omega]$  - вероятность нахождения вектора контрольных параметров в пределах гиперсферы качества;  $P[(x_1, x_2, \dots, x_n) \subset \beta]$  - вероятность нахождения вектора контрольных параметров в области риска заказчика.

Исходя из принятых допущений о распределении контрольных параметров по закону равной плотности вероятности, всегда выполняется тождество  $P[(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \Delta] = 1$ , и указанные вероятности определяются через геометрические объемы этих фигур, которые обозначены следующим образом:  $V_\Delta$  - геометрический объем гиперкуба с ребром, равным 1;  $V_\Omega$  - геометрический объем гиперсферы;  $V_\beta$  - геометрический объем области риска заказчика.



**Рис. 1.** Геометрическое представление дефекта допусков для случая распределения контрольных параметров по закону равной плотности вероятности: а - двухмерный случай, б - трехмерный случай

Из рисунка видно, что всегда выполняется соотношение

$$V_\beta = V_\Delta - V_\Omega .$$

Тогда можно записать

$$P[(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \Omega] = \frac{V_\Omega}{V_\Delta} ;$$

$$P[(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \beta] = 1 - \frac{V_\Omega}{V_\Delta} .$$

Далее необходимо определить объемы n-мерного куба и n-мерной сферы. Формулы для определения объемов этих тел в n-мерной области приводятся в работе [4]. Доказано, что объем n-мерного параллелепипеда равен произведению длин проекций сторон на оси координат; в случае параллельности сторон осям координат данное произведение превращается в произведение сторон. Для случая n-мерного куба объем будет равен

$$V_\Delta = (2 \cdot R)^n = 2^n \cdot R^n .$$

Сложнее определяется объем n-мерного шара

$$V_\Omega = \frac{\pi^{n/2} \cdot R^n}{\Gamma\left(\frac{n}{2} + 1\right)} ,$$

где  $R$  - радиус n-мерного шара;  $n$  - число координатных осей или число контрольных параметров;  $\Gamma$  - гамма-функция.

Подставляя две последние формулы в выражения вероятностей, можно окончательно записать

$$P[(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \Omega] = \frac{\pi^{n/2}}{2^n \Gamma\left(\frac{n}{2} + 1\right)} ; \tag{1}$$

$$P[(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \beta] = \frac{\pi^{n/2}}{2^n \Gamma\left(\frac{n}{2} + 1\right)} . \tag{2}$$

Результаты расчетов числовых значений вероятностей для формул (1) и (2) приведены в табл. 1, графики зависимостей изображены на рис. 2.

Таким образом, из формул (1) и (2), а также из графиков, изображенных на рис. 2, следует, что существует ярко выраженная зависимость вероятностей признания негодного объекта годным и признания годного объекта контроля негодным (зависимость от общего числа контрольных параметров). Так, с увеличением сложности контролируемых систем и, следовательно, с увеличением общего количества контрольных параметров, вероятность попадания вектора контрольных параметров в область риска заказчика монотонно возрастает и в пределе стремится к единице.

Здесь необходимо отметить, что рассматривается минимально необходимое для контроля определенной системы число контрольных параметров, которые необходимы для проведения контроля в информационном плане. Изменение числа контрольных параметров эквивалентно изменению сложности контролируемой системы, т.е. чем сложнее система и чем больше число контролируемых параметров, тем больше риск заказчика, если же за закон распределения контрольных параметров принять закон арксинуса [2], то риск заказчика будет еще выше.

Таблица 1

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P[(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \Omega]$	1	0,7854	0,5236	0,31	0,1645	0,08075	0,02083	0,00249	0,0003	0,00002
$P[(x_1, x_2, \dots, x_n) \in \beta]$	0	0,2146	0,4764	0,6916	0,8355	0,9125	0,97917	0,99751	0,9997	0,99998

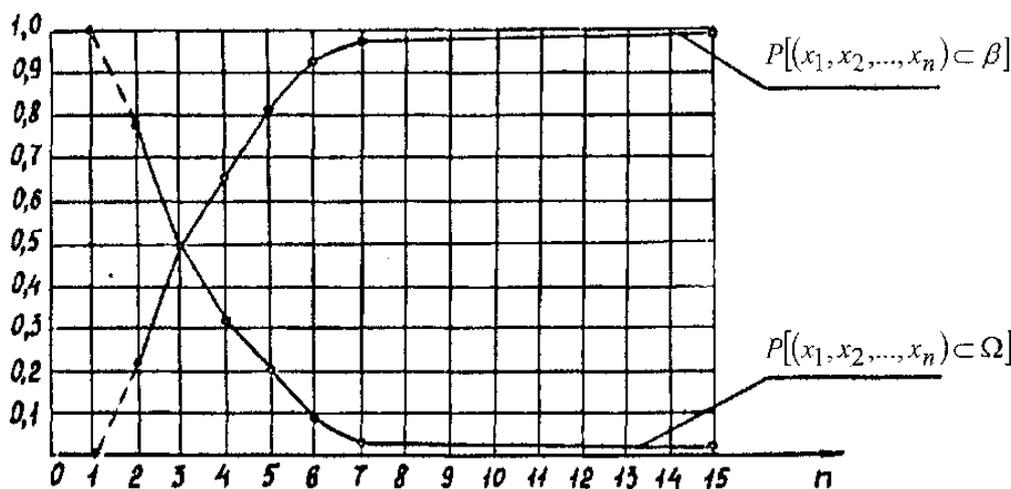


Рис. 2. График зависимостей вероятности нахождения вектора контрольных параметров внутри гиперсферы и в области риска заказчика

Здесь необходимо отметить, что рассматривается минимально необходимое для контроля определенной системы число контрольных параметров, которые необходимы для проведения контроля в информационном плане. Изменение числа контрольных параметров эквивалентно изменению сложности контролируемой системы, т.е. чем сложнее система и чем больше число контролируемых параметров, тем больше риск заказчика.

Поскольку принято допущение о распределении плотности вероятности контрольного параметра по закону равной плотности в интервале допустимого значения, т.е. допуска, то вероятность риска заказчика определяется соотношением площадей для двумерного случая и соотношением объемов для трехмерного случая.

$$\text{Для } n = 2: P[(x_1, x_2) \subset \beta] = \frac{S - \pi D^2}{4S} = 1 - \frac{\pi D^2}{4S} = 1 - \frac{\pi}{4} = 0,2146,$$

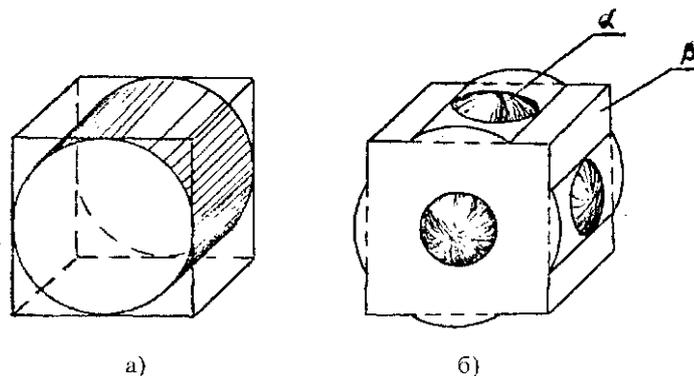
где  $D$  - диаметр вписанного круга;  $S$  - площадь квадрата.

$$\text{Для } n = 3: P[(x_1, x_2, x_3) \subset \beta] = \frac{V - \pi D^3}{6V} = 1 - \frac{\pi D^3}{6V} = 1 - \frac{\pi}{6} = 0,4764,$$

где  $D$  - диаметр вписанного шара;  $V$  - объем куба.

Из приведенной формулы видно, что выполняется неравенство  $P[(x_1, x_2) \subset \beta] < P[(x_1, x_2, x_3) \subset \beta]$ . Таким образом, увеличение числа контрольных параметров, обусловленное увеличением сложности контролируемой системы, при прочих равных условиях ведет к увеличению риска заказчика, порожденного дефектом допусков.

Геометрическая суть заключена в том, что при переходе от двумерного пространства к трехмерному изменяется соотношение между соотношением площадей и соотношением объемов. При сохранении соотношения площадей для трехмерного случая в куб должен бы быть вписан цилиндр, а не шар. Этот случай проиллюстрирован на рис. 3 а. Если не вдаваться в рассмотрение законов распределения контрольных параметров, а остановиться только на геометрической модели и рассмотреть одновременное наличие риска изготовителя и риска заказчика, то для трехмерного случая получится фигура, изображенная на рис. 3 б. Можно заметить, что с увеличением  $n$ -мерности пространства контрольных параметров область риска изготовителя сокращается, а область риска заказчика увеличивается. Таким образом, с увеличением сложности контролируемой системы при соответственном увеличении числа контрольных параметров, т.е. с увеличением  $n$ -мерности пространства контрольных параметров, риск изготовителя играет все меньшее значение, а увеличение риска заказчика доминирующее значение.



**Рис. 3.** Геометрическое представление рисков заказчика и изготовителя для двумерного и трехмерного случаев в аспекте увеличения  $n$ -мерности пространства

Рассмотрение риска заказчика для случаев равномерной плотности вероятности распределения контрольного параметра выполнено для иллюстрации зависимости риска заказчика от числа контрольных параметров в связи с наибольшей простотой этого случая.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Евланов Л.Г.** Контроль динамических систем. - М.: Наука, 1982.
2. **Разумный В.М.** Оценка параметров автоматического контроля. - М.: Энергия, 1975.
3. **Лебедев А.М.** Теория и методы синтеза интегрированных систем диагностического контроля: монография. - Ульяновск: УВАУ ГА, 2005.
4. **Шилов Г.Е.** Математический анализ (функции нескольких вещественных переменных). - М.: Наука, 1972. - Ч. 1, 2.

#### THE ANALYSIS OF SIZE OF ADMISSIONS DEFECT AND ITS DEPENDENCE ON NUMBER OF CONTROL

**Eroknin E.V.**

In given article has been made analysis of size of admissions defect and its dependence on number of control parameters for a case of the law equal density for finding-out an essence of admissions defect by the most simple method.

**Key words:** admittance control, defect destination tolerances, the law of equal probability density, the risk of the customer, the hypercube.

#### Сведения об авторе

**Ерохин Евгений Валерьевич**, 1984 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), аспирант МГТУ ГА, автор 1 научной работы, область научных интересов – безопасность полётов.

УДК 629.047

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ

Е.В. ЕРОХИН

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

В данной статье рассматриваются различные методы повышения достоверности контроля, которым было посвящено большое количество работ различными авторами, а также проведён их краткий анализ. Также приведена оценка влияния достоверности контроля на уровень безопасности полётов (БП). Рассмотрены методы, уменьшающие влияние данного фактора на БП.

**Ключевые слова:** безопасность полетов, достоверность контроля, дефект назначения допусков, риск изготовителя, риск заказчика, автоматизированные системы контроля.

Повышение достоверности контроля повышает вероятность обнаружения отказов и неисправностей в ходе испытаний воздушного судна и его бортовой системы, что в итоге положительно сказывается на безопасности полётов.

Безопасность полетов является актуальной проблемой современной авиации, решение которой требует системного подхода. На безопасность полётов влияет огромное количество факторов. Поэтому большое значение имеет исследование любых причин, влияющих на безопасность полетов.

В последнее время большое количество работ было посвящено достоверности контроля. В работе И.Л. Плетнёва [1] приводятся данные о том, что при сплошном жёстком контроле по большому числу параметров на этап эксплуатации просачивается 10-15% некачественных приборов, в работе В.Я. Володарского [2] отмечается, что, несмотря на получаемые при метрологических расчётах высокие показатели достоверности контроля, многие системы часто не выполняют свои функциональные задачи с требуемым качеством, и даётся заключение о том, что вопрос о достоверности контроля в условиях неполной определённости изучен недостаточно.

Поэтому, для изучения возможности сокращения неисправностей изделия, необходимо исследовать вопросы достоверности контроля и, в частности, допускового контроля. Входной контроль является нижним уровнем иерархии испытаний самолётостроительного предприятия. Как показано в работе Е.И. Кринецкого [3], на каждом уровне иерархии испытаний может быть обнаружено только определённое число отказов и неисправностей вследствие несовершенства испытательной программы, в частности, имитации всей совокупности условий. Например, невозможно выявить при обычных испытаниях дефект, заключающийся в недостаточной механической прочности пайки или в надрезах токоведущей жилы при отсутствии воздействия в течение определённого времени вибрации, ударов, линейных перегрузок.

Повышение достоверности контроля всегда было целью технологии испытаний. В работах В.М. Разумного [4] эти же вопросы рассматриваются с более общей точки зрения и вводятся следующие возможные ситуации

$$P_0 + P_n + \alpha + \beta = 1,$$

где  $P_0$  - исправное изделие признано исправным;  $P_n$  - неисправное изделие признано неисправным;  $\alpha$  - исправное изделие признано неисправным;  $\beta$  - неисправное изделие признано исправным.

В результате контроля надо насколько возможно уменьшить вероятности  $\alpha$  и  $\beta$ . Эта задача является одной из основных при проектировании технологии контрольно-испытательных работ. На этом этапе рассматривается последовательность и цель проверок и испытаний. Определяются объекты контроля, подлежащие автономным и комплексным испытаниям, контролю логики функционирования совместно с имитаторами и эквивалентами борта, отработке совмест-

ного функционирования бортовых систем. Последовательность этих работ может записываться в директивной технологии, в которую вносятся статические, динамические, ресурсные и другие данные об испытаниях. Все эти испытания обладают свойством частичного подобия. Для достижения большего подобия в технологии испытаний применяются различные имитаторы внешних условий: термобарокамеры, камеры влажности и дождевания, холода, солёного тумана, солнца, вибростенды, ударные стенды, испытания на взаимовлияния и электромагнитную совместимость.

В работах Е.И. Кринецкого [3] рассмотрены вопросы эффективности различных методик испытаний на различных уровнях иерархии испытаний и показано, что принципиально невозможно выявить все дефекты проведением испытаний одного вида, т.е. без воздействия всей комбинации факторов.

Существует недостоверность контроля, связанная с ошибками измерения.

В монографии Л.Г. Евланова [5] рассмотрены различные варианты решения этой задачи при различных исходных данных и сейчас её решение может быть выполнено инженерными методами (метод номограмм). На предприятиях ведутся работы по учёту рисков изготовителя и заказчика, обусловленных ошибками измерения. Проведение анализа возможных причин недостоверности показывает, что достоверность контроля далеко не исчерпывается рисками изготовителя и заказчика, обусловленными ошибками измерения и получившими соответственно название ошибок первого и второго ряда.

Существует ещё одна причина недостоверности контроля, обусловленная надёжностью аппаратуры контроля.

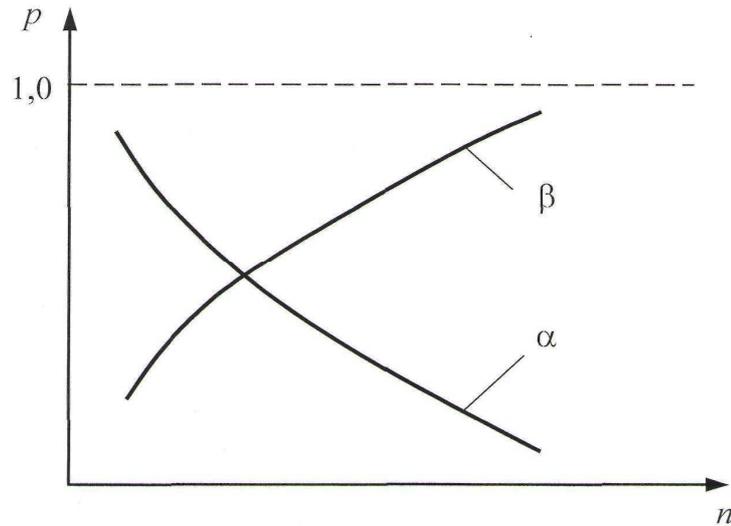
В работе Б.В. Васильева [6] даётся анализ оценки достоверности и эффективности систем контроля и делается вывод о том, что выбор, как основного метода анализа, структуры системы контроля и объекта контроля, определение тех элементов, отказ которых приводит к появлению ложной тревоги и пропуска дефекта, даёт более точные результаты, т.к. в этом случае рассматривается тонкая структура отказа системы контроля. Однако практически реализовать этот метод возможно лишь на этапе заключительной разработки системы контроля.

Таким образом, в настоящее время существует достаточно полно проработанная теория оценки недостоверности контроля, вносимой непосредственно системой контроля.

Существует ещё одна причина, заключенная в методе назначения допусков на контрольные параметры, получавшая в литературе название дефекта назначения допусков. Рассмотрение этого вопроса выполнено в монографии Л.Г. Евланова [5].

Процедура проведения допускового контроля основана на сравнении измеренной величины с наперед заданным допуском, который является постоянной величиной. В действительности назначение допуска выполняется приближенно, т.к. в самом способе назначения допуска существует методическая погрешность. Наличие этой методической погрешности проявляется при проведении контроля в том, что при определенных условиях неисправное изделие может быть признано исправным (риск заказчика) или наоборот исправное неисправным (риск изготовителя). Данная ситуация, обусловленная методической погрешностью назначения допусков, в теории контроля получила название дефекта назначения допусков. Термин дефект назначения допусков означает возможность недостоверного выявления неисправности из-за методического несовершенства назначения допусков.

В монографии Лебедева А.М. [7] сделан важный вывод о том, что риск заказчика и риск изготовителя связаны линейным соотношением. Также построены графики зависимости риска изготовителя и риска заказчика от числа контрольных параметров, представленные на рис. 1.



**Рис. 1.** График зависимости риска изготовителя ( $\alpha$ ) и риска заказчика ( $\beta$ ) от числа контрольных параметров

Анализируя вышеуказанные графики, можно сделать вывод о том, что с увеличением сложности контролируемых систем условная вероятность риска изготовителя уменьшается и, следовательно, уменьшаются потери изготовителя, в свою очередь, условная вероятность риска заказчика и связанные с ней различные виды потерь возрастают.

Назначение допусков выполняется из условия обеспечения значений критерия качества  $W(x_1, x_2, \dots, x_n) > W_{зад}$ , где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — контрольные параметры. Это может быть выполнено, если контрольные параметры бортовой системы принадлежат замкнутому выпуклому множеству, которое в первом приближении является  $n$ -мерным эллипсоидом или гиперэллипсоидом, лежащим в  $n$ -мерном пространстве контрольных параметров. Дефект допусков является самой малоизученной разновидностью допускового контроля. Решение задач дефекта допускового контроля требует представления критерия качества как функции контрольных параметров и разработки методики бездефектного допускового контроля, а также решение сложнейших организационно-технических задач.

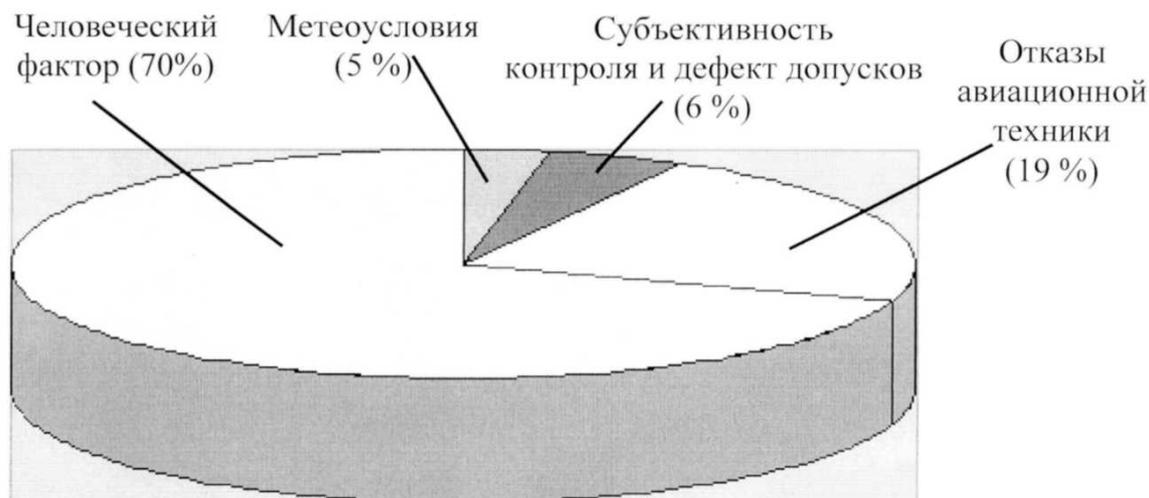
Проведенное исследование отказов, которые были обнаружены при испытаниях в составе ВС, но не выявлены автономными испытаниями на входном контроле за период с 01.01.86г. по 08.06.87г. (технический акт № 354 от 26. 04.88), показало, что забракованные изделия были возвращены заводу изготовителю по рекламационным актам. При этом завод-изготовитель отказа не подтвердил и вновь отправил забракованные изделия на самолетостроительное предприятие. Повторные испытания в составе ВС вновь подтвердили их неисправность. На основании проведенных работ комиссия посчитала, что одной из наиболее вероятных причин возникновения отказов данного типа следует признать дефект допусков. Отказы указанного типа составили 26,3% от номенклатуры проверяемых изделий.

Кроме достоверностей контроля, связанных с техническим решением ряда задач, встают проблемы, связанные с человеческим фактором. К их числу можно отнести:

- ошибки при составлении программ контроля;
- ошибки испытателя при проведении испытаний;
- преднамеренное искажение результатов испытаний.

Все эти проблемы можно отнести к субъективным факторам достоверности контроля.

В монографии Лебедева А.М. [7] была произведена оценка уровня безопасности полётов (УБП), обусловленного достоверностью контроля. По результатам оценки УБП построена диаграмма факторов, влияющих на безопасность полётов, которая представлена на рис. 2.



**Рис. 2.** Факторы, влияющие на безопасность полетов

Из построенной выше диаграммы можно сделать вывод о том, что дефект назначения допусков и субъективные ошибки операторов при проведении контроля оказывают на уровень безопасности полётов негативное влияние. Полученные данные позволяют ставить следующие задачи:

- изучение явления дефекта допусков и исключение его влияния на результаты контроля;
- разработка и внедрение автоматизированных систем контроля и систем автоматизированного проектирования (САПР) программ контроля для исключения влияния субъективного фактора и создания высокопроизводительного испытательного оборудования.

Кроме того, существует проблема трудоемкости испытательных работ, которые не относятся к производственным затратам и в то же время составляют на самолетостроительных предприятиях от 20 до 43 % от общей трудоемкости и до 70% на ряде предприятий министерства общего машиностроения.

Кардинальный выход из этого положения, как это было определено НИАТом и Гипрониавиапромом в техническом проекте на авиационно-промышленный комплекс и в решении правительства, заключался в разработке автоматизированных систем контроля.

Отсутствие скрытых дефектов и неисправностей является одним из важнейших компонентов безопасности полетов. Для этого на этапе производства необходимо обеспечить высокую достоверность и объективность контроля.

Применение в производстве автоматизированных систем контроля и САПР программ позволяет получить следующее:

- обеспечить объективность контроля и исключить субъективный фактор;
- снизить трудоемкость испытаний и контроля;
- сократить время проведения испытаний и контроля;
- исключить ошибки операторов и технологов, составляющих программы контроля;
- исключить или учесть дефект допусков;
- автоматизировать процесс исключения инструментального и методического риска изготовителя и риска заказчика.

Таким образом, одним из основных направлений повышения достоверности контроля является внедрение АСК программ контроля или интегрированных АСК, а также применение САПР программ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Плетнёв И.Л., Рембеза А.И., Соколов Ю.А. Эффективность и надёжность систем. - М.: Машиностроение, 1997.
2. Володарский В.Я. Некоторые пути совершенствования метрологического обеспечения изделий отрасли // Авиационная промышленность. - 1982. - № 6.

3. **Кринецкий Е.И., Александровская Л.Н.** Лётные испытания ракет и космических аппаратов. - М.: Машиностроение, 1979.
4. **Разумный В.М.** Оценка параметров автоматического контроля. - М.: Энергия, 1975.
5. **Евланов Л.Г.** Контроль динамических систем. - М.: Наука, 1982.
6. **Васильев Б.В.** Прогнозирование надёжности и эффективности радиоэлектронных устройств. - М.: Сов. радио, 1970.
7. **Лебедев А.М.** Теория и методы синтеза интегрированных систем диагностического контроля: монография. - Ульяновск: УВАУ ГА, 2005.

## THE ANALYSIS OF INCREASE OF RELIABILITY CONTROL

**Erokin E.V.**

Various methods of reliability control are considering in this article, which methods have been devoted quantity of works by various authors, and also their short analysis is carried out. The estimation of influence of reliability control is also resulted on level of safety. Methods reducing influence of the given factor on safety of flights are considered too.

**Key words:** safety, reliability control, defect destination tolerances, the risk of the manufacturer, the risk of the customer, systems of automatic control.

### Сведения об авторе

**Ерохин Евгений Валерьевич**, 1984 г.р., окончил МГТУ ГА (2008), аспирант МГТУ ГА, автор 1 научной работы, область научных интересов – безопасность полётов.

УДК 532.57

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ РАСПЫЛЯЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.В. ДУДНИК

**Статья представлена доктором технических наук Никитиным И.В.**

В данной работе рассмотрена возможность создания простого и надежного датчика расхода химической жидкости сельскохозяйственных летательных аппаратов. Предложен бесконтактный датчик с позисторным чувствительным элементом. Представлены результаты экспериментов с ним на измерительной проливной установке.

**Ключевые слова:** вертолет, авиахимические работы, качество обработки поля, расход жидкости.

Сельскохозяйственные вертолеты могут обеспечить самое высокое качество обработки полей среди всех устройств внесения пестицидов. Это обеспечивается движением выброшенных капель в мощном индуктивном следе вертолета. Однако этот же след может приводить и к более сильным отрицательным воздействиям, таким как неравномерность покрытия сельхозкультур пестицидами и несанкционированное опрыскивание соседних полей. Кроме наличия индуктивной струи, еще одной причиной неравномерного опрыскивания является сама конструкция распылительной системы. Как показал анализ работы некоторых вертолетов Ми-2 на авиахимических работах (АХР), общий расход жидкости, проходящей в правую и левую распылительную штанги, обычно отличается друг от друга в 1.5-2.5 раза. Центральная штанга, несмотря на то, что подключена к общему источнику рабочей жидкости, может иметь непропорционально малый ее расход. Это приводит к неравномерности распределения химических веществ и существенному перерасходу рабочей смеси, что не только повышает себестоимость сельскохозяйственного производства, но и крайне пагубно влияет на культуры и окружающую среду.

Во многих западных государствах законодательство требует установки приборов контроля расхода пестицидов. В нашей стране подобные устройства используются мало. Сложность производства легких приборов для сельскохозяйственной аппаратуры вызвана взаимодействием их элементов с высокоагрессивной рабочей смесью. Так, даже стандартный датчик уровня жидкости в химических баках вертолета Ми-2 практически не используется в АХР, поскольку, как правило, выдерживает только несколько месяцев работы. Эксплуатанты вертолетов чаще применяют прозрачную трубку, закрепленную вдоль фюзеляжа, от химических баков до лобового стекла (рис.1). Как правило, это единственный «прибор» контроля пестицидов. Говорить о дифференциальном учете расхода жидкости в каждой штанге вообще не приходится. В идеале датчики дифференциального расхода следует применять в совокупности с системой управления подачи жидкости в каждую штангу. Такая система должна работать в соответствии с моделью осаждения капель. Использование в ней устройств измерения угла сноса и разницы воздушной и путевой скорости позволит определить скорость ветра, что может существенно повысить равномерность внесения препаратов. Включение в систему регистратора данных позволит анализировать качество обработки полей. Результатом использования такой системы должно быть не только существенное повышение урожайности, но и рост спроса на АХР, выполняемые эксплуатантами с помощью такого оборудования.



**Рис. 1.** Применяемый на сельскохозяйственных вертолетах «датчик» уровня химической смеси – прозрачная трубка вдоль остекления кабины (показана стрелками)

Для того чтобы система контроля дифференциального расхода химической жидкости была применима, она должна содержать легкие простые дешевые и малогабаритные датчики расхода. В условиях высокой агрессивности среды целесообразно использовать бесконтактные методы измерений. Это также помогает не создавать дополнительного гидравлического сопротивления в распылительном оборудовании. При анализе возможных принципов действия элементов, идентифицирующих движение рабочей смеси, рассматривалась возможность использования датчиков ЭДС, сопротивления, индукционных и термодинамических. В условиях небольшого расхода жидкости, характерного для распылительных штанг, наиболее подходящим по сумме критериев эффективности может оказаться термодинамический принцип. Он основан на зависимости потребления нагревателем мощности от условий охлаждения.

Если пренебречь теплом, отдаваемым нагревателем в окружающую среду, то уравнение теплового баланса (расход тепла, потребляемого нагревателем, и тепло, сообщенное потоку) будет равно

$$q_t = kQ_m C(t_n^{\circ} - t_{ж}^{\circ}), \quad (1)$$

где  $q_t$  - количество теплоты, отдаваемое нагревателем в единицу времени, т.е. тепловая мощность;  $k$  - поправочный коэффициент на неравномерность распределения температур и скоростей потока по сечению трубы;  $Q_m$  - массовый расход жидкости;  $C$  - удельная теплоемкость;  $t_n^{\circ}$  - температура нагревателя;  $t_{ж}^{\circ}$  - температура жидкости.

Как видно из (1), наибольшая точность калориметрического расходомера будет в условиях стабилизации температур нагревателя и жидкости. Чем больше разница этих температур, тем выше чувствительность датчиков. Если температура растворов химикатов зависит от внешних условий, то температура нагревателя связана с его технической конструкцией. Для уменьшения веса датчика и упрощения конструкции предложено в качестве нагревателя использовать позисторную керамику как терморезистор с положительным температурным коэффициентом. Эта керамика резко (на несколько порядков) увеличивает свое сопротивление при нагревании. Если нагрев осуществляется пропускаемым через позистор током, то возникает автоматическая стабилизация температуры керамики. При этом потребляемая ей мощность резко падает. Большая крутизна графика зависимости сопротивления от температуры характеризует позистор. Она же обуславливает лишь незначительное изменение температуры нагревателя даже при значительных изменениях условий охлаждения этого датчика. Поэтому в данном случае мерой расхода жидкости будет мощность, потребляемая позистором.

Конструкция датчика показана на рис. 2. Датчик содержит тонкостенную металлическую трубку 1, к которой с наружной стороны присоединен нагревательный элемент 2. С противоположных концов трубка герметично соединена со штуцерами 3. Для обеспечения необходимой прочности и теплоизоляции пространство над трубкой заполнено армирующей обмоткой, сделанной из прочной капроновой нити 4. Общая прочность конструкции обеспечивается кольцом 5, которое жестко соединено со штуцерами 3.

