Doc 9689-AN/953

РУКОВОДСТВО ПО МЕТОДИКЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМУМОВ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ

ИЗДАНИЕ ПЕРВОЕ — 1998

Утверждено Генеральным секретарем
и опубликовано с его санкции

МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Опубликовано Международной организацией гражданской авиации отдельными изданиями на русском, английском, испанском и французском языках. Всю корреспонденцию следует направлять в адрес Генерального секретаря ИКАО.

Заказы на данное издание направлять по одному из следующих нижеприведенных адресов, вместе с соответствующим денежным переводом (тратта, чек или банковское поручение) в долл США или в валюте страны, в которой размещается заказ Заказы с оплатой кредитными карточками ("Виза", "Мастеркард" или "Американ экспресс") направлять в адрес Штаб-квартиры ИКАО

International Civil Aviation Organization Attention Document Sales Unit
999 University Street, Montreal, Quebec, Canada H3C 5H7
Telephone (514) 954-8022, Telex 05-24513, Facsimile (514) 954-6769, Sitatex YULADYA, E-mail sales_unit@icao.int

Egypt ICAO Regional Director, Middle East Office, Egyptian Civil Aviation Complex,
Cairo Airport Road, Heliopolis, Cairo 11776
Telephone (20 2) 267-4840, Facsimile· (20 2) 267-4843, Sitatex CAICAYA

France Directeur régional de l'OACI, Bureau Europe et Atlantique Nord, 3 *bis*, villa Émile-Bergerat,
92522 Neuilly-sur-Seine (Cedex)
Téléphone (33 1) 46 41 85 85, Télécopieur (33 1) 46 41 85 00; Sitatex: PAREUYA

India. Oxford Book and Stationery Co., Scindia House, New Delhi 110001 *or* 17 Park Street, Calcutta 700016
Telephone: (91 11) 331-5896; Facsimile. (91 11) 332-2639

Japan. Japan Civil Aviation Promotion Foundation, 15-12, 1-chome, Toranomon, Minato-Ku, Tokyo
Telephone (81 3) 3503-2686; Facsimile: (81 3) 3503-2689

Kenya. ICAO Regional Director, Eastern and Southern African Office, United Nations Accommodation,
P O Box 46294, Nairobi
Telephone. (254-2) 622-395; Facsimile· (254 2) 226-706; Sitatex: NBOCAYA

Mexico Director Regional de la OACI, Oficina Norteamérica, Centroamérica y Caribe,
Masaryk No. 29-3er. piso, Col. Chapultepec Morales, México, D.F., 11570
Teléfono· (52 5) 250-3211; Facsímile: (52 5) 203-2757; Sitatex: MEXCAYA

Peru. Director Regional de la OACI, Oficina Sudamérica, Apartado 4127, Lima 100
Teléfono. (51 14) 302260; Facsímile: (51 14) 640393; Sitatex: LIMCAYA

Russian Federation. Aviaizdat, 48, I Franco Street, Moscow 121351
Telephone (7 095) 417-0405, Facsimile (7 095) 417-0254

Senegal. Directeur régional de l'OACI, Bureau Afrique occidentale et centrale, Boîte postale 2356, Dakar
Téléphone (221) 8-23-54-52, Télécopieur. (221) 8-23-69-26; Sitatex: DKRCAYA

South Africa Avex Air Training (Pty) Ltd., Private Bag X102, Halfway House, 1685, Republic of South Africa
Telephone· (27-11) 315-0003/4; Facsimile. (27-11) 805-3649; E-mail: avex@iafrica.com

Spain. A E N A. - Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea, Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 14,
Planta Tercera, Despacho 3.11, 28027 Madrid
Teléfono (34 91) 321-3148; Facsímile. (34 91) 321-3157; Correo electrónico: sscc.jcsoria@aena.es

Thailand ICAO Regional Director, Asia and Pacific Office, P.O. Box 11, Samyaek Ladprao, Bangkok 10901
Telephone (66 2) 537-8189; Facsimile: (66 2) 537-8199; Sitatex: BKKCAYA

United Kingdom. Westward Digital Limited,
37 Windsor Street, Cheltenham, Glos., GL52 2DG
Telephone (44 1242) 235-151, Facsimile: (44 1242) 584-139

1/99

Каталог изданий и аудиовизуальных учебных средств ИКАО

Ежегодное издание с перечнем всех имеющихся в настоящее время публикаций и аудиовизуальных учебных средств.

В ежемесячных дополнениях сообщается о новых публикациях, аудиовизуальных учебных средствах, поправках, дополнениях, повторных изданиях и т. п.

Рассылаются бесплатно по запросу, который следует направлять в Сектор продажи документов ИКАО.

РУКОВОДСТВО ПО МЕТОДИКЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМУМОВ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ

ИЗДАНИЕ ПЕРВОЕ — 1998

ПОПРАВКИ

Об издании поправок регулярно сообщается в *Журнале ИКАО* и в ежемесячном *дополнении к Каталогу изданий и аудиовизуальных учебных средств ИКАО,* которыми рекомендуется пользоваться для справок. Ниже приводится форма для регистрации поправок.

РЕГИСТРАЦИЯ ПОПРАВОК И ИСПРАВЛЕНИЙ

ПОПРАВКИ			
№	Дата начала применения	Дата внесения	Кем внесено
1.	30.08.02	16.06.04	Ogs

ИСПРАВЛЕНИЯ			
№	Дата выпуска	Дата внесения	Кем внесено

Предисловие

Цель руководства

В сентябре 1991 года десятая Аэронавигационная конференция рассмотрела и одобрила концепцию будущей аэронавигационной системы, которая отвечала бы потребностям международной гражданской авиации на протяжении следующего века Эта концепция, разработанная Комитетом по будущим аэронавигационным системам (FANS) ИКАО, получила название концепции систем связи, навигации и наблюдения/организации воздушного движения (CNS/ATM) и предполагает наличие сложного комплекса взаимосвязанных технологий, основанных в значительной мере на использовании спутников

В соответствии с решениями Комитета FANS и десятой Аэронавигационной конференции в рамках ИКАО и с ее участием приняты или принимаются следующие меры

— Совет ИКАО принял решения на основе рекомендаций десятой Аэронавигационной конференции об ускорении внедрения CNS/ATM,

— разработан глобальный скоординированный план перехода к системам CNS/ATM,

— Аэронавигационная комиссия осуществляет координацию технических мероприятий с целью разработки международных Стандартов и Рекомендуемой практики (SARPS),

— несколько групп экспертов, созданных в рамках Аэронавигационной комиссии, разрабатывают эксплуатационные требования и технические спецификации, необходимые для внедрения систем CNS/ATM,

— Советом ИКАО, Юридическим управлением и заинтересованными государствами рассматриваются организационные вопросы, и

— группы регионального планирования занимаются разработкой стратегий и методов анализа для своих регионов

Концепция систем CNS/ATM достигла высокого уровня понимания и признания, и в настоящее время предпринимаются усилия с целью внедрения сквозной глобальной системы организации воздушного движения В свете вышеуказанного, упомянутый выше глобальный план пересматривается таким образом, чтобы в нем содержалась информация практического характера, предназначенная для обеспечения государств, региональных бюро ИКАО, групп регионального планирования, изготовителей бортового оборудования и эксплуатантов инструктивными материалами и помощью при планировании оснащения воздушных судов необходимым бортовым оборудованием с учетом применения систем CNS/ATM

Основная цель настоящего руководства состоит в обеспечении специалистов по планированию воздушного пространства, региональных бюро ИКАО и групп регионального планирования инструктивным материалом и в оказании им помощи при внедрении систем CNS/ATM, особенно в связи с планированием воздушного пространства, внедрением концепции требуемых навигационных характеристик (RNP) и методов зональной навигации Это согласуется с целями, установленными Советом ИКАО Методику планирования воздушного пространства предполагается включить в состав более обширного документа, касающегося вопросов внедрения

Представленная в настоящем документе методика служит основой для проведения оценки характеристик воздушного пространства, возможностей воздушных судов и потребностей в воздушном движении с целью определения безопасных минимумов эшелонирования при выполнении полетов по маршруту Методика призвана обеспечить соответствие предполагаемого уровня безопасности той или иной предлагаемой системы организации воздушного пространства установленному стандарту Специалисты по планированию воздушного пространства получат возможность оценивать различные сценарии использования воздушного пространства Администрации могут использовать методику в качестве средства, которое поможет им при определении очередности и характера решений, необходимых для установления безопасных минимумов эшелонирования Однако признается, что в некоторых случаях для применения методики могут потребоваться специалисты по вопросам анализа риска, которые могут иметься не во всех администрациях В этих случаях следует обращаться в ИКАО за дополнительными техническими консультациями и поддержкой

Связь с другими документами ИКАО

В существующих документах ИКАО не содержится указаний относительно методов количественной оценки возможного влияния минимумов эшелониро-

вания на безопасность воздушного движения. Настоящий документ предназначен для использования специалистами по планированию воздушного пространства в качестве основы для изменения минимумов эшелонирования. Его следует использовать совместно с документами *"Международные стандарты и Рекомендуемая практика. Обслуживание воздушного движения"* (Приложение 11 к Конвенции о международной гражданской авиации), дополнение A "Материал, касающийся метода установления маршрутов ОВД, определяемых VOR", пункт 3.1, и дополнение B "Метод установления маршрутов ОВД для полетов воздушных судов, оснащенных оборудованием RNAV", и *"Правила аэронавигационного обслуживания. Организация воздушного движения"* (PANS-ATM, Doc 4444), глава 5 "Методы и минимумы эшелонирования". В *Руководстве по планированию обслуживания воздушного движения* (Doc 9426) содержится инструктивный материал, касающийся порядка определения государствами необходимых уровней обслуживания воздушного движения для своего воздушного пространства.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Страница

Сокращения **1**

Глава 1. Факторы, влияющие на разработку методики планирования воздушного пространства **3**

Соображения, касающиеся эшелонирования 3
Формы управления воздушным движением 3
Влияние форм управления на минимумы эшелонирования 4
Ответственность за навигацию 5
Определение эшелонирования 5
Выдерживание минимумов эшелонирования 5
Глобальная гармонизация минимумов эшелонирования 5
Необходимые элементы методики планирования воздушного пространства 6

Глава 2. Соображения, касающиеся выявления необходимости в изменениях **13**

Факторы, влияющие на необходимость в изменениях 13
Удовлетворение необходимости в изменениях 13
Анализ затрат – выгод 13

Глава 3. Описание современной системы воздушного пространства и систем CNS/ATM **14**

Определение минимумов эшелонирования 14

Глава 4. Определение предлагаемой системы воздушного пространства и систем CNS/ATM **16**

Факторы, которые необходимо учитывать при определении предлагаемой системы 16
Прогнозирование роста, характеристик и распределения воздушного движения 16

Глава 5. Выбор метода анализа безопасности предлагаемой системы **17**

Анализ безопасности 17

Страница

Глава 6. Методы оценки безопасности **19**

Сравнение с эталонной системой 19
Оценка риска системы относительно установленной пороговой величины 21

Глава 7. Внесение изменений в предлагаемую систему **29**

Снижение риска 29

Глава 8. Внедрение и контроль **31**

Общие положения 31
Необходимость в критериях для характеристик системы 31
Необходимость внесения изменений в правила организации воздушного движения 31
Необходимость утверждения 31
Необходимость контроля 31
Вопросы, относящиеся к внедрению управления воздушным движением 32
Сроки внедрения 33
Принятие решения о внедрении 33