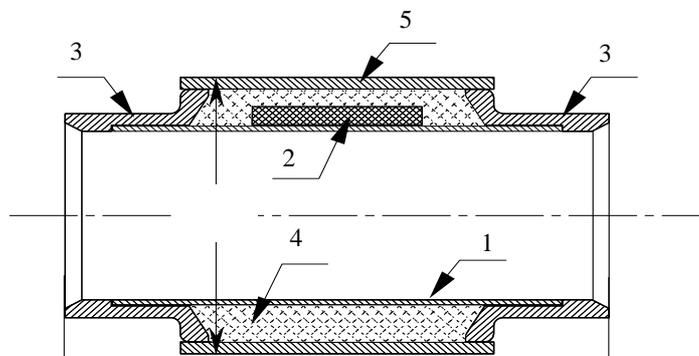


Рис. 2. Конструкция позисторного датчика расхода

Благодаря тому, что размеры и мощность позисторного нагревателя малы, он не может существенно изменить температуру жидкости во время работы летательного аппарата. Однако потребляемая им мощность зависит от состояния движения раствора. Наружная сторона позистора окружена теплоизолирующим слоем, что снижает теплопередачу в атмосферу, а отвод тепла по трубке незначителен, так как ее толщина выбрана малого размера. В общем виде мощность, подводимая к позистору, равна

$$P = U \cdot I, \tag{2}$$

где  $U$  - напряжение сети;  $I$  - потребляемый ток.

В условиях теплового равновесия эта мощность равна (1). Приравнявая выражения, получается

$$U \cdot I_{ст} = kQ_m C(t_n^o - t_{ж}^o), \tag{3}$$

где  $I_{ст}$  - ток позистора, соответствующий состоянию температурной стабилизации.

Как видно из (3), если принять напряжение сети постоянным, то потребляемый позистором ток будет определяться в основном массовым расходом жидкости  $Q_m$

$$Q_m = \frac{U \cdot I_{ст}}{kC(t_n^o - t_{ж}^o)} = K \cdot I_{ст}, \tag{4}$$

где  $K$  - тарировочный коэффициент датчика.

Позисторный датчик расхода химического раствора работает следующим образом. При отсутствии жидкости в трубопроводе отвод тепла от позистора минимален, что выводит последний на режим температурной стабилизации. Потребление тока резко снижается. В этом случае подается сигнал об отсутствии жидкости на датчике (она закончилась или произошла поломка оборудования).

При наличии неподвижной жидкости теплоотвод увеличивается до некоторого значения, а потребляемая мощность возрастает. Этот уровень тока можно принять за исходный, т.е. соответствующий отсутствию течения жидкости. Ее поток значительно увеличивает теплоотвод. Степень увеличения теплоотвода определяет величину мощности, потребляемой позистором. Чем выше расход жидкости, тем больше уровень выходного сигнала. Сигналы, полученные от датчиков, расположенных на входе в каждую распылительную штангу, могут выводиться как на индикатор в кабине пилота, так и в устройство контроля сельскохозяйственной аппаратуры. Устройство, совмещенное с высокочастотной спутниковой навигационной системой, магнитометром, измерителем воздушных сигналов, может пересчитывать текущие данные опрыскива-

ния каждой штангой в зависимости от атмосферных условий. Кроме того, оно выдает пилоту корректирующую информацию или накапливает ее для последующего анализа качества обработки полученных записей. В случае вывода корректирующей информации непосредственно летчику, она должна быть представлена в аналоговом виде. Это позволит упростить ее визуальный анализ в полете на предельно малой высоте. Накопленная информация о качестве опрыскивания полей может быть передана сельхозпроизводителям.

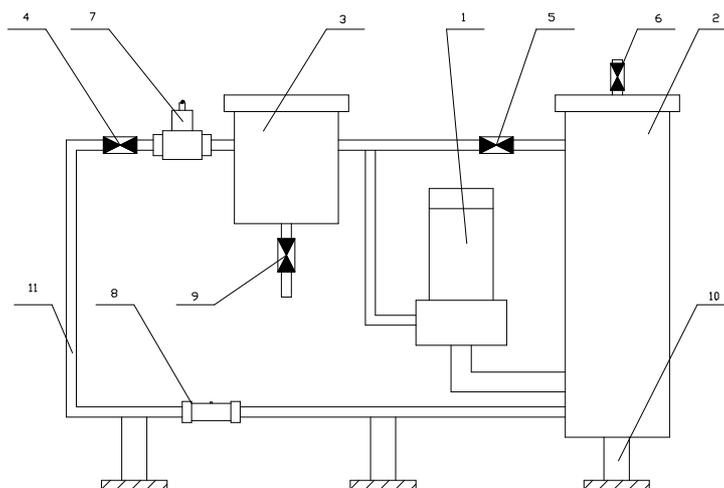
Для проверки результатов расчетов и калибровки позисторного датчика проводились исследования на стендовой измерительной установке (рис. 3). Она представляет собой комплекс трубопроводов и регулировочных заслонок, соединенных по кольцевой схеме, в которую встроены насос, эталонный и тестируемый датчики.



**Рис. 3.** Внешний вид измерительной проливной установки

Схема измерительной установки показана на рис. 4. Центробежный насос 1 предназначен для создания потока жидкости в трубопроводах установки. Емкость 2 необходима для обеспечения стабильности работы установки и устранения возможной кавитации на лопатках насоса, возникающей из-за нехватки жидкости. Компенсационная емкость 3 сглаживает неустойчивости потока, создаваемые насосом. С помощью заслонок 4, 5, регулируя их пропускную способность, можно установить требуемый расход жидкости в трубопроводе с датчиками. Через спускной вентиль 6 происходит наполнение установки жидкостью и удаление воздуха, попавшего в установку при ее заполнении. Проход жидкости измеряется эталонным датчиком 7, проверенным и оттарированным в «Центре стандартизации и метрологии», и тестируемым датчиком 8. Сливной вентиль 9 служит для спуска рабочей жидкости перед демонтажом установки или сменой тестируемого датчика. Опоры 10 поддерживают элементы установки в рабочем положении. Трубопровод 11 передает поток жидкости по кольцевой схеме.

Работа установки осуществлялась следующим образом: через вентиль 6 производится заполнение полостей установки рабочей жидкостью. Попавший в установку с потоком жидкости воздух выводится через вентиль 6. Далее включается насос 1, который начинает перекачивать жидкость из емкости 2 по трубопроводу через измерительные приборы и другие его звенья обратно в емкость 2. Насос перекачивает до 25 л жидкости в секунду. Регулировкой заслонок 4 и 5 можно добиться изменения параметров расхода практически от 0 (задвижка 4 полностью закрыта, а задвижка 5 полностью открыта) до максимального значения - 25 л, когда задвижка 4 полностью открыта, а задвижка 5 полностью закрыта.



**Рис. 4.** Принципиальная схема измерительной установки

Экспериментальное исследование позисторного расходомера осуществлялось в два этапа. На первом - выяснялись электрические характеристики позисторного элемента с целью определения их зоны чувствительности. Для этого исследовались два типа позисторов, которые предлагается использовать в датчиках в качестве активных элементов. К собранному экспериментальному образцу датчика поочередно подключали сначала позистор первого типа, затем - второго. На активные элементы подавали напряжение и снимали установившиеся значения амперной характеристики. Это делалось для того, чтобы выявить зону максимальной чувствительности элементов, т.е. определить при каких значениях подаваемого напряжения амперные характеристики имеют максимальное значение. На втором этапе исследовался позисторный датчик, включенный в диапазоне его максимальной чувствительности.

В ходе первого эксперимента удалось выяснить, что зона максимальной чувствительности исследуемых позисторов находится в пределах 30 - 33,5 В, а позистор второго типа (табл. 1) более чувствителен.

**Таблица 1**

Характеристики чувствительности позисторных элементов

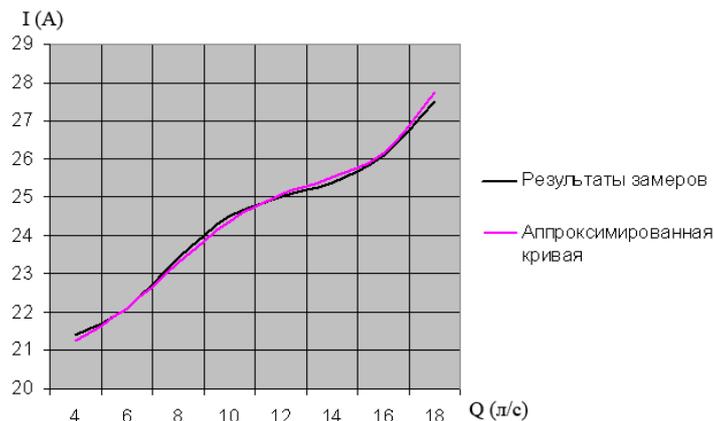
U (В)	25	32	33,5	36	45	60
I <sub>1</sub> (А)	19,4	21,2	27	25	19	11,1
I <sub>2</sub> (А)	21,3	28	31,3	30,5	23	14,3

По результатам второго эксперимента с бесконтактным датчиком, основанном на позисторе второго типа, были получены данные (табл. 2). Этот чувствительный элемент был изготовлен в Ростовском институте математики и прикладной механики. В эксперименте использовалось опорное напряжение 32В.

**Таблица 2**

Зависимости амперной характеристики позисторного датчика от расхода жидкости

Q (л/с)	4	6	8	10	12	14	16	18
I (А)	21,4	22,1	23,4	24,5	25	25,4	26,1	27,5



**Рис. 5.** График зависимости амперных характеристик датчика от расхода жидкости

Для получения эмпирических зависимостей данные были обработаны собственным программным обеспечением. Полученная полиномиальная функция (5) показала неплохую сходимость, что позволяет использовать ее в программном обеспечении контроллера обработки данных позистора

$$Q = 0,000875I^4 - 0,03621I^3 + 0,5111I^2 - 2,4138I + 24,85. \quad (5)$$

Таким образом, результаты, полученные в стендовых экспериментах, позволяют констатировать, что для дифференцированного контроля расхода жидкости в каждой опрыскивающей штанге могут быть использованы бесконтактные датчики с позисторными чувствительными элементами. Такие датчики могут быть весьма простыми, долговечными и не создающими дополнительного гидравлического сопротивления в опрыскивающей системе. Контроль дифференцированного расхода, совмещенный с высокочастотной спутниковой навигационной системой, магнитометром, измерителем воздушных сигналов, может обеспечить пересчет текущих данных опрыскивания, зависящего от атмосферных условий. Данные могут выдать пилоту корректирующую информацию в реальном масштабе времени или накопить ее для последующего анализа качества обработки полей сельхозпроизводителем или эксплуатантом авиатехники. Более того, создание управляющей системы на базе такого дифференцированного контроля позволит регулировать подачу жидкости в каждую штангу отдельно. В результате существенно выровняется плотность оседания химикатов и повысится качество обработки поля.

## EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF SPRAYING EQUIPMENT SENSORS OF AIR VEHICLES

**Dudnik V.V.**

This article shows possibilities of foundation of simple and reliable sensor of chemical liquid consumption of agricultural air vehicles. Author offers remote sensor with pozistor sensation element. Results of it experiments by spill plant are presented.

**Key words:** helicopter, aviation chemical works, quality of crop dusting, liquid consumption.

### Сведения об авторе

**Дудник Виталий Владимирович**, 1969 г.р., окончил ХАИ (1994), кандидат технических наук, начальник сектора организации и сопровождения Донского государственного технического университета, автор 50 научных работ, область научных интересов - винтокрылые летательные аппараты, применение сверхлегких воздушных судов для решения различных задач, аэродинамика и динамика полета, методы испытаний.

УДК 629.735.45

## ПОСТРОЕНИЕ УПРОЩЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СВЕРХЛЕГКОГО ВЕРТОЛЕТА СООСНОЙ СХЕМЫ

В.В. ДУДНИК

**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 также 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 были 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 являются 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:

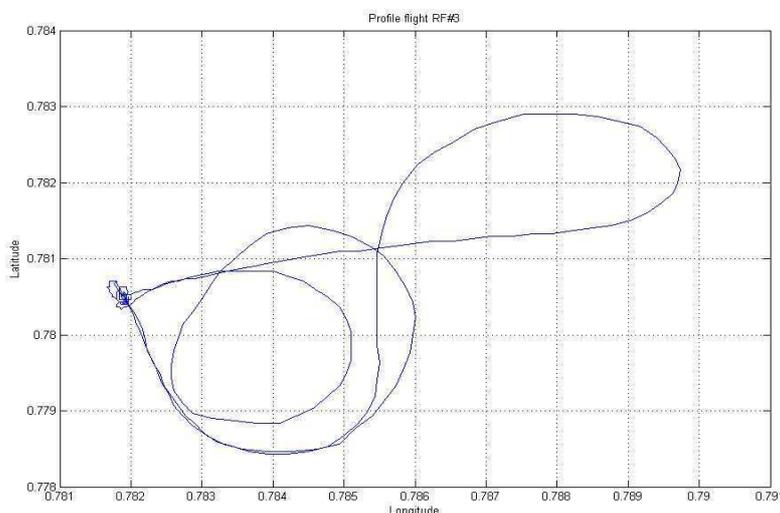
- продольное управление – канал тангажа (потенциометр № 1);
- поперечное управление – канал крена (потенциометр № 2);
- путевое управление – канал курса (потенциометр № 0);
- управление силовой установкой (потенциометр № 3);
- управление шагом (потенциометр № 4).

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 областях в данной статье не рассматриваются, поскольку использовался готовый математический аппарат System Identification Toolbox.

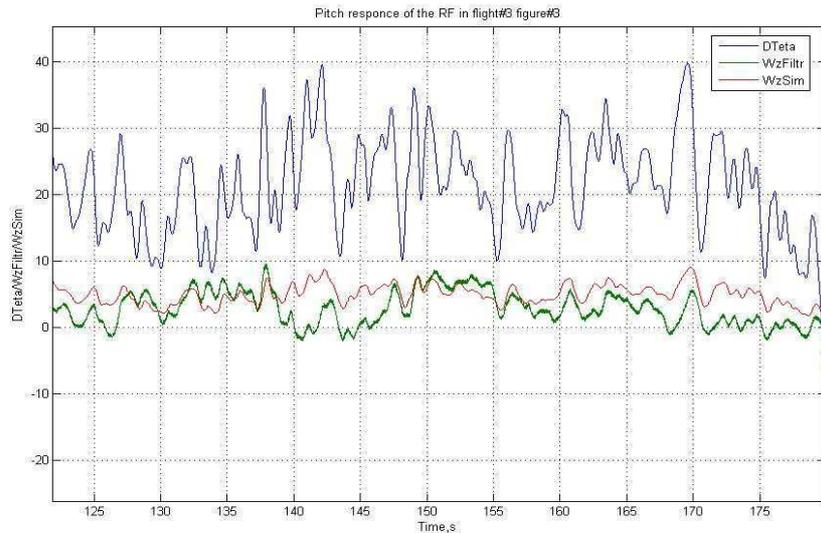
### Канал продольного управления

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, град/с) и синтезированного сигналов угловой скорости тангажа (Wz Sim, град/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

$$\Phi(z) = \frac{0,04483z - 0,04747}{z^2 - 1,467z + 0,4785} \quad (1)$$

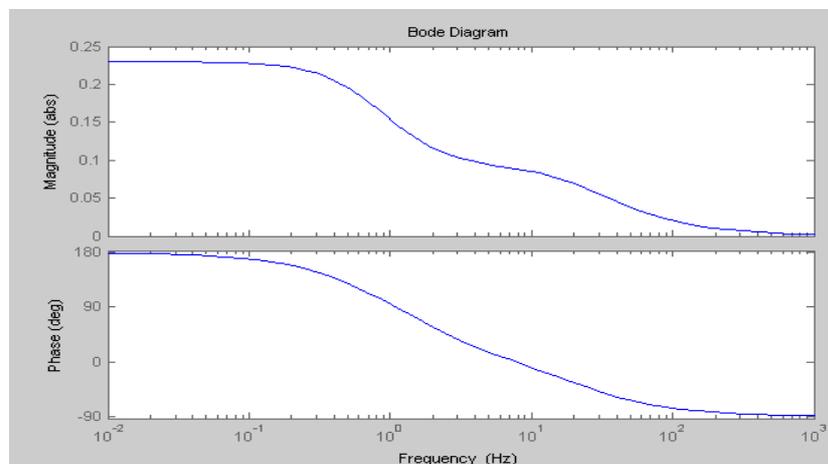
где  $z$  - переменная зет преобразования.

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.

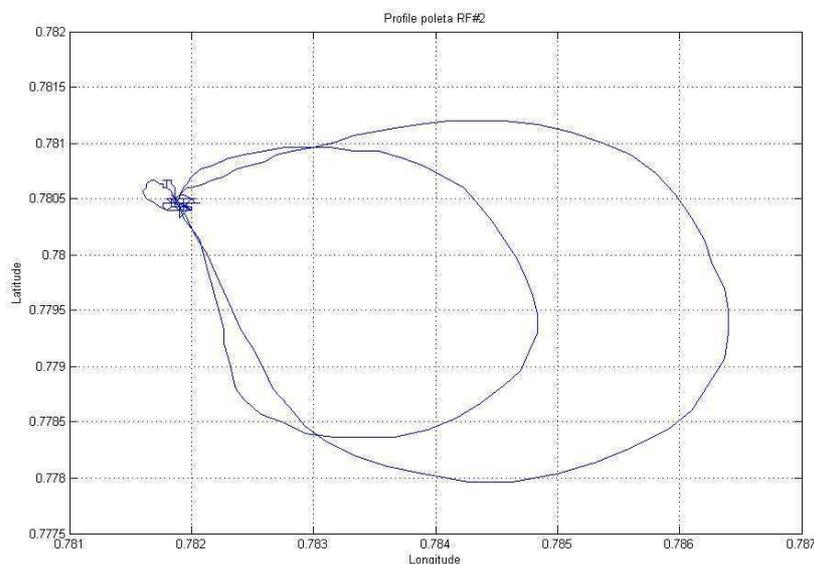
Амплитудные и фазовые частотные характеристики (АФЧХ) аппроксимирующей передаточной функции канала управления углом тангажа представлены на рис. 3.



**Рис. 3.** Амплитудная и фазовая частотные характеристики выбранной аппроксимирующей передаточной функции продольного управления вертолета

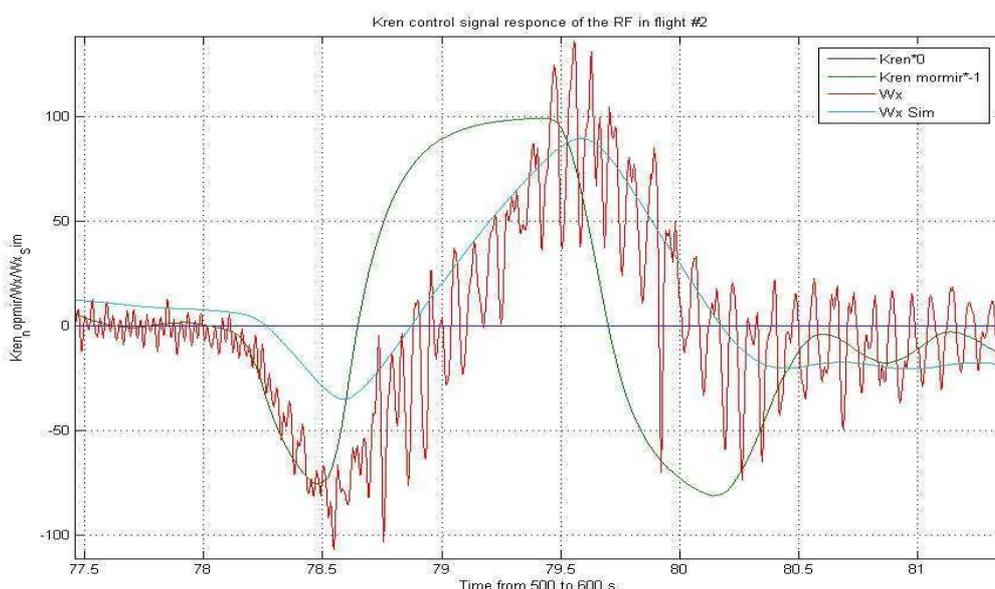
### Канал поперечного управления

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).



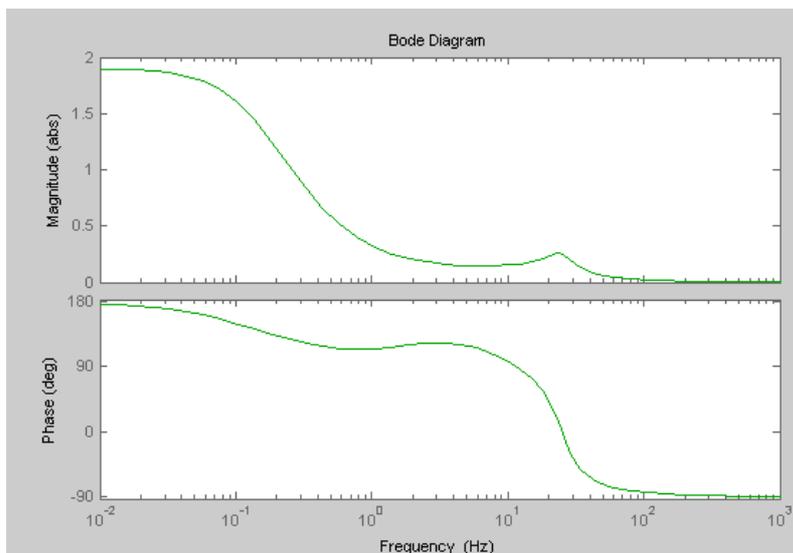
**Рис. 5.** Сравнительное моделирование измеренного ( $W_x$ , град/с) и синтезированных сигналов угловой скорости крена ( $W_x$  Sim, град/с), сигнал органа управления крена задан в виде процента его отклонения ( $Kren\ normir$ , %)

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

$$\Phi(s) = \frac{13,03s^3 + 1308s^2 - 2,17 \times 10^5 s - 3,274 \times 10^6}{s^4 + 157,2s^3 + 30520s^2 + 1,755 \times 10^6 s + 1.723 \times 10^6} \quad (3)$$

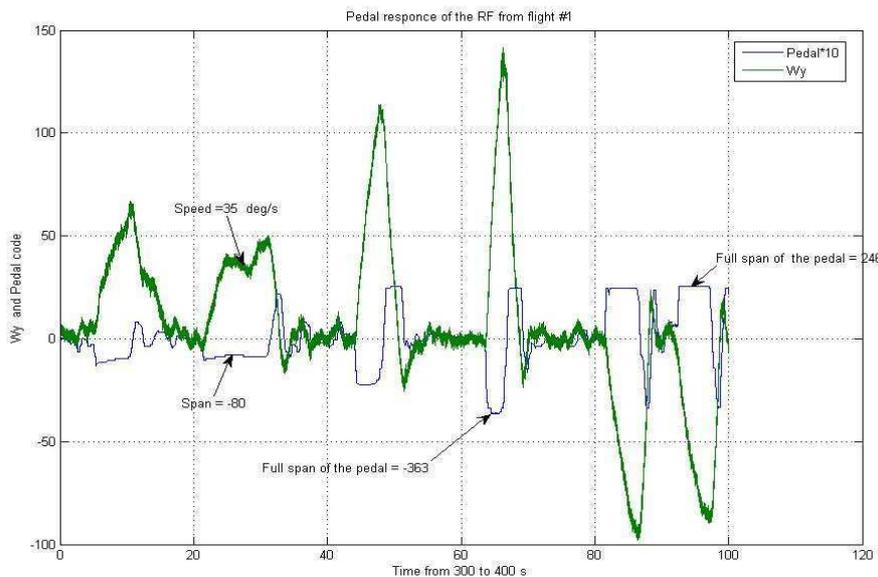
АФЧХ аппроксимирующей передаточной функции канала управления креном представлена на рис. 6.



**Рис. 6.** Амплитудная и фазовая частотные характеристики выбранной аппроксимирующей передаточной функции поперечного управления вертолета

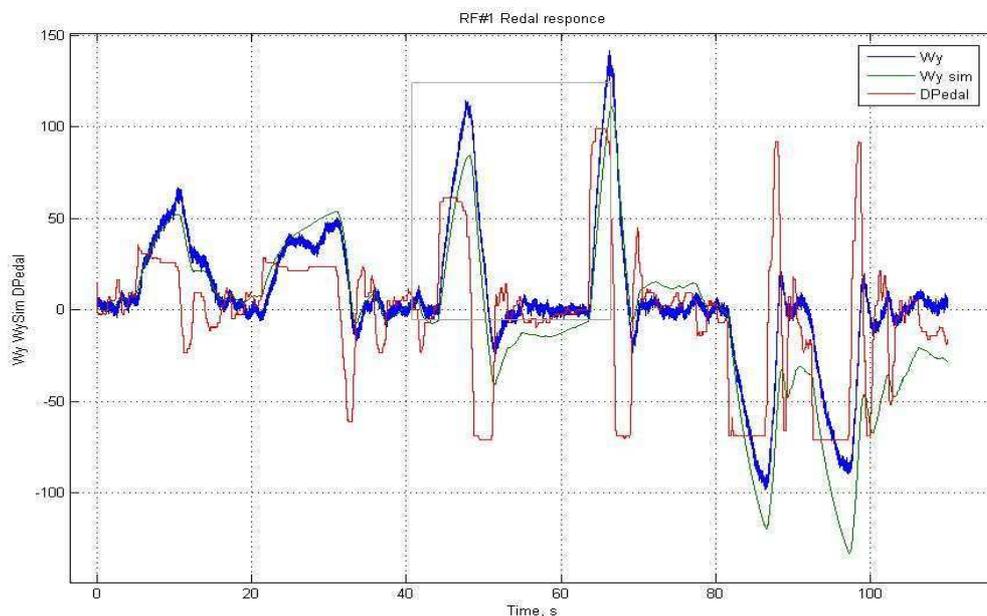
### Канал путевого управления

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 ( $W_y$ , град/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.

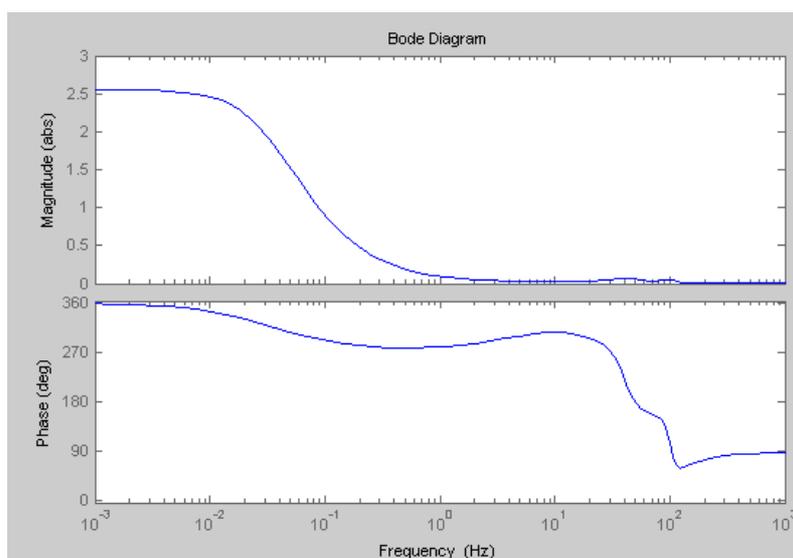


**Рис. 8.** Сравнительное моделирование измеренного ( $W_y$ , град/с) и синтезированного сигналов угловой скорости курса ( $W_y$  Sim, град/с), сигнал органа управления курсом задан в виде процента отклонения ( $DPedal$ , %) по результатам полета № 1

Как видно из показанных результатов, полученная переходная функция удовлетворительно моделирует работу канала управления углом курса вертолета. Полученная передаточная функция для непрерывной системы равна

$$\Phi(s) = \frac{-5,606s^4 - 2611s^3 - 2,248 \times 10^6 s^2 + 3,753 \times 10^8 s + 1,552 \times 10^{10}}{s^5 + 251,1s^4 + 4,8 \times 10^5 s^3 + 5,776 \times 10^7 s^2 + 2,61 \times 10^{10} s + 6,082 \times 10^9}. \quad (4)$$

АФЧХ принятой передаточной функции представлена на рис. 9.



**Рис. 9.** Амплитудная и фазовая частотные характеристики аппроксимирующей передаточной функции путевого управления вертолета

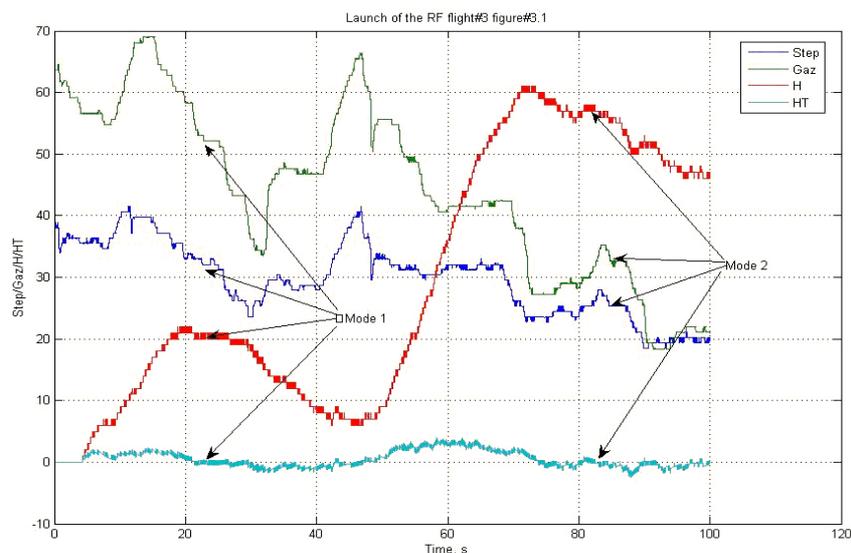
## Управление вертикальной скоростью

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 летних 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.**

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 авторе**

**Дудник Виталий Владимирович**, 1969 г.р., окончил ХАИ (1994), кандидат технических наук, начальник сектора организации и сопровождения Донского государственного технического университета, автор 50 научных работ, область научных интересов – винтокрылые летательные аппараты, применение сверхлегких воздушных судов для решения различных задач.

УДК 656.7.087

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА

В.М.РУХЛИНСКИЙ, В.А.СВИРКИН

В данной статье предложены некоторые аспекты повышения эффективности аварийно-спасательных работ на основе многофакторной оптимизации процесса их проведения.

**Ключевые слова:** аспекты повышения эффективности, воздушные суда, ликвидация пожара.

Мировая статистика авиационных происшествий, связанных с аварийно - спасательными работами в районе аэродрома в период 2004-2009 гг., выглядит следующим образом:

– из 594 авиационных происшествий (АП) ведущих компаний мира 164 произошли по факту выкатывания, 20 АП с выкатыванием привели к человеческим жертвам. На рис. 1 представлены данные ИАТА по выкатыванию с взлетно-посадочных полос (ВПП) воздушных судов ведущих авиакомпаний членов ИАТА.



Рис. 1. Выкатывание с ВПП 2004-2009 гг.

Частота событий на миллион посадок по регионам мира приведена на рис. 2.



Рис. 2. Выкатывание с ВПП (частота)

Всего по данной причине погибло 483 человека в 20 авиационных происшествиях.

Главным показателем эффективности аварийно-спасательных работ является отсутствие пострадавших при возникновении АП, связанного с выкатыванием ВС за пределы ВПП.

Количество пострадавших напрямую зависит от быстрого проведения аварийно-спасательных работ (АСР) и качества оказания медицинской помощи.

АСР включают в себя:

- спасение пассажиров и экипажа;
- оказание медицинской помощи пострадавшим;
- ликвидацию пожара на воздушном судне (ВС);
- эвакуацию ВС;
- ликвидацию последствий авиационного происшествия на аэродроме.