Добавление 1. Общая модель риска столкновения на одной и пересекающихся трассах для случая эшелонирования, основанного на расстоянии 34

Добавление 2. Планирование системы маршрутов 38

Добавление 3. Исследования по вопросам анализа затрат – выгод 44

Добавление 4. Внедрение сокращенного интервала бокового эшелонирования в воздушном пространстве NAT 49

Добавление 5. Анализ продольного эшелонирования в Азиатском/Тихоокеанском регионе 56

Добавление 6. Пример сравнительного анализа безопасности 68

Страница

Добавление 7. Пример компромиссного выбора различных факторов при сравнении предлагаемой системы с эталонной системой 71

Добавление 8. Модель риска столкновения для определения минимумов бокового эшелонирования при управлении воздушным движением на основе ADS 74

Добавление 9. Методика анализа опасности/риска, применяемая ЕВРОКОНТРОЛем 92

Добавление 10. Применение анализа риска при планировании воздушного пространства в Австралии 100

Добавление 11. Анализ и методика планирования аэронавигационных систем 114

Добавление 12. Методика регионального планирования воздушного пространства 119

Страница

Добавление 13. Анализ с целью определения требований к боковым навигационным характеристикам в системе маршрутов северной части Тихого океана (NOPAC) при интервале разделения параллельных маршрутов 50 м. миль 123

Добавление 14. Оценка занятости и частоты летных происшествий вследствие нарушения планового бокового эшелонирования для отдельных элементов системы параллельных машрутов 127

Добавление 15. Требования к навигационным характеристикам для введения в океаническом и удаленном воздушном пространстве бокового эшелонирования 30 м. миль 163

Добавление 16. Метод определения стандартных технических характеристик систем автоматического зависимого наблюдения (ADS) 176

Библиография

Сокращения

AACS	–	схема классификации воздушного пространства Австралии
AAIM	–	автономный контроль целостности на борту воздушного судна
ACARS	–	система связи ARINC для адресации и передачи сообщений
ADS	–	автоматическое зависимое наблюдение
AFTN	–	сеть авиационной фиксированной электросвязи
AGL	–	над уровнем земли
AIP	–	сборник аэронавигационной информации
AIRAC	–	регламентирование и контроль аэронавигационной информации
ALARP	–	как можно более низкий разумно возможный
ANT	–	группа по вопросам воздушного пространства и навигации
APANPIRG	–	Региональная группа по планированию и внедрению аэронавигации в Азиатском/Тихоокеанском регионе
ARINC	–	фирма "Аэронотикл радио инк."
ARM	–	модель риска для воздушного пространства
ARSR	–	обзорный маршрутный радиолокатор
ATCO	–	авиадиспетчер
ATFM	–	организация потока воздушного движения
ATM	–	организация воздушного движения
BASI	–	Бюро расследований по вопросам безопасности воздушного движения Австралии
CAA	–	Управление гражданской авиации
CAP	–	вероятность непосредственного сближения
CASA	–	Управление по безопасности гражданской авиации
CBA	–	анализ затрат – выгод
CMA	–	Центральное контрольное агентство
CMF	–	отказы общего режима
CNS	–	связь, навигация и наблюдение
CPA	–	круговая защищенная зона
CPDLC	–	связь по каналу передачи данных "диспетчер – пилот"
CTA	–	диспетчерский район
CTAF	–	общая частота передачи консультативной информации о воздушном движении
DDE	–	двойной двусторонний экспоненциальный закон
DME	–	дальномерное оборудование
EATCHIP	–	программа гармонизации и интеграции управления воздушным движением в Европе
FANS	–	будущие аэронавигационные системы
FCS	–	система управления полетом
FDPS	–	система обработки полетных данных
FMCS	–	компьютерная система управления полетом
FMS	–	система управления полетом
FOM	–	показатель качества
GNE	–	грубая навигационная ошибка
GNSS	–	глобальная навигационная спутниковая система
GPS	–	глобальная система определения местоположения
HAZOP	–	формальные совещания с целью выявления и анализа опасностей
IOACG	–	координационная группа по обслуживанию воздушного движения в районе Индийского океана
IRR	–	внутренняя норма прибыли
ISPACG	–	неофициальная координационная группа по обслуживанию воздушного движения в южной части Тихого океана
LSSR	–	вторичный обзорный радиолокатор дальнего действия
MAPT	–	точка ухода на второй круг
MASPS	–	технические требования к минимальным характеристикам бортовых систем
MBZ	–	зона обязательной передачи широковещательных сигналов
MNPS	–	технические требования к минимальным навигационным характеристикам
MOPS	–	технические требования к минимальным эксплуатационным характеристикам
MWG	–	Рабочая группа математиков
NAT	–	Северная Атлантика
NAT SPG	–	Группа планирования систем в Северной Атлантике
NOPAC	–	северная часть Тихого океана
NOTAM	–	извещение для пилотов
NPV	–	чистая текущая стоимость
NSW	–	Новый Южный Уэльс
NWPIE	–	грубая ошибка неввода точки маршрута
OACC	–	океанический районный диспетчерский центр
OH&S	–	охрана труда и техника безопасности
OR	–	эксплуатационные требования
OTS	–	система организованных маршрутов
PANS-ATM	–	Правила аэронавигационного обслуживания "Организация воздушного движения"
RAIM	–	автономный контроль целостности в приемнике
RDPS	–	система обработки радиолокационных данных

RGCSP	–	Группа экспертов по рассмотрению общей концепции эшелонирования
RLRS	–	сокращенное боковое разделение маршрутов
RNAV	–	зональная навигация
RNDSG	–	подгруппа по разработке сети маршрутов
RNP	–	требуемые навигационные характеристики
RPT	–	регулярное воздушное сообщение общего пользования
RTCA	–	Радиотехническая авиационная комиссия
RVSM	–	сокращенный минимум вертикального эшелонирования
SARPS	–	Стандарты и Рекомендуемая практика
SATCOM	–	спутниковая связь
SID	–	стандартная схема вылета по приборам
SRD	–	стандартная схема вылета по радиолокатору
STAR	–	стандартная схема прибытия по приборам
SUPPS	–	Дополнительные региональные правила
TCAS	–	система оповещения о воздушном движении и предупреждения столкновений
TLS	–	целевой уровень безопасности полетов
TMA	–	узловой диспетчерский район
UTC	–	всемирное координированное время
VOR	–	всенаправленный ОВЧ-радиомаяк
WP	–	рабочий документ
WPIE	–	грубая ошибка ввода точки маршрута
БСПС	–	бортовая система предупреждения столкновений
ВМУ	–	визуальные метеорологические условия
ВОРЛ	–	вторичный обзорный радиолокатор
ВЧ	–	высокая частота
ЕВРОКОНТРОЛЬ	–	Европейская организация по безопасности воздушной навигации
ЕКГА	–	Европейская конференция гражданской авиации
ИКАО	–	Международная организация гражданской авиации
ЛОРАН	–	система дальней радиоаэронавигации
м. миля	–	морская миля
МЭК	–	Международная электротехническая комиссия
НИОКР	–	научно-исследовательские работы и опытно-конструкторские разработки
ОВД	–	обслуживание воздушного движения
ОВЧ	–	очень высокая частота
ПВП	–	правила визуальных полетов
ПМУ	–	метеорологические условия полетов по приборам
ППП	–	правила полетов по приборам
РГ	–	рабочая группа
РПИ	–	район полетной информации
УВД	–	управление воздушным движением
ФАУ	–	Федеральное авиационное управление

Глава 1

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗРАБОТКУ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

СООБРАЖЕНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ

1.1 Эшелонирование – это общий термин, используемый при описании действий органов обслуживания воздушного движения (ОВД), направленных на соблюдение такого расстояния между воздушными судами, производящими полеты в одном и том же общем районе, при котором риск столкновения удерживается ниже приемлемого безопасного уровня. Такое эшелонирование может осуществляться в горизонтальной и вертикальной плоскости. Эшелонирование в горизонтальной плоскости может выполняться либо в продольном направлении (когда воздушные суда располагаются одно за другим на установленном расстоянии, которое может быть выражено через полетное время), либо в боковом направлении (когда воздушные суда располагаются бок о бок на установленном расстоянии одно от другого или когда указывается ширина защищенного воздушного пространства по обе стороны осевой линии маршрута). Вертикальное эшелонирование обеспечивается благодаря выполнению требования, чтобы воздушные суда, использующие предписанные правила установки высотомера, выполняли полет на различных уровнях, выражаемых в эшелонах полета или абсолютных высотах.

Примечание. Инструктивный материал, касающийся сокращенных минимумов вертикального эшелонирования (RVSM), содержится в документе (Doc 9574) "Руководство по применению минимума вертикального эшелонирования в 300 м (1000 фут) между эшелонами полета 290 и 410 включительно".

1.2 Необходимое эшелонирование между воздушными судами обычно выражается в виде минимальных расстояний для каждого измерения, которые не следует одновременно нарушать. В случае горизонтального эшелонирования минимальное расстояние может быть выражено либо в морских милях (м. мили), либо в градусах углового смещения, либо, в продольном направлении, в виде минимумов, основанных либо на времени, либо на расстоянии, при использовании дальномерного оборудования (DME), зональной навигации (RNAV), радиолокационного или автоматического зависимого наблюдения (ADS) соответственно (Doc 4444 *"Правила аэронавигационного обслуживания. Организация воздушного движения"*, PANS-ATM). В вертикальной плоскости минимум указывается либо в метрах или футах, либо в виде эшелонов полета.

1.3 При некоторых обстоятельствах в отдельных районах воздушного пространства в соответствии с региональным соглашением может применяться комбинированное эшелонирование воздушных судов, состоящее из комбинации элементов горизонтального и вертикального эшелонирования (см. главу 3 раздела 2 части II Doc 9426 *"Руководство по планированию обслуживания воздушного движения"*).

1.4 При планировании воздушного пространства и маршрутов, для которых не предусматривается служба управления воздушным движением (УВД) (только полетно-информационное обслуживание или консультативное обслуживание воздушного движения), безопасное эшелонирование воздушных судов может также обеспечиваться посредством использования стандартных минимумов эшелонирования. В случае последующего создания службы УВД использование одного и того же процесса будет способствовать ее внедрению и интеграции с соседними системами воздушного пространства.

ФОРМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

1.5 В целях обеспечения эшелонирования службой УВД используются две формы управления: процедурное и радиолокационное. Процедурным управлением обычно называют эшелонирование, основанное только на получаемой от воздушных судов по двусторонней связи "воздух – земля" информации о местоположении. Предусматривается, что технологии, основанные на

использовании ADS, при котором бортовые навигационные данные предоставляются органу УВД с помощью методов передачи данных, обеспечат совершенствование процедурного управления. Внедрение ADS в условиях применения процедурного УВД обеспечивает возможность более частого обновления информации о местоположении, а также информации о будущих намерениях воздушного судна. В условиях, когда донесения о местоположении передаются непосредственно с борта воздушного судна органу УВД и когда орган УВД автоматически получает обновленную информацию о намерениях воздушного судна, должна существовать возможность значительного сокращения минимумов эшелонирования.

1.6 Радиолокационное управление основано на использовании отображаемой на экране радиолокатора информации о местоположении. Горизонтальное эшелонирование осуществляется путем поддержания установленной дистанции в горизонтальной плоскости между отраженными сигналами (отметками) на экране радиолокатора, поступающими от различных воздушных судов. С помощью отраженных радиолокационных сигналов можно также эшелонировать воздушные суда и по вертикали, особенно в районах, где используется вторичный обзорный радиолокатор (ВОРЛ) (следует отметить, что информация об относительной высоте, получаемая в режиме С ВОРЛ, представляет собой разновидность зависимого наблюдения, при котором относительная высота воздушного судна определяется по данным систем измерения высоты конкретных воздушных судов).