Катастрофа самолета А310 в Иркутске 09.07.2006 г. показала, что эффективности аварийно-спасательных работ должно уделяться одно из первостепенных значений. Комиссия по расследованию авиационных происшествий Межгосударственного авиационного комитета, касаясь качества АСР, констатировала следующее:

1. Дальность подачи огнетушащего состава из лафетных стволов пожарных машин (ПМ), при невозможности близкого размещения ПМ от горевшего ВС, не обеспечивала подачу огнетушащего состава (ОТС) в очаг пожара, в результате чего возникла необходимость прокладки рукавных линий от ПМ к ВС и подачу ОТС через них, что увеличило время проведения пожаротушения.

2. Штатные средства связи не обеспечили эффективность управления спасательными расчетами при проведении спасательных работ на ВС. Имеющиеся переносные радиостанции из-за необходимости постоянного отвлечения внимания для ручного управления ими снижали эффективность выполнения работ; специальная одежда спасателей не обеспечивала выполнение работ вблизи открытых очагов пожара, когда существует опасность ее возгорания при попадании на нее пожароопасных веществ (в том числе авиатоплива).

3. Фактическая численность ведомственной пожарной охраны аэропорта (ВПО СПАСОП) не соответствует штатному расписанию.

Катастрофа унесла жизни 131 человека, многие из них отравились газами, выделяющимися при пожаре.

Катастрофа самолета Boeing 747 в аэропорту города Мангалуру 22.05.10 г. на юго-западе Индии также показала, что производство аварийно-спасательных работ в аэропорту проводилось неудовлетворительно. Погибло 159 человек. Самолет выкатился за пределы ВПП и потерпел крушение вблизи аэродрома. Большое количество погибших - результат недостаточной организации эвакуации пассажиров, оказания медицинской помощи, ликвидации пожара, аэропорт не обеспечен современной техникой и оборудованием АСР.

Указанная статистика ставит перед аэропортами актуальную задачу в разработке и внедрении системы управления БП, в соответствии с требованиями ИКАО (Doc. 9859), включая оценку качества АСР. В соответствии со стандартами ИКАО государству необходимо принять соответствующие нормативные акты, требующие от эксплуатантов аэродромов внедрения системной практики по управлению безопасностью полетов, включая АСР. Необходимо создать надлежащие механизмы надзора для обеспечения спасательных работ поставщиками услуг в соответствии с нормативными требованиями. В рамках своего ведомства гражданской авиации государству необходимо создать подразделение, которому будет поручено обеспечивать соблюдение требований, касающихся аэродромов, создания структур обеспечения безопасности полетов, включая АСР. Она будет играть важную роль в подготовке аэродромного плана на случай возникновения аварийной обстановки.

Одним из основных видов деятельности по управлению безопасностью полетов должно быть проведение проверок состояния безопасности, являющихся средством выявления потенциальных проблем до того, как они отрицательно скажутся на безопасности. Эксплуатант аэродрома должен организовывать проверку СУБП на аэродроме, включая инспектирование аэродромных

средств и оборудования (аварийно-спасательного и аэродромного). Эксплуатанту аэродрома необходимо организовывать проведение внешних проверок для оценки деятельности пользователей аэродрома, включая эксплуатантов воздушных судов, организации по наземному обслуживанию и других работающих на аэродроме организаций. Такие внешние проверки должны проводиться экспертами по вопросам безопасности, имеющими соответствующую квалификацию.

Многие авиакатастрофы происходят на территории, аэродромов или вблизи их, как указано выше, что приводит к перенапряжению ресурсов аэродрома. Надлежащее своевременное реагирование в случае аварийной обстановки с воздушными судами является одной из наиболее важных задач, стоящих перед руководством аэродрома. Для того чтобы в такой критической ситуации можно было предпринимать адекватные действия, требуется составление плана на случай аварийной обстановки на аэродроме (ПАОА). План на случай аварийной обстановки должен координировать действия всех служб аэродрома и базирующихся на нем организаций.

Цель планирования на случай аварийной обстановки на аэродроме заключается в том, чтобы уменьшить последствия от развития событий, особенно с точки зрения сохранения человеческих жизней и сведения к минимуму последствий для выполнения полетов воздушных судов. В ПАОА указывается порядок координации действий различных аэродромных организаций (служб), а также тех организаций в соседних населенных пунктах, которые могут оказать содействие при возникновении аварийной обстановки. План на случай аварийной обстановки должен выполняться независимо от того, имеет ли место происшествие/инцидент «в аэропорту» или «вне аэропорта». В ПАОА должна предусматриваться возможность осуществления операций в любых погодных условиях и возможность авиационного происшествия в различных условиях местности вокруг аэродрома.

Также в ПАОА необходимо оговаривать действия или степень участия всех организаций, которые, по мнению эксплуатанта аэродрома, могут оказать помощь при возникновении аварийной обстановки. К таким организациям относятся:

- 1) на аэропорту:
  - а) аварийно-спасательные и пожарные расчеты;
  - б) медицинские службы;
  - в) полиция и/или службы безопасности (САБ);
  - г) администрация аэропорта, органы ОВД, организации по техническому обслуживанию и эксплуатанты воздушных судов (АТБ);
- 2) за пределами аэропорта:
  - а) полиция;
  - б) МЧС;
  - в) медицинские службы;
  - г) больницы;
  - д) государственные органы;
  - е) военные организации;
  - ж) органы портовой и береговой охраны;
- з) прочие соответствующие организации.

План ПАОА является теоретической основой для принятия согласованных действий в случае возникновения аварийной обстановки на аэродроме или в его окрестностях. Для выявления слабых мест ПАОА важны практические занятия. ПАОА в действии поможет укрепить взаимодействие между участниками, определить ресурсы, каналы связи и т.д. Для этого предусмотрены практические тренировки:

– полномасштабные учения, приближенные к реальным условиям, всеобъемлющее моделирование обстановки с целью проверки всех возможностей, средств и готовности организаций, участвующих в мероприятиях, предусмотренных на случай аварийной обстановки, должны проводиться на регулярной основе;

– кроме того, в плане ограниченные учения моделирования аварийной обстановки для отдельных подразделений, например, для пожарной, аэродромной службы. Рекомендуется проводить не реже одного раза в год, когда не проводятся полномасштабные учения или при необходимости поддержания профессионального уровня;

– штабные учения проводятся с целью уточнения процедур, контрольных перечней, списков телефонов и т.д., а также для консолидации ресурсов на случай аварийной ситуации; не требуют больших затрат. Штабные учения проводятся не реже, чем один раз в полгода.

Одним из главных показателей эффективности при выполнении аварийно-спасательных работ является минимальное количество пострадавших, которое можно представить как функционал от времени проведения АСР и  $F(t)$  качества оказания медицинской помощи:

$$F(t) = \{f_1(x_1, x_2, \dots, x_s), f_2(y_1, y_2, \dots, y_s), f_3(z_1, z_2, \dots, z_s), f_4(q_1, q_2, \dots, q_s), f_5(n_1 - n_s), f_6(m_1, m_2, \dots, m_s), f_7(k_1, k_2, \dots, k_s)\} - \min,$$

где  $f_1$  - функция профессиональной подготовки персонала;  $(x_1, \dots, x_s)$  - регулярные проверки знания, обучение экипажей и всех служб, задействованных в АСР;  $f_2$  - функция обеспечения АС оборудованием и техникой;  $(y_1, y_2, \dots, y_s)$  - количество спецтехники, ее состояние, технические характеристики, количество спасательного оборудования и его функциональность;  $f_3$  - функция оперативности;  $(z_1, \dots, z_s)$  - проверка и обновление процедур связи и вызова, знание маршрутов движения аварийно-спасательных и пожарных служб, их регулярный осмотр и расчистка, резервирование;  $f_4$  - функция взаимодействия со сторонними организациями (МЧС, больницами, органами МВД, МО и т.д.);  $(q_1, \dots, q_s)$  - контроля действий сторонних лиц (пожарных служб, медицинских служб, служб спасения, полиции, министерства обороны);  $f_5$  - функция условий (горный аэродром, на морском побережье, болотистая местность, лесная, в городской черте и т.д.);  $(n_1 - n_s)$  - конфигурация аэродрома, размеры, отрицательный уклон, положительный уклон, наличие пористого бетона в конце полосы;  $f_6$  - функция различных условий времен года;  $(m_1, \dots, m_s)$  - обледенение, мороз, жара, туман, ливневые осадки, слякоть);  $f_7$  - функция характеристик ВС;  $(k_1, k_2, \dots, k_s)$  - пассажироместимость, вес, габариты, посадочные характеристики ВС, количество топлива и т.д.

Для повышения эффективности аварийно-спасательных работ в районе аэродрома необходимо разработать математическую модель оптимизации процесса АСР.

В качестве критерия многофакторной оптимизации процесса АСР выбран  $\min F(t)$ .

Абсолютные ограничения для каждого варьируемого фактора принимаются в пределах  $\min$  и  $\max$  значений статистической выборки для каждого конкретного аэропорта.

Процедура оптимизации представляется в виде 3-х этапов: генерация исходной информации; аналитическое представление целевой функции; оптимизация процесса эксплуатации.

Алгоритм оптимизации позволяет решать следующие задачи для конкретного аэропорта гражданской авиации в различные сезоны эксплуатации:

- определение минимально потребного количества авиационного персонала аварийно-спасательных служб и их профессиональный уровень;
- определение минимально достаточного количества оборудования и техники, требуемого для качественного проведения АСР;
- определение резерва специалистов и оборудования;
- определение минимально необходимых ресурсов для качественного проведения работ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по управлению безопасности полетов (РУБП) Doc.9859. 2-е изд. ИКАО 2009.
2. Рухлинский В.М., Чинючин Ю.М. Оптимизация процесса технической эксплуатации в экстремальных условиях // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов. - М., 2008. - № 127. - С. 24-31.

3. **Rukhlinskiy V., Nekrasov V., Svirkin V.** Certification of aerodrome and en-route equipment (EMAS) // Assembly – 37<sup>th</sup> Session, ICAO, Canada, Montreal, A37-WP/83, 28.

### **SOME ASPECTS OF THE ENHANCING THE EFFECTIVENESS OF THE RESCUE OPERATIONS WITHIN THE TERMINAL AREA**

**Rukhlinskiy V.M., Svirkin V.A.**

This article offers some aspects of the enhancing the accident rescue operations effectiveness based on the multifactor optimization of the operation process.

**Key words:** aspects of improving the efficiency, aircraft, liquidation of the fire.

#### **Сведения об авторах**

**Рухлинский Виктор Михайлович**, 1946 г.р., окончил МАИ им. Орджоникидзе (1973), доктор технических наук, председатель Комиссии по связям с ИКАО, международными и межгосударственными организациями Межгосударственного авиационного комитета, автор более 85 научных работ, область научных интересов – безопасность полетов, эксплуатационно-технические характеристики гражданской авиационной техники и поддержание летной годности самолетов ГА.

**Сvirкин Вячеслав Анатольевич**, 1987 г.р., окончил Кубанский государственный аграрный университет (2009), магистрант юридического факультета КУбГУ, инженер по эксплуатации аэродромов МАКр, автор 1 научной работы, область научных интересов - безопасность полетов, организация производства.

УДК 656.7.081

## НОВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПОРТАТИВНЫХ ПРИЕМНИКОВ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

В.М. РУХЛИНСКИЙ, А.С. ДЯЧЕНКО

В данной статье предлагается новый метод восстановления и использования информации портативных приемников спутниковой навигации при расследовании авиационных происшествий.

**Ключевые слова:** метод, информация, маршрут движения, данные.

В последние годы, в связи с широким распространением технологий спутниковой навигации в гражданском потребительском секторе, в том числе и в гражданской авиации, наблюдается тенденция увеличения количества работ по исследованию информации, предоставляемой портативными приемниками спутниковой навигации (ППСН), изъятыми с места авиационных происшествий (АП) (табл. 1).

Таблица 1

**Авиационные происшествия, сопровождавшиеся исследованиями ППСН (2008-2011 гг.)**

№	Дата	Тип ВС	Тип ППСН	Состояние
1	02.03.2008	R-44	GPSMap 276C	Поврежден
2	03.06.2008	X-32 "Бекас"	GPS 76	Удовлетворительное
3	02.07.2008	Cessna 182	GPSMap 296	Поврежден
4	10.09.2008	Ми-2	GPS 72	Удовлетворительное
5	20.09.2008	Ми-2	GPS 128	Удовлетворительное
6	03.11.2008	ТОРГА-1	GPSMap 295	Поврежден
7	26.12.2008	AS 350 B3	GPSMap 295	Поврежден
8	09.01.2009	Ми-171	GPSMap 296	Удовлетворительное
9	26.04.2009	Як-52	GPS Etrex Vista	Удовлетворительное
10	29.05.2009	Дельталет	GPS Etrex Venture	Удовлетворительное
11	15.06.2009	Cessna-150L	GPSmap 276C	Удовлетворительное
12	16.07.2009	X-32 "Бекас"	GPSMap 276C	Удовлетворительное
13	14.08.2009	Ми-2	GPS 128	Удовлетворительное
14	09.10.2009	Ми-8Т	GPS 72	Удовлетворительное
15	26.10.2009	Вае-125-800В	GPSMap 296	Поврежден
16	29.11.2009	Cessna 182	GPS Pilot 3	Удовлетворительное
17	13.12.2009	СМ-92	GPSMap 276C	Поврежден
18	10.03.2010	R-44	GPSMap 496	Удовлетворительное
19	11.03.2010	Ми-8Т	GPSMap 295	Поврежден
20	19.04.2010	AS-320	GPSMap 296	Удовлетворительное
21	12.06.2010	СВ-32	GPSMap 296	Удовлетворительное
22	13.06.2010	L-44	GPSMap 296	Удовлетворительное
23	08.08.2010	MD-600	GPS 95	Поврежден
24	02.10.2010	R-44	GPSMap 296	Поврежден
25	05.11.2010	Сигма Классик	GARMIN GPS 96	Поврежден
26	25.11.2010	Ми-8Т	GPSMap 296	Поврежден
27	08.04.2011	МД-20ДИ	GPS 72	Поврежден

В настоящий момент большинство моделей приемников представляют собой прибор, оснащенный модулем определения своего местоположения с использованием технологий GPS/ГЛОНАСС и предоставляющий пользователю дополнительные возможности, такие как:

1. Отображение своего местоположения на карте местности.
2. Работа с базой данных навигационных точек пользователя.
3. Создание маршрутов движения, одновременно с их отображением на карте и возможностью сопровождения по выбранному маршруту.
4. Фиксация истории пройденного пути (функция Tracklog).
5. Синхронизация и обмен данными с персональным компьютером.

В табл. 1 приведена статистика проведенных в 2008 - 2011 гг. исследований. Как следует из приведенных данных, в 80% процентах случаев воздушные суда (ВС), потерпевшие катастрофу, не были оснащены штатными средствами объективного контроля (бортовыми самописцами). Из этого следует, что работы по считыванию и восстановлению данных, зарегистрированных приемниками спутниковой навигации, представляют собой практически единственный источник объективной информации о ходе выполнения последнего полета.

В большинстве случаев, в результате проводимых исследований удается восстановить траекторию полета ВС и произвести расчет ряда параметров полета, не прибегая к специальным методам восстановления информации. Однако в ряде случаев (40% от общего количества) не представляется возможным восстановить информацию с приемников, поврежденных вследствие АП, штатными способами. Основным фактором, затрудняющим проведение таких работ, является отсутствие какой-либо документации производителя, описывающей методы работы с неработоспособными приемниками.

Анализ сложившейся ситуации указывал на необходимость создания комплексной методики, включающей в себя методы и алгоритмы использования и восстановления информации с неповрежденных/поврежденных ППСН при расследовании АП.

Поэтому особую роль приобрел вопрос о проработке возможных методов копирования и дальнейшего использования информации об истории пройденного пути, представляющей большую значимость при расследовании АП [1].

На первом этапе работ по исследованию оборудования необходимо произвести считывание зарегистрированной информации. Упрощенная схема проведения этого процесса представлена на рис. 1.

Как видно из табл. 1, в 60% случаев для считывания информации с работоспособного оборудования были использованы штатные методы копирования зарегистрированной информации. В случае, если прибор имеет незначительные повреждения (жидкокристаллический дисплей и/или отдельные элементы поверхностного монтажа требуют ремонта/замены), в рамках методики предусмотрены процедуры, позволяющие обеспечить функционирование прибора в объеме, достаточном для обеспечения копирования информации штатными методами.

Наиболее трудоемким видом работ является копирование и восстановление информации со значительно поврежденных приборов. Обычно такие приемники имеют повреждения следующих видов:

- оплавление внутренних частей прибора вследствие воздействия высокой температуры;
- деформация многослойной печатной платы;
- разрушение отдельных микросхем вследствие воздействия механического удара.

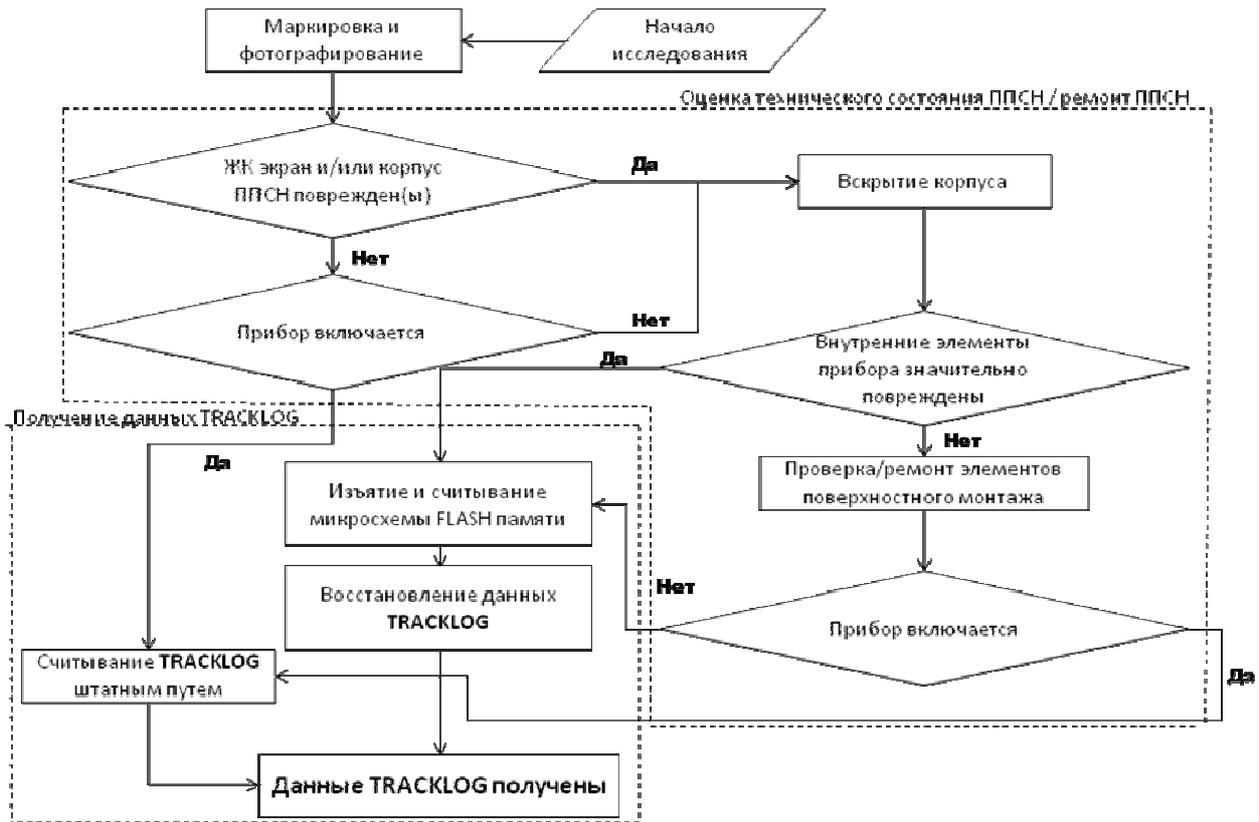


Рис. 1. Блок-схема проведения работ по считыванию данных Tracklog

В случае работы с такими приборами, необходимо убедиться, что микросхема FLASH памяти не разрушена вследствие механического или теплового воздействия, т.к. на настоящий момент времени разработанная методика не предусматривает возможности работы с такими микросхемами. Как видно из табл. 1, в 11 из 27 случаев приемники имели значительные повреждения, однако микросхема FLASH памяти находилась в состоянии, позволяющем производить ее считывание.

В рамках создания методики был разработан и изготовлен стенд, предназначенный для считывания микросхем FLASH памяти, используемых различными типами приемников.

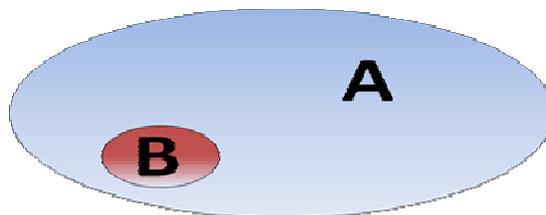
В процессе анализа различной технической документации был выполнен расчет относительных показателей объема регистрируемых данных (рис. 2), и установлены ключевые принципы регистрации параметров движения, применяемые внутренними алгоритмами ППСН:

- 1) используется кадровая (пакетная) структура регистрации истории пройденного пути;
- 2) определен конкретный перечень регистрируемых параметров (точное время UTC, долгота, широта, относительная высота);
- 3) установлены функции преобразования физических значений регистрируемых параметров в машинный код, сохраняемый на носителе информации.



Рис. 2. Функциональное распределение емкости микросхемы FLASH памяти для отдельно взятой модели ППСН

Таким образом, микросхема FLASH памяти ППЧН хранит множество  $A$ , элементами которого являются значения байт, записанные на микросхеме. Из этого следует, что  $B \subset A$ , где  $B$  – множество зарегистрированных точек траектории пройденного пути (рис. 3).



**Рис. 3.** Представление способа хранения информации Tracklog в микросхемах FLASH памяти ППЧН

Полученная информация позволила провести математический эксперимент, направленный на разработку нового алгоритма автоматической фильтрации.

Цель создаваемого алгоритма заключается в нахождении всех элементов  $b \in B$ , содержащихся во множестве  $A$ , одновременно с идентификацией способа кодирования параметров движения элементами  $b$ .

Процесс реализации алгоритма потребовал внесения начальных условий:

1. Диапазон времени регистрации последней траектории полета  $BC - (T_{АП} - dT \leftrightarrow T_{АП})$ , где  $T_{АП}$  – официальное время АП;  $dT$  – приблизительная продолжительность последнего полета (значения обоих параметров могут задаваться с запасом).

2. Значение величин географических координат области АП -  $L_{1,2}, dL_{1,2}$ , где  $L_1$  - широта места АП;  $L_2$  - долгота места АП;  $dL_{1,2}$  – допустимые приращения параметров  $L_{1,2}$ . Методом последовательного перебора элементов  $a \in A$  формируется вектор  $IT = IT(it_1, it_2, \dots, it_{N_T-1}, it_{N_T})$ , содержащий  $N_T$  значений индексов элементов  $a_i$ , для которых выполняются условия:

а)  $a_i \in A$  расшифровывается, как действительное значение времени, т.е.  $0 \geq (T_{АП} - F_t(a_i)) \leq dT$ , где  $1 \leq i \leq N_A$ ,  $N_A$  - количество элементов исходного множества  $A$ ;  $F_t$  - функция преобразования значений множества  $A$  в физическую величину времени;

б) окрестность  $a_i \in A$  содержит элементы, расшифровываемые как достоверные значения долготы/широты, т.е.  $|F_{pk}(a_j) - V_k| \leq dV_k$ , где  $i - M \leq j \leq i + M$ ;  $k = 1, 2$ ;  $M = \varepsilon$  (значение  $\varepsilon$  было рассчитано из условия максимально возможной емкости кадра данных элемента  $b \in B$ ).

Как установлено ранее, элементы множества  $b \in B$  регистрируются прибором в строгой последовательности. Данный факт позволяет произвести точный расчет длины кадра, равной количеству байт  $F$ , отведенных на хранение одной траекторной точки. Расчет параметра  $F$  производится за счет вычисления величины медианы приращения упорядоченных значений элементов вектора  $IT$ .

Основной процедурой эвристического анализа является формирование и анализ матрицы  $C$ , содержащей все значения исходного множества  $A$ , предположительно являющиеся элементами  $b \in B$ .

$$C = \begin{bmatrix} a_{it_2-F} & \dots & a_{it_2-2} & a_{it_2-1} & a_{it_2} & a_{it_2+1} & a_{it_2+2} & \dots & a_{it_2+F} \\ a_{it_2-F} & \dots & a_{it_2-2} & a_{it_2-1} & a_{it_2} & a_{it_2+1} & a_{it_2+2} & \dots & a_{it_2+F} \\ \vdots & \vdots \\ a_{it_{N_T-1}-F} & \dots & a_{it_{N_T-1}-2} & a_{it_{N_T-1}-1} & a_{it_{N_T-1}} & a_{it_{N_T-1}+1} & a_{it_{N_T-1}+2} & \dots & a_{it_{N_T-1}+F} \\ a_{it_{N_T}-F} & \dots & a_{it_{N_T}-2} & a_{it_{N_T}-1} & a_{it_{N_T}} & a_{it_{N_T}+1} & a_{it_{N_T}+2} & \dots & a_{it_{N_T}+F} \end{bmatrix}$$

Матрицу  $C$  можно представить последовательным набором столбцов

$$C^j = \begin{bmatrix} C_{1,j} \\ C_{2,j} \\ \vdots \\ C_{N_T-1,j} \\ C_{N_T,j} \end{bmatrix}$$

Расчетным образом идентифицируются столбцы  $C^l$ , содержащие значения зарегистрированных координат местоположения ВС, т.к. для таких  $C^l$  будет выполняться условие

$$\sum_{i=1}^{N_T} (F_{pk}(C^{i,j}) - V_k) \rightarrow \min,$$

где  $V_k, k = 1, 2$  – параметры местоположения (долготы/широты), заданные в начальных условиях;  $F_{pk}, k = 1, 2$  – соответствующая функция преобразования значений множества  $A$  в физические значения параметров долготы/широты.

Схема проведения эксперимента представлена на Рис. 4. Экспериментальные данные формировались на базе фактической траектории ВС, зафиксированной лабораторным ППСН. На основании полученной траектории в алгоритм поступал набор расчетных множеств  $A$ , отличающихся различными схемами кодирования и включения множества  $B$  (содержащего фактическую траекторию, зафиксированную лабораторным приемником). В результате было получено решение, позволяющее произвести восстановление информации Tracklog во всех расчетных случаях.

Полученная реализация алгоритма прошла успешную апробацию при работе с копиями микросхем памяти неработоспособных приборов, изъятых с места АП (табл. 1).



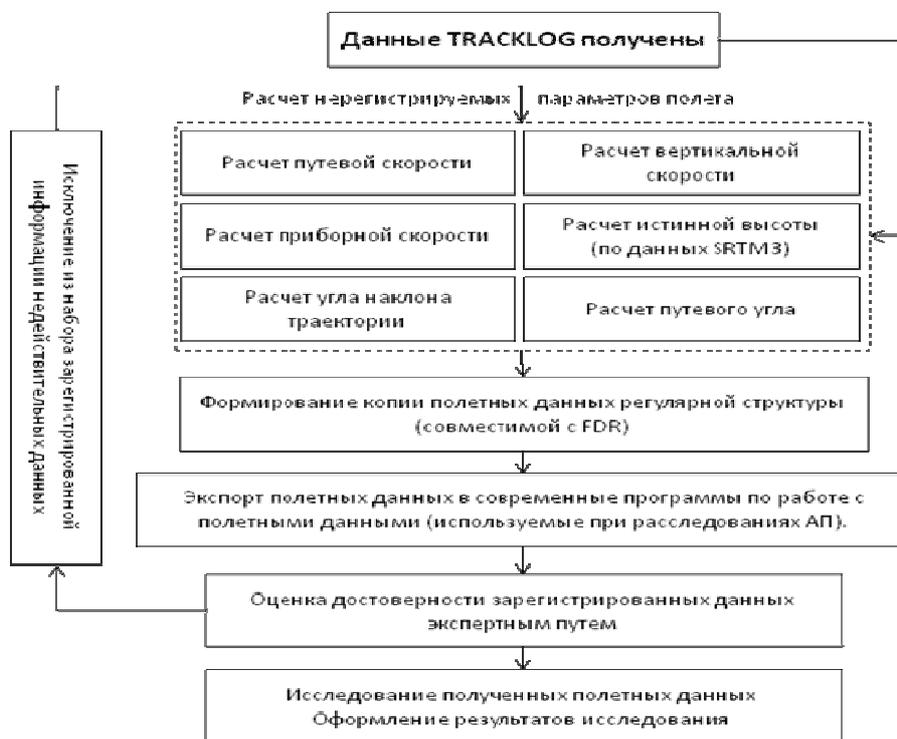
**Рис. 4.** Блок-схема проведения эксперимента по созданию алгоритма фильтрации

Наряду с восстановлением параметров движения ВС в последнем полете, алгоритм также предоставляет информацию о точной структуре кадра хранения данных. Наличие этой информации позволяет производить дальнейшие исследования копии микросхемы памяти на предмет восстановления траекторий предыдущих полетов, что, в свою очередь, способствует установлению реальной картины эксплуатации ВС.

Предложенный метод восстановления информации отличается от ранее применяемых в мировой практике. Например, существует возможность использования информационного письма, разработанного Бюро по расследованию АП Франции [3], содержащего основные сведения о структуре и формате хранения данных Tracklog некоторых моделей приемников спутниковой навигации. Однако этот документ содержит лишь ограниченный перечень моделей оборудования, что не предусматривает универсальности метода.

Схема реализации второго этапа работ, унифицированной методики использования информации ППСН при расследовании АП, представлена на рис. 5. Имея данные точного местоположения ВС в определенные моменты времени, выполняется расчет ряда нерегистрируемых параметров движения ВС.

Отличительной особенностью применения разработанного алгоритма расчета нерегистрируемых параметров полета, является возможность расчета значений истинной высоты полета ВС. Данная функция реализуется за счет работы с базой данных NASA SRTM3 (Shuttle Radar Topography Mission), включающей данные топографической развертки поверхности земли, осуществленной с помощью радарной интерферометрической съемки поверхности земного шара с борта космического корабля многоразового использования "Шаттл".



**Рис. 5.** Блок схема проведения работ по подготовке полученных траекторных данных для дальнейших исследований

Для снижения трудоемкости дальнейших работ, учитывая то, что специалисты, изучающие динамику полета ВС в рамках расследований АП, обычно оперируют с данными, скопированными с штатных бортовых самописцев, был разработан алгоритм, преобразующий восстановленные и расчетные данные в структуру, характерную для штатных бортовых самописцев. Такой подход обеспечивает однообразие использования программных средств, предназначенных для анализа данных бортовых самописцев и ППСН.

В процессе анализа полученной полетной информации экспертам необходимо производить оценку достоверности полученных данных. Необходимость проведения таких работ вызвана тем фактом, что приемники спутниковой навигации продолжают производить регистрацию траекторных данных, даже в случае потери связи со спутниками GPS/ГЛОНАСС. Эта функция

осуществляется ими за счет экстраполяции параметров движения ВС по расчетному вектору скорости, рассчитанному ранее. В настоящий момент времени ведутся работы, направленные на создание автоматических алгоритмов идентификации зон, сопровождающихся регистрацией расчетных (недостовверных) данных траектории движения ВС.

#### **Выводы:**

1. Применение новых методов считывания и восстановления информации при исследовании поврежденных ППСН способствует установлению истинных причин АП, что в свою очередь, позволяет качественно поднять уровень проведения ряда расследований АП.

2. Новые методы прошли апробацию и получили высокую оценку мирового сообщества расследователей АП в ходе проведения рабочего совещания группы IRIG (International Recorder Investigator Group), проводившегося в г. Тайбей (Тайвань) в 2008 году; 17-й научно-практической конференции «Общества независимых расследователей авиационных происшествий», проводившейся в г. Химки (Российская Федерация) в 2009 году [2].

3. Методика «Восстановление и использование информации ППСН при расследовании АП», включающая реализацию новых методов, внедрена в процесс расследования АП специалистами Межгосударственного авиационного комитета.

4. Разработанные алгоритмы могут применяться при работе с другим авиационным оборудованием магистральных ВС 1-го и 2-го класса (TCAS, TAWS и д.р.).

5. Разработанные по результатам расследований АП мероприятия являются базовыми для создания проактивной системы управления безопасностью полетов (SMS) в авиакомпаниях.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Правила расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими воздушными судами в Российской Федерации. – Правительство РФ, 1998.

2. Дяченко А.С. Восстановление и использование информации спутниковых навигационных систем при расследовании авиационных происшествий // 21-й сборник ОРАП. - М., 2009.

3. Информационное письмо «Garmin GPS decoding rules 2008», Бюро по расследованию авиационных происшествий Франции, 2008.

#### **NEW METHODS OF THE RECOVERY AND ANALYSIS OF THE DATA FROM THE PORTABLE GPS RECEIVERS USED IN THE AIR ACCIDENT INVESTIGATION**

**Rukhlinskiy V.M., Dyachenko A.S.**

This article is about new developments in recovery and usage of GPS data for accident investigations.

**Key words:** method, information, route of movement of the data.

#### **Сведения об авторах**

**Рухлинский Виктор Михайлович**, 1946 г.р., окончил МАИ им. Орджоникидзе (1973), доктор технических наук, председатель Комиссии по связям с ИКАО, международными и межгосударственными организациями Межгосударственного авиационного комитета, автор более 85 научных работ, область научных интересов - безопасность полетов, эксплуатационно-технические характеристики гражданской авиационной техники и поддержание летной годности самолетов ГА.

**Дяченко Александр Сергеевич**, 1983 г.р., окончил МАИ им. Орджоникидзе (2006), Калужское авиационное летно-техническое училище (2003), консультант Комиссии по научно-техническому обеспечению расследований авиационных происшествий Межгосударственного авиационного комитета, автор 6 научных работ, область научных интересов – безопасность полетов, разработка программно-аппаратных комплексов по восстановлению информации средств объективного контроля, моделирование авиационных происшествий.

УДК 629.067

## О РАСПРЕДЕЛЕНИИ НАДЕЖНОСТНОГО РЕСУРСА В СЛОЖНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ФИКСИРОВАННЫХ СРЕДСТВАХ

А.Л. РЫБАЛКИНА

Статья представлена доктором физико-математических наук, профессором Козловым А.И.

Статья посвящена решению задачи оптимизации затрат на надежность сложных технических систем.

**Ключевые слова:** ресурс, надежность технической системы.

Одной из узловых проблем, стоящих перед разработчиками сложных систем, в частности авиационной техники, является задача обеспечения их надежности на заданном уровне. Одним из сдерживающих факторов, влияющих на решение этой задачи, является ограниченность материальных и финансовых средств, выделяемых на эти цели. Поэтому возникают две оптимизационные задачи о распределении надежностного и материального ресурсов.

Первая из них сводится к распределению имеющихся средств между элементами сложной системы таким образом, чтобы надежность всей системы была максимальной. Вторая задача формулируется аналогично: как распределить заданный надежностный ресурс между элементами сложной системы, чтобы добиться минимального потребного ресурса.

Для решения сформулированных задач можно использовать следующую модель.

Имеется некоторая сложная система, состоящая из  $N$  структур, таких что работоспособность каждой из них не зависит от работоспособности других.

Обозначим вероятность нормального функционирования  $j$ -й структуры  $j = 1, 2, 3, \dots, N$  за некоторое время  $T$  через  $P_j$ , под которым будем понимать, что данная структура выполняет свои функции за время  $T$ .

В этом случае вероятность работоспособности за время  $T$  всей системы в целом будет определяться равенством

$$P_0 = \prod_{j=1}^N P_j. \quad (1)$$

При этом, что крайне важно и принципиально, каждая из  $P_j$  по своему значению близка к 1, т.е. речь идет об очень высоко надежных системах, что характерно для гражданской авиации, например, суммарная вероятность аварийной ситуации на воздушном транспорте равна  $10^{-6}$  на 1 ч полёта.

Представим каждое из  $P_j$  в виде

$$P_j = 10^{-n_j}, \quad j = \overline{1, N}. \quad (2)$$

При таком представлении значения  $n_j$  являются очень малыми величинами, близкими к нулю. Равенства (1) и (2) позволяют представить формулу (1) в эквивалентном виде

$$P_0 = 10^{-\sum_{j=1}^N n_j} = 10^{-M}. \quad (3)$$

Очевидно, что расходы на поддержание надежности (в дальнейшем будем говорить о стоимости) системы, а равно как и стоимость каждой из образующих систему структур тем выше, чем выше вероятности  $P_0$  и  $P_j$ , т.е. чем меньше  $n_j$  и  $M$  выше, чем выше вероятности  $P_0$  и  $P_j$ , т.е. чем меньше  $n_j$  и  $M$ . При этом сказанное относится как к этапу разработки, так и к этапу эксплуатации.

Обозначим стоимость расходов на поддержание надежности всей системы (далее стоимость) через  $S_0$ , а соответствующую стоимость  $j$ -й структуры -  $S_j$ . Очевидно, что зависимость стоимости  $S_j$  от вероятности  $P_j$  или от параметра  $n_j$  носит сугубо нелинейный характер.

Таким образом, можно сформулировать следующую задачу. Имеются некоторые средства  $S_0$ . Требуется их так распределить между  $N$  структурами, образующими систему, чтобы обеспечить максимальную надежность ее функционирования, то есть определить значения  $n_j$ , при которых

$$\sum_{j=1}^N n_j = M .$$

Можно сформулировать обратную задачу определения минимальной стоимости разработки (эксплуатации) системы. Задана вероятность функционирования всей системы  $P_0$ . Требуется ее так распределить между  $N$  структурами, образующими систему, чтобы стоимость была минимальной, то есть необходимо определить значения  $S_j$ , при которых величина  $S \rightarrow \min$ . При этом

$$S = \sum_{j=1}^N S_j .$$

Для решения задач подобного типа, прежде всего, необходимо построить модель стоимости, т.е. построить аналитическую зависимость вида  $S_j = S_j(n_j)$ .

Основой для построения такой модели является тот факт, что создание структуры, обеспечивающей абсолютную надежность ( $P_j = 1, n_j = 0$ ), с неизбежностью требует бесконечно больших расходов. Другими словами, искомая стоимостная модель должна удовлетворять следующим двум свойствам

$$\lim_{n_j \rightarrow 0} S_j(n_j) = \infty . \quad (4)$$

Условие (4) означает, что функция  $S_j(n_j)$  должна рассматриваться только в окрестности нуля, и говорит о том, что эта функция в точке  $n_j=0$  имеет особенность типа полюса некоторого порядка  $q_j$ , что позволяет разложить функции  $S_j(n_j)$  в ряд Лорана

$$S_j(n_j) = \sum_{i=1}^{q_j} \frac{C_{-i}^j}{(n_j)^i} + C_0 + \sum_{i=1}^{\infty} C_i^j (n_j)^i , \quad (5)$$

где  $C_{\pm i}^j$  - некоторые коэффициенты разложения.

Поскольку  $\frac{C_{-(i+1)}^j}{(n_j)^{i+1}} \gg \frac{C_{-i}^j}{(n_j)^i}$ , то очевидно, что основной вклад в сумму (5) вносит слагаемое из первой суммы с индексом  $q_j$ , это значит, что с очень высокой степенью точности можно записать

$$S_j(n_j) = \frac{C_{-q_j}^j}{(n_j)^{q_j}} > 0 . \quad (6)$$

При этом равенство (6) тем точнее, чем ближе  $n_j$  к нулю, и для реальных структур практически может считаться строгим.

Порядок полюса принципиально зависит от того, что из себя представляет  $j$ -я структура.

Введем обозначения

$$(n_j)^{q_j} = t_j, \quad C_{-q_j}^j = a_j^2 . \quad (7)$$

Таким образом, вместо равенства (6) будем иметь

$$S_j(t_j) = \frac{a_j^2}{t_j} , \quad (8)$$

а вместо равенства  $\sum_{j=1}^N n_j = M$  будем использовать другое равенство

$$\sum_{j=1}^N (n_j)^{q_j} = \sum_{j=1}^N t_j = R. \quad (9)$$

Сказанное позволяет записать выражение для суммарной стоимости в виде следующего ряда

$$S_0 = \sum_{j=1}^N S_j(t_j) = \sum_{j=1}^N \frac{a_j^2}{t_j}. \quad (10)$$

Для решения задачи по определению максимальной надежности (минимального значения  $R$ ) при заданном значении  $S_0$  необходимо найти  $S_j$ , при которых  $R \rightarrow \min$ , то есть найти минимум выражения (12) при выполнении условия (9), т.е. требуется решить систему из  $(N-1)$  уравнения с  $(N-1)$  неизвестными.

При этом

$$t_j = \frac{a_j^2}{S_j}. \quad (11)$$

Получаем систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{dR}{dS_j} &= 0, j = \overline{1, N-1}, \\ R &= \frac{a_N^2}{S_0 - \sum_{j=1}^{N-1} S_j} + \sum_{j=1}^{N-1} \frac{a_j^2}{S_j}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Решив уравнение (12), получим

$$S_j = \frac{a_j \cdot S_0}{\sum_{j=1}^N a_j} \text{ для всех } j = (1 \dots N).$$

Определив  $S_j$ , при помощи формулы (11) находим искомые  $t_j$ , обеспечивающие минимальное значение требуемых средств  $S_{0min}$

$$t_j = \frac{a_j^2}{S_j} = \frac{a_j \cdot \sum_{j=1}^N a_j}{S_0} \text{ для всех } j = (1 \dots N); \quad (13)$$

$$R_{\min} = \sum_{j=1}^N t_j = \frac{\left( \sum_{j=1}^N a_j \right)^2}{S_0}. \quad (14)$$

Для решения второй задачи, сформулированной выше, необходимо найти  $t_j$ , при которых  $S_0$  принимает минимальное значение, т.е. надо минимум выражения (15) при выполнении условия (9), т.е. требуется решить систему из  $(N-1)$  уравнения с  $(N-1)$  неизвестными

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS_0}{dt_j} &= 0, j = \overline{1, N-1}, \\ S_0 &= \frac{a_N^2}{R - \sum_{j=1}^{N-1} t_j} + \sum_{j=1}^{N-1} \frac{a_j^2}{t_j}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Аналогично (13) получаем

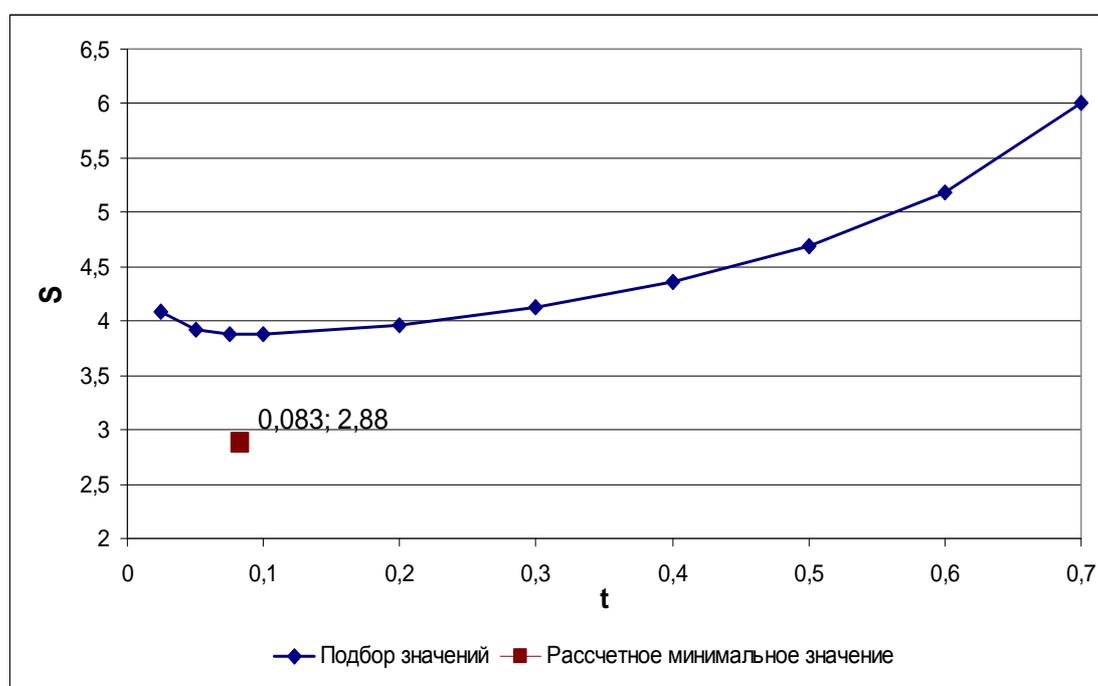
$$t_j = \frac{a_j \cdot R}{\sum_{j=1}^N a_j} \text{ для всех } j = (1 \dots N). \quad (16)$$

Определив  $t_j$ , при помощи формулы (8) находим искомые  $S_j$ , обеспечивающие минимальное значение требуемых средств  $S_{0min}$ .

$$S_j = \frac{a_j^2}{t_j} = \frac{a_j \cdot \sum_{j=1}^N a_j}{R} \text{ для всех } j = (1 \dots N). \quad (17)$$

$$S_{min} = \sum_{j=1}^N S_j = \sum_{j=1}^N \frac{a_j \cdot \sum_{j=1}^N a_j}{R} = \frac{\left( \sum_{j=1}^N a_j \right)^2}{R}. \quad (18)$$

Приведем некоторую численную иллюстрацию полученных соотношений. Система состоит из пяти элементов. Нормируемая надежность каждого из элементов взята случайным образом. Параметр  $R = 2$ . Изменяя значения  $t_j$  при постоянных  $a_j$  и учитывая соотношение (9), эмпирическим путем находим минимальное значение  $S = 3,87$  (рис. 1). Используя полученную формулу (18), получим значение  $S_{0min} = 2,88$ . Таким образом, при применении полученного выражения можно достичь существенного выигрыша в затратах.



**Рис. 1.** Сравнение расчетного значения минимальной стоимости и значения, полученного случайным путем

## DISTRIBUTION OF RELIABILITY RESOURCES IN COMPLEX SYSTEMS WITH FIXED COST

Rybalkina A.L.

The article is devoted to solving problems of optimizing costs of reliability in complex technical systems.

**Key words:** resource, reliability of technical systems.

### Сведения об авторе

**Рыбалкина Александра Леонидовна**, окончила МГТУ ГА (2009), ассистент кафедры БП и ЖД МГТУ ГА, автор более 20 научных работ, область научных интересов – безопасность полетов, надежность технических систем.

УДК 658/562:621.396:681.5

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТРАТЕГИИ ДИЗЬЮНКТИВНОГО ПОИСКА

В.В. КУРЧАВОВ

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

В статье рассмотрена концепция распознавания запрещенных к перевозке предметов и веществ по их рентгеновскому изображению на основе дизьюнктивного поиска.

**Ключевые слова:** интерпретация изображения, стратегия, дизьюнктивный поиск.

В течение последних десятилетий достигнут значительный прогресс в деле использования рентгеновских технологий для обеспечения авиационной безопасности. Тем не менее, несмотря на постоянное повышение уровня автоматизации процесса досмотра пассажиров, их ручной клади и багажа, окончательное решение в отношении интерпретации рентгеновского изображения (ИРИ) по-прежнему принимает оператор.

Основной целью ИРИ является обнаружение оператором предметов и веществ, запрещенных или ограниченных к перевозке в багаже и ручной клади пассажиров. В этом аспекте проблема качества подготовки оператора рентгенотелевизионной установки (РТУ) становится все более актуальной.

Основными показателями эффективности работы оператора РТУ являются [1]:

- частота попаданий;
- частота ложных тревог;
- затраты времени на обработку одного места багажа.

«Попаданием» считается правильное определение того, что на рентгеновском изображении имеются запрещенные к перевозке предметы и вещества (сигнал «об угрозе») [1]. Оптимизация распознающего поиска основных опасных веществ и предметов, запрещенных или ограниченных к перевозке в багаже и ручной клади пассажиров (далее – запрещенные предметы и вещества), имеет целью обеспечить распознавание предметов с затратой наименьшего количества операций или наименьшего времени [2]. В данном аспекте можно сформулировать понятие стратегии поиска в процессе распознавания запрещенных предметов и веществ (ЗПВ) по изображению на мониторе РТУ.

Понятие стратегии используется в теории статистических решений, в теории игр и в других математических дисциплинах, изучающих методы определения наилучшего поведения в определенных ситуациях. Говоря о стратегии поиска в процессе распознавания ЗПВ, подразумевается последовательность проверок некоторой системы признаков предмета с целью отнесения его к определенному классу. Например, чтобы отнести некоторый предмет  $x$  к классу  $A$ , достаточно обнаружить у него один из признаков:  $a$  или  $b$ . В этом смысле последовательности проверок признаков  $ab$  или  $ba$  будут являться различными стратегиями. Если же у предмета нет ни одного из этих признаков, он принадлежит к классу  $B$ .

Современные РТУ позволяют эффективно выявлять в багаже и ручной клади пассажиров огнестрельное оружие (его компоненты) и штатные боеприпасы (ручные гранаты, мины, снаряды и т.п.) по их основному признаку - *геометрической форме*. В свою очередь, самодельные взрывные устройства (СВУ) и самодельные зажигательные устройства (СЗУ) детектируются *по плотности и среднему атомному номеру веществ*, входящих в состав СВУ и СЗУ.

Для определения стратегии поиска СВУ и СЗУ целесообразно рассматривать их в виде совокупности отдельных компонентов (рис. 1).



**Рис. 1.** Классификация компонентов самодельных взрывных устройств и самодельных зажигательных устройств

Идея использования методов ядерной физики для обнаружения взрывчатых веществ (ВВ) была предложена в начале шестидесятых годов. Сегодня предложено более десяти методов обнаружения ВВ, использующих ядерные излучения для анализа элементарного состава содержимого багажа, но неизменным остается то, что ВВ распознается как органическое вещество [3]. Так, современные РТУ фирмы EG&G Astrophysics Research Corp. с опцией E-Scan позволяют выделить в изображении контролируемого объекта (багажа) органические и неорганические материалы по среднему атомному номеру. Аналогичные опции присутствуют в системах фирм Heimann, Rapiscan и Schiumberger. Однако в них используется четырехцветный формат, то есть предметы с атомным номером от 10 до 20 и смешанные, содержащие органику и неорганику, отображаются отдельным цветом, но главным остается то, что ВВ, как органическое вещество, отображаются оранжево-коричневым тоном [4].

Исходя из вышесказанного, выделим основные признаки СВУ и СЗУ:

- геометрическая форма компонента СВУ и СЗУ;
- органическое вещество;
- неорганическое вещество.

Между типами связей признаков и стратегией поиска существуют определенные зависимости. Признаки ЗПВ, связанные логическим союзом *или*, будем называть *дизъюнктивными*, а проверку (поиск) признаков – *дизъюнктивным поиском*.

Для простоты возьмем случай, когда для отнесения некоторого предмета  $x$  (например, ручная кладь пассажира) к классу  $A$  («Опасно») достаточно обнаружить у него один из признаков:  $a$ , или  $b$ , или  $c$ . Если же у предмета нет ни одного из этих признаков, он принадлежит к классу  $B$  («Не опасно»).

Математически данную ситуацию можно описать так

$$a(x) \vee b(x) \vee c(x) \iff x \in A.$$

Например, есть информация, что на борту воздушного судна будет собрано и приведено в действие СВУ. В данном случае, для выявления в ручной клади пассажиров компонентов СВУ по рентгеновскому изображению необходимо определить один из следующих признаков:  $a$  – теневое изображение предмета выделяется оранжево-коричневым тоном;  $b$  – виден предмет, по геометрической форме напоминающий взрыватель;  $c$  – отдельно или рядом с объектами (признаки  $a$  и  $b$ ) видны провода.

Оптимальная стратегия поиска в подобных случаях зависит от соотношения двух факторов: с одной стороны, от сложности признаков (сложность выбора точки просмотра, «наложение» изображений, сложный характер багажа), с другой – от их вероятностей. От сложности признака зависит среднее время на проверку. Время проверки признаков устанавливается экспериментально.

Здесь могут иметь место несколько случаев:

*1-й случай.* Вероятности всех признаков совпадают, а время, необходимое на их проверку, одинаково. В этом случае последовательность проверки признаков безразлична.

*2-й случай.* Вероятности признаков одинаковы, а время, необходимое на их проверку, неодинаково. В этом случае надо начинать с признаков, проверка которых требует меньше времени. Такая стратегия увеличивает шанс обнаружить какой-либо из достаточных признаков быстрее.

Оптимальную стратегию проверки признаков в данном случае можно записать так

$$((p(a) = p(b) = p(c)) \& (t(a) \leq t(b) \leq t(c))) \rightarrow T(a, b, c), \quad (1)$$

где  $p(a)$ ,  $p(b)$ ,  $p(c)$  - вероятность признаков;  $t(a)$ ,  $t(b)$ ,  $t(c)$  - среднее время на проверку признаков;  $T(a, b, c)$  - оператор проверки признаков (стратегия поиска).

*3-й случай.* Вероятности признаков различны, а время, необходимое на их проверку, одинаково. В этом случае надо начинать проверку с наиболее вероятных признаков. Оптимальная стратегия поиска в случае, когда не все вероятности равны, такова

$$((p(a) \geq p(b) \geq p(c)) \& (t(a) = t(b) = t(c))) \rightarrow T(a, b, c). \quad (2)$$

*4-й случай.* Различны как вероятности признаков, так и время, необходимое на их проверку. В этом случае надо определить отношение вероятности каждого признака к времени его проверки и начинать с проверки тех признаков, для которых это отношение больше. Оптимальную стратегию поиска можно записать следующим образом

$$\frac{p(a)}{t(a)} \geq \frac{p(b)}{t(b)} \geq \frac{p(c)}{t(c)} \rightarrow T(a, b, c). \quad (3)$$

Обнаружение признака представляет собой случайный процесс. При расчете среднего времени поиска каждому признаку (точнее, операции по его выявлению) приписываются два значения – вероятность и среднее время его обнаружения (проверки). В общем виде среднее время  $\tau_{cp}$  распознавания предметов по нашим трем признакам можно записать так

$$\tau_{cp} = p(a) \cdot t(a) + (1 - p(a)) \cdot p(b) \cdot (t(a) + t(b)) + [1 - (p(a) + (1 - p(a)) \cdot p(b))] \cdot (t(a) + t(b) + t(c)). \quad (4)$$

Заменим обозначения  $p(a)$ ,  $p(b)$ , ...,  $p(m)$ ,  $t(a)$ ,  $t(b)$ , ... обозначениями  $p_1$ ,  $p_2$ , ...,  $p_n$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ , ...,  $t_n$ ; обозначим  $(1 - p_1)$  через  $g_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ). Тогда для  $n$  признаков формула примет вид

$$\tau_{cp} = p_1 t_1 + g_1 p_2 (t_1 + t_2) + g_1 g_2 p_3 (t_1 + t_2 + t_3) + \dots + g_1 g_2 \dots g_{n-2} p_{n-1} (t_1 + t_2 + \dots + t_{n-1}) + [1 - (p_1 + g_1 p_2 + \dots + g_1 g_2 \dots g_{n-2} p_{n-1})] (t_1 + t_2 + \dots + t_n) \quad (5)$$

Данная формула является формулой среднего времени дизъюнктивного поиска или оценкой сложности данной стратегии поиска. Формула оценивает сложность данной стратегии поиска как функцию сложности отдельных операций по проверке признаков, их количества, последовательности, а также их вероятностей. Она представляет собой математическое ожидание времени, которое необходимо затратить на распознавание предметов по данной стратегии [5].

Таким образом, стратегия ИРИ по дизъюнктивным признакам предусматривает:

- признаки предмета связаны логическим союзом *или*;
- для отнесения некоторого предмета  $x$  к классу  $A$  достаточно обнаружить у него один из признаков:  $a$ , или  $b$ , или  $c$ ;
- начинать проверку необходимо с признаков, требующих меньше времени;
- начинать проверку необходимо с наиболее вероятных признаков.

Дальнейшие исследования по определению стратегий ИРИ по дизъюнктивным, конъюнктивным, дизъюнктивно-конъюнктивным или конъюнктивно-дизъюнктивным признакам позволит выработать оптимальный подход в вопросах профессиональной подготовки операторов РТУ.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Руководство по безопасности для защиты гражданской авиации от актов незаконного вмешательства. Набор, отбор и подготовка кадров. Дос 8973, ДСП. - изд. 7-е, ИКАО, 2008. - Т. II.
2. Об утверждении Правил проведения предполетного и послеполетного досмотров: Приказ Минтранса России от 25.07.2007. - № 104.
3. **Ольшанский Ю.И.** Ядерно-физические методы обнаружения ВВ // Системы безопасности, связи и коммуникаций. - 1998. - Май-июнь - С. 82-87.
4. **Ольшанский Ю.И.** Методы выявления взрывчатых веществ // Системы безопасности, связи и коммуникации. - 1998. - Июль-август. - С. 49-54.
5. **Ланда Л.Н.** Алгоритмизация в обучении. - М.: Просвещение, 1966.

**OPTIMIZATION OF X-RAY PATTERN INTERPRETATION BY X-RAY TELEVISION EQUIPMENT OPERATOR ON THE BASE OF DISJUNCTIVE SEARCH STRATEGY****Kurchavov V.V.**

Procedure of prohibited articles and substances recognition due to their X-ray patterns on the base of disjunctive search is considered in the paper.

**Key words:** interpretation of the image, strategy, search.

**Сведения об авторе**

**Курчавов Владимир Владимович**, 1961 г. р., окончил Военную академию им. Фрунзе (1993), научный сотрудник УВАУ ГА (И), автор 9 научных работ, область научных интересов - проблемы обеспечения авиационной безопасности.

УДК 378.147

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ЭЛЕКТРОННЫХ АЛЬБОМОВ СХЕМ

В.М. КОРНЕЕВ

**Статья представлена доктором технических наук, профессором Лебедевым А.М.**

В статье представлен опыт использования электронных альбомов схем по конструкции и эксплуатации воздушных судов для обучения авиаспециалистов гражданской авиации.

**Ключевые слова:** электронный альбом, агрегаты, кадры, информационный материал.

"Компьютерная революция" принесла в сферу обучения не только новые технические, но и дидактические возможности. Это - доступность ЭВМ, простота диалогового общения и, конечно же, графика.

Одним из инструментов, позволяющих повысить уровень восприятия информации, является его представление в виде альтернативного текстовому. Таким инструментом являются таблицы, схемы и анимация. Также полезным является подборка основных или даже всех схем учебной дисциплины вместе с сопровождающими определениями и пояснениями в альбоме схем. Электронный альбом при наличии компьютерного проектора улучшит наглядность представления учебного материала при проведении групповых занятий, а при самостоятельной работе обучаемых с электронным альбомом схем путем быстрого просмотра быстро освежит в памяти лекционный учебный материал или, при первом знакомстве, позволит получить некоторое базовое представление о сути предмета.

Применение электронных альбомов схем позволяет не только увеличить скорость передачи информации обучаемому и повысить уровень ее понимания, но и способствует развитию таких важных для авиаспециалиста качеств, как интуиция и образное мышление.

Электронный альбом схем состоит из набора кадров (страниц). Кадрами могут быть графические и тестовые экраны, анимационные ролики, видеоклипы, демонстрационные программы и т.п. Форма представления информации определяется целевым назначением.

Инструментальные средства гипертекста позволяют помечать, подсвечивая цветом, отдельные ключевые позиции кадра и связывать их с поясняющими рисунками или фрагментами текста. Достаточно подвести к непонятному участку схемы или текста курсор, нажать кнопку мышки и получить на экране более подробную информацию, а затем вернуться к исходному кадру. Кроме того, при необходимости, таким же методом нажатием одной кнопки легко обеспечивается обращение обучаемых к глоссарию (словарю терминов) дисциплины. Таким образом осуществляется произвольная навигация по всему альбому схем.

Технология мультимедиа позволяет оживить информационные кадры, сопроводить их графическими динамическими иллюстрациями, фотографиями, видеоклипами, фрагментами аудиоинформации, компьютерными тренажерами, контролирующими тестами.

Компьютерные тренажеры, предназначенные для отработки первоначальных навыков по эксплуатации систем самолета, могут служить для:

- ознакомления с расположением и назначением органов управления и контроля систем самолета;
- моделирования проверок соответствующих систем;
- моделирования штатной работы изучаемых систем;
- коррекции неверных действий обучаемого за счет включения подсказок.

При разработке кадров электронного альбома схем необходимо будет решить следующие проблемы представления информации:

- *выделение* конкретной информации;
- *выбор* изображения однотипных элементов и связей;
- *выбор* формы, размера, тональности и цвета изображения элементов;
- *выбор* символов с учётом ассоциаций;
- *выделение* смыслового материала.

При создании кадров электронного альбома схем необходимо придерживаться определенных принципов представления информационного материала:

1. Принцип лаконичности, т. е. выделение наиболее важной информации. Например:

- основные геометрические характеристики самолета: длина, размах крыла, стреловидность крыла, база и колея шасси;
- основные лётно-технические данные: максимальная взлётная масса, максимальное число пассажиров, максимальная дальность.

2. Принцип обобщения и унификации, означающий, что однотипные элементы и связи изображаются одинаково на всех схемах. Например:

- изображение элементов управления и контроля и их связей с кабиной (размещение в кабине);
- изображение агрегатов и их связей (механической проводки) механической части системы.

3. Принцип использования реальных ассоциаций, рекомендуемый изображать реальные предметы, а не абстрактные условные знаки. Например:

- изображения агрегатов шасси соответствуют реальным;
- изображения элементов управления шасси также соответствуют реальным.

Выбор типа изображения зависит от конкретной дидактической задачи, которую ставит разработчик, планируя включение иллюстрации в учебный материал. Например, если необходимо выделить главное в изучаемом объекте или процессе, то для этого используется схема, если же необходима высокая степень достоверности - чертеж в технических или фотография в гуманитарных дисциплинах. Однако общей дидактической целью всех типов иллюстраций является создание образа изучаемого объекта или процесса.

Включение образного мышления в процесс познания чрезвычайно важно. Даже если разрабатываемый учебный курс не содержит в явном виде графических иллюстраций, необходимо подумать, как интерпретировать хотя бы часть текстовой информации в графическом виде. Это могут быть, например, схемы этапов описываемых процессов или их простейшая анимация. Большинство обучающихся, осмысливая и запоминая учебный текст, будет пытаться мысленно компоновать его в определенные пространственные образы или двумерные схемы. Необходимо помочь им в этом, создав подобные, причем "правильные" образы и зафиксировав их в виде иллюстраций.