ВЛИЯНИЕ ФОРМ УПРАВЛЕНИЯ НА МИНИМУМЫ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ

1.7 Существует значительное различие между минимумами эшелонирования, используемыми при применении методов исключительно процедурного управления и методов радиолокационного управления. При применении минимумов эшелонирования в ходе процедурного управления учитывается, что решения диспетчера УВД основываются на "моментальном кадре" обстановки, с помощью которого диспетчер может убедиться, что все находящиеся под контролем воздушные суда должным образом эшелонированы между собой. Оценки пилотами хода своих полетов должны указывать на то, что установленное эшелонирование сохранится до того момента, когда диспетчер УВД снова будет в состоянии сделать обзор воздушной обстановки. Таким образом, минимумы эшелонирования, применяемые в данном случае, должны обеспечивать, чтобы даже при наихудшем стечении обстоятельств (то есть в промежутке между последовательными "моментальными снимками") требуемые минимумы сохранялись или могли быть восстановлены при их нарушении. Следует, однако, уяснить, что применение метода процедурного управления не освобождает диспетчеров от обязанности постоянно контролировать воздушную обстановку.

1.8 При радиолокационном управлении служба УВД обеспечивается часто обновляемой в режиме реального времени информацией о местоположении воздушных судов, что позволяет применять в случае необходимости значительно меньшие минимумы эшелонирования. Однако, применяя соответствующие данным условиям минимумы, необходимо принимать в расчет еще и тот факт, что радиолокатор дает мало информации о будущем движении воздушных судов. Дополнительная информации об определении соответствующего радиолокационного эшелонирования приводится в Приложении 11 и PANS-ATM.

1.9 *Влияние тактического радиолокационного управления.* В условиях радиолокационного управления, когда между соседними маршрутами выдерживается соответствующий боковой интервал, такие маршруты могут обслуживаться диспетчером как раздельные объекты. В этом случае, когда воздушное судно получило разрешение и заняло тот или иной маршрут ОВД:

a) пилот отвечает за выдерживание осевой линии;

b) воздушные суда, занимающие соседние маршруты, разделены соответствующим интервалом между маршрутами; и

c) роль диспетчера заключается в основном в контроле за движением получивших разрешение воздушных судов.

1.10 В условиях радиолокационного управления, когда между маршрутами не выдерживается соответствующий боковой интервал, воздушные суда могут быть эшелонированы диспетчером относительно воздушных судов, следующих по соседним маршрутам, на основе применения минимального радиолокационного эшелонирования, установленного полномочным органом ОВД. В таких случаях применение автоматических средств сигнализации, таких, как оповещение об отклонении и краткосрочное предупреждение о конфликтной ситуации (STCA), может позволить диспетчеру управлять движением на маршрутах с определенной долей самостоятельности. Тем самым основной задачей диспетчера может также стать контроль за движением получивших разрешение воздушных судов по каждому маршруту, что позволяет в

случае необходимости прибегать к более активному управлению, как в случае движения с набором высоты и снижением. Таким образом, время, необходимое для обнаружения и устранения отклонения и/или потенциальной конфликтной ситуации, будет зависеть от ряда факторов, в том числе следующих:

a) рабочей нагрузки диспетчера;

b) наличия автоматических средств сигнализации, например оповещения об отклонении и STCA;

c) времени реагирования пилота/диспетчера до начала корректирующих действий и их выполнения;

d) задержек при связи между пилотом и диспетчером;

e) разрешающей способности и точности системы; и

f) времени реагирования воздушного судна при маневрировании (зависит от скорости и относительной высоты воздушного судна).

1.11 Внедрение ADS в условиях применения процедурного УВД обеспечивает возможность более частого обновления информации о местоположении, а также получения информации о будущих намерениях воздушного судна. В условиях применения ADS, когда донесения о местоположении передаются непосредственно с борта воздушного судна органу УВД и когда орган УВД автоматически получает обновленную информацию о намерениях воздушного судна, должна существовать возможность значительного сокращения минимумов эшелонирования. Размеры сокращения минимумов эшелонирования необходимо определять либо на основе моделирования риска столкновения, либо с помощью других методов, которые подробно рассматриваются в методике, представленной в настоящем руководстве.

ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАВИГАЦИЮ

1.12 В основе системы УВД лежит принцип, согласно которому ответственность за навигацию несет пилот. Система УВД обычно не берет на себя ответственность за навигацию воздушных судов, за исключением некоторых оговоренных случаев (например, радиолокационное наведение), когда диспетчер УВД располагает бóльшими возможностями получения информации о местоположении воздушного судна по отношению к другим воздушным судам или когда диспетчер УВД считает необходимым устранить потенциальную опасность.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ

1.13 При определении минимумов вертикального эшелонирования или основанного на времени и расстоянии продольного эшелонирования следует учитывать качество имеющейся у службы УВД и пилота информации. Время, необходимое для принятия решения, координации и радиопередач, может влиять на применяемые минимумы продольного эшелонирования, особенно если отсутствует прямая связь между пилотом и диспетчером. Определение бокового эшелонирования в условиях процедурного управления должно базироваться в основном на точности, с какой пилоты могут выдерживать заданную линию пути. При наличии возможности вмешательства органа УВД следует оценить ее влияние на минимумы бокового эшелонирования.

ВЫДЕРЖИВАНИЕ МИНИМУМОВ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ

1.14 Определение соответствующих предписываемых минимумов эшелонирования является сложным процессом, при этом необходимо учитывать факторы, перечисленные в разделах 1.16, 1.17 и 1.18. Если ответственный полномочный орган установил минимумы эшелонирования, на службу УВД возлагается обязанность обеспечить их соблюдение. Кроме того, при оценке безопасности и эффективности использования воздушного пространства важное значение имеют не только минимумы, но и то, насколько часто применяются на практике интервалы эшелонирования, близкие к минимумам.

ГЛОБАЛЬНАЯ ГАРМОНИЗАЦИЯ МИНИМУМОВ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ

1.15 С самого начала существования ИКАО в целях содействия глобальной гармонизации была достигнута договоренность о том, что минимумы эшелонирования следует устанавливать на международной основе и что такие минимумы подлежат изменениям только путем международного соглашения. В Приложении 11 указано, что минимумы, установленные ИКАО, публикуются в PANS-ATM, а минимумы, установленные в рамках региональных соглашений, публикуются в Doc 7030 *"Дополнительные региональные правила"* (SUPPS). Этот материал служит первоисточником справочного материала, на основании которого специалисты по планированию воздушного пространства могут непосредственно определять соответствующие минимумы.

НЕОБХОДИМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

1.16 Основная цель создания структуры системы воздушного пространства заключается в обеспечении безопасных полетов воздушных судов на заданных этапах полета. К ним относятся навигация по выбранной траектории полета, пролет препятствий и применение стандартов эшелонирования, обеспечивающих необходимую пропускную способность и безопасность системы.

1.17 Тремя из основных взаимозависимых параметров, влияющих на достижение такого заданного уровня безопасности системы воздушного пространства (установленный уровень безопасности – TLS) при данной плотности воздушного движения, являются:

a) навигационные характеристики воздушных судов;

b) характеристики наземного и бортового компонентов связи; и

c) характеристики наблюдения.

1.18 Обеспечиваемые этими характеристиками возможности учитываются при определении структуры воздушного пространства (минимумы эшелонирования/разделение маршрутов/разделение воздушного пространства на секторы), правил полета по приборам и возможностей вмешательства органов управления воздушным движением. Увеличение или уменьшение любого отдельного параметра может привести к соответствующему увеличению или уменьшению некоторых или всех остальных параметров. Ожидается, что по мере расширения возможностей воздушных судов и системы будет соответственно повышаться безопасность системы. Методика определения минимумов эшелонирования на маршруте допускает компромисс между аспектами системы, относящимися к эшелонированию, навигации и вмешательству, с целью достижения согласованного TLS.

1.19 В последние годы работа в области минимумов эшелонирования воздушных судов в основном базируется на математико-статистическом анализе. Такая работа чрезвычайно полезна при оценке вероятной безопасности предлагаемых минимумов эшелонирования и призвана обеспечить принятие решений на основе информации, полученной посредством экспертной оценки с эксплуатационной точки зрения. В настоящем документе приводятся возможные методики оценки безопасности воздушного движения в зависимости от минимумов эшелонирования. Методика определения минимумов эшелонирования основана на специальных математических моделях, определяющих соотношение между такими элементами, как риск столкновения, минимумы эшелонирования, структура воздушного пространства, характеристики сети воздушных трасс, параметры потока воздушного движения, возможности вмешательства со стороны диспетчера, характеристики связного, навигационного оборудования и средств наблюдения за воздушным движением. Методика планирования воздушного пространства в достаточной степени универсальна и может использоваться не только для определения минимумов эшелонирования, но и для безопасного внедрения новых видов ОВД в условиях, когда минимумы эшелонирования должны оставаться неизменными, например: определение требований к связи, навигации и наблюдению (CNS) при использовании данного TLS и минимума эшелонирования; оценка влияния изменений в структуре воздушного пространства на безопасность системы; и определение пределов пропускной способности системы воздушного движения.

1.20 Описанная в настоящем документе методика определения безопасных минимумов эшелонирования основана на методе итераций. На блок-схеме, приведенной на рис. 1-1, показана взаимосвязь между следующими основными элементами методики:

a) выявление необходимости в изменениях;

b) определение предлагаемой системы;

c) выбор метода анализа безопасности;

d) оценка риска;

e) соответствие критериям безопасности;

f) изменение предлагаемой системы; и

g) внедрение предлагаемой системы и контроль за ней.

1.21 Специалисты по планированию воздушного пространства могут использовать эту блок-схему в качестве средства, которое поможет им определить очередность и характер решений, необходимых для расчета безопасных минимумов эшелонирования или для безопасного внедрения новых видов ОВД в своем воздушном пространстве, как описано выше в пункте 1.19. Некоторые практические примеры применения методики планирования воздушного пространства с целью определения параметров системы воздушного движения приводятся на рис. 1-2a – 1-2d. Подробный инструктивный материал, относящийся к каждому из элементов методики, содержится в последующих главах.

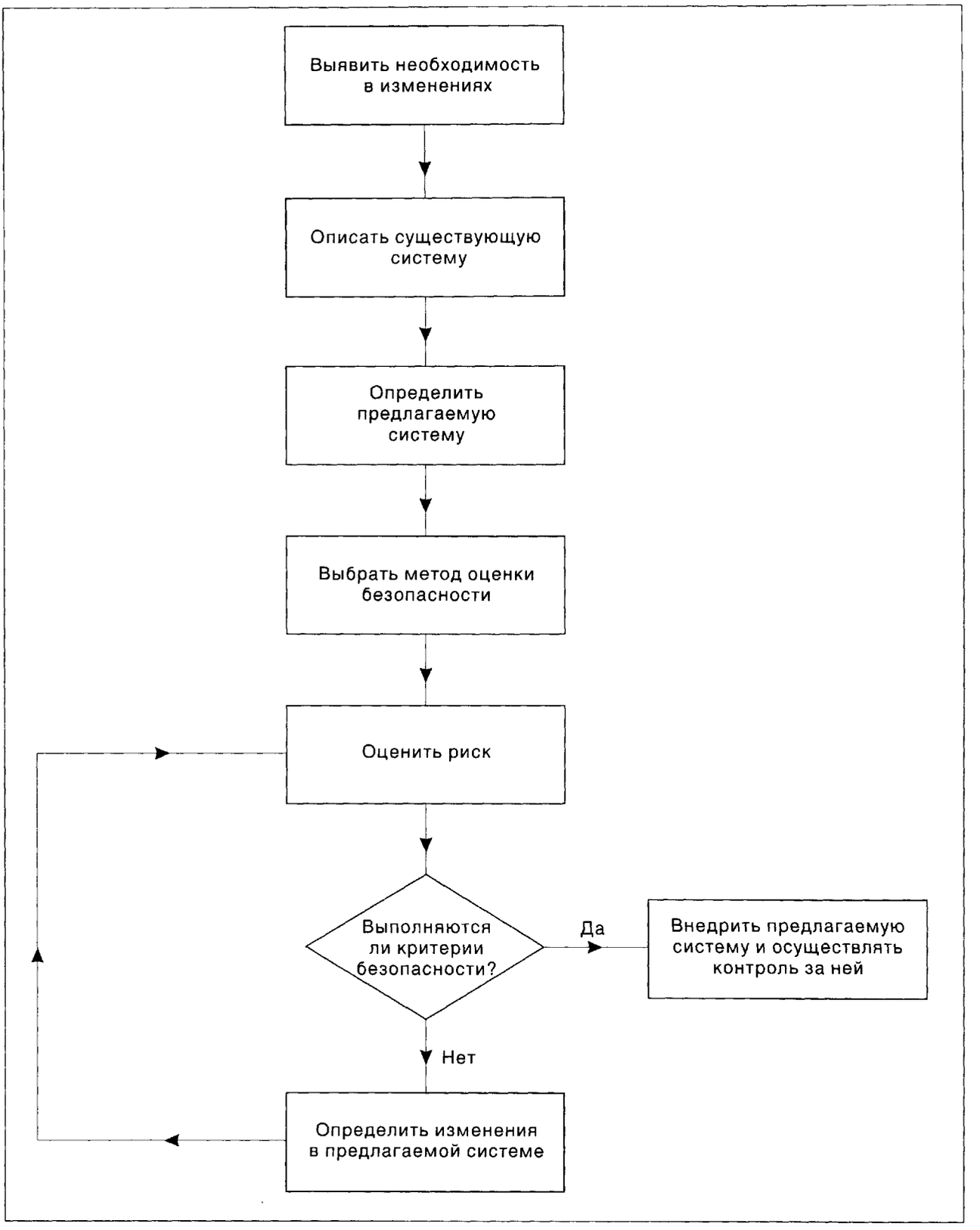


Рисунок 1-1.Блок-схема процесса определения приемлемых минимумов эшелонирования

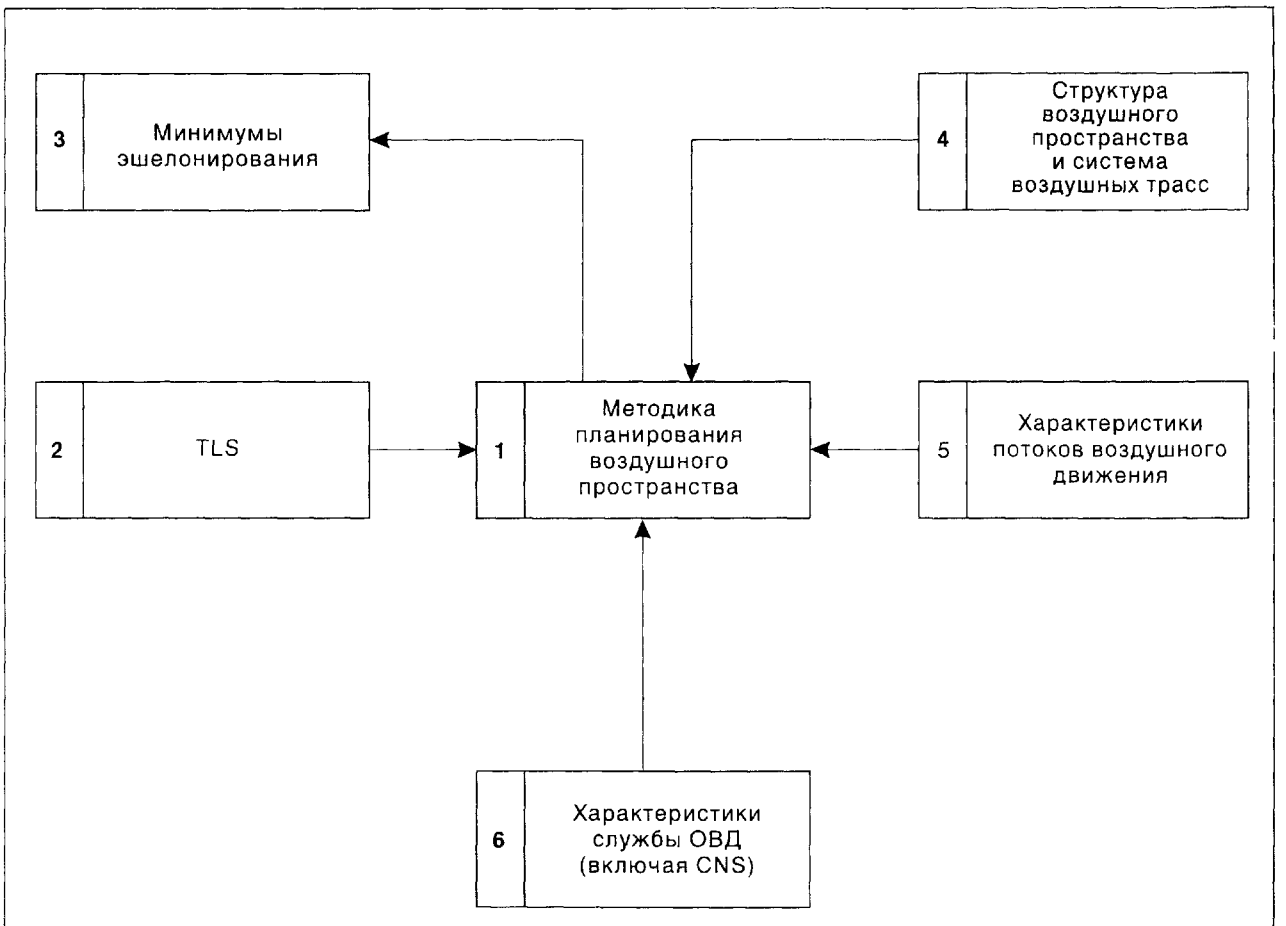


Рисунок 1-2а. Практическое применение минимумов эшелонирования на основе методики планирования воздушного пространства
(в качестве исходной используется блок-схема, приведенная на рис. 1-3)
Пример 1. Определение минимумов эшелонирования

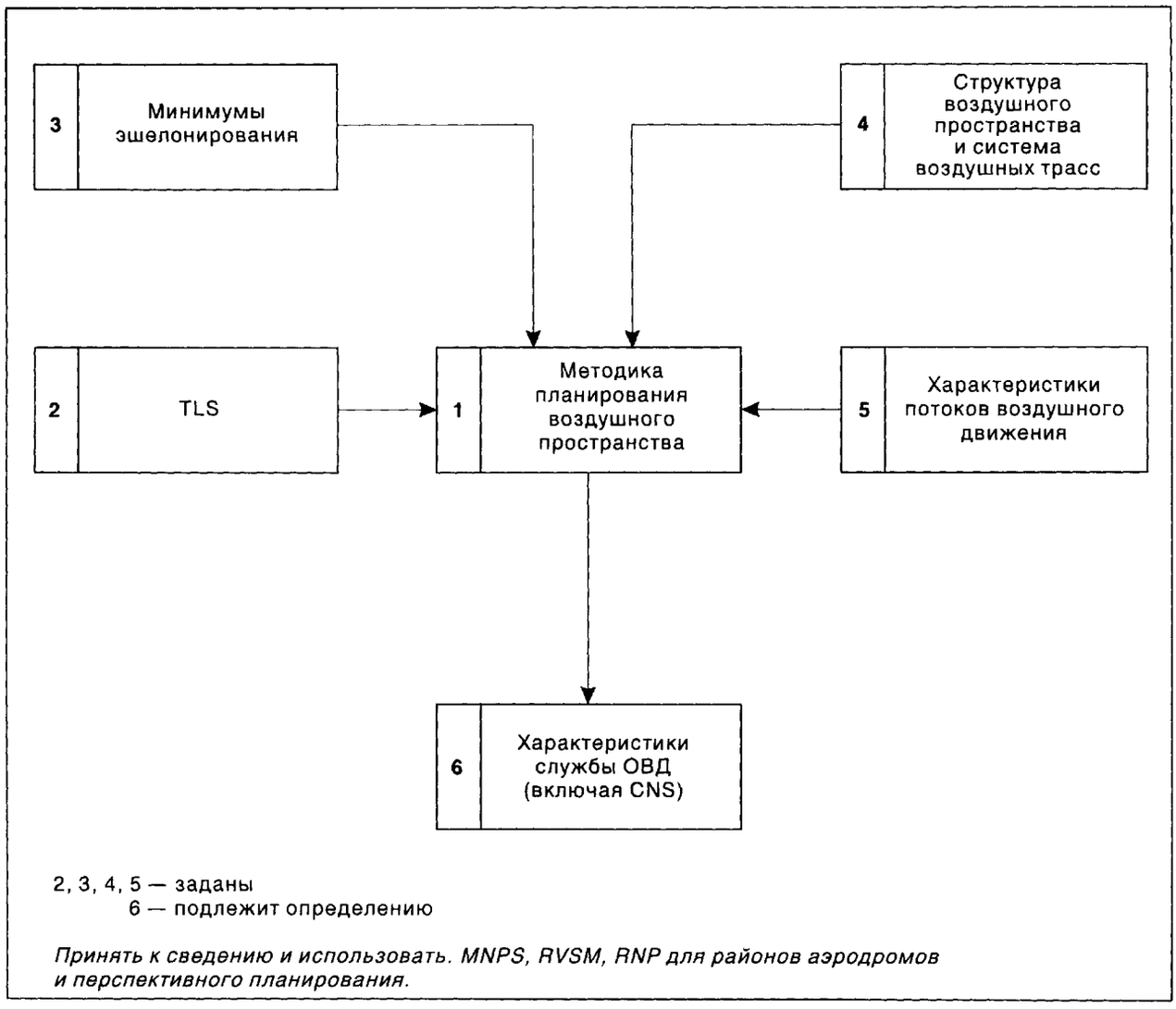


Рисунок 1-2b. Практическое применение минимумов эшелонирования на основе методики планирования воздушного пространства
(в качестве исходной используется блок-схема, приведенная на рис. 1-3)
Пример 2. Определение требований к ОВД на основе заданного минимума эшелонирования