При проектировании иллюстраций вряд ли можно абстрагироваться от способа их создания. От него зависит не только дидактическое качество, но и трудоемкость и стоимость создания. Поэтому кратко укажем и прокомментируем основные способы.

Самый простой из них - подготовить картинку на бумаге и превратить ее в компьютерный файл с помощью сканера. Тот же результат можно получить и без бумаги с помощью специальных программ - графических редакторов или чертежных пакетов.

Фотографическое изображение можно получить двумя способами: с помощью цифровой фотокамеры, которая запоминает картинку в виде компьютерного файла, либо более длительным путем обычным фотоаппаратом, когда требуется переход от бумажного фотоотпечатка к его цифровому коду с помощью сканера.

Подготовка анимации требует специальных программных средств. И если вышеперечисленные способы подготовки статической графики просты и доступны обычному пользователю компьютера, то работа с анимационными программами может потребовать привлечения специалистов.

Видеофрагменты можно снимать с помощью обычной видеокамеры. Это доступно и не требует специальных умений. Важно лишь четко определить объект видеосъемки и спланировать ее сценарий. Превращение же аналогового видео в цифровой компьютерный код требует уже более уникальных аппаратно-программных средств и умения работать с ними.

При планировании иллюстраций важно представлять не только трудоемкость и стоимость их создания, но и объем получаемых файлов.

Четыре перечисленных выше способа создания иллюстраций расположены в порядке возрастания объема выходного файла. С этой точки зрения первые два способа достаточно экономны и могут планироваться для подготовки иллюстраций практически во всех формах представления учебных материалов (на бумаге, CD ROM, в Интернет). Анимация годится для CD ROM и гораздо меньше для Интернет.

Видеофрагменты могут использоваться практически только на CD ROM. Применение видео в Интернет пока носит характер экзотики и не может быть рекомендовано для использования в учебных материалах.

При разработке формата кадра и его построении необходимо учитывать то, что существуют смысл и отношение между объектами, которые определяют организацию зрительного поля, поэтому компоновать объекты целесообразно следующим образом:

- близко друг от друга, так как чем ближе (при прочих равных условиях) объекты друг к другу в зрительном поле, тем с большей вероятностью они организуются в единые, целостные образы;
- по сходству процессов, так как чем больше сходство и целостность образов, тем с большей вероятностью они организуются;
- с учетом свойств продолжения, так как чем больше элементы в зрительном поле оказываются в местах, соответствующих продолжению закономерной последовательности (функционируют как части знакомых контуров), тем с большей вероятностью они организуются в целостные единые образы;
- таким образом, чтобы они образовывали замкнутые цепи, так как чем больше элементы зрительного поля образуют замкнутые цепи, тем с большей готовностью они будут организовываться в отдельные образы;
- с учетом особенности выделения предмета и фона при выборе формы объектов, размеров букв и цифр, насыщенности цвета, расположения текста и т.д.;
- не перегружая визуальную информацию деталями, яркими и контрастными цветами;
- выделяя учебный материал, предназначенный для запоминания или цветом, или подчеркиванием, или размером шрифта и т.д.;
- сочетая цветовой код с другими видами кодирования, что увеличивает скорость различения элемента изображения;
- опираясь на простые геометрические формы при графическом кодировании учебного материала, введение сложных графических изображений целесообразно лишь во вспомогательных кадрах (заставки, инструкции и др.);
- используя (предпочтительно при прочих равных условиях) кодирование цветом и буквенно-цифровое кодирование;
- помещая наиболее сложные в графическом плане изображения (незамкнутые контуры, фигуры с большим числом изломов контура и др.) по возможности в центре экрана;
- видоизменяя при использовании одинаковых элементов изображения каждый объект, наделяя его индивидуальными слабо выраженными качествами.

При использовании цвета в компьютерных средствах обучения можно рекомендовать следующее:

- использование смешанных цветов (типа "малиновый") и цветов с пониженной яркостью ("синий") на периферии экрана при высоких требованиях к точности работы нежелательно;

- наиболее значимую информацию в учебном кадре необходимо представлять, используя основные цвета (красный, зеленый, голубой);
- для кодирования динамики учебного кадра предпочтительно также использовать основные цвета;
- противоположные цвета создают всегда резкие контрасты, образуя сильные устойчивые эффекты;
- активные цвета (желтый и красный) всегда имеют перевес над пассивными (синий и зеленый), поэтому они желательны только в небольших дозах;
- желтый и красный фиксируются в памяти гораздо глубже;
- стимулирующими цветами, способствующими возбуждению и действующими как раздражители, являются красный, кармин, киноварь;
- дезинтегрирующие цвета, приглушающие раздражение - фиолетовый, синий, светло-синий, сине-зеленый;
- статичные цвета, способные уравновесить, успокоить, отвлечь от других возбуждающих цветов: чисто-зеленый, оливковый, желто-зеленый;
- цвета глухих тонов, которые не вызывают раздражения - серые, гасят его - белый, помогают сосредоточиться - черный);
- теплые темные тона (коричневые), стабилизирующие раздражение, действующие инертно, вяло: охра - смягчает рост раздражения; коричневый, землистый - стабилизирующий; темно-коричневый - смягчающий возбуждение;
- холодные, темные цвета, изолирующие и подавляющие раздражение: темно-серый, черно-коричневый, темно-зелено-синий;
- противоположные цвета усиливают друг друга. Эти цвета, благодаря их последовательности во времени или взаимному сопоставлению, получают динамическое развитие;
- графические объекты, окрашенные смешанными цветами, целесообразно использовать в качестве статических элементов изображения;
- при смене слабо различимых элементов изображения необходимо акцентировать внимание учащегося на элементах динамики.

Подготовка анимации требует специальных программных средств. И если способы подготовки статической графики просты и доступны обычному пользователю компьютера, то работа с анимационными программами может потребовать привлечения специалистов [2].

В то же время, простейшие динамические эффекты могут быть созданы при помощи программы Power Point, с которой может работать любой пользователь ЭВМ.

В частности, возможности данной программы были использованы при разработке учебных наглядных пособий по следующим вопросам:

- изгибно-крутильный флаттер;
- изгибно-элеронный флаттер;
- бафтинг хвостового оперения;
- реверс элеронов;
- работа топливной системы самолёта DA-42;
- работа гидросистемы уборки и выпуска шасси самолёта DA-42.

Развитие электронных средств мультимедиа открывает для сферы обучения принципиально новые дидактические возможности. Так, системы интерактивной графики, анимации, цифрового видео позволяют в процессе анализа изображений управлять их содержанием, формой, размерами, цветом и другими параметрами для достижения наибольшей наглядности [3].

Сочетание технологий гипертекста и мультимедиа получило название гипермедиа. Применение таких технологий существенно активизирует учебную информацию, делает ее по сравнению с представлением на бумажном носителе более наглядной для восприятия и удобной для усвоения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лобанов Ю.И., Брусиловский П.Л., Съедин В.В. Экспертно-обучающие системы. - М.,1991. (Новые информационные технологии в образовании: Обзор. инф./НИИВО. - Вып. 2).
2. Кирмайер М. Мультимедиа / пер. с нем. Мультимедиа / под ред. А.И. Петренко. - Киев: Торгово-издательское бюро BHV, 1994.
3. Соловов А. В. Электронное обучение: проблематика, дидактика, технология. - Самара, Новая техника, 2006.
4. Ratzel Gerald F.G. Computer assisted learning provides enhancements for aviation training // ICAO Journal. 1992. - 47, N 5, p.14-15.
5. Корнеев В.М. Опыт разработки электронных учебно-методических комплексов по авиационным дисциплинам // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: Тезисы докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 85-летию гражданской авиации России. 22-23 апреля 2008 г. - М.: МГТУ ГА, 2008. - С. 260.

## THE EXPERIMENT TO USE ELECTRONIC ALBUM SCHEMS FOR AIR SPECIALISTS TRAINING

Korneev V.M.

This article presents the experiment to use electronic albums schemes for air specialists training in civil aviation

**Key words:** electronic album, units, personnel, information material.

### Сведения об авторе

**Корнеев Владимир Митрофанович**, 1951 г.р., Куйбышевский авиационный институт (1974), кандидат технических наук, заведующий кафедрой авиационной техники Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации, автор 52 научных работ, область научных интересов - новые информационные технологии изучения конструкции и эксплуатации воздушных судов.

УДК 629.735.015

## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ТИПА TAWS В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ВС

Г.А. ФЕДОСЕЕВА

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

В статье содержится материал о проблеме по предотвращению столкновений ВС с наземными препятствиями, задачах по разработке систем типа TAWS, их усовершенствование в целях повышения безопасности полетов ВС.

**Ключевые слова:** безопасность полетов, промышленность, система, цифровая система.

В настоящее время одной из острых проблем в обеспечении безопасного полета является предотвращение столкновений исправных ВС с наземными препятствиями.

Столкновение с землей в контролируемом полете (CFIT) – термин, означающий происшествия, связанные со столкновением ВС с землей, искусственными препятствиями или водой в тех случаях, когда экипаж не мог контролировать местоположение ВС по направлению полета и скорости.

Объединенная Европейская авиационная администрация, в свою очередь, выдвинула требования о том, что системой с функцией оценки рельефа местности в направленности полета должны быть оборудованы ВС, взлетная масса которых составляет 15000 кг и более и вместимостью более 30 пассажиров до 1 октября 2001 года для вновь выпускаемых самолетов и к 1 января 2005 года для находящихся в эксплуатации.

В конце августа 2004 года Европейская конференция гражданской авиации направила письмо в Федеральное агентство воздушного транспорта России с намерениями с 1 января 2005 года запретить полеты в Европейские аэропорты ВС, не оборудованных системой с функцией оценки рельефа местности в направлении полета.

По статистике середины 70-х гг. в мире каждый год терпели катастрофы около 10 самолётов из-за столкновения с подстилающей поверхностью (CFIT), причем эти катастрофы происходили с полностью управляемыми самолетами, пилотируемыми высококвалифицированными летными экипажами.

Авиационная промышленность России серийно выпускала три типа систем предупреждения столкновения с землей класса СППЗ: ССОС – система сигнализации опасной скорости сближения с землей – аналоговая (Ульяновское конструкторское бюро приборостроения); СППЗ-1-2 – система предупреждения приближения земли – аналоговая; СППЗ-85 – цифровая (фирма "Авиаприбор – Восход", Москва). Система ССОС была установлена на всех самолетах отечественного производства: Ил-76ТД, Ил-62М, Ту-134 и Ту-154 всех модификаций, Ан-124-100, Ан-32, Ан-26. В системе ССОС реализовано 4 режима. Вычислителями системы воспринимается информация статического давления на высоте полета, сигналы от радиовысотомера, нормальной перегрузки  $n_y$  и необжатого положения шасси. Реализуются алгоритмы, связывающие изменения истинной высоты полета и оценку изменения вертикальной  $V_{уби}$  – вертикальная бароинерциальная,  $V_{убри}$  – вертикальная барорадиоинерциальная скорости полёта при необжатом положении шасси.

При попадании ВС в опасную зону срабатывают два красных светосигнализатора "Опасно. Земля" и звучит сирена. Дальнейшие усовершенствования систем предупреждения столкновения ВС с землей привело к появлению аналоговой системы СППЗ-1-2, в ней реализуется 6 режимов, четыре, аналогичные системе ССОС, и два новых, это 5 и 6 режимы. Режим 5 – чрезмерное снижение ВС ниже глиссады при заходе на посадку по радиомаячным системам ILS или MLS.

Режим 6 - "Проверка относительной барометрической высоты". Режим активен только при заходе на посадку с использованием отсчета относительной барометрической высоты по уровню давления QFE.

Вычислители системы СППЗ-1-2 воспринимают дополнительно информацию по сравнению с вычислителями ССОС: сигналы E<sub>g</sub> – отклонение ВС ниже глассады от радиотехнической системы КУРС-МП-70, выпущенного или убранного положения закрылков, высотно-скоростных параметров от системы воздушных сигналов типа СВС (Нбар, Вист, числа М, Тн.в.).

Цифровая система СППЗ-85 в терминологии ICAO – GPWS (Ground Proximity Warning System) также реализует 6 режимов, но с большей точностью и быстродействием.

Системы СППЗ устанавливались на ВС Ан-140, Як-42, Ил-86, Ту-204, Ту-214, а также вместо существующих систем ССОС. Системы типа СППЗ принципиально не могут выдавать сигнализацию ранее, чем за 5–30 с до столкновения с землей, это не всегда позволяет экипажу выйти из опасной ситуации. Системы не представляют достаточной информации экипажу о требуемом характере маневра (просто набор высоты или отворот от препятствий влево, вправо). Кроме того, в полете над горной местностью системы СППЗ не могут обеспечить адекватность сигнализации, вероятность их ложных срабатываний недопустимо высока, это снижает уровень доверия экипажа к сигнализации таких систем.

Из данных анализа типовых авиакатастроф по СФИТ за период 1979–2003 гг. (табл. 1) видно, что все 100 % авиакатастроф произошли при большой крутизне склонов гор и очень малом располагаемом времени до удара о гору при принятии решения экипажем (в среднем 12 с). В характеристиках систем I поколения ССОС, СППЗ, GPWS при  $\alpha > 30^\circ$  и при  $t_p \sim 15\text{--}20$  с имеются зоны фатальности и полеты в них приводят к неизбежной гибели ВС и людей. Системы I поколения не могут снять аварийность по СФИТ из-за этой зоны, они не соответствуют требованиям ICAO. Эти системы выполняют функции вертикальных интерполяторов и не определяют опасные параметры полета впереди ВС, не имеют функции горизонтальной экстраполяции.

Таблица 1

Дата	Тип ВС	Горы	Угол склона горы, $\alpha$	Располагаемое время $t_{\text{трср}}$ до удара о гору
1992 г.	A320	Вогезы	более $30^\circ$	15 с GPWS
15.11.1993 г.	Ан-124 Аэростар	Иран Керман	$30\text{--}50^\circ$	13 с ССОС
12.12.1995 г.	Ил-76	Вьетнам	более $30^\circ$	менее 15 с ССОС
7.01.1989 г.	Ил-76	Ленинакан	более $60^\circ$	3-5 с ССОС
3.04.1996 г.	Б-737	Дубровник	более $40^\circ$	10 с GPWS
28.08.1996 г.	Ту-154М	Шпицберген	более $50^\circ$	9 с ССОС
декабрь 1995 г.	Б-757	Колумбия Кали	более $35^\circ$	9 с GPWS
23.12.2003 г.	Ан-140	Иран Исфахан	более $50^\circ$	7-10 с СППЗ
1998 г.	Як-42	Салоники	более $30^\circ$	15-17 с ССОС
28.11.1979 г.	Д С10-30	Эребус	более $30^\circ$	15 с GPWS
Вывод:	Типовые катастрофы СФИТ в 1979-2003 гг. произошли при большой крутизне склонов гор			Очень малое время для принятия сенсорного решения КВС

В последние годы с бурным развитием цифровой электроники появилась возможность значительно расширить возможности систем СППЗ I поколения за счет использования информации точных навигационных вычислителей (FMS), цифровых аэронавигационных баз данных и цифрового

рельефа подстилающей поверхности, а также активных работ с отечественной системой спутниковой навигации ГЛОНАСС, планов её широкого коммерческого использования.

Это привело к появлению принципиально нового класса систем предупреждения, для которых используется аббревиатура TAWS – terrain awareness and warning system или СРППЗ – система раннего предупреждения приближения к земле. Для удовлетворения требованиям, предъявляемым к данному классу систем, в них реализуются 6 режимов прежних систем СППЗ (GPWS), а также новые режимы с функциями раннего предупреждения, позволяющими существенно повысить безопасность полёта ВС.

К системам TAWS относятся:

- СРПБЗ – система раннего предупреждения приближения близости земли, разработчик "ВНИИРА – Навигатор", Санкт – Петербург, Россия;
- СРППЗ – система раннего предупреждения приближения к земле, разработчик ЗАО "Транзас", Санкт-Петербург, Россия;
- EGPWS – унифицированная система раннего предупреждения приближения к земле фирмы Honeywell (США);
- Т<sup>2</sup>CAS – аппаратура фирмы ACSS (США).

Системы раннего предупреждения приближения к подстилающей поверхности СРППЗ (TAWS) разнообразны и изготовлены с действующими и перспективными гражданскими авиационными стандартами и рекомендациями ICAO. TAWS – это компьютерная система, обеспечивающая лётный экипаж визуальной и звуковой сигнализацией о непреднамеренном сближении с подстилающей поверхностью с учётом этапа полёта, времени реакции лётного состава и скорости ВС.

Система TAWS (СРППЗ) надёжно работает с современным цифровым бортовым оборудованием и с традиционным аналоговым. Она успешно эксплуатируется на воздушных судах Ту-204, Ту-214, Ту-334, Ил-76 ТД и Ил-76 МД, Як-42, БС-200, Ан-148, Ан-140 и т.д. Спутниковая навигация является основой работы системы, использование GNSS и цифровой базы данных о подстилающей поверхности и препятствиях делает эту систему независимой от метеоусловий. Если ВС не имеет штатных приёмоизмерителей спутниковых навигационных систем (СНС), то система TAWS поставляется со встроенным приёмоизмерителем СНС нового поколения (GPS / ГЛОНАСС). В системе TAWS на основе данных бортовых систем ВС о вертикальной и путевой скоростях, об истинной высоте, путевом угле, пространственных координатах ВС, полученных по данным GNSS, постоянно вычисляется траектория полёта с упреждением более чем на 120 с. Эта траектория соотносится с заложенной в цифровой базе данных информацией о высотах подстилающей поверхности с разрешением 0,5 либо 3 NM при полётах ВС в районе аэродрома или по маршруту соответственно. При этом в вертикальной плоскости рассчитываются две области для оценки степени опасности столкновения с поверхностью земли. Первая область распространяется вдоль линии пути от 20 до 132 с впереди ВС, при этом вырабатываются речевые сообщения "Земля". Вторая область – высокой опасности столкновения с землёй от 8 до 120 с впереди ВС, при этом вырабатывается команда "Тяни вверх" ("Pull up"). В горизонтальной плоскости для оценки степени угрозы столкновения с землёй вычислитель системы TAWS определяет пространство впереди ВС в форме узкого луча шириной 3° по направлению полёта ВС. В системе TAWS дополнительно реализованы следующие функции:

- 1) оценка рельефа местности в направлении полёта ВС;
- 2) преждевременное снижение в районе аэродрома при заходе на посадку ВС;
- 3) отображение характера подстилающей поверхности и искусственных препятствий на многофункциональном индикаторе (МФИ);
- 4) речевые сообщения.

Функции активны на всех этапах полёта. Составная часть системы TAWS – модуль предупреждения столкновения с землёй GCAM. Он реализует функцию оценки рельефа местности по

направлению полёта, непрерывно определяет соотношение прогнозируемой траектории полёта ВС и рельефа земной поверхности и с упреждением выдаёт экипажу предупреждения о близости земли и рекомендации по уходу от столкновения с ней. Рассчитывается область сигнализации – "виртуальный бампер". Боковая проекция области сигнализации представлена на рис. 1, вид сверху – на рис. 2. Параметры, определяющие форму и размеры области сигнализации режима, представлены в табл. 2.

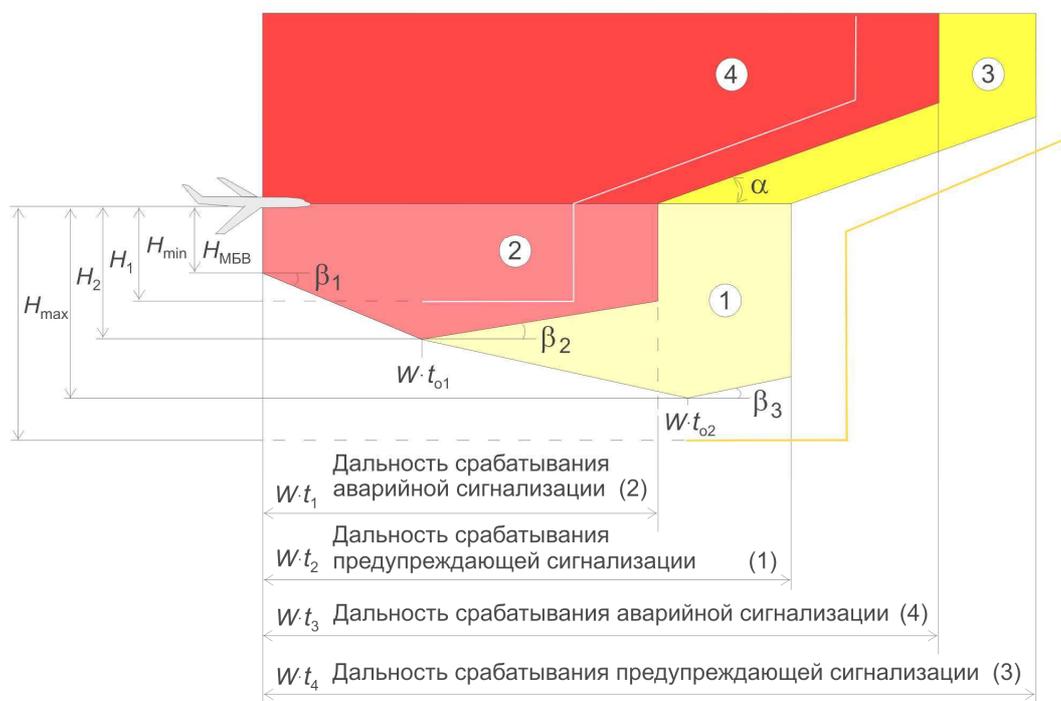


Рис. 1

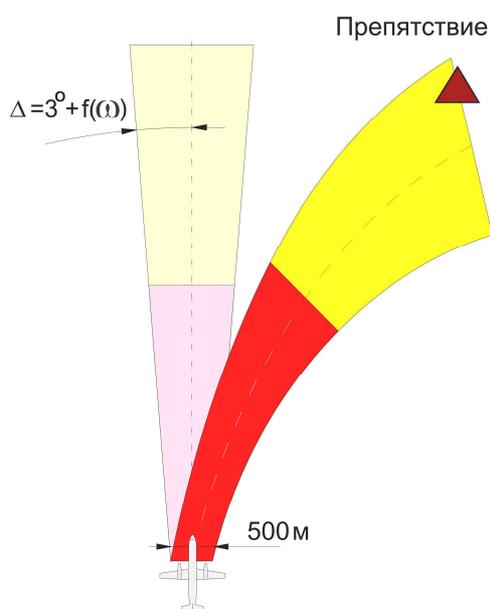


Рис. 2

Таблица 2

$V_y$	Вертикальная скорость ВС
$W$	Путевая скорость ВС
$t_p$	Допустимое время реакции пилота
$ks$	$ks = 6$ (по умолчанию) $ks \in (6, 12)$ – в зависимости от типа ВС
$H_{МБВ}$	Минимальная безопасная высота, зависящая от этапа полёта ВС
$H_{доп}$	Запас по высоте, зависящий от этапа полёта ВС
$H_{min}$	Минимальный запас по высоте над подстилающей поверхностью для выдачи аварийной сигнализации $H_{min} = H_{МБВ1}$ для $V_y > -2,5$ м/с $H_{min} = H_{МБВ2} +  V_y  \cdot t_p + 0,2 V_y^2$ для $V_y \leq -2,5$ м/с
$H_{max}$	Максимальный запас по высоте над подстилающей поверхностью для выдачи предупреждающей сигнализации $H_{max} = H_{доп}$ для $V_y > -2,5$ м/с; $H_{max} = H_{доп} + ks \cdot  V_y $ для $V_y \leq -2,5$ м/с
$H_1$	Запас по высоте над подстилающей поверхностью для срабатывания аварийной сигнализации
$H_2$	Запас по высоте над подстилающей поверхностью для срабатывания предупреждающей сигнализации
$\gamma$	Угол наклона траектории ВС $\gamma = \arctg(V_y/W)$
$\alpha$	$\alpha = \gamma$ (если градиент набора высоты более 10 %), иначе $6^\circ$
$\beta_2, \beta_3$	$\beta_2 = \beta_3 = \gamma$ для $V_y > 0$ ; $\beta_2 = \beta_3 = 0$ для $V_y \leq 0$
$\beta_1, t_{o1}, t_{o2}$	Параметры, определяющие вид нижней части границы сигнализации $\beta_1 = \arctg(2,5/W)$ для $V_y > -2,5$ м/с; $\beta_1 =  \gamma $ для $V_y \leq -2,5$ м/с; $t_{o1} = (H_1 - H_{МБВ})/ V_y $ , $t_{o1} \in (6, 20)$ с; $t_{o2} = (H_2 - H_{МБВ})/ V_y $ , $t_{o2} \in (7, 24)$ с

Необходимым условием выполнения дополнительных функций является информация о широте и долготе ВС, сигнале целостности данных RAIM от спутниковой системы навигации GNSS, истинной высоты от радиовысотомера, базы данных по аэродромам (обновляется в соответствии с циклами AIREC, т.е. каждые 28 дней), базы данных о рельефе земной поверхности (обновляется не реже одного раза в 6 месяцев). Цифровая модель рельефа создаётся путём обработки фотоснимков ландшафта из космоса в соответствии с рекомендованной ICAO геодезической системой WGS-84.

При этом вычислительное устройство TAWS сравнивает текущую высоту ВС с минимальным допустимым пределом, которым определяется область сигнализации, т.е. реализуется функция Нист. =  $f(S)$ ,  $S$  – расстояние от ВС до порога ВПП. Таким образом, математически рассчитывается виртуальная защитная область вокруг каждой ВПП для ВС, находящегося в посадочном положении.

Для отображения подстилающей земной поверхности, представленной в зависимости от степени опасного сближения, в кабине ВС устанавливается многофункциональный цветной дисплей. Например, TDS-56Д, А-813, используемый на ВС Ан-124-100, Ил-76ТД, КИНО из системы СЭИ-85 – на ВС Ту-204, Ту-214, Ил-96. По выбору экипажа могут быть установлены различные виды и масштаб отображения рельефа в диапазоне от 10 до 600 км.

В системе TAWS предусмотрены речевые сообщения, которые могут произноситься на русском или английском языках, а также реализуются дополнительные возможности, а именно, предупреждения о превышении угла крена, о сдвиге ветра на малых высотах.

В настоящее время активно ведутся работы по использованию возможностей системы TAWS при нахождении ВС на земле:

- выдаются сообщения о неправильной выставке давления на индикаторе барометрической высоты как при использовании давления QFE, так и QNH;
- отображение картины аэродрома (ВПП, рулёжные дорожки, место стоянки);
- выдаются сообщения о расстоянии до порога полосы на взлёте и посадке, о номере полосы в процессе руления.

Усовершенствование систем TAWS является одним из приоритетных для решения проблем CFIT. У каждой из систем TAWS есть свои достоинства и недостатки как технического, так и политико-экономического характера. Знание и учёт особенностей каждой системы поможет в будущем избежать лишних расходов и повысить уровень безопасности полётов. Наиболее полно проблема CFIT решается при использовании бортовой аппаратуры T<sup>2</sup>CAS.

Аппаратура T<sup>2</sup>CAS представляет собой дальнейшее развитие установленной в большом количестве на российских ВС системы предупреждения столкновения в воздухе TCAS-2000 и встроенного модуля предупреждения столкновения с землёй (GCAM – Ground Collision Avoid Moduti).

Такое совмещение функций с дополнительной установкой универсального панорамного дисплея позволит авиакомпаниям, уже имеющим на своих ВС аппаратуру TCAS-2000, уменьшить вес, габариты, время и установку новой системы. Кроме того, аппаратура позволяет легко наращивать функциональные возможности до функций приёмовычислителя GPS, предупреждения о превышении угла текущего крена, обнаружения сдвига ветра, а также транспондера автоматического независимого наблюдателя ADS – B, внедрение которого в РФ уже начато с 2005 г.

Внедрение и эксплуатация в гражданской авиации современных сложных радиоэлектронных средств предотвращения столкновения ВС в воздухе и с земной поверхностью, попадание в зону сдвига ветра требует тщательной подготовки лётных экипажей. При существующем дефиците лётных кадров, необходимости подготовки большого количества пилотов, соответствующим возросшим требованиям по безопасности полётов, в условиях существующих ограничений в преподавательском составе, инфраструктуре учебных заведений профильной авиационной подготовки и финансировании учебных заведений выход представляется в создании учебно-тренировочных, мультимедийных средств обучения, в том числе, дистанционного обучения, основанных на компьютерных технологиях, обладающих практически неограниченными возможностями.

Создание и совершенствование компьютерных обучающих систем с элементами тренажёра под конкретный тип ВС позволит повысить эффективность обучения лётных экипажей, сократить расходы на обучение и обеспечить высокий уровень безопасности полётов.

Проблема оборудования ВС системами "искусственного интеллекта" TAWS для решения проблемы по CFIT является правильной, но как показал анализ аварийности за 2005–2010 гг. не вполне достаточной. Основной характеристикой любой системы предупреждения является зона защиты (пространство) вокруг ВС, в которой по информации системы экипаж упреждает столкновение ВС с препятствиями. Анализ математической модели системы TAWS показывает, что защитная зона начинается сразу же за текущими координатами местоположения ВС, т.е. в зоне, где экипаж фатально не может принять сенсомоторное решение. Кроме этого, экипаж может допустить ошибки в эксплуатации системы или быть неуверенным в предоставленной информации, и ВС может войти в фатальную зону. Для повышения эффективности и надёжности эксплуатации систем TAWS по проблеме CFIT была бы крайне полезна и необходима совместная работа систем TAWS с вычислителем автомата увода ВС от столкновения с земной поверхностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Международная организация гражданской авиации (ИКАО), Doc 4444, ATM/501 "Правила аэронавигационного оборудования", утверждены от 02.07.2007 г.
2. **Марков В.И.** Воздушная навигация: учебник. - 4-е изд. - Кировоград: ГЛУУ, 2009.
3. **Лушников А.С.** Бортовые радиоэлектронные системы обеспечения безопасности полетов воздушных судов: учебн. пособие. - Ульяновск: УВАУ ГА (И), 2009.
4. Федеральные авиационные правила (ФАП) "Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации". Приказ Минтранса России от 31.07.2009 №128.
5. **Лушников А.С., Камалов А.У., Федосеева Г.А., Плахов И.А.** Системы предупреждения столкновений воздушных судов с земной поверхностью // Проблемы подготовки специалистов для гражданской авиации : сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. 25-26 нояб. 2004 г. - Ульяновск: УВАУ ГА, 2004. - С. 116-121.
6. **Косачевский С.Г., Айдаркин Д.В., Ефимов А.В., Лачинов О.Л., Рознин Б.Н., Федосеева Г.А.** Оценка качества тестов, представленных в автоматизированной обучающей системе // Научный Вестник УВАУ ГА. - 2009. - № 2. - С. 77-82.
7. **Антонец Е.В., Федосеева Г.А.** Сравнительный анализ системы предупреждения приближения ВС к земле: сб. тр. 4 - й Всероссийской научно - практической конференции с участием стран СНГ. - Ульяновск: УлГТУ, 2004. - С. 11 - 13.