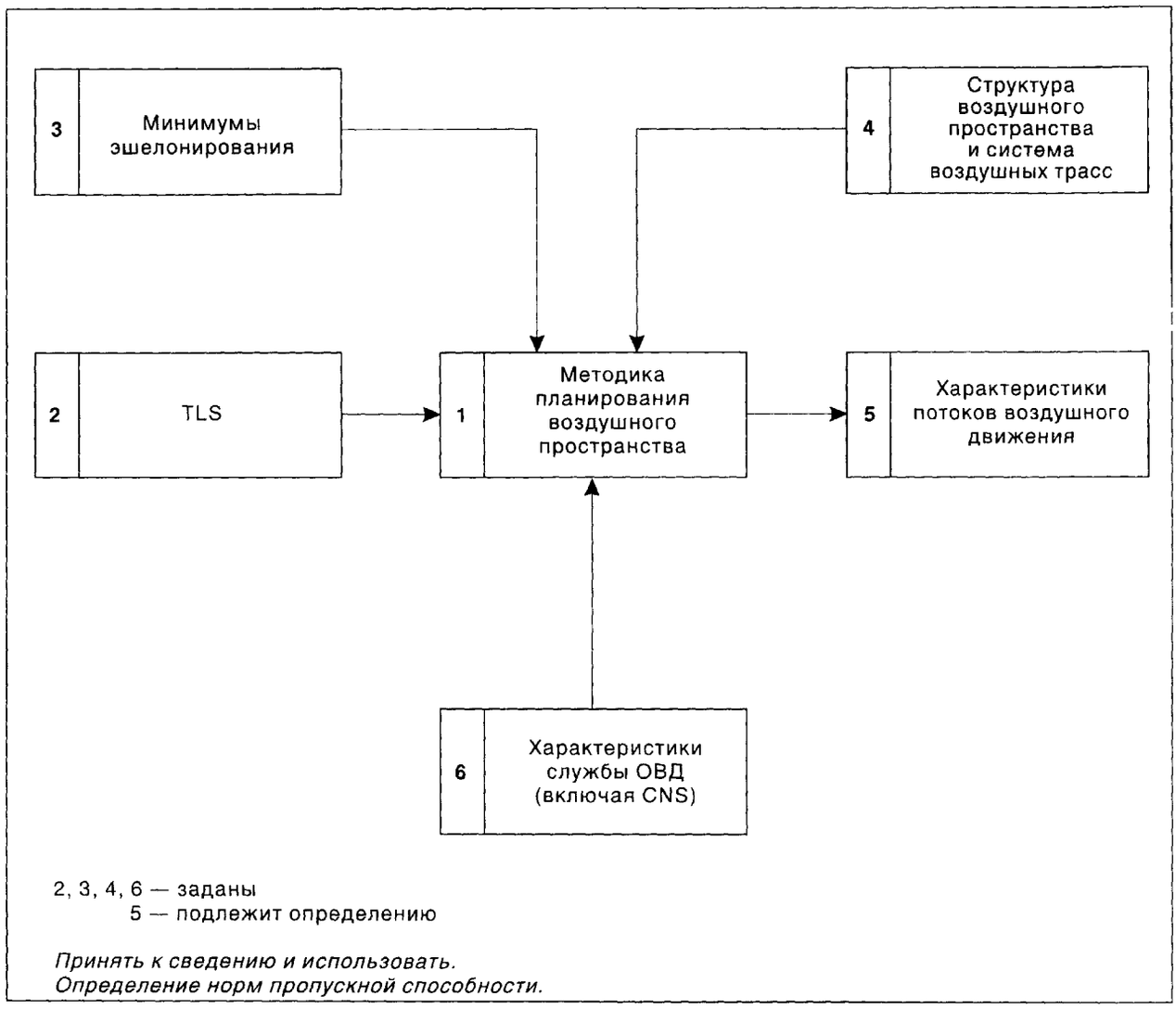


Рисунок 1-2с. Практическое применение минимумов эшелонирования на основе методики планирования воздушного пространства
(в качестве исходной используется блок-схема, приведенная на рис. 1-3)
Пример 3. Определение пределов пропускной способности службы ОВД

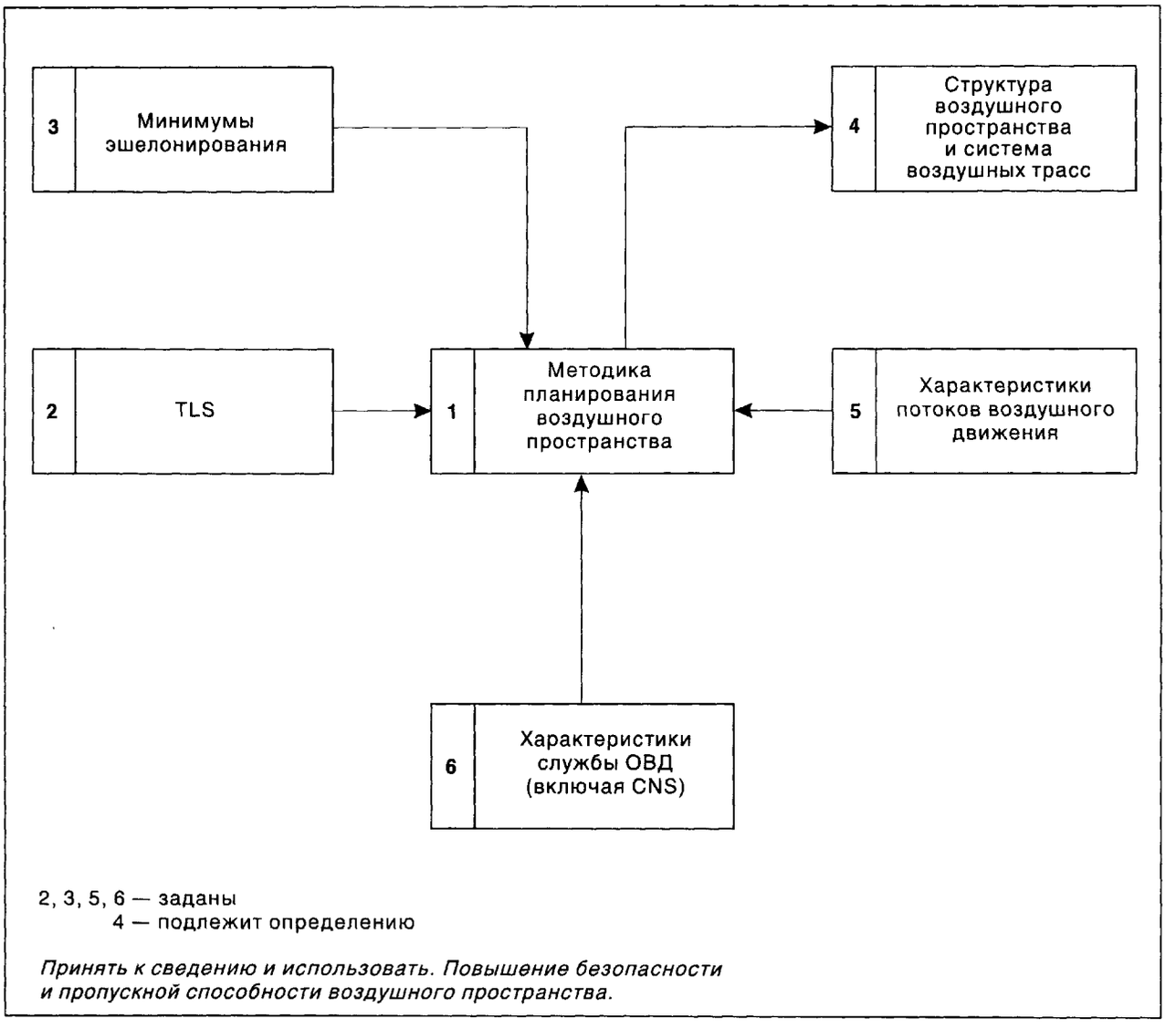


Рисунок 1-2d. Практическое применение минимумов эшелонирования на основе методики планирования воздушного пространства
(в качестве исходной используется блок-схема, приведенная на рис. 1-3)
Пример 4. Организационные/тактические меры повышения безопасности воздушного пространства

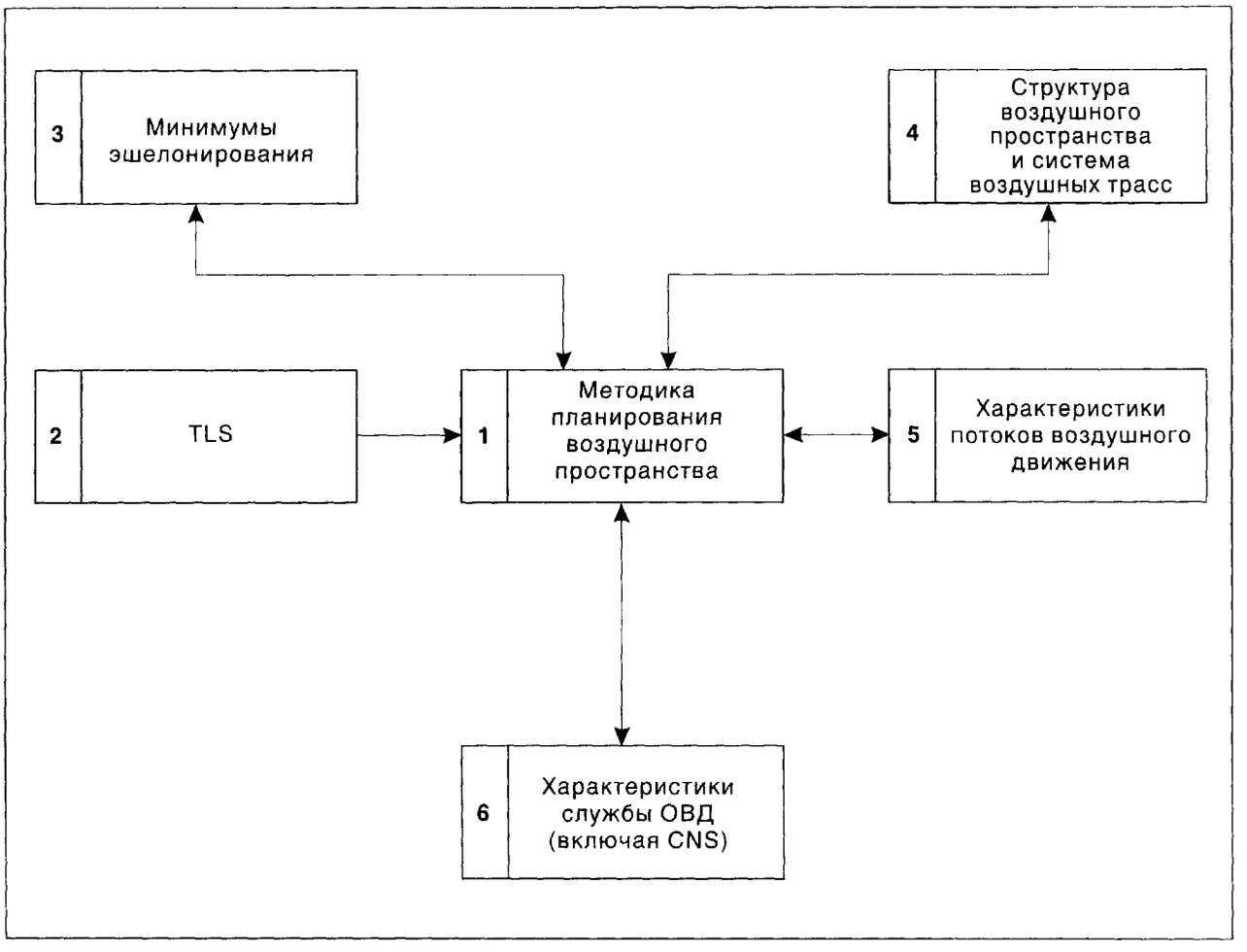


Рисунок 1-3. Практическое применение минимумов эшелонирования на основе методики планирования воздушного пространства – исходная блок-схема

Глава 2

СООБРАЖЕНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОСТИ В ИЗМЕНЕНИЯХ

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НЕОБХОДИМОСТЬ В ИЗМЕНЕНИЯХ

2 1 В большинстве случаев необходимость в изменениях в любом данном воздушном пространстве определяется такими факторами, как потребности пользователей, недостаточная пропускная способность воздушного пространства и наличие более совершенных технологий (как на воздушных судах, так и в системе УВД)

УДОВЛЕТВОРЕНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ В ИЗМЕНЕНИЯХ

2 2 Существует несколько возможных способов удовлетворения выявленной необходимости в изменениях, в том числе

a) повышение уровня обеспечиваемого обслуживания воздушного движения,

b) сокращение минимумов эшелонирования,

c) расширение возможностей вмешательства,

d) изменение требуемых навигационных характеристик,

e) пересмотр структуры маршрутов, и

f) ограничение потребностей в обслуживании органами УВД

2 3 Более подробно эти способы рассматриваются в главе 7 Для выбора одного из способов или их сочетания, которое наиболее соответствовало бы выявленным требованиям к воздушному пространству, следует рассмотреть все альтернативы и их взаимосвязи

2 4 После выявления необходимости в изменении системы воздушного пространства для достижения необходимых эксплуатационных преимуществ специалисту по планированию воздушного пространства следует, исходя из современных знаний о нынешних системах и новых технологиях, оценить, какие характеристики воздушного пространства могут быть изменены Хотя в настоящем документе основное внимание уделяется определению минимумов эшелонирования, специалист по планированию воздушного пространства может обеспечить преимущества как для поставщиков ОВД, так и для пользователей, не прибегая к сокращению минимумов эшелонирования Одним из альтернативных способов удовлетворения меняющихся потребностей в использовании воздушного пространства может быть изменение структуры маршрутов того или иного региона В добавлении 2 приводится краткое описание двух случаев такого пересмотра системы маршрутов

АНАЛИЗ ЗАТРАТ—ВЫГОД

2 5 Какие бы изменения ни рассматривались, одним из важных факторов при проведении оценки должен быть анализ затрат—выгод с последующим определением приоритетности приемлемых альтернатив Маловероятно, что эксплуатанты воздушных судов и поставщики ОВД будут вкладывать средства в новое оборудование, если только исследования затрат—выгод не подтвердили финансовую жизнеспособность таких инвестиций Кроме того, многим организациям потребуется получить достаточную прибыль на инвестиции в относительно краткие сроки Анализ затрат—выгод является сложным процессом, и в настоящем документе не содержится подробного инструктивного материала, относящегося к его проведению Однако в качестве иллюстрации применяемых при этом процессов в добавлении 3 дается краткое изложение анализа затрат—выгод, проведенного в связи с изменениями в воздушном пространстве

Глава 3

ОПИСАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА И СИСТЕМ CNS/ATM

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМУМОВ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ

3 1 При определении соответствующих минимумов эшелонирования специалист по планированию воздушного пространства должен обладать полными знаниями о существующей системе воздушного пространства, возможностях CNS/ATM и характеристиках воздушного пространства, которые могут повлиять на безопасные минимумы эшелонирования Существует ряд факторов, которые могут влиять на минимумы эшелонирования, в том числе

3 2 Структура воздушного пространства

a) структура маршрутов, например, использование параллельных или непараллельных маршрутов ОВД, а также, являются ли они двунаправленными или однонаправленными,

b) существующие минимумы эшелонирования и насколько часто используются на практике значения, близкие к данным минимумам эшелонирования,

c) сложность воздушного пространства, в том числе *в частности*

1) структура потребностей в воздушном движении,

2) число и местонахождение пересекающихся линий пути,

3) объем воздушного движения на линиях пути во встречных направлениях,

4) объем воздушного движения либо с набором высоты, либо со снижением,

5) характер используемых воздушных судов, то есть разнообразие воздушного движения с точки зрения характеристик и оснащенности воздушных судов (например, диапазон различных скоростных характеристик, характеристик набора высоты, желательных оптимальных эшелонов полета),

6) максимальная и средняя потребность в воздушном движении в сравнении с пропускной способностью системы

7) пропускная способность взлетно-посадочных полос и ограничения, связанные с соответствующими наземными службами,

8) любые прилегающие районы воздушного пространства специального назначения использование воздушного пространства и виды полетов, включая соотношение полетов гражданских и военных воздушных судов, и

9) региональные метеорологические условия (например, преобладание конвективных циклонов и т д), и

d) классификация выделенных районов воздушного пространства

3 3 Возможности связи

a) прямая речевая связь "диспетчер — пилот" (ОВЧ/ВЧ/SATCOM),

b) непрямая речевая связь 'диспетчер — пилот" (ВЧ),

c) связь по каналу передачи данных "диспетчер — пилот" (CPDLC),

d) речевая связь и автоматическая связь по каналу передачи данных "диспетчер — диспетчер" как между органами ОВД, так и внутри органов (органа) ОВД,

e) канал передачи данных между наземными автоматическими системами УВД и бортовыми компьютерами системы управления полетом, и

f) готовность, надежность и пропускная способность системы

3 4 Возможности наблюдения

a) процедурное наблюдение

1) содержание донесений пилотов о местоположении, и

2) интервалы между донесениями,

b) автоматическое зависимое наблюдение (ADS)

1) основная скорость обновления данных,

2) точность индикации данных,

3) контракт ADS (например, события, определяющие переход на повышенную скорость представления донесений),

4) точность датчиков,

5) надежность системы, и

6) возможности сквозной связи с точки зрения затрат времени на передачу данных, и

c) независимое наблюдение (радиолокационное)

1) тип датчика (первичный или вторичный),

2) зона действия,

3) задержки при обработке данных и при других связанных с ней операциях,

4) точность измеренного местоположения после обработки данных,

5) частота обновления данных,

6) точность индикации данных, и

7) надежность системы

3 5 Навигационные характеристики воздушных судов

a) требуемые навигационные характеристики (RNP),

b) типичные и нетипичные характеристики (например MASPS/MOPS), (см документы RTCA SC181), и

c) точность указания времени

3 6 Возможности организации потоков (способность системы УВД обеспечить управление воздушным движением)

a) стратегическая организация потоков воздушного движения,

b) тактическая организация потоков воздушного движения,

c) специальное ограничение или расширение возможностей УВД "с учетом обстоятельств", и

d) процедурные ограничения (например, на основе местных правил производства полетов)

3 7 Средства организации воздушного движения для снижения рабочей нагрузки диспетчеров или расширения возможностей вмешательства диспетчеров

a) автоматизированные средства диспетчерского планирования, включая прогнозирование и разрешение конфликтных ситуаций,

b) индикаторы, используемые диспетчерами, и

c) оповещение о несоответствии (3-D) (то есть автоматические системы, которые оповещают органы УВД о любом отклонении воздушного судна от номинальной траектории полета)

Воздушные суда, оснащенные бортовыми системами предупреждения столкновений (БСПС)

3 8 Следует отметить, что в соответствии с инструктивным материалом, содержащимся в Приложении 11, оснащение системами БСПС воздушных судов в том или ином регионе не следует использовать для обоснования применения сокращенного минимума эшелонирования Однако наличие таких систем, возможно, следует учитывать при рассмотрении возможности применения сокращенных интервалов эшелонирования, поскольку в системы БСПС может потребоваться внести изменения с целью предотвращения неприемлемо частых ложных оповещений

Глава 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЛАГАЕМОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА И СИСТЕМ CNS/ATM

ФАКТОРЫ, КОТОРЫЕ НЕОБХОДИМО УЧИТЫВАТЬ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ СИСТЕМЫ

4 1 При определении предлагаемой системы, и при выявлении таким образом изменений, которые необходимо внести в нынешнюю систему, специалист по планированию воздушного пространства может установить, что существует несколько элементов, которые могут быть изменены, и должен рассмотреть следующие вопросы

a) преимущества, которые будут получены в результате того или иного изменения отдельного элемента,

b) возможное влияние любого изменения на производство полетов и последующее переобучение, сроки внедрения, переходные периоды, а также стоимость нового оборудования, и

c) по мере возможности, выявить те изменения, которые обеспечили бы благоприятное соотношение преимуществ и затрат на внедрение данного изменения как для поставщика ОВД, так и для пользователей

4 2 Специалисту по планированию воздушного пространства следует также учитывать, что в некоторых случаях изменения одной характеристики воздушного пространства самого по себе окажется недостаточным для сокращения интервалов эшелонирования и могут потребоваться дополнительные изменения других элементов воздушного пространства, Например

a) требования АТМ в отношении оснащения воздушных судов утвержденным оборудованием типа RNP 1 могут также повлечь за собой необходимость обеспечения служб УВД автоматическими средствами помощи/поддержки и/или пересмотра навигационной инфраструктуры,

b) при интеграции систем ОВД в крупном регионе или государстве масштабы расширения возможностей систем ОВД в том или ином конкретном местном районе могут зависеть от относительного распределения ограниченных ресурсов, выделяемых на развитие ОВД, в рамках всего региона, то есть решения необходимо принимать на основе критерия затрат—выгод Пример распределения ограниченных ресурсов в связи с изменением в планировании воздушного пространства приводится в добавлении 12, и

c) в случае b) возможность внедрения местных сокращенных значений минимумов эшелонирования следует оценивать с учетом требований к воздушному движению во всем регионе или государстве, то есть в данном воздушном пространстве следует также учитывать пропускную способность и процедуры соседних воздушных пространств и необходимость согласованного внедрения

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РОСТА, ХАРАКТЕРИСТИК И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

4 3 Специалисту по планированию воздушного пространства следует тщательно проанализировать прогнозируемый рост воздушного движения, а также характеристики и распределение роста воздушного движения в пределах всего воздушного пространства Прогнозируемый рост воздушного движения может быть сосредоточен на отдельных маршрутах, а не распределяться равномерно в пределах всего воздушного пространства Изменения в структуре потребителей, экономической активности, предпочтениях при поездках, создание новых аэропортов и т д могут привести к перераспределению простого роста в пользу других маршрутов, что, в свою очередь, скажется на расчетных значениях параметров, непосредственно влияющих на уровень риска в воздушном пространстве У многих авиационных полномочных органов имеются специалисты по прогнозированию воздушного движения, и у них следует запросить подробную информацию о прогнозируемой потребности в воздушном движении

Глава 5

ВЫБОР МЕТОДА АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ СИСТЕМЫ

АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ

5 1 Безопасность системы зависит от ряда характеристик воздушного пространства (см главу 3) В тех случаях, когда соответствующие характеристики предлагаемой системы выявлены и определены в количественном отношении, для определения того, обеспечивает ли система приемлемый уровень безопасности, могут использоваться два основных метода

a) сравнение с эталонной системой, и

b) оценка риска системы относительно установленной пороговой величины

Сравнение с эталонной системой

5 2 Сравнение с эталонной системой является "относительным" методом, то есть все необходимые характеристики предлагаемой системы сравниваются с соответствующими характеристиками эталонной системы, которая считается безопасной Если можно доказать, что предлагаемая система аналогична эталонной системе или лучше ее по всем относящимся к безопасности аспектам, она может также считаться безопасной Очевидно, что самый важный аспект такого подхода заключается в выявлении подходящего эталонного воздушного пространства, которое, за незначительными изменениями, может содержать в себе нынешнюю систему, и в доказательстве того, что предлагаемая система в достаточной степени аналогична и, следовательно, такой подход является оправданным Этот метод подробнее рассматривается в главе 6