**THE ANALYSIS OF TAWS SYSTEMS USE PROBLEMS IN ORDER OF INCREASING OF AIRCRAFT SAFETY LEVEL****Fedosseyeva G.A.**

The article contains the information about the problems concerning the avoidance of midair-collisions with the obstacles on ground, the aims of creating such systems as TAWS, their improvement in order of increasing of the aircraft safety level, the peculiarities of their exploitation in flight.

**Key words:** safety, industry, system, digital system.

**Сведения об авторе**

**Федосеева Галина Александровна**, окончила Ульяновский политехнический институт (1967), доцент кафедры авиационной техники АТ УВАУ ГА(И), автор 35 научных работ, область научных интересов – подготовка авиационного персонала ГА.

УДК 629.7.017

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СОХРАНЕНИЯ ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК

Д.С. БОЛЬШОВ

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

Рассматривается статистика неисправности силовых установок, методы диагностирования двигателей, метод обобщенной оценки состояния технических систем, информационная оценка систем.

**Ключевые слова:** лётная годность, безопасность полётов, отказ/неисправность, авиационная техника, информативность, диагностика.

### Введение

Гражданская авиация (ГА) накопила огромный опыт в эксплуатации авиационной техники (АТ). Особую роль в эксплуатации играет техническое состояние воздушного судна, влияющее на лётную годность (ЛГ) и безопасность полётов (БП). Для оценки технического состояния АТ используются различные методы, которые позволяют нам своевременно определить неисправности агрегатов, узлов, компонентов и состояния систем. Как показывает статистика ИКАО, большое количество всех авиационных происшествий (АП) происходит из-за отказов и неисправностей авиационной техники. Этот показатель может отклоняться от указанных значений в зависимости от типа ВС, его налёта и времени эксплуатации, уровня подготовки личного состава и т.д. [1]. Высокий процент АП из-за отказов и неисправностей АТ говорит о значимости поддержания ЛГ в эксплуатации и значимости повышения уровня безопасности полётов.

### 1. Анализ технического состояния силовых установок

Ряд отказов, обнаруженных в полете и на земле, возникают в двигателях. Эти отказы представляют серьезную угрозу для безопасности полетов, так как двигатель – это один из основных элементов силовой установки, отказы и неисправности которого влияют на безопасность полетов. В некоторых случаях с отказами, не обговариваемыми в руководящих документах (MMEL- перечень минимального исправного оборудования, выпущенного производителем самолета), полет невозможен. Вследствие этого можно говорить о важности оценки лётной годности авиационных двигателей. В современной гражданской авиации актуальны и применимы газотурбинные и турбовентиляторные двигатели. Рассматривая парки самолетов Российских авиакомпаний, можно выделить имеющиеся средне - магистральные самолеты Boeing 737(300/400/500/800), имеющие тип двигателя CFM56 с различными модификациями (3B2, 3C-1).

Статистику частых отказов и неисправностей можно отразить в табл. 1.

Для полного представления ниже приведены несколько примеров устраненных дефектов на производстве. Наглядный пример можно увидеть в одном из брифингов на листе отложенных дефектов.

1. Загрязнение топливных фильтров (замена топливного фильтра):

ISSUED:	DUE:	TRANSFER ON:
EAA 73 - 34 S. Bupalov Me 213 11.12.2010	02228893	
DESCRIP: PERFORM REPLACEMENT OF FUEL FILTER OF ENG # 2		
MEL: FX		
CODE		

.....  
ACTION: FUEL FILTER (ENG # 2) P/N CH0697101552N00 WAS REPLACED IAW AMM 73-11-02/401. RESULT – OK. PFMD ENGINE START IAW AMM 71-00-00-800-811-100. RESULT - OK.  
S. Bupalov Me 213 11.12.2010 02228893

## 2. Вибрация в двигателе ( восстановление лимитных показаний вибрации):

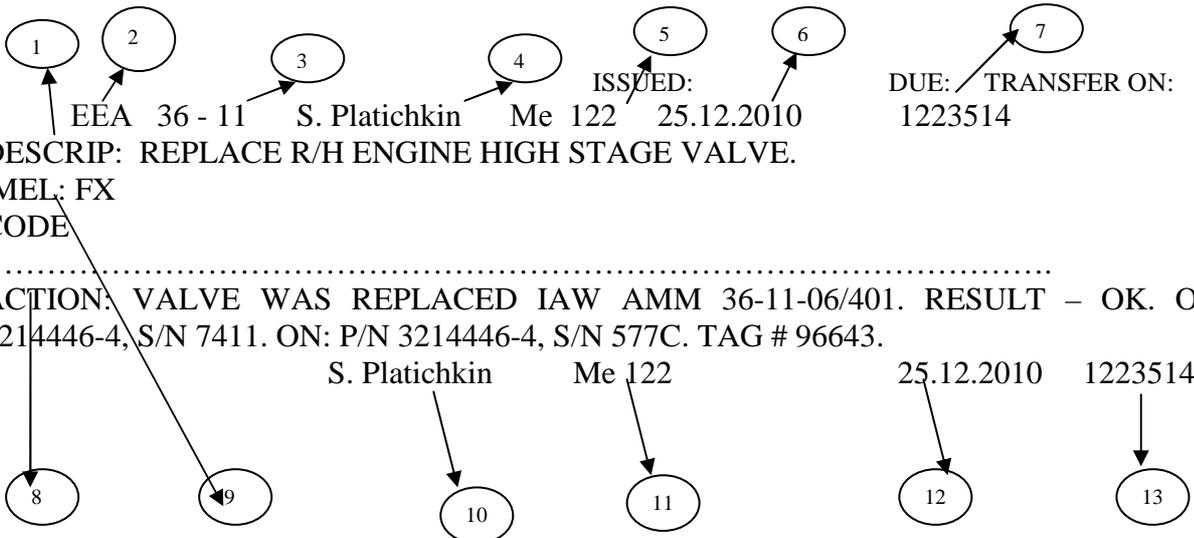
ISSUED: DUE: TRANSFER ON:  
 EEA 71 - 0 CREW Me 213 21.02.2010 02332901  
 DESCRIP: ENG # 1 VIBRATION MAX 3/0 ON REACHING FL 380. DURING CRUISE  
 AVERAGE 2.6.  
 MEL: FX  
 CODE

ACTION: MAX RECORDER VIBRATION LEVEL IS 2.9. VIBRATION IS IN LIMITS IAW  
 AMM 71-00-00/201. RESULT – A/C RETURNED IN SERVICE CONDITION.  
 S. Platichkin Me 122 11.12.2010 02228893

## 3. Неисправность клапана высокого давления в двигателе (замена клапана высокого давления):

ISSUED: DUE: TRANSFER ON:  
 EEA 36 - 11 S. Platichkin Me 122 25.12.2010 1223514  
 DESCRIP: REPLACE R/H ENGINE HIGH STAGE VALVE.  
 MEL: FX  
 CODE

ACTION: VALVE WAS REPLACED IAW AMM 36-11-06/401. RESULT – OK. OFF: P/N  
 3214446-4, S/N 7411. ON: P/N 3214446-4, S/N 577C. TAG # 96643.



1- описание дефекта; 2- регистрационный номер самолета; 3- глава АТА по данной работе; 4- фамилия сертифицированного специалиста, нашедшего дефект (если «CREW», то отказ/неисправность найдена экипажем в полете); 5- номер печати специалиста, нашедшего дефект; 6 - дата обнаружения дефекта; 7-номер технической карты или боржурнала описанного дефекта; 8- действия, совершенные с данным дефектом; 9- код дефекта (FX- дефект устранен, DO - отложенный дефект, оговоренный в MEL, DT- отложенный дефект, неогворенный в MEL); 10- фамилия сертифицированного специалиста, устранившего дефект; 11- номер печати специалиста, устранившего дефект; 12- дата устранения дефекта; 13- номер технической карты или боржурнала устраненного дефекта.

По этим спискам инженерно - технический персонал знакомится с отложенными и устраненными дефектами. Это значительно помогает повысить уровень объема работ, сокращая время на поиски дефектов, а также грамотно осмыслить предстоящую работу.

В табл. 1 мы видим, как часто происходят отказы и неисправности в двигателях на производстве. Опираясь на статистику (табл. 1) отказов/неисправностей, основные проблемы связаны с повреждениями трубок, шлангов, вызывающие течи, и другие наиболее сложные неисправности, приводящие к отказам всей системы. Также основные проблемы возникают вследствие вибрации двигателя, отказа реверса и другие по убыванию количества возникновения данных отказов/неисправностей. Поэтому требуется грамотная и внимательная проверка двигателя при техническом обслуживании (ТО) и использование методов диагностики двигателей. Вследствие этого утверждается значимость методов оценки летной годности силовых установок.

Таблица 1

Частые отказы/неисправности турбовентиляторного двигателя CFM56-3B2 за 2009-2010 гг.

№	Название отказа/неисправности (англ.)	Название отказа/неисправности (русс.)	Количество отказов/неисправностей за 2009-2010 гг.
1	Engine vibration	Вибрация двигателя	30
2	Engine high stage valve fault	Неисправность клапана высокого давления в двигателе	14
3	Fuel filter contamination	Загрязнение топливных фильтров	16
4	Hoses and ducts failure	Повреждение шлангов, трубок	43
5	Reverse failure	Отказ реверса	28
6	APU bleed air valve failure	Неисправность клапана отбора воздуха ВСУ	17
7	Leak into washers and ducts	Течи в прокладках, трубах	76
8	Engine high tension burn out	Прогар высоковольтных проводов на двигателе	14
9	Ignition element (ignition plug burn out)	Элементы зажигания (прогар свечей зажигания)	24
10	Oil cooler failure	Отказ маслорадиатора	6

где APU (auxiliary power unit) - ВСУ (вспомогательная силовая установка).

## 2. Методы диагностики турбовентиляторных двигателей

Важным направлением в области повышения безопасности полетов АТ является совершенствование системы и логической организации диагностики, а также самих ее процессов диагностирования.

Известные методы инструментального контроля, математического моделирования предотказных состояний двигателей, методы полунатурных испытаний, факторного анализа и др. зачастую не дают желаемого эффекта. Перспективными, на наш взгляд, являются методы и средства диагностики, основанные на различных физических принципах, позволяющие проконтролировать ответственные узлы и агрегаты двигателя [3]. Условно их можно разделить на методы прямых регистраций диагностических признаков, определяющих техническое состояние двигателей и методы безразборной (оперативной) диагностики по косвенным признакам.

К основным из используемых и перспективных методов диагностики турбовентиляторных двигателей (ТВД) в настоящее время относят:

- диагностику по тепловым параметрам;
- диагностику по виброакустическим параметрам;
- трибодиагностику;
- оптику – визуальную диагностику;
- анализ продуктов сгорания;
- диагностику подшипниковых узлов.

Одним из наиболее часто используемых в диагностике проточной части двигателя осуществляется с помощью средств эндоскопии. Оптические методы контроля с использованием бароскопов, фиброскопов и эндоскопов дают достаточно достоверную информацию о состоянии лопаток компрессора и турбины, камеры сгорания, дисков, сварных швов корпусов и т.д. Этими приборами успешно выявляется обширная группа дефектов типа:

- трещин;

- короблений;
- коррозии, эрозии, выработки контактных поверхностей;
- износа элементов лабиринтных уплотнений;
- нагарообразования и др.

На рис. 1 показан пример современного эндоскопа для ТВД.



**Рис. 1.** Эндоскоп для ТВД «ТBS - 8»

- Рекомендован для применения на CFMI CFM56-2, CFM56-5, CFM56-7.
- Рекомендован для применения на Rolls Royce RB211, Trent 700, Trent 800.
- Рекомендован для применения на Rolls Royce Olympus 593.
- Рекомендован для применения на Pratt & Whitney PW2000, PW4000, JT8D, JT9D.

Существует достаточно много различных эндоскопов, бароскопов и фиброскопов. Важно отметить качество данных приборов, так как от этого зависит качество проведения диагностики, что влияет на надежность и безопасность полетов. Наиболее качественными являются эндоскопы германского производителя.

Анализ современного состояния безопасности полетов и летной годности, а также существующих методов диагностики ТВД показал, что для оценки состояния многопараметрического объекта, которым является двигатель, необходима совокупность различных параметров. При этом важную роль играет их информативность.

### 3. Анализ метода обобщенной оценки состояния технических систем

Подходом к обобщенной оценке состояния технических систем является определение количества информации, характеризующей уровень работоспособности объекта исследования при его контроле [4]. Это позволяет выявить однозначную количественную связь между пространством состояний, определяемых структурными параметрами объекта, и пространством диагностических признаков этих состояний. Таким образом, степень изменения работоспособности объекта характеризуется объемом информации. Информационная оценка позволяет рассмотреть исследуемый объект и связать это с системой контроля.

Пусть  $J_A(B)$  – ожидаемое значение информации, содержащееся в системе контроля  $B$  относительно всех состояний объекта  $A$ . Обозначив  $J_A(B)$  как среднюю информацию, содержащуюся в системе контроля относительно состояния  $A_i$ , получим

$$J_A(B) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot J_{A_i}(B), \quad (1)$$

где  $P(A_i)$  - вероятность  $i$ -го состояния объекта ;  $n$  - выделенное количество состояний объекта  $A$ .

В соответствии с определением условной энтропии [4] можно записать:  $H(A/B) = H(AB) - H(B)$ , где  $H(AB)$  - энтропия сложной системы  $(AB)$ ;  $H(B)$  - энтропия системы контроля  $B$ .

Для решения практических задач выражение для средней информации в системе контроля о состоянии объекта  $A_i$  примет вид

$$J_{A_i}(B) = \sum_{j=1}^m P(B_j/A_j) \cdot \log[P(A_i/B_j)/P(B_j) \cdot P(A_i)], \quad (2)$$

где  $J_{A_i}(B)$  представляет собой среднее значение информации, которую можно получить от системы контроля об  $i$ -м состоянии объекта. Так как объект и система контроля взаимосвязаны, то полагают, что каждое из состояний  $B$  может содержать информацию относительно какого-либо состояния объекта  $A$ . Информация, которую дает состояние  $B_j$  о состоянии  $A_i$ , определяется из соотношения

$$J_{A_i}(B_j) = \log[P(B_j/A_i)/P(B_j)]. \quad (3)$$

Отсюда следует вывод, что  $J_{A_i}(B)$  представляет собой усреднение этой информации по всем состояниям системы  $B$ , при условии, что эта информация относится к состоянию  $A_i$

$$J_{A_i}(B) = \sum_{j=1}^m P(B_j/A_j) \cdot J_{A_i}(B_j). \quad (4)$$

Величину  $J_{A_i}(B_j)$  называют элементарной информацией состояний  $B_j$  о состоянии  $A_i$ . Величины  $J_{A_i}(B)$  и  $J_{A_i}(B_j)$  являются усреднением элементарной информации. Вместе с тем, элементарной информации придают конкретный физический смысл.

Из выражения (2) видно, что в этом случае  $J_{A_i}(B_j) = 0$ . Если априорная вероятность состояния  $A_i$  равна  $P(A_i)$ , а после получения  $B_j$  она изменится и станет  $P(A_i/B_j)$ , то по известному состоянию можно получить некоторую информацию относительно  $A_i$

$$J_{A_i}(B_j) = \log[P(A_i/B_j)/P(A_i)]. \quad (5)$$

Существенность параметров контроля также определяется по количеству информации, которое можно получить с их помощью.

Рассмотренные информационные подходы характеризуют только количество информации, получаемой при контроле.

## Заключение

Анализируя техническое состояние авиационной техники за последние годы, были выявлены с помощью статистики данных основные отказы/неисправности силовых установок, которые требуют тщательного осмотра и применение методов оценки летной годности. Для повышения уровня безопасности полетов требуется разработка методов летной годности силовых установок. Методы диагностики тепловых, виброакустических параметров, а также оптико – визуального показывают, что каждый из них имеет определенную область применения, что позволяет оценить состояние отдельных узлов, элементов турбовентиляторного двигателя. Проанализировав метод обобщенной оценки состояния технических систем с использованием теории информации, можно говорить о применимости исследований, а также о получении достоверной информации и её количестве при контроле систем и компонентов. Таким образом, говоря об анализе методов летной годности силовых установок, мы выявили основные методы и подходы к повышению уровня безопасности полетов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зубков Б.В., Сакач Р.В., Костиков В.А. Безопасность полётов: учебн. пособие. - М.: МГТУ ГА, 2007. - Ч. 1-3.
2. Чинючин Ю.М., Тарасов С.П. Нормативная база технической эксплуатации и сохранения лётной годности воздушных судов: учебн. пособие. - М.: МГТУ ГА, 2003.
3. Биргер И.А. Техническая диагностика. - М.: Машиностроение, 1978.
4. Машошин О.Ф. Диагностика авиационной техники (информационная основа): учебн. пособие. - М.: МГТУ ГА, 2007.

**THE ANALYSIS OF METHODS ESTIMATION AIRWORTHINESS POWER PLANTS****Bolshov D.S.**

The statistics of malfunction of power plants is considered, methods of diagnosing of engines, method of the generalized estimation of a condition of technical systems, information estimation of systems.

**Key words:** airworthiness, safety of flights, failure/malfunction, the aviation technics, informtiveness, diagnostics.

**Сведения об авторе**

**Большов Денис Сергеевич**, 1987 г.р., окончил МГТУ ГА (2009), аспирант кафедры МГТУ ГА, область научных интересов – управление, безопасность полетов, летная годность ВС.

УДК 629.7.035.5:323.28

## СИСТЕМНОЕ ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ТЕРРОРИСТАМ-СМЕРТНИКАМ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА

С.В. ПЕРЕСАДА

**Статья представлена доктором технических наук, профессором Бабаскиным В.В.**

Данная статья рассматривает некоторые вопросы комплексного противодействия возможным актам террористов-смертников на организационно-техническом уровне.

**Ключевые слова:** терроризм, террорист-смертник, женский суицидальный терроризм.

Одной из актуальнейших тем обеспечения транспортной безопасности как части современной государственной безопасности страны является системное противодействие террористам-смертникам на объектах инфраструктуры транспорта - авиационного, автомобильного, железнодорожного, водного. Актуальность этой темы состоит в том, что, несмотря на усиление мер безопасности, в мире происходят теракты, которые явились результатом использования террористов-смертников.

Для того чтобы бороться с угрозой, необходимо понимать в деталях логику преступников, используемые ими методы; противопоставить их подготовке профессионализм авиационного персонала, умноженный на эффективную оперативную работу специальных служб и тотальную поддержку населения страны.

### Общие понятия

Террорист - лицо, участвующее в осуществлении террористической деятельности в любой форме.

Личность террориста - совокупность личных, профессиональных, возрастных, психологических и иных качеств, характеризующих лицо, участвующее в той или иной форме в террористической деятельности, знание которых позволяет сотрудникам специальных служб и правоохранительных органов моделировать его поведение, предотвращать совершение им акций терроризма, осуществлять мероприятия по его обнаружению и обезвреживанию. Психологи, в зависимости от побудительных причин и мотивации участия лица в террористической деятельности, а также с учетом особенностей его поведения, различают такие модели, как: «террорист-лидер», «террорист-актер», «террорист-самоубийца», «террорист-герой» и другие.

Терроризм, известный человечеству в качестве острого и действенного орудия борьбы за власть уже в течение столетий, находится в процессе непрерывной трансформации. Он видоизменяется, адаптируясь к реалиям современного мира, вбирает в себя последние достижения науки и техники, активно эксплуатирует религиозные и иные идеологические концепции, получившие широкое распространение в обществе.

Особенностями современного терроризма являются его исключительная общественная опасность, возрастающие масштабы и мобильность террористической деятельности, расширение ее географии, повышение поражающей способности используемых террористами средств убийства, высокий рационализм. Последнее свойство заключается в том, что каждая акция терроризма тщательно готовится с таким расчетом, чтобы не только обеспечить максимальный эффект, высокую эффективность (достичь поставленной цели с минимальными затратами), но и обеспечить личную безопасность террористов. Для этого используются взрывные устройства с часовыми механизмами или с дистанционно управляемыми взрывателями; преступники изначально планируют захват высокоманевренных транспортных средств (например, вертолета) для

бегства от правоохранительных сил или окружают себя как живым щитом заложниками. Таким образом, террористы, легко уничтожая жизни десятков, а то и сотен людей, используют все возможности для обеспечения собственной безопасности.

На общем фоне стремления террористов к самосохранению в современном мире существует уникальный образец реминисцентного воспроизводства старинных террористических традиций, в соответствии с которыми угроза для собственной жизни воспринималась не как опасность, а как благо. Это терроризм религиозных фанатиков, получивший наиболее широкое распространение среди последователей ислама.

### **Специфика женского суицидального терроризма и его особенности**

Большинство террористов - мужчины. Более 80 процентов террористических актов в период 1966-1976 гг. были задуманы, подготовлены и осуществлены мужчинами. Число арестованных террористов-женщин в Латинской Америке показало, что женщин-террористов в группах около 16 процентов. Роль женщин в террористических радикальных группах была ограничена сбором информации, функцией курьеров, медсестер или хозяйек конспиративных квартир.

Большинство самых разных специалистов в области исследований терроризма предполагают, что процент женщин, вовлеченных в терроризм, гораздо больше процента женщин, вовлеченных в другую преступную деятельность. Однако нет никакой статистики, которая могла бы подтвердить это мнение. Число актов терроризма в любой части света в любое время есть лишь крохотная часть от общего числа преступлений, совершенных в том же месте и в тот же период. Женщины составляли третью часть «Фракции Красной Армии» (РАФ) и «Движения 2 июня». Почти 60 процентов состава РАФ и «Движения 2 июня», кто еще был в организациях после августа в 1976 года, также были женщины.

Повстанческие группы в Латинской Америке в 70-х и 80-х гг., согласно информации из самих этих групп, включали в себя гораздо больше женщин. Это 30 процентов в составе Скандинавского национально-освободительного фронта в Никарагуа в конце 70-х гг.; треть объединенного Фронта им. Фарабундо Марти в Сальвадоре; половина в «Сендеро Люминосо» в Перу. Но не исключено, что эти проценты были раздуты самими повстанческими группами, чтобы впечатлить сочувствующих им иностранных феминисток.

В любом случае никаких устойчивых заключений на основе этих данных делать не приходится. Но женщины играли видные роли в многочисленных городских террористических актах в Латинской Америке.

Несколько женщин-террористок участвовали в захвате посольства Доминиканской республики в Боготе (Колумбия, 1980 год), и одна из них играла главную роль в переговорах по освобождению заложников.

Позже Мелида Анья Монте («Анна Мария») была второй в руководстве команды «Народных освободительных сил» вплоть до ее убийства в 1983 году. Ей было тогда 54 года! Половина боевиков, совершавших налет на Дворец правосудия Колумбии 6 ноября 1985 года, были женщины, и они были наиболее жестокими воинами.

Левые террористические группы или их акции вообще очень часто были управляемы женщинами. Много женщин присоединилось к немецким террористическим группам. «Ред Зора» в Германии, террористическая группа, действовавшая с конца 70-х гг. и до 1987 г., состояла только из женщин и совершала множество террористических акций. В 1985 году среди 22 главных активистов РАФ было 13 женщин. В 1991 году женщины составляли примерно 50 процентов общего числа террористов РАФ и около 80 процентов сторонников этой группы.

Из восьми наиболее разыскиваемых террористов в Германии в 1991 году пятеро были женщины. В списке из 22 наиболее разыскиваемых террористов Германии в 1998 году было 13 женщин. Из лидеров РАФ наиболее известны Сюзанна Альбрехт, Гудрун Эннслин (иногда она проходила в полицейских сводках, как Гудрун Эннселин) и Ульрика Майнхоф.

Известны и другие иностранные женщины-террористки. Это, например, Фусако Сигенобу, «Японская Красная Армия». 53-летняя Сигенобу, как сообщалось в апреле 1997 года, действовала вместе с другими членами «ЯКА» - двумя женщинами и 12 мужчинами - инструкторами колумбийских партизан FARC. Это Норма Эстер Аростита, также известная как Аргентина Монтонерос, член баскской организации ЭТА, бывшая главным идеологом группы; Маргерита Кагол и Сюзанна Ронкони из «Красных бригад». Известна также Лейла Халед, красавица-террористка «Народного фронта освобождения Палестины», похитившая пассажирский самолет 29 августа 1969 года и взорвавшая его после эвакуации пассажиров.

Одна из первых женщин-террористок нового времени и современного международного терроризма, она, вероятно, вдохновила сотни других разъяренных женщин во всем мире, которые восхищались ее фотографиями в газетах и журналах всех стран, на которых она вооруженная и одновременно очень женственная.

Другая террористка НФОП, по сообщениям, христианка из Ирака, пила шампанское из мини-бара самолета авиалиний Японии 20 июля 1973 года, когда взорвались бомбы, привязанные к ее телу.

Женщины также играли существенную роль в итальянских террористических группировках. По данным итальянской полиции, из 451 арестованных террористов 18 процентов были женщины, из этих женщин менее 10 процентов были правыми.

Большая часть этих женщин до того момента, как они оказались втянутыми в террористическую деятельность, были студентками (35 процентов), 20 процентов преподавали, 23 процентов были «белыми воротничками». Также примечателен тот факт, что 27 процентов исследованных учеными женщин-террористок были связаны родственными узами с другими террористами.

Исследователи сделали вывод, что для многих женщин, входящих в террористические группы, этот шаг был естественным именно из-за их родственных связей или из отчуждения после того, как они оказались в огромных городах после детства и юности, проведенных в маленьких селеньях.

### Характеристики женского терроризма

**Практичность.** Немецкие специалисты считают, что женщины-террористки Германии из «Фракции Красной Армии» и других групп отличались особенной практичностью. Бывшие террористы описывали своих женщин-вождей как «доминирующих над мужчинами женщин, чей характер был похож на мужской». Они работали в группах над практическими проблемами типа починки автомобилей, бухгалтерского учета и организации акций. Например, Астрид Пролл была превосходным механиком, Гудрун Эннслин отвечала за финансы группы, а Ульрика Майнхоф организовывала помимо прочего и размещение террористов на конспиративных квартирах.

По мнению специалистов, наиболее важные качества, которые женщины приносили в террористические группы – это практичность и прагматизм.

«К сочетанию таких качеств гораздо более склонны женщины военного времени, живущие во время крупных войн», – считает Лохте. «Такие женские качества очень важны для группы террористов, для ее развития, особенно для группы, подобной РАФ, где было много споров о стратегии их действий, да даже просто бытовых споров. Женщины всегда в центре такой группы, потому, что в быту они гораздо более практичны».

Есть и **тактическая ценность** женщины в террористической группе. Нападение женщины-террористки обычно менее ожидаемо, чем нападение мужчины. Есть множество примеров, иллюстрирующих тактический фактор неожиданности, который может быть достигнут женщинами-террористками.

Террористка-камикадзе «Тигров освобождения» Тамил Илама была способна очень близко подобраться к индийскому премьеру Радживу Ганди (21 мая 1991 года), держа в руках гирлянду цветов и неся на теле бомбу, которая взрывом и убила премьера и еще 17 человек.

Никто не подозревал привлекательную мисс Ким в переносе бомбы на борт самолета корейских авиалиний № 858 и Лейла Халед, одетая в изящную одежду и обвязанная гранатами, была способна пройти через несколько постов проверок служб безопасности, не возбуждая подозрения. Женщины-террористки также использовались для того, чтобы завлечь «цели мужского пола» в ловушки.

**Вера. Внутренняя сила. Жестокость.** Лохте также полагает, что женщины-террористки были более сильными внутренне, более преданными своему делу и более безжалостными, чем мужчины. И в то же время способными к страданию. Потому что «они не такие нервные, как мужчины, и они могут быть и активны, и пассивны одновременно».

Глава одной из немецких антитеррористических команд сказал Эйлин Макдональд, что разница между мужчинами и женщинами РАФ, арестованными после падения Берлинской стены, была в том, что женщины были гораздо более упорны на допросах и не давали показаний на своих товарищей, в отличие от мужчин. А когда женщины все же давали показания, то это было вызвано их внутренним чувством вины, а не желанием уменьшить свой тюремный срок. Последняя причина двигала в основном мужчинами.

С конца 60-х, когда женщины стали заменять в террористических группах IRA своих заключенных в тюрьму мужчин, они стали играть все большую роль в войне против британских полицейских отрядов или официальных антитеррористических сил Ирландии, равно как и в терроризме против Британии.

В результате в конце 60-х командование IRA соединило женщин-террористок в отдельные женские террористические группировки IRA. Есть несколько печально знаменитых ирландок-террористок. Это, например, 19-летняя Мэрион Пирс и ее сестра (прозванные «Сестрами смерти»), которые участвовали во многих кампаниях IRA. В начале 70-х дочь из богатого ирландского семейства доктора Роса Догдала похитила вертолет и использовала его для бомбежки английских полицейских казарм.

В 1983 году Анна Мур была приговорена к пожизненному заключению за ее роль во взрыве паба в Северной Ирландии, во время которого погибли 17 человек. Элла О Двиер и 23-летняя Мартина Андерсон, бывшая королева красоты своего города, были приговорены к пожизненному заключению в 1986 году за их участие в терактах в Лодоне и 16 морских курортах Англии.

**Целеустремленность.** Женщины-террористки в своей целеустремленности могут быть гораздо более опасными, чем мужчины, из-за их способности сосредоточиться на причине и цели.

Лохте отмечает, что случай Сюзанны Альбрехт продемонстрировал эту полную преданность террору, на которую не повлияли ни семья, ни воспитание. Сюзанна Альбрехт из РАФ была дочерью богатого адвоката.

Она убила близкого друга своей семьи, Юргена Понта, одного из самых богатых людей Западной Германии, председателя Дрезден-банка, в его собственном доме. Потом она призналась, что лично от него она видела всю жизнь только добро и любовь.

Если бы Альбрехт была мужчиной, она попробовала бы убедить своих товарищей, что необходимо найти другую цель для теракта РАФ. Лохте считает, что ее целью было движение вперед, без колебаний.

Правда, по другим данным, на Сюзанну Альбрехт оказывалось сильнейшее давление со стороны ее товарищей. Они выбрали жертвой именно его, чтобы Сюзанна воспользовалась своим знакомством с будущей жертвой. Правда, они планировали не убивать банкира, а похитить его.

**Мотивация женщин-террористок.** Почему женщины становятся террористками? Некоторые специалисты полагают, что женщины, по своей природе более идеалистичные, чем мужчины, совершают террористические акты в ответ на отказ власти выполнить их требования об

улучшении жизни каким-то категориям людей. Женщины приходят в терроризм совсем по другим причинам, чем мужчины.

В отличие от мужчин, которых привлекают власть и сила, женщины становятся террористками, будучи привлечены обещаниями лучшей жизни для их детей, из-за желания улучшить жизнь народа, чего не делают власти.

С другой стороны, женщины позднее начинают иметь дело с оружием. А значит, членство в террористической группе для женщин – более активное занятие, чем для мужчин, потому что слабый пол учится.

Товарищеские отношения – другой фактор мотивации в присоединении женщины к террористической группе. Некоторые немецкие специалисты считали, что Сюзанна Ронкони и Ульрика Майнхоф были достаточно одинокими внутренне и жаждали любви и товарищества, эмоциональной поддержки от своих друзей в террористических группах.