Метод количественной оценки

5 3 Оценка риска системы относительно установленной пороговой величины является абсолютным методом, при котором после выявления и количественного определения всех относящихся в безопасности характеристик системы устанавливается явная взаимосвязь между этими характеристиками и риском столкновения, которая используется для оценки безопасности системы Затем полученная расчетная величина сопоставляется с максимальным допустимым риском, например, установленным уровнем безопасности Расчет риска для любого воздушного пространства — весьма сложный процесс, и для него может потребоваться большой объем данных по всем аспектам характеристик системы Выбор подходящей величины максимального уровня риска также может вызвать затруднения

5 4 Хотя метод оценки может оказаться сложным и потребовать больших затрат времени, проведение такой оценки является единственно возможным способом проверки в тех случаях, когда планируется радикальное изменение, которое ранее не испытывалось в других регионах Несомненное преимущество этого метода заключается в том, что после выявления критических с точки зрения безопасности параметров и моделирования их воздействия на риск столкновения можно изменять значения различных параметров с целью определения наиболее подходящего способа достижения необходимых улучшений в данном воздушном пространстве Подробное описание такого подхода приводится в главе 6

5 5 Приведенная на рис 5-1 блок-схема иллюстрирует процесс принятия решений, который следует использовать при выборе соответствующей методики анализа безопасности предлагаемой системы

5 6 Предлагаемая система может считаться безопасной в том случае, если либо

a) доказано, что она по меньшей мере столь же безопасна, как и эталонная система, которая уже признана безопасной, либо

b) расчетная количественная величина риска предлагаемой системы не превышает заранее определенного приемлемого уровня риска

5.7 Если любое из этих условий выполняется, то специалист по планированию воздушного пространства может перейти к этапу внедрения и контроля. Если ни одно из них не выполняется, то предлагаемую систему необходимо изменить таким образом, чтобы удовлетворялись критерии безопасности

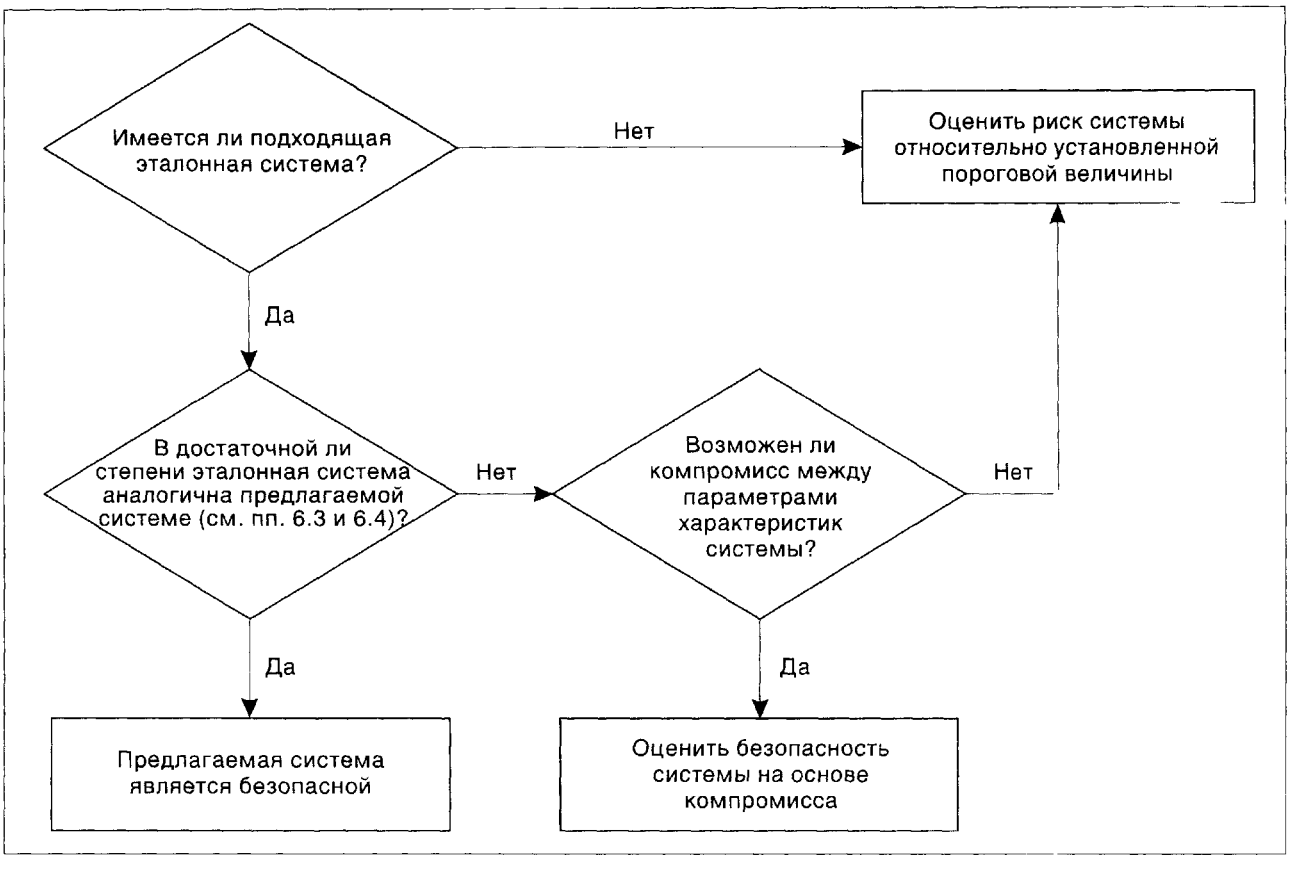


Рисунок 5-1. Выбор соответствующего метода анализа безопасности предлагаемой системы

Глава 6
МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ

СРАВНЕНИЕ С ЭТАЛОННОЙ СИСТЕМОЙ

6 1 При использовании метода эталонной системы расчетные характеристики предлагаемой системы сравниваются с характеристиками системы, которая уже считается приемлемо безопасной Если характеристики предлагаемой системы превосходят характеристики эталонной системы с точки зрения всех относящихся к безопасности аспектов или по меньшей мере не уступают им, то предлагаемую систему также можно считать приемлемо безопасной Если характеристики предлагаемой системы лучше с точки зрения некоторых факторов, а с точки зрения других хуже, то может оказаться возможным изменить одни из них за счет других, чтобы оценить, будет ли предлагаемая система безопасной Однако при использовании этого подхода необходима определенная осторожность

6 2 Первый шаг заключается в выборе эталонной системы для проведения сравнения Выбранная эталонная система должна быть признана безопасной При выборе эталонной системы существует две возможности

a) проводить сравнение с системой, описанной в добавлении 4, или

b) найти другую существующую систему, безопасность которой доказана

6 3 Какая бы эталонная система ни была выбрана, любое сравнение с точки зрения безопасности будет достоверным только в том случае, если она в достаточной степени похожа на предлагаемую систему Следует обратить внимание на уровень обслуживания воздушного движения в эталонном и предлагаемом воздушном пространстве согласно классификации воздушного пространства ИКАО Уровень обслуживания воздушного движения в предлагаемой системе должен по меньшей мере быть таким же, что и в эталонной системе

6 4 Минимальные требования, которые позволяют считать эталонную систему в достаточной степени похожей на предлагаемую систему, следующие

a) в предлагаемой системе минимумы эшелонирования должны быть не меньше, чем в эталонной системе,

b) предлагаемые средства связи и наблюдения с точки зрения точности, надежности, целостности и готовности должны быть не хуже, чем в эталонной системе,

c) частота и продолжительность применения минимального интервала эшелонирования воздушных судов в предлагаемой системе должны быть не больше, чем в эталонной системе, и

d) навигационные характеристики (типичные и нетипичные) участвующих в воздушном движении воздушных судов с точки зрения влияния на риск столкновения в любом измерении в предлагаемой системе должны быть не хуже, чем в эталонной системе

6 5 Безопасность системы, описанной в добавлении 4, проверена на основе моделирования риска столкновения или в результате многолетней эксплуатационной практики Если в качестве эталонной выбрана какая-либо другая находящаяся в эксплуатации система, то необходимо проявлять большую осторожность Трудность заключается в том, чтобы убедиться, что безопасность эталонной системы установлена должным образом, и обеспечить учет всех характерных параметров эталонной системы Например, необходимо доказать, что эталонная система была безопасной в течение длительного времени, выражаемого количеством часов полета в системе Однако в некоторых случаях, например, если речь идет о системах с низкой плотностью воздушного движения, срок эксплуатации, необходимый для накопления достаточно большого числа летных часов, подтверждающего безопасность системы, может оказаться практически недостижимым Поэтому необходимо изыскать другие средства, позволяющие убедиться в безопасности эталонной системы

6 6 В тех случаях, когда для внедрения предлагаемой системы необходимо относительно незначи-

тельное изменение уже существующей системы и, следовательно эталонной системой по сути является существующая система, вопрос заключается в том, приведет ли данное изменение к неблагоприятным последствиям с точки зрения безопасности Например, в Японии было предложено использовать систему на основе вторичного обзорного радиолокатора (ВОРЛ) дальнего действия с радиусом действия 250 м миль для контроля за воздушным пространством, прилегающим к океаническому переходному району Для оценки возможности использования ВОРЛ дальнего действия для наблюдения за данным воздушным пространством в рамках эксперимента была установлена система ВОРЛ дальнего действия в сочетании с обычной системой ARSR/ВОРЛ с радиусом действия 200 м миль Поскольку все другие характеристики воздушного пространства, кроме качества наблюдения, оставались неизменными, то потребовалось лишь сравнить точность измерения двух радиолокационных систем Было установлено, что предполагаемое исключительное использование системы дальнего действия обеспечило бы повышение точности в пределах всей зоны действия по сравнению с использованием обычной системы Наконец, исходя из того, что безопасность системы не пострадает, была внедрена новая система В добавлении 6 приводится более подробное описание этого анализа Следует отметить, что изменение минимумов эшелонирования нельзя считать незначительным изменением

6 7 Если имеется эталонная система, которая, однако, не удовлетворяет одновременно всем четырем критериям, приведенным в пункте 6 4, возможно, все же удастся оценить безопасность на основе компромисса между различными параметрами характеристик системы Такой анализ должен быть проще полного анализа риска системы Компромисс возможен в отношении всех различных наборов параметров характеристик системы, приведенных в подпунктах a) — d) пункта 6 4 Особый интерес представляют два представленных ниже примера

1) Рассмотрим случай, когда эталонной системой является существующая система и когда необходимо проанализировать ее безопасность в связи с предлагаемым сокращением минимумов бокового эшелонирования в результате улучшения навигационных характеристик при условии, что все другие характеристики остаются прежними, то есть связь, наблюдение и частота применения минимумов эшелонирования Однако в свете требования a) пункта 6 4 (согласно которому в предлагаемой системе минимумы эшелонирования должны быть не меньше, чем в эталонной системе) эталонная система не является в достаточной степени аналогичной предлагаемой системе В этом случае по-видимому достаточно изучить только взаимосвязь между навигационными характеристиками и минимумами эшелонирования, выражаемую через вероятность перекрытия в боковом измерении

2) Рассмотрим случай, когда в эталонной системе и в предлагаемой системе используются одни и те же минимумы бокового эшелонирования и одни и те же средства связи и наблюдения, однако частота применения минимумов эшелонирования и навигационные характеристики различны С учетом безопасности эталонной системы, было бы достаточным изучить компромисс между двумя характеристиками — занятостью и вероятностью перекрытия в боковом измерении Пример такого случая приводится на рис 7-1 в добавлении 7

6 8 После выбора эталонной системы специалист по планированию воздушного пространства должен предпринять следующие шаги для оценки сравнительной безопасности обеих систем

1) Подробно описать различия и сходные элементы обеих систем Это необходимо сделать в отношении всех критериев, перечисленных в главе 3

2) По каждому критерию, оценить, каким образом любые различия между системами повлияли бы на риск столкновения Это можно сделать с использованием математических методов и/или на основе экспертной оценки с эксплуатационной точки зрения Однако особое внимание необходимо уделить выявлению ситуаций, в которых влияние на риск столкновения противоположно интуитивному Например, повышение навигационной точности в боковом измерении, хотя и снижает риск столкновения в боковом измерении, может в действительности увеличить риск столкновения в продольном или вертикальном измерении Кроме того, в тех случаях, когда риск определяется в основном наличием значительных ошибок при выполнении полетов, повышение навигационной точности в боковом измерении может даже увеличить риск столкновения в боковом измерении

3) По каждому критерию, убедиться в том, что предлагаемая система по меньшей мере столь же безопасна, как и эталонная система В качестве альтернативы может быть использован компромисс между факторами, уступающими по характеристикам эталонной системе и превосходящими ее

ОЦЕНКА РИСКА СИСТЕМЫ ОТНОСИТЕЛЬНО УСТАНОВЛЕННОЙ ПОРОГОВОЙ ВЕЛИЧИНЫ

6 9 Второй метод определения безопасности предлагаемой системы заключается в оценке риска столкновения в данной системе и последующем сравнении его с предварительно установленным максимально допустимым риском столкновения Если расчетный риск ниже максимально допустимого риска и предполагается, что такое положение сохранится на протяжении всего предусмотренного срока службы новой системы, то предлагаемая система может считаться приемлемо безопасной

6 10 Общие принципы такого подхода представлены в виде блок-схеме на рис 6-1 Весь процесс состоит из следующих этапов

1) Определение системы

   Определяются масштабы исследования, дается определение рассматриваемого воздушного пространства, устанавливаются проблемы, которые необходимо решить, и характер предлагаемых изменений В главах 3 и 4 кратко изложены некоторые из аспектов системы, которые могут требовать уточнения

2) Установление критериев оценки

   Этот этап связан с выбором критериев безопасности, на основании которых будут оцениваться предлагаемые изменения В случае минимумов эшелонирования для этого необходимо определить максимальный приемлемый риск столкновения

3) Выявление опасностей

   Выявление всех возможных опасностей, то есть любых событий или сочетания событий, которые могут привести к столкновению, предполагает подробное изучение функционирования целевой системы, которое предусмотрено на этапе 1

4) Определение расчетной частоты возникновения опасностей и моделирование последствий

   Необходимо рассчитать вероятность возникновения каждой опасности По мере возможности следует использовать конкретные данные, относящиеся к авиации, однако, если такие данные отсутствуют, можно использовать характерные данные исследований по вопросам безопасности в других отраслях Информация, полученная на этапе 1, будет играть важную роль в этом процессе Одновременно с определением расчетной частоты возникновения опасностей необходимо изучить последствия каждой из выявленных опасностей

5) Определение расчетного риска и его оценка

   На основе объединения результатов определения расчетного риска и моделирования последствий определяется общий расчетный риск Расчетный риск сравнивается с критериями оценки, определенными на этапе 2

6) Меры по снижению риска

   Если расчетный риск не соответствует предварительно установленным критериям, необходимо изучить вопрос о том, каким образом можно уменьшить риск

Определение предлагаемой системы

6 11 Для оценки риска необходимо определить все аспекты предлагаемой системы Эти аспекты будут включать в себя описание системы, подробно рассматриваемое в главах 3 и 4 Необходимо будет также определить подробные характеристики системы (либо фактические, либо прогнозируемые) Количественные данные могут включать в себя частоту появления ошибок (например, навигационных ошибок), физические параметры воздушных судов (габаритные размеры, скорость и т д), предполагаемую потребность в воздушном движении и показатели номинальных характеристик (например, типичные навигационные характеристики) Эти данные можно получить посредством прямого изучения той или иной действующей системы, прогнозирования характеристик гипотетической системы или, в случае анализа опасностей, на основе экспертной оценки с привлечением опытных диспетчеров службы управления воздушным движением

6 12 Параметры системы, оказывающие наибольшее влияние на риск столкновения, можно разделить на три группы сближение воздушного судна с другими воздушными судами, навигационные характеристики и влияние наблюдения и связи

1) Сближение воздушного судна с другими воздушными судами

   Сближение типичного воздушного судна с другими воздушными судами в рамках системы является одним из основных факторов, определяющих риск столкновения В целях установления бокового эшелонирования маршрутов в рамках системы это сближение

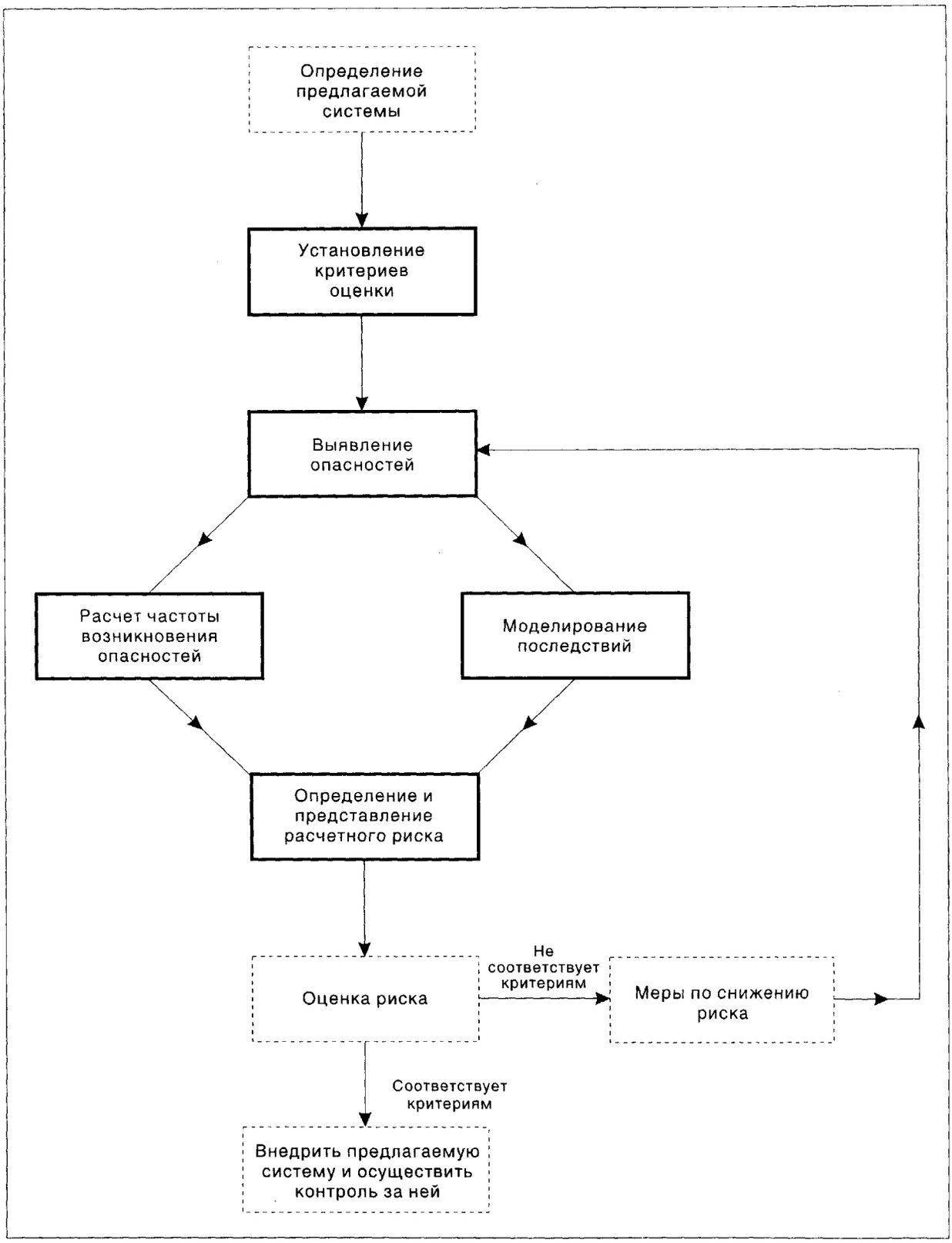


Рисунок 6-1. Процесс оценки риска

увязывается с частотой пролета относительно друг друга воздушных судов (как в одном, так и во встречных направлениях), выполняющих полеты на смежных маршрутах Для целей моделирования риска столкновения это может быть представлено в виде показателя занятости (см добавление С к главе 4 раздела 2 части II документа Doc 9426)

С целью установления минимумов продольного эшелонирования сближение воздушных судов представляется в виде распределения интервалов эшелонирования воздушных судов Оно оценивается посредством регистрации относительной частоты использования данного интервала продольного эшелонирования между парами воздушных судов в той или иной системе и построения частотной гистограммы

Как на боковое, так и на продольное сближение сильное влияние оказывают потоки воздушного движения и сложность маршрутов в данной системе Хотя между этими элементами и сближением воздушных судов не существует прямой аналитической зависимости, моделирование системы маршрутов с использованием распределения воздушного движения может позволить определить расчетную величину сближения Если моделирование окажется практически невозможным, расчетную величину сближения воздушных судов можно определить посредством изучения других аналогичных систем В любом из этих случаев может потребоваться введение мер контроля и тщательное отслеживание характеристик предлагаемой системы после ее внедрения с тем, чтобы сближение воздушных судов не превысило первоначальных расчетных значений

2) Навигационные характеристики

Установлено, что навигационные характеристики участвующих в воздушном движении воздушных судов являются одним из основных факторов, влияющих на риск столкновения На риск столкновения влияют навигационные характеристики в каждом из трех измерений, то есть боковом, продольном и вертикальном, и при установлении минимума эшелонирования необходимо учитывать все три компонента Важно осознавать, что риск столкновения в одном измерении прямо пропорционален точности навигации в других двух измерениях Навигационные характеристики являются одним из факторов, влияющих на риск, и применяемый стандарт навигационных характеристик имеет важнейшее значение в тех случаях, когда нормы эшелонирования выдерживаются с использованием информации о местоположении, предоставляемой службе управления воздушным движением через посредство зависимого наблюдения (донесения пилотов, ADS и, в отношении вертикального местоположения, радиолокатора ВОРЛ)

Навигационные характеристики в боковом измерении

Навигационные характеристики в боковом измерении участвующих в воздушном движении воздушных судов определяют вероятность перекрытия в боковом измерении Она служит показателем вероятности фактического перекрытия в боковом измерении двух воздушных судов, которые номинально эшелонированы Этот параметр является одним из ключевых элементов при определении риска столкновения в боковом измерении Риск столкновения в боковом измерении прямо пропорционален вероятности перекрытия в боковом измерении двух воздушных судов, которые номинально разделены расстоянием, равным минимуму бокового эшелонирования

В процедурном воздушном пространстве с системой параллельных линий пути и зависимым