Феминизм также был идеологией для многих женщин, пришедших в терроризм. Многие из таких женщин стали террористками, попав в большие города из маленьких сообществ, в которых права женщин подавляются. И это не только страны Ближнего Востока, Япония или Латинская Америка, Испания, Италия и Ирландия, даже Германия была частично репрессивна для женщин в тот момент, когда там появилась РАФ.

### **Методы противодействия террористам-смертникам**

Одним из главных оружий в борьбе с терроризмом является информация. С точки зрения безопасности информации – это мера устранения неопределенности об окружающем мире, явлениях, процессах, системах и т.д.

Формы и методы получения информации в работе спецслужб, обеспечивающих государственную безопасность, не могут быть преданы огласке. Но необходимо понимать, что полученные сведения являются конфиденциальными и являются государственной тайной.

Поэтому на объектах транспорта должны быть созданы необходимые организационно-технические условия для работы.

**В первую очередь** это касается аттестованного и допущенного к работам персонала и организации защищенных локальных сетей, включающих аттестованные компьютеры и периферийные устройства.

**Во-вторых**, необходимо учитывать, что в реалиях современной России и еще ряда зарубежных стран наряду с государственными структурами безопасности охрану объектов осуществляют частные охранные предприятия, службы транспортной безопасности, например, авиационной. Естественно, без тесного взаимодействия с ними построение эффективной системы безопасности не возможно.

### **Методы прогнозирования**

Особого внимания заслуживают методы прогнозирования (опережающего отражения), позволяющие получать упреждающую информацию о теракте задолго до его реализации. По литературным данным известно, что используются различные подходы, вплоть до астрологических расчетов и предсказаний «сертифицированных» экстрасенсов. В качестве примера достаточно упомянуть уникальные результаты, полученные Вольфом Мессингом, Ури Геллером, а также деятельность группы генерал-лейтенанта ФСО В.Рогозина и других исследователей. Анализ доступной информации о методиках прогнозирования в целом показывает, что те или иные фрагментарные признаки готовящегося преступления присутствуют в информационном пространстве, их необходимо выявить (идентифицировать) и правильно интерпретировать, выстроив те или иные причинно-следственные цепочки развития событий.

## **Методы экспертных оценок**

Основная идея прогнозирования на основе экспертных оценок заключается в построении рациональной процедуры интуитивно-логического мышления человека в сочетании с количественными методами оценки и обработки получаемых результатов.

Сущность методов экспертных оценок заключается в том, что в основу прогноза закладывается мнение квалифицированного специалиста или коллектива специалистов, основанное на профессиональном, научном и практическом опыте. Различают индивидуальные и коллективные экспертные оценки.

Примером удачного использования метода экспертных оценок является, например, график вероятности проявления теракта от времени года для данного конкретного региона.

## **Экспресс-диагностика с использованием социально-психологического портрета участника теракта**

Прием выявления неадекватных и подозрительных пассажиров уже давно с успехом используют многие службы безопасности, например, израильская авиакомпания EI-AI, так как Израиль столкнулся с настоящей эпидемией применения на объектах транспорта смертников.

Специалист-психолог, завязывающий беседу с пассажирами у стойки регистрации, с помощью различных вопросов, способен не только быстро выяснить истинность сообщаемых ему сведений, но и оценить реакцию и взволнованность человека - по жестам, взгляду и даже интонации.

## **Специальные приборно-аппаратные комплексы для идентификации террориста**

На сегодняшний день нет ни одного прибора, который без подключения к человеку на уровне его физиологических сигналов может грамотно работать. Знание психологических особенностей современного террориста позволяет построить соответствующую модель его поведения. Это и внешний облик, и манера держаться, и речь, а также все поведенческие реакции, которые могут быть отнесены к разряду неадекватности ситуации, повышенной настороженности, необоснованной нервозности и напряженности, признакам лживого поведения. Перечисленное является не прямым указанием на причастность личности к террористической деятельности, но однозначно является подозрительными признаками, на которые следует обращать особое внимание работникам соответствующих служб.

## **Обобщенный алгоритм экспресс-диагностики человека**

Человек представляет собой многоуровневую адаптирующуюся к внешним условиям, программируемую, использующую генетический опыт предшествующих поколений систему. Поэтому диагностика такой системы в конкретный (дискретный) момент времени является искусством. По возможности необходимо использовать как можно больше исходной информации, подвергнуть ее структуризации, анализу и выявить совокупность признаков, которые являются подозрительными.

Наблюдатель поэтому должен по доступным защищенным каналам связи обеспечиваться дополнительной оперативной и ориентирующей информацией.

Признаки позволяют объективизировать и уточнить определенные сведения и построить своеобразную « мозаичную картину » - социально-психологический портрет конкретного человека (сформировать объективный диагноз).

Ряд объективных показателей фиксируется с помощью специальной аппаратуры, входящей в комплект положенности пункта досмотра. Ядром этой аппаратуры является неинвазивный дистанционный компьютерный полиграф, оснащенный системой сенсоров.

Кроме этого, учитываются такие моменты экспресс-диагностики, как физиогномика, хирология, иридодиагностика.

Исследование документов, удостоверяющих личность, билетов, транспортных карт, виз осуществляется с использованием специальной криминалистической техники. В случае необходимости признаки потенциального опасного пассажира заносятся в специализированные защищенные базы данных. При этом в ряде случаев подключаются представители субъектов ОРД. Элементы представленного алгоритма применялись сотрудниками ДПС и УВДТ МВД РФ во время объявления на федеральном уровне «красной» террористической угрозы в феврале 2008 г. Это позволило выявить 45 нарушителей паспортно-визового режима и задержать более 30 преступников, находившихся в федеральном розыске.

### **Использование технических средств**

Для поиска и обнаружения опасных предметов, с помощью которых можно совершить так называемый акт незаконного вмешательства, существует большое количество специальных технических средств:

- 1) металлодетекторы (стационарные и ручные);
- 2) рентгенографическое оборудование (интроскопы);
- 3) анализаторы следов ВВ и паров ВВ;
- 4) экспресс-тесты для обнаружения и идентификации следов ВВ;
- 5) досмотровое оборудование (зеркала, эндоскопы);
- 6) блокираторы радиовзрывателей;
- 7) локализаторы ВУ;
- 8) обнаружители часовых механизмов;
- 9) нелинейные локаторы.

Все перечисленное активно используется для поиска и выявления СВУ и других опасных предметов.

В связи с изложенным можно сделать вывод, что для эффективной борьбы должны быть приняты следующие меры:

1) систематизированы сведения обо всех актах незаконного вмешательства на объекты транспорта, в том числе и с использованием террористов-смертников. Особенно необходимо исследовать проблемы и особенности женского суицидального терроризма, а также его «сверх-эффективность»;

2) необходимо усилить информационно-аналитическое обеспечение системы транспортной безопасности, в том числе со стороны уполномоченных органов - подготовку квалифицированных кадров, техническое обеспечение по последнему слову техники;

3) интегрировать в систему безопасности перспективные инновации и технологии, связанные с безопасностью (либо двойного назначения).

Учитывая описанное выше, можно полагать, что противодействие терроризму и, в частности, террористам-смертникам выйдет на качественно новый уровень.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. **Ольшанский Д.И.** Психология терроризма. - СПб.: Питер, 2002.
2. **Терроризм и безопасность на транспорте в России (1991-2002 гг.)** / под ред. В.Н. Лопатинка. - СПб.: Юридический центр Пресс, 2004.
3. **Москвин С.В., Паршин С.А.** Оперативно-технический осмотр. - М.: Восход-М, 2007.
4. **Паршин С.А.** Способы обнаружения диверсионно-террористических средств на объектах воздушного транспорта. - СПб., 2007.

**5. Боровков Е.И., Довгуша В.В., Егоров Ю.Н.** Анализ катастроф и аварий авиакосмических и наземных объектов. Технические и правовые концепции космической безопасности // Материалы Второй общероссийской конференции в международном формате. - СПб: СПб ВИ ВВ. МВД России, ГК «Дворец Конгрессов», 2007. - С. 39-68.

**6. Губарев О.Н.** Тайны воздушного терроризма. - М.: Вече, 2002.

**7. Петрищев В.Е., Мыльников Б.А., Алексеенко Д.М. и др.** Словарь основных терминов и понятий в сфере борьбы с международным терроризмом и иными проявлениями экстремизма. - М.: Эдиториал УРСС, 2003.

## **SYSTEM ZERO TOLERANCE TO TERRORISTS-SUICIDE-BOMBERS AT ALL TRANSPORT AREAS**

**Peresada S.V.**

This article deals with some problems of integrated zero tolerance to possible acts of terrorists-suicide-bombers on organizational and technical level.

**Key words:** terrorism, terrorist-suicide-bomber, womens suicidal terrorism.

### **Сведения об авторе**

**Пересада Светлана Владимировна**, окончила Саратовский юридический институт (1992), СПбГУ ГА (2007), аспирантка кафедры безопасности полетов СПбГУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – обеспечение авиационной безопасности.

УДК 396.96

## О ПОДГОТОВКЕ В ВУЗАХ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ТЕХНОГЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В.В. ЖИЛИНСКИЙ, В.З. ШЕСТАКОВ

В статье рассматриваются проблемы, связанные с подготовкой в вузах специалистов по техногенно-экологической безопасности (ТЭБ), и подчёркивается её значимость в обеспечении безопасности любого предприятия, глобальной безопасности человечества и влиянии на устойчивость развития мирового сообщества в целом.

**Ключевые слова:** технологическая и экологическая безопасность, безопасность оборудования, программы обучения.

Противоречия, из которых "соткана" наша цивилизация, пожалуй, ни в чём не выявляются так резко, как в деле обеспечения техногенно-экологической безопасности, что проявляется:

- с одной стороны, в постоянном совершенствовании методов и средств понимания и оценки уровня этих угроз;

- и с другой, к сожалению, в том, что слишком во многих государствах, организациях и у населения в целом не хватает знаний, желания, воли или средств для их устранения или снижения.

### 1. Техногенно-экологическая безопасность (ТЭБ)

Цель ТЭБ – гарантировать устойчивость развития и функционирования, которая представляет собой способность среды обитания сохранять и обеспечивать свойства, способствующие процессам жизнедеятельности (жизненной активности) населения.

Все чаще аварии принимают катастрофический характер с тяжёлыми последствиями. Их анализ показывает, что, независимо от производства, в подавляющем большинстве случаев они имеют одинаковые фазы развития:

а) каждой аварии предшествует возникновение или накопление дефектов в оборудовании, которые сами по себе не представляют угрозы, и эта фаза очень важна, так как на этой стадии ещё возможно предотвращение аварии;

б) на второй фазе происходит какое-либо иницирующее событие; как правило, именно здесь у операторов не бывает времени, средств, иногда знаний или просто воли для эффективных действий, после чего авария становится неизбежной.

Причинами аварий обычно становятся недостаточность знаний, халатность, намеренность и т.п., и как результат: просчеты при проектировании; некачественное строительство или отступление от проекта; непродуманное размещение производства; нарушение требований технологического процесса.

Средства для решения этих проблем есть, для чего создаются новые технологии и материалы, экологически чистые виды топлива, новые источники энергии, снижающие загрязнение окружающей среды; реализуются самые продвинутые методы и средства мониторинга, а поэтому всему этому нужно учить и в первую очередь воспитывать специалистов, что возможно только в специальных учебных заведениях при подготовке будущих специалистов.

### 2. Мировой подход к техногенно-экологической безопасности - это обеспечение устойчивого развития

Концепция устойчивого развития мирового сообщества была сформулирована на конференции ООН в Рио-де-Жанейро в 1992 году.

По сути это программа глобального партнёрства государств для осуществления стабильного социального, экономического и экологического развития общества.

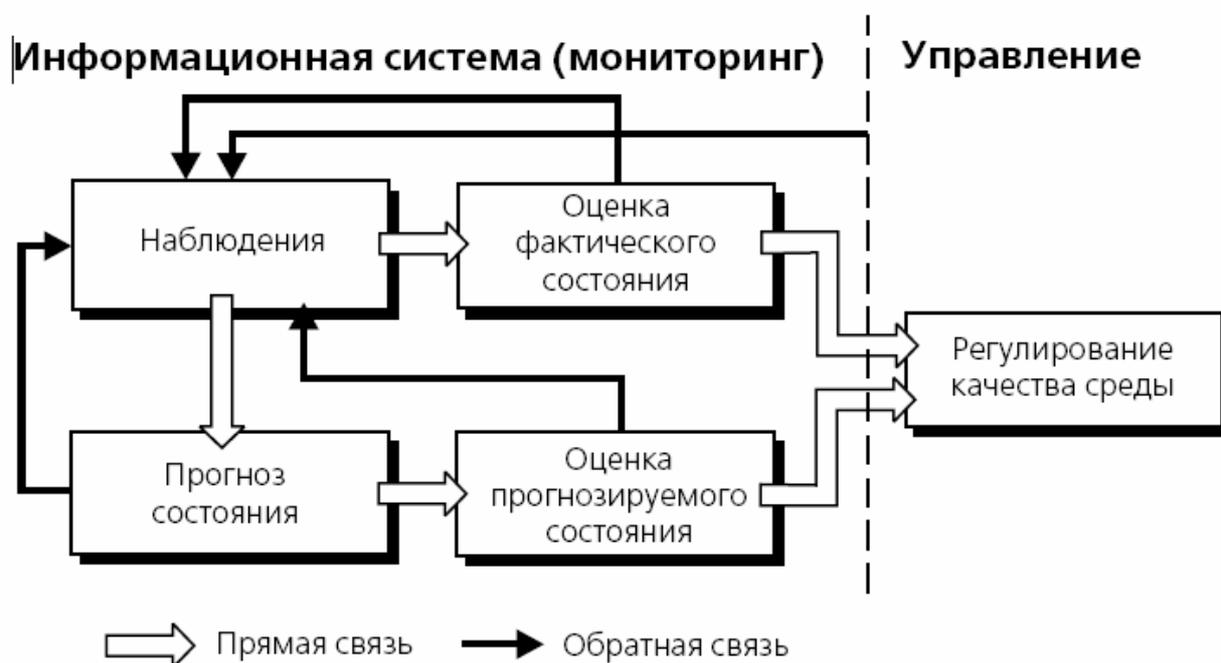
С тех пор прошло немало времени и принято немало хороших документов, но сказать, что произошел радикальный перелом в умах людей вряд ли кто-то решится.

Последние примеры:

- факт невозможности договориться по глобальным проблемам (Конференция по климату –2010 г.);
- взрыв нефтедобывающей вышки в Мексиканском заливе с тяжелейшими последствиями;
- взрыв на Кемеровской (Распадской) шахте и другие случаи.

Причины указаны на рис. 1.

Систему техногенно-экологической безопасности можно представить состоящей из двух подсистем: Мониторинга и Управления.



**Рис. 1.** Блок – схема системы мониторинга

### *Мониторинг*

Система мониторинга техногенно-экологического состояния среды не включает деятельность по управлению источниками риска. Мониторинг позволяет создать информационную базу, необходимую для выполнения задач управления.

Методы и средства мониторинга совершенствуются колоссальными темпами.

Огромные возможности для этих целей сегодня предоставляют космические технологии. От уровня развития мониторинга, к сожалению, далеко отстает управление факторами техногенно-экологического риска.

Что же тогда понимать под этим управлением. Есть такие образовательные специальности, на выходе которых общество получает управленцев. В других специальностях можно найти набор дисциплин типа: управление предприятием, управление персоналом, управление качеством и много, много других управленческих нюансов. К сожалению, они решают только частные задачи, даже не акцентируя внимание на техногенно-экологической безопасности. Как правило, это управление показателями (затраты, себестоимость и т.д.), определяющими экономическую эффективность предприятия, отрасли, страны и т.д. Факторы техногенно-экологического риска также влияют на экономическую эффективность, но только опосредованно через ликвидацию

последствий неблагоприятных событий, однако они могут и не наступить, - и этот вопрос провоцирует недалёковидный ответ: „Так зачем тратить на их предупреждение?“

Мониторинг источников воздействия	<b>Источники воздействия</b>			
Мониторинг факторов воздействия	<b>Факторы воздействия</b>			
	Физические	Биологические	Химические	
Мониторинг состояния биосферы	<b>Природные среды</b>			
	Атмосфера	Океан	Поверхность суши с реками и озерами	Биота
	└──────────────────────────────────┘			└──┘
	Геофизический мониторинг			Биологический мониторинг

**Рис. 2.** Классификация экологического мониторинга

Специфичность объекта и предмета ТЭБ выражена в: большой продолжительности жизненного цикла; в многообразии факторов; в необходимости выявления источников и потенциальных жертв различных угроз. Она указывает на непригодность для её обеспечения каких-либо одноразовых мероприятий или массовых компаний.

### 3. Учебный предмет «Безопасность жизнедеятельности»

К настоящему времени можно утверждать, что сформировалось научное направление - безопасность жизнедеятельности (БЖД), представляющее собой междисциплинарный комплекс знаний, основывающийся на научной концепции безопасного взаимодействия человека с природой и обществом.

Можно считать, что безопасность - это система знаний, включающая сведения об опасностях природного, производственного, социального характера, угрожающих человеку, их выявление и контроль, оценка степени опасности, прогнозирование и др.

Безопасность жизнедеятельности включает в себя средства, пути и методы ее достижения, в реальном же секторе это составная часть общего управления предприятием, способствующая, в том числе, и повышению эффективности его функционирования, что закреплено законодательно в международном стандарте OHSAS 18000.

Учебный предмет БЖД начинался с изучения студентами вопросов производственной безопасности (охрана труда, гражданская оборона). При этом включение этих дисциплин в учебные планы жестко контролировалось государственными институтами. К 80-м годам их преподавание достигло достаточно высокого уровня с обеспечением методического и материального оснащения практически во всех учебных заведениях. Более того материал дисциплин стал неотъемлемой частью программ практик и выпускных аттестационных работ. К 90-м годам все дисциплины были объединены в единый предмет – БЖД. Если рассматривать БЖД с позиций сегодняшнего дня, то надо иметь в виду, что эта дисциплина дает знания, формирующие особый склад мышления будущих специалистов, направленный на преодоление потребительского отношения в вопросах организации и осуществлении своей деятельности. Она дает пони-

мание необходимости просчитывания возможных техногенно-экологических последствий этой деятельности для общества, среди не только ныне живущих, но и будущих поколений.

С переходом на многоуровневую подготовку, разделение академического и профессионального образования, появлением частных учебных заведений ситуация с преподаванием этих дисциплин вышла из-под контроля государственных институций, несмотря на то, что острота вопросов только возросла. Особенно недопустим сегодня такой подход в профессиональных программах, где вопросы производственно-экологической безопасности должны обеспечиваться в их широком понимании. Специалист должен владеть вопросами организации и функционирования систем управления факторами риска. Вопросы производственно-экологической безопасности должны быть обязательной составной частью выпускных работ и проектов студентов, заканчивающих профессиональные программы.

#### **4. Международные стандарты безопасности и преподавание в вузах БЖД**

Поворотным моментом в вопросах обеспечения производственно-экологической безопасности должен стать новый подход в вопросах управления предприятием, базирующийся на требованиях международных стандартов.

- Типичные положения этих стандартов состоят в том, что организация должна иметь документально и организационно оформленную систему управления факторами риска, интегрированную с общей системой управления организацией.

Стандарт СМ, хотя и имеет свои конкретные требования, каждый из них включает в себя шесть следующих положений, которые могут быть приняты в качестве основы для интеграции: ответственность руководства, документально оформленные процедуры, проведение обучения, составление отчетов о несоответствии, корректирующие и предупреждающие действия, проведение аудита.

Многие из требований стандартов являются общими, и они могут быть размещены практически под одной общей системой управления. Сокращение дублирования путем объединения двух или более систем имеет возможность существенно сократить общие размеры системы управления и повышения эффективности системы в целом (ISO 9001, ISO 14001, ISO/IEC 27001, ISO 22000, ISO/IEC 20000 and OHSAS 18001).

Система менеджмента качества (СМК) [Quality Management System (QMS)] - это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, используемых для разработки политики и целей и достижения этих целей для того, чтобы руководить и управлять организацией применительно к качеству.

Руководство и управление организацией применительно к качеству (менеджмент) обычно включает в себя установление политики и целей в области качества, планирование качества, управление качеством, обеспечение (гарантирование) качества, улучшение качества.

#### **5. Заключение и рекомендации**

**А.** Нам представляется, что руководство вузов и программ, организуя подготовку специалистов, должно исходить из основной аксиомы БЖД: «выпускаемый вузом специалист должен уметь и хотеть, прежде чем организовывать деятельность, продумывать и реализовывать ее безопасность для общества, производства и окружающей среды». Это уже иной от бытуемого подход к обучению.

**Б.** Специалист (руководитель) должен уметь и хотеть вести повседневную, целенаправленную работу по пути снижения уровня всех без исключения угроз при одновременном повышении защищенности их потенциальных жертв.

Реализация такого управления предполагает решение совокупности взаимозависимых задач, связанных с обоснованием, обеспечением, контролем и поддержанием оптимальных, в оп-

ределённом смысле, количественных показателей, производственно - экологической безопасности. Обеспечение производственно - экологической безопасности должно составлять идеологическую сторону деятельности специалиста.

В этом и заключается новый подход в деле подготовки специалистов в учебных заведениях любого профиля.

## **ABOUT THE PREPARATION CONDITION OF TECHNOGENIC-ECOLOGICAL SAFETY IN THE UNIVERSITIES**

**Zhilinsky V.V., Shestakov V.Z.**

The problems connected with preparation condition students of technogenic-ecological safety (TES) are discussed in this article. The article are emphasize the importance for safety of an any enterprise, for Global safety of humanity and what it's worth for stability of development of the world community.

**Key words:** safety management, technogenic and ecological safety, educational programs.

### **Сведения об авторах**

**Жилинский Вячеслав Владимирович**, 1946 г.р., окончил РКИИ ГА (1970), доктор инженерных наук ЕС (Латвия), профессор Международной Балтийской академии (Рига, Латвия), автор более 130 научных работ, область научных интересов – управление большими проектами в гражданской авиации, информационные системы в различных сферах приложений.

**Шестаков Владимир Захарович**, 1938 г.р., окончил РКИИ ГА (1963), доктор инженерных наук, профессор Рижского технического университета (Рига, Латвия), автор более 250 научных работ, область научных интересов - системы безопасности жизнедеятельности; безопасность полётов.

УДК 629.735

## РАНЖИРОВАНИЕ ЗАДАЧ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОДБОРА КАДРОВ В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

А.А. КОВАЛЕВ, О.Г. ФЕОКТИСТОВА

В статье представлен один из критериев подбора персонала. Данный критерий связан с риском в авиации.

**Ключевые слова:** риски, ранжирование, авиакомпания.

При подборе персонала в авиакомпанию существует большое количество рисков. Эти риски связаны с ошибочным отсевом кандидатов. С принятием на работу не профессионалов, что в дальнейшем может означать появление другой цепочки рисков.

Принятие решений неотъемлемо от восприятия риска, от психологии. Это восприятие, которое исследовано далеко не в полной мере, представляется парадоксальным. По существу, оно является отражением нашей культуры, нашего отношения к себе и к миру. Парадоксальность ситуации иллюстрируют данные, представленные в табл. 1 [1]. В ней под технологией понимается способ заниматься каким-либо делом.

В первой колонке (табл. 1) показаны технологии и виды деятельности. В последней колонке справа приведены показатели ежегодной смертности. В соответствии с ней с большим отрывом лидирует курение, потребление алкоголя и аварии на автомобильном транспорте. Если буквально следовать критерию максимизации продолжительности жизни, то в основном на искоренение этих бед и должны быть направлены главные усилия общества.

Интерес представляют и другие колонки данной таблицы, показывающие, как общество относится к риску. При этом ядерная энергетика, смертность от которой весьма невелика, в представлении студентов и бизнесменов выходит по степени опасности на первое место, а употребление алкоголя смещается на шестое и седьмое. Риски в коммерческой авиации бизнесмены и студенты относят примерно к одному уровню опасности и в таблице ставят рядом с вероятностью получить травму при езде на велосипеде.

Однако существует и другая точка зрения. Возможно, субъективные алгоритмы оценки риска гораздо сложнее и эффективнее, чем кажутся на первый взгляд. И прежде чем вводить формализованные, "искусственные" правила оценки риска, полезно понять "естественные". В самом деле, алкоголизм локализован во времени (в пределах одной человеческой жизни), в социальном пространстве (он связан обычно с одним человеком и его близкими). Для него существует большой арсенал профилактических и лечебных мер. Он в большой степени связан с выбором образа жизни самим человеком. Обратная ситуация имеет место с атомной энергетикой. С последствиями уже принятых решений придется иметь дело далеким потомкам, локальные действия в этой сфере могут коснуться очень многих, да и от выбора одного человека здесь зависит немного. Кроме того, эта технология является сравнительно новой, множество острых проблем в ней не решены, отдаленные последствия ее использования не очевидны. Поэтому в интуитивно высокой оценке ее опасности в сравнении с другими рисками есть своя логика.

Риски в коммерческой авиации при подборе персонала особо выделяются в связи с большой ответственностью авиакомпании за жизни пассажиров. Они связаны с качеством выполнения трудовых обязанностей принимаемого на работу сотрудника. Катастрофы самолетов, потеря лояльности клиентов, банкротство авиакомпании, неправильная эксплуатация воздушных судов и другое. Все эти риски могут появиться в связи с ошибочной системой управления подбора кадров в авиакомпании, приемом на работу "своих людей" и недостаточной системой обучения и переквалификации персонала.

Таблица 1

## Результаты ранжирования степени риска

Технология и вид деятельности	Группа				
	1	2	3	4	5
Ядерная энергетика	1	1	8	20	100
Наземный транспорт	2	5	3	1	50000
Огнестрельное оружие	3	2	1	4	17000
Курение	4	3	4	2	150000
Езда на мотоцикле	5	6	2	6	3000
Потребление алкоголя	6	7	5	3	100000
Частная авиация	7	15	11	12	1300
Работа в полиции	8	8	7	17	160
Пестициды	9	4	15	8	
Хирургия	10	11	9	5	2800
Работа пожарным	11	10	6	18	195
Большие конструкции	12	14	13	13	1100
Охота	13	18	10	23	800
Баллончики с аэрозолем	14	13	23	26	
Альпинизм	15	22	12	29	30
Езда на велосипедах	16	24	14	15	1000
Коммерческая авиация	17	16	18	16	130
Электрическая энергия	18	19	19	9	14000
Купание в водоемах	19	30	17	10	3000
Противозачаточные средства	20	9	22	11	150
Горные лыжи	21	25	16	30	18
Рентген (медицина)	22	17	24	7	2300
Футбол (травмы)	23	26	21	27	23
Железные дороги	24	23	20	19	1950
Пищевые консерванты	25	12	28	14	
Пищевые красители	26	20	30	21	
Мотокары	27	28	28	28	24
Антибиотики	28	21	26	24	
Домашняя аппаратура	29	27	26	22	200
Вакцинация	30	29	27	25	10

Геометрическое среднее для групп, ранг 1 соответствует наиболее опасной технологии, 1 - бизнесмены, 2 - студенты, 3 - члены клуба, 4 - эксперты, 5 - ежегодная смертность.

Действительно, новые риски, эффективные меры для противодействия которым пока не найдены, должны идти с гораздо большим приоритетом. На практике это так и происходит. Исследования, проведенные известным специалистом по математической психологии В.Ю. Крыловым, подтверждают этот вывод. На основе соответствующих методик можно установить, какова геометрия субъективных пространств, сколько переменных на самом деле сравнивает человек, чтобы выяснить, насколько одно событие опаснее, чем другое. Выяснилось, что субъективное пространство, связанное с категорией "риск", действительно двумерно. При этом обычно одна переменная характеризует объективную угрозу, а другая - степень вовлеченности человека в создание или предотвращение опасной ситуации.

Можно выделить два принципиально разных подхода к принятию решений, касающихся безопасности авиационной сферы и защиты от катастроф.

При первом подходе мы считаем, что эксперты или лица, принимающие решения, отлично представляют себе, как следует действовать в различных конкретных случаях. И задача состоит в том, чтобы, опираясь на формальные методы и компьютерные системы, верно ставя перед ними вопросы и обсуждая различные модельные ситуации, извлечь это знание, очистить его от внутренних противоречий и на этой основе строить решающие правила и оценивать возможные варианты действий. При реализации ряда крупных технологических проектов, связанных с объектами повышенной опасности, с необходимостью согласования интересов многих сторон, такие процедуры оказались весьма эффективными. Они особенно нужны, если мы предполагаем подходить индивидуально к каждому объекту и принимаемому решению. Это скорее тактика, а не стратегия управления риском.

При втором подходе мы формируем общие принципы, применяемые ко многим разнородным объектам, соответствующие нормы и методики, а затем закрепляем их в законодательных актах. Этот подход является более простым, общим и наглядным, чем первый, но менее гибким и конкретным. По-видимому, при анализе управления риском подбора персонала надо будет решить важный методический вопрос - когда следует отдавать предпочтение первому, а когда второму подходу.

Многие вещи, связанные с управлением рисками, достаточно очевидны и не требуют привлечения формальных методов и научного анализа. К примеру, и практика, и учебники убеждают, что контролирующие или инспекционные органы не могут быть юридически или фактически подчинены тем службам и ведомствам, которые они призваны контролировать. Иначе эффективность деятельности соответствующих структур, а с ними и безопасность падают. К примеру, Атомнадзор не может быть подчинен министерству атомной энергетики. Высший аттестационный комитет - министерству образования и т.д. Реализация многих других положений такого сорта является вопросом не науки, а практики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Катастрофы и общество. Центр стратегических исследований гражданской защиты МЧС. - М: ООО «Контакт-Культура», 2000.

## RANKING TASKS IN THE MANAGEMENT OF RECRUITMENT IN CIVIL AVIATION

Kovalev A.A., Feoktistova O.G.

The paper presents a criterion for recruitment. This criterion is associated with a risk to aviation.

**Key words:** risk ranking, the airline.

## Сведения об авторах

**Ковалев Алексей Алексеевич**, окончил МГТУГА (2009), аспирант МГТУ ГА, автор 3 научных работ, область научных интересов - организация бизнес процессов, управление персоналом в авиапредприятиях, экологическая безопасность труда, посткризисное моделирование системы отбора персонала.

**Феоктистова Оксана Геннадьевна**, окончила МИИГА (1988), доктор технических наук, профессор кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, академик Академии авиации и воздухоплавания, автор более 90 научных работ, область научных интересов – инженерная экология, экологическая безопасность технологических процессов ремонта АТ, математическое моделирование в экологии, экологические последствия аварий (катастроф).

УДК 629.735

## УПРАВЛЕНИЕ МЕНЕДЖМЕНТОМ ПОДБОРА КАДРОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

А.А. КОВАЛЕВ, О.Г. ФЕОКТИСТОВА

В статье представлено уравнение существования системы управления менеджмента подбора кадров. Составляющие уравнения соответствуют системе международных стандартов управления качеством ISO - 9001.

**Ключевые слова:** управление, подбор кадров, качество.

Впервые идея уравнения существования, изложенная в книге [1], получила свое развитие для технологических систем в [2].

По аналогии, уравнение существования (состояния) системы управления менеджмента подбора кадров для предприятий гражданской авиации можно записать в виде [3]

$$\Theta = v_1 + v_2 + \dots + v_i + \dots + v_N = \sum v_i \quad (\text{от } i = 1 \text{ до } N), \quad (1)$$

где  $\Theta$  - обобщенный квалиметрический показатель состояния менеджмента управления персоналом;  $v_i$  - составляющая показателя состояния;  $N$  - мощность множества индивидуальных переменных  $i$ .

Если разделить правую и левую части уравнения (1) на  $\Theta$ , получим

$$1 = \sum \xi_i \quad (\text{от } i = 1 \text{ до } N), \quad (2)$$

где  $\xi_i = (v_i / \Theta)$  - относительная составляющая показателя состояния.

Каждая  $\xi_i$  является функцией ряда факторов  $(a, b, c, \dots)$

$$\xi_1 = f(a_f, b_f, c_f, \dots), \quad \xi_2 = \varphi(a_\varphi, b_\varphi, c_\varphi, \dots), \dots \quad \xi_N = \psi(a_\psi, b_\psi, c_\psi, \dots), \quad (3)$$

тогда уравнение (3) запишется в виде

$$1 = f(a_f, b_f, c_f, \dots) + \varphi(a_\varphi, b_\varphi, c_\varphi, \dots) + \dots + \psi(a_\psi, b_\psi, c_\psi, \dots). \quad (4)$$

Составляющие функциональных зависимостей (3) и уравнения (4) должны соответствовать системе международных стандартов управления качеством ISO - 9001.

Составление уравнения состояния системы управления менеджмента подбора кадров в виде квалиметрической суммы (2) возможно лишь частично, поскольку ряд требований к данной системе является высказыванием относительно высказывания  $\Theta$ : «Разработанная система управления соответствует требованиям ISO-9001». Истинность последнего определяется лишь посредством логических операций

$$1 = \xi_1 \& \xi_2 \& \dots \& \xi_i \& \dots \& \xi_{N-1} \& \xi_N, \quad (5)$$

где  $\xi_i = 1$ , свидетельство истинности высказывания (оно может определяться, в том числе, как экспертная оценка);  $\&$  - конъюнкция.

$\Theta = 1$  (соответствие требованиям ISO-9001), при  $\forall \xi_i = 1$ .

Можно выделить следующие высказывания, соответствующие условиям логической операции (5):

$\xi_1 = 1$  - предприятие имеет документально оформленную политику в области менеджмента подбора кадров;

$\xi_2 = 1$  - политика отражает основные цели предприятия в системе набора персонала;

$\xi_3 = 1$  - политика одобрена советом директоров или другим высшим органом административного управления;

$\xi_4 = 1$  - обеспечена возможность корректировки этой политики;

$\xi_5 = 1$  - сформулированы цели и задачи системы подбора кадров;

$\xi_6 = 1$  - в политике подбора персонала дается направление деятельности в области мониторинга на рынке труда, использования соответствующих технологий в практике управления;

$\xi_7 = 1$  - политика менеджмента подбора кадров поддерживает деятельность по непрерывному улучшению характеристик набора персонала, по кадровому мониторингу и выполнению нормативных требований;

$\xi_8 = 1$  - руководство предприятия обеспечивает выполнение нормативно-правовых и других требований в области менеджмента подбора кадров. Политика менеджмента подбора кадров предприятий гражданской авиации (ГА) должна отражать следующие основные аспекты:

$\xi_9 = 1$  - имеет цели и направления деятельности предприятия ГА;

$\xi_{10} = 1$  - соответствует нормативным и руководящим документам по охране персонала, законам, другим подзаконным актам, нормам и правилам, за которые предприятие несет ответственность;

$\xi_{11} = 1$  - содержит требования к системе менеджмента подбора кадров, включая требования заинтересованных сторон;

$\xi_{12} = 1$  - направлена на предотвращение загрязнений окружающей среды, снижение количества отходов, расходов сырья и материальных ресурсов, а также на предупреждение аварийных загрязнений окружающей среды (загрязнений в результате авиационных происшествий, аварий, катастроф, аварийного слива топлива и т.д.);

$\xi_{13} = 1$  - согласованна с другими аспектами административной политики, например, в области обеспечения качества услуги (например, перевозка пассажиров и грузов), здоровья и безопасности;

$\xi_{14} = 1$  - способствует образованию и обучению кадров;

$\xi_{15} = 1$  - способствует обмену опытом по менеджменту подбора кадров;

$\xi_{16} = 1$  - сокращает количество отходов и экономит ресурсы;

$\xi_{17} = 1$  - снижает или исключает риски при подборе персонала;

$\xi_{18} = 1$  - позволяет вести проектирование летательных аппаратов с минимальным воздействием на окружающую среду при производстве, эксплуатации и утилизации.

Для конкретного вида деятельности предприятия мощность множества пропозициональных переменных может изменяться как в сторону увеличения, так и уменьшения.

Более прогрессивна оценка механизма достижения целей и задач политики менеджмента подбора кадров при анализе результатов, оцениваемых в измеряемых (квалиметрических) показателях. Поскольку возможно сравнение их значений с нормативными требованиями и определение динамики событий путем сравнения с показателями предыдущего периода, например:

$f(a_f, b_f, c_f, \dots)$  - количество непрошедших отбор;

$\varphi(a_\varphi, b_\varphi, c_\varphi, \dots)$  количество прошедших отбор;

$\psi(a_\psi, b_\psi, c_\psi, \dots)$  - эффективность использования политики подбора кадров данной авиакомпании.

Дальнейшим направлением работ по совершенствованию системы управления системой менеджмента кадров должно стать определение функциональных слагаемых уравнения (5), например:  $f(a_f, b_f, c_f, \dots)$ ;  $\varphi(a_\varphi, b_\varphi, c_\varphi, \dots)$ ; ...,  $\psi(a_\psi, b_\psi, c_\psi, \dots)$  и других.

Из уравнения (5) следует, что если в результате проведенных мероприятий аргумент  $a_f$  изменится на величину  $\delta a_f$ , то  $f$  изменится на  $\delta f$ , тогда

$$F_1 = f - \delta f = f\{(a_f - \delta a_f), b_f, c_f, \dots\}. \quad (6)$$

По аналогии с (6), выражение (1) примет вид

$$(\Theta - \delta v_1) = (v_1 - \delta v_1) + v_2 + \dots + v_i + \dots + v_N \quad (7)$$

Разделив аналогично (4) правую и левую части уравнения (7) на величину  $(\Theta - \delta v_1)$ , получим

$$1 = f\{(a_f - \delta a_f), b_f, c_f, \dots\} + \varphi_1 + \dots + \psi_1. \quad (8)$$

Как видно из сравнения уравнений (4) и (8), изменение одной из составляющих уравнения (4) в результате проведенных мероприятий по улучшению ситуации, связанной с набором персонала, на величину  $\delta v_1$  изменяет долю других составляющих. Следовательно, проблема («узкое место») увеличения менеджмента подбора кадров смещается в сторону других составляющих.

Таким образом, уравнение состояния системы менеджмента подбора кадров:

- показывает эффективность проводимых мероприятий на предприятии;

- указывает на местонахождение очередного «узкого места», которое надо «расширять» путем сосредоточения на данном этапе работы необходимых инвестиций;
- позволяет осуществлять стратегический маркетинг и планировать долгосрочную инвестиционную политику предприятия по обеспечению политики менеджмента подбора кадров;
- может являться составной частью мониторинга подбора кадров на предприятиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болховитинов В.Ф. Пути развития летательных аппаратов. - М.: Оборониздат, 1962.
2. Белоцерковский С.М., Одновол Л.А., Сафин Ю.З. и др. Решетчатые крылья / под ред. С.М. Белоцерковского. - М.: Машиностроение, 1985.
3. Феоктистова О.Г., Макин Ю.Н. Управление экологической безопасностью на предприятиях гражданской авиации // Известия вузов. Авиационная техника. - № 3. - Казань: КГТУ, 2006.

#### OFFICE MANAGEMENT RECRUITMENT FOR THE CIVIL AVIATION ENTERPRISES

Kovalev A.A., Feoktistova O.G.

The paper presents the equation of the existence of the control system of management recruitment. The components of the system of equations correspond to international standards of quality management ISO – 9001.

**Key words:** management, recruitment and quality.

#### Сведения об авторах

**Ковалев Алексей Алексеевич**, окончил МГТУГА (2009), аспирант МГТУ ГА, автор 3 научных работ, область научных интересов - организация бизнес процессов, управление персоналом в авиапредприятиях, экологическая безопасность труда, посткризисное моделирование системы отбора персонала.

**Феоктистова Оксана Геннадьевна**, окончила МИИГА (1988), доктор технических наук, профессор кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, академик Академии авиации и воздухоплавания, автор более 90 научных работ, область научных интересов – инженерная экология, экологическая безопасность технологических процессов ремонта АТ, математическое моделирование в экологии, экологические последствия аварий (катастроф).

УДК 336.01

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ДОХОДОВ АВИАКОМПАНИИ В СОВРЕМЕННЫХ РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ

С.Н. ЧАРЫШКИНА

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

В статье определены основные тенденции развития мирового и российского рынка авиаперевозок, сформулированы основные направления деятельности авиаперевозчиков по повышению эффективности работы при текущей конъюнктуре рынка, уточнены определение продукции авиакомпании и классификация составляющих продукции, изложены особенности современной коммерческой деятельности авиакомпании в части, касающейся развития ассортимента предоставляемых услуг и политики ценообразования. Осуществлен сравнительный анализ сопутствующих услуг ведущих иностранных авиаперевозчиков, с учетом международного опыта обоснована экономическая целесообразность внедрения дополнительных и сопутствующих услуг для укрепления позиций авиакомпании на рынке и повышения качества предлагаемого продукта.

**Ключевые слова:** рынок авиаперевозок, эффективность деятельности, конкурентоспособность, продукция авиакомпании, дополнительные доходы, ценообразование.

В настоящее время деятельность участников рынка авиаперевозок сопряжена с преодолением последствий глобального экономического кризиса, который в 2008 - 2009 гг. охватил все регионы земного шара. Затяжной спад экономики тяжелее всего ударил по сфере услуг, включая сектор авиаперевозок и туризма, где до настоящего момента сохраняется неопределенность относительно сроков обеспечения устойчивого развития.

Многочисленные факторы оказывают сдерживающее воздействие на развитие и негативно влияют на результативность деятельности авиакомпаний: замедление темпов роста мировой экономики, снижение спроса на услуги воздушного транспорта, уменьшение программ финансирования, усиление конкурентной борьбы между перевозчиками, высокие цены на авиатопливо, увеличение стоимости современных авиалайнеров, услуг по наземному обслуживанию, аэропортовых сборов, фондов оплаты труда и отчислений в государственные бюджеты.

В целях противостояния перечисленным факторам авиакомпании стремятся повысить эффективность своей деятельности, реализуя комплекс мероприятий по увеличению доходности и сокращению затрат. По информации президента Международной ассоциации воздушного транспорта ИАТА Джованни Бисиньяни, начиная с 2001 года авиакомпаниям удалось достичь повышения производительности труда на 67%, топливной эффективности на 24%, снижения затрат на маркетинговую деятельность и содержание каналов продажи на 10%. Череда убыточных лет, преследовавших отрасль после событий 2001 года, была прервана в 2006 и 2007 гг., когда была обеспечена прибыль после налогообложения в размере 5,0 и 14,7 млрд. долл. США соответственно. Вместе с тем, резкий скачок стоимости авиационных горюче-смазочных материалов в первой половине 2008 года и разразившийся мировой финансовый кризис, приведший к падению спроса на услуги авиаперевозчиков, внес коррективы в динамику развития авиакомпаний, отбросив их далеко назад. В 2008 году темп роста регулярных пассажирских перевозок в государствах-членах ИКАО замедлился до 1,5%, в 2009 году произошло снижение пассажирооборота по сравнению с 2008 годом на 2,1%. В отрасли вновь зафиксирован убыток – по итогам 2008 года в размере 26,1 млрд.долл.США, в 2009 году – 4,6 млрд.долл.США. 2010 год принес восстановительную динамику развития: пассажирооборот вырос на 7,3%, грузооборот на 18,7%, доходы перевозчиков увеличились на 14,9%, пассажирская загрузка достигла рекордные за последние 10 лет 78,4%, обеспечена чистая прибыль в размере 15,8 млрд.долл.США. По данным ИАТА объем пассажирских перевозок за 7 месяцев 2011 года увеличился на 7,8% по сравнению

с аналогичным периодом 2010 года, наибольшие показатели роста обеспечены в Латинской Америке (12,2%) и Европе (11,0%), объем грузооборота остался практически на уровне 2010 года, увеличившись всего на 1,5%. Учитывая послекризисные явления, вновь проявившиеся в экономике в середине 2011 года, рост цен на авиатопливо до 130 долларов за баррель, ИАТА прогнозирует по итогам 2011 года ослабление темпов роста пассажирских перевозок до 5,9%, грузоперевозок до 1,4%, ожидаемый уровень чистой прибыли составит 6,9 млрд. долл. США.

Среднегодовые темпы роста российского рынка авиаперевозок в 2001-2010 гг. составляли 10,7% в сегменте пассажирских авиаперевозок и 6,5% в грузовом сегменте. Экономический кризис 2009 года оказал негативное воздействие на работу воздушного транспорта, количество перевезенных пассажиров российскими авиакомпаниями в 2009 году снизилось до уровня 2007 года и составило 45,1 млн. чел. (-9,4% к 2008 году), пассажирооборот уменьшился на 8,3% до 112,4 млрд. пкм. Таким образом, сокращение объема пассажирских авиаперевозок в 2009 году в России превысило общемировое падение более чем в 3 раза. Начиная с IV квартала 2009 г., наметились позитивные тенденции восстановления спроса на авиауслуги, и уже по итогам 2010 года пассажирооборот составил 147 млрд.пкм (+30,8%), грузооборот – 4,7 млрд.ткм (+32,4%), количество перевезенных пассажиров увеличилось до 56,94 млн.чел (+26,2%). По данным Федерального агентства воздушного транспорта в период январь - сентябрь 2011 г. восстановительный рост основных производственных показателей авиаперевозчиков сохранился, хотя стал менее интенсивным, чем в 2010 году, и составил 13,6% по пассажирообороту и 4,9% по грузообороту.

В сложившейся экономической ситуации для повышения эффективности деятельности и обеспечения конкурентоспособности авиаперевозчикам необходимо оперативно реагировать на рыночные изменения, разворачивать работу по дальнейшему сокращению издержек, поиску новых методов работы и дополнительных источников доходов.

В текущих условиях большинство авиакомпаний осуществляют структурные преобразования, сокращая часть персонала, оптимизируют сеть маршрутов и расписание, выводят из эксплуатации низкоэффективные воздушные суда, пересматривают программы обновления самолетного парка, реализуют гибкую тарифную политику, снижают расходы на содержание каналов продаж, форсируют развитие собственных продаж, активно продвигая услуги через интернет, совершенствуют качество продукта и условия программ лояльности для часто летающих пассажиров, внедряют системы самостоятельного обслуживания пассажиров, расширяют побочные сферы деятельности.

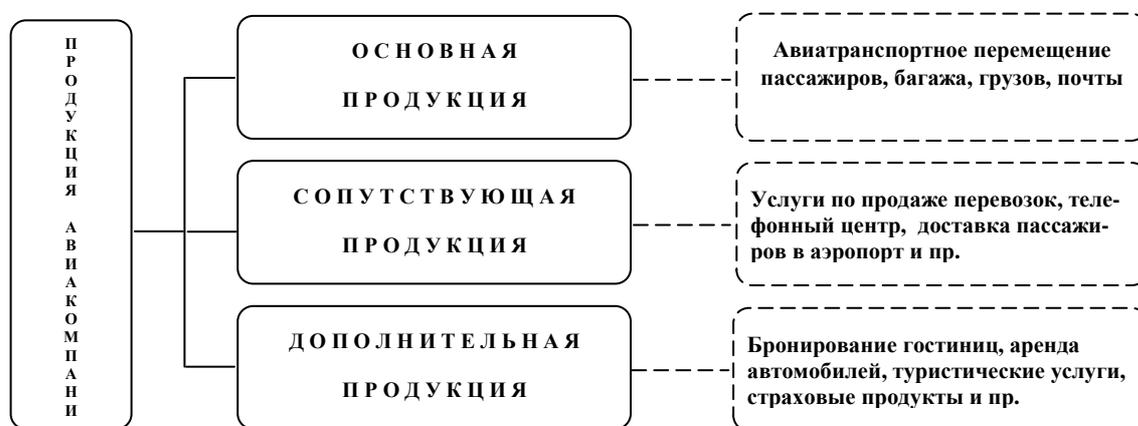
В последнее время значительно возросло значение доходов от реализации услуг, сопутствующих авиаперевозке. Если несколько лет назад такие доходы были характерной особенностью низко затратных перевозчиков, то сегодня практически каждая авиакомпания в мире пользуется возможностью получения дополнительных доходов для повышения результативности деятельности.

Продукция авиакомпании – это набор авиатранспортных и прочих услуг, предлагаемых целевому рынку для приобретения, использования или потребления с целью удовлетворить потребность или желание. К составляющим продукции авиакомпании следует отнести основную продукцию – непосредственное авиатранспортное перемещение, а также сопутствующую и дополнительную продукцию (рис. 1).

К услугам, сопутствующим авиатранспортному процессу, относятся те, которые способствуют реализации основной продукции и предоставляются потребителю на этапах пред- и послеполетного обслуживания, а также на борту воздушного судна (услуги по продаже перевозок, доставка в/из аэропорта, улучшенное питание на борту, предварительное бронирование мест в салоне самолета и пр.).

Дополнительная продукция – спектр услуг, предназначенных для удовлетворения дополнительных общественных потребностей, связанных с транспортным перемещением и представляющих интерес для пассажиров. Основу доходов авиакомпаний от продажи дополнительных услуг пассажирам формирует так называемая «Большая тройка» услуг – бронирование гости-

ниц, аренда автомобилей, продажа страховых полисов. По данным международной консалтинговой компании Euеfortravel, в настоящее время 72% авиаперевозчиков предлагают своим клиентам услуги «Большой тройки».



**Рис. 1.** Основные составляющие продукции авиакомпании

Сопутствующие и дополнительные услуги предназначены для повышения привлекательности и конкурентоспособности продукции авиакомпании, служат дополнительным источником формирования доходов.

По оценкам отраслевых специалистов продажа сопутствующей и дополнительной продукции может увеличить доходы сетевой авиакомпании в среднем на 10%. Общий объем дополнительных доходов авиакомпаний в настоящее время оценивается в 21,5 млрд.долл.США в год.

В данной статье более детально рассмотрены сопутствующие услуги как источник увеличения доходов авиакомпании.

Рост конкуренции со стороны низко бюджетных перевозчиков, изменение предпочтений массового потребителя, увеличение расходов на операционную деятельность, снижение спроса - все эти факторы поставили перед традиционными авиакомпаниями необходимость внесения изменений в ассортимент предоставляемых услуг и политику ценообразования. Если раньше стоимость авиаперевозки формировалась по принципу «все включено» и целый комплекс услуг был частью базового тарифа (услуги по продаже перевозок, питание на борту, нормативный багаж и пр.), то сегодня множество авиакомпаний предлагают пассажиру экономического класса набор дифференцированных сопутствующих услуг за дополнительную стоимость к базовому тарифу, установленному за непосредственное транспортное перемещение.

Переход к более прозрачному ценообразованию традиционных авиакомпаний предоставил пассажиру качественно повысить уровень самостоятельной организации путешествия и выбора необходимых услуг по своему усмотрению. Все это позволит улучшить контроль над транспортными расходами пассажира, снизить базовую стоимость авиаперевозки. В свою очередь, авиакомпании получили возможность расширить ассортимент сопутствующих услуг, повысить лояльность существующей клиентуры, привлечь дополнительный пассажиропоток, увеличить доходы. Следствием подобных изменений для авиакомпаний являются такие ключевые факторы как укрепление позиций в условиях жесткой конкуренции на рынке авиаперевозок и повышение качества предлагаемого продукта.

Исследование, проведенное летом 2008 г. консалтинговыми компаниями IdeaWorks и Terrarinn среди 113 руководителей высшего звена авиакомпаний по всему миру, показало, что 69% респондентов считают, что практика взимания сборов за сопутствующие услуги получит дальнейшее развитие. География участников проведенного исследования, предметом которого стали сборы за сопутствующие услуги, обширна – 40% руководителей авиакомпаний представ-

ляли европейские страны и Россию, 22% - США и Канаду, 14% - страны Азии и Тихоокеанский регион, 12% - страны Ближнего и Среднего Востока и Африки. Порядка 65% респондентов к наиболее распространенному сбору отнесли сбор за осуществление бронирования авиаперевозок через телефонный центр, еще 16% руководителей считают, что внедрят указанный сбор в ближайшем будущем. Половина опрошенных компаний предоставляет питание за дополнительную плату, 42% ввели сбор за вторую единицу зарегистрированного багажа и еще 32% респондентов планируют применить аналогичный сбор в ближайшее время. К достаточно распространенным сборам для пассажиров экономического класса были также отнесены оплата напитков на борту (42% опрошенных), предварительное бронирование мест в самолете с увеличенным расстоянием между креслами (38%), оплата перевозок через веб-сайт с использованием кредитных карт (36%). Перечень десяти наиболее часто встречающихся сборов приведен в табл. 1. Среди потенциальных услуг, которые могут быть оказаны за дополнительную плату, опрошенные руководители авиакомпаний отметили предоставление на борту доступа в интернет и мобильной телефонной связи (57% и 45% соответственно), ускоренное прохождение аэропортовых служб (32%), обеспечение регистрации на рейс персоналом аэропорта или авиакомпании (19%).

В последнее время наиболее широкое распространение сборы получили среди крупнейших американских авиакомпаний, которые ввели дополнительную оплату за провоз багажа, услуги, предоставляемые на борту и оформление премиальных перевозок в рамках программ поощрения часто летающих пассажиров. Европейские перевозчики, опираясь на опыт низко затратных компаний, также постепенно переходят на оказание сопутствующих услуг за отдельную плату.

Таблица 1

Перечень основных сопутствующих услуг, предоставляемых на платной основе, по результатам исследования компаний IdeaWorks и Terrapinn, август 2008 г.

п/п	Сопутствующие услуги, предоставляемые на платной основе	% компаний, применяющих сбор	% компаний, планирующих использовать сбор
1	Бронирование перевозок через телефонный центр	65%	81%
2	Питание на борту	50%	65%
3	Вторая единица багажа	42%	72%
4	Напитки на борту	42%	51%
5	Легкие закуски на борту	40%	49%
6	Предварительное бронирование мест с увеличенным расстоянием между креслами в салоне самолета	38%	79%
7	Использование кредитных карт для оплаты перевозок на веб-сайте	36%	55%
8	Предварительное бронирование мест в салоне самолета	29%	55%
9	Первая единица багажа	21%	33%
10	Просмотр видеопрограмм на борту	17%	46%

Можно выделить два дополнительных фактора, которые стимулируют реализацию политики взимания отдельных сборов – ограниченность резерва для увеличения тарифов в условиях

снижения спроса на авиаперевозки и высокой конкуренции, а также акцептирование описанной политики авиапассажирами.

Проведенный анализ сопутствующих услуг, оказываемых традиционными и низко затратными авиакомпаниями, позволяет выделить три группы услуг в зависимости от этапа их предоставления пассажиру:

- услуги на этапе предполетного обслуживания;
- услуги, оказываемые на борту;
- услуги по окончанию полета.

В табл. 2 представлены основные сопутствующие услуги, которые предоставляют крупнейшие иностранные традиционные авиакомпании за дополнительную плату, по состоянию на октябрь 2011 г.

Таблица 2

Основные сопутствующие услуги, предоставляемые традиционными перевозчиками за дополнительную плату по состоянию на октябрь 2011 г.

Наименование услуги	Авиакомпания (код ИАТА)								
	AF	AZ	BA	CO	DL	KL	LH	SI	UA
<b>Услуги на предполетном и послеполетном этапах обслуживания</b>									
Трансферы в/из аэропорт	+	+		+		+	+		
Бронирование мест с увеличенным расстоянием между креслами	+		+	+		+		+	+
Платная перевозка багажа: 1-е место багажа в экономическом классе				+	+				+
2-е место багажа	+	+	+	+	+	+	+		+
Дополнительное место багажа	+	+	+	+	+	+	+		+
Предоставление парковочных мест для автомобилей в аэропорту базирования	+		+	+		+			
Продажа перевозок: в офисе авиакомпании	+	+	+	+	+	+	+		+
через колл-центр	+	+	+	+	+	+	+		+
на web-сайте	+	+	+			+	+		
Переоформление премиальных перевозок часто летающим пассажирам			+	+	+		+	+	+
Обслуживание несопровождаемых детей	+	+	+	+	+	+	+		+
Доступ в залы ожидания бизнес класса для пассажиров экономического класса				+					+
<b>Услуги на борту воздушного судна</b>									
Беспошлинная торговля товарами Duty Free	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Продажа алкогольных напитков в салоне экономического класса				+	+				+
Мобильная связь или интернет на борту	+			+	+	+	+	+	+
Продажа сувениров	+	+	+	+		+			

Для продвижения дополнительных и сопутствующих услуг перевозчики используют различные каналы продаж – собственные офисы продаж, телефонные центры, веб-сайты, киоски самообслуживания, туристические агентства. В условиях стремительного роста популярности интернет продаж наиболее эффективным инструментом привлечения дополнительных доходов становится веб-сайт авиакомпании. Важным является сделать процесс выбора и приобретения дополнительных услуг простым и удобным для потребителя.

С ростом количества услуг, оказываемых в дополнение к непосредственной авиаперевозке, появилась необходимость автоматизации процессов их продажи и учета. Для повышения эффективности управления доходами от продажи сопутствующих, дополнительных услуг веду-

щие поставщики технологических и дистрибутивных решений для авиаотрасли предложили рынку специализированные программные продукты.

Автоматизированные решения в области продажи сопутствующих и дополнительных услуг позволяют авиакомпаниям:

- увеличить доходы за счет повышения производительности труда диспетчеров по продаже, исключения возможности финансовых потерь вследствие человеческих ошибок (или ошибок операторов) в расчете сборов благодаря полной автоматизации оформления услуг;

- обеспечить прозрачность ценообразования услуг за счет детализированного отображения общей стоимости предоставляемых услуг для потребителя;

- повысить качество управления системой сборов за счет автоматизации процесса учета дополнительных доходов, получения оперативной информации для принятия решений по оптимизации политики продаж дополнительных услуг в различных каналах продажи.

В текущих рыночных условиях российские перевозчики для компенсации роста эксплуатационных расходов и снижения доходности пассажирских перевозок также прорабатывают возможности формирования дополнительных источников получения доходов. Ведущий российский перевозчик ОАО «Аэрофлот – российские авиалинии» в конце 2008 г. предложил своим клиентам дополнительные услуги при продаже через веб-сайт – бронирование отелей и аренда автомобилей. В декабре 2008 г. для повышения эффективности деятельности собственного канала продаж, компенсации трудозатрат в офисах собственных продаж Аэрофлота внедрен сервисный сбор за обслуживание пассажиров; в рамках программы расширения сервисов для клиентов была открыта дополнительная линия телефонного центра информации и бронирования, услуги по которой предоставлялись на платной основе через операторов мобильной связи. В середине 2009 г. внедрен сбор за обслуживание несопровождаемых детей, в ноябре 2009 г. – дополнительная платная услуга по бронированию мест «повышенной» комфортности в салоне экономического класса, в процессе разработки другие сборы за предоставление сопутствующих услуг.

В настоящее время оказание сопутствующих услуг становится неотъемлемой частью формирования доходов, важной составляющей коммерческой политики любой авиакомпании. В этой связи способность компании оперативно реагировать на конъюнктуру рынка, своевременно определять и эффективно удовлетворять запросы потребителей, осваивать новые инструменты продвижения услуг и дополнительные источники формирования доходов становятся наиболее важным конкурентным преимуществом – залогом долговременного успеха на рынке.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Захарова Е.Ю. Экономика воздушного транспорта. - М.: МГТУ ГА, 2006.
2. Костромина Е.В. «Авиатранспортный маркетинг». – М.: НОУ ВКШ «Авиабизнес», 2003.
3. Котлер Ф. Основы маркетинга. – М.: Прогресс, 1990 г.
4. Котлер Ф., Келлер К.Л. «Маркетинг менеджмент. Экспресс – курс». – СПб.: Питер, 2008.
5. «Развитие парка воздушных судов – итоги десятилетия и перспективы», аналитический обзор ФГУП ГосНИИ ГА, gosniiga.ru, март 2011 г.
6. «Airlines to become retail powerhouses by 2013: SITA survey», etravelblackboardasia.com, июнь 2010.
7. «IATA Annual report 2010», iata.org, июнь 2010 г.
8. «IATA Annual report 2011», iata.org, июнь 2011 г.
9. «IATA fact sheet: Industry statistics», iata.org, сентябрь 2011 г.
10. «Основные показатели работы гражданской авиации России», [favn.ru](http://favn.ru), 2008 – 2011 гг.
11. Bejar R. «Ancillary revenue generation: the new operational imperative for airlines», [traveldailynews.com](http://traveldailynews.com), февраль 2010 г.
12. Koumelis T. «Airlines worldwide fly high on ancillary services», [traveldailynews.com](http://traveldailynews.com), июль 2010.
13. Sorensen J. «Testing consumer patience – Airline Executives predict more fees», [just4airlines.com](http://just4airlines.com), сентябрь 2008.
14. «World Air Transport Statistics (WATS) №53» – Montreal-Geneva: IATA, 2009 г.
15. Сайты авиакомпаний: [aeroflot.ru](http://aeroflot.ru), [alitalia.com](http://alitalia.com), [ba.com](http://ba.com), [continental.com](http://continental.com), [delta.com](http://delta.com), [klm.com](http://klm.com), [lufthansa.com](http://lufthansa.com), [singaporeairlines.com](http://singaporeairlines.com), [united.com](http://united.com).

---

**ANCILLARY REVENUE OPPORTUNITIES OF AN AIRLINE  
IN CURRENT MARKET CONDITIONS****Charychkina S.N.**

In this article main trends of Russian and global air transportation market are defined, key indicators for airline performance improvement in current market environment are formulated, airline's product determination is given and product classification is proposed, airline commercial policy features related to product development and pricing policy are described. Comparative analysis of ancillary services of major air carriers is made, taking into account international experience economic efficiency of ancillary service implementation on airline market position and product quality improvement is justified.

**Key words:** airline market, efficiency, competitiveness, airline products, ancillary revenue, pricing policies.

**Сведения об авторе**

**Чарышкина Светлана Николаевна**, окончила МГТУ ГА (1998), соискатель кафедры организации перевозок на воздушном транспорте МГТУ ГА, начальник отдела продвижения и развития продаж департамента маркетинга и рекламы ОАО «Аэрофлот – российские авиалинии», область научных интересов – экономика авиапредприятий, стратегическое планирование, маркетинг, менеджмент.

ББК 05  
Н 34  
Св. план 2011 г.

Научный Вестник МГТУ ГА  
№ 174

ISBN 978-5-86311-809-3

Свидетельство о регистрации в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций № 77-17906 от 31 марта 2004 г.

Редакторы Т.М. Приорова, И.В. Вилкова  
Компьютерная верстка Т.Н. Котиковой

---

Подписано в печать 19.12.11 г.

Печать офсетная  
25,38 усл. печ. л.

Формат 60x90/8  
Заказ № 1341/

21,18 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, 2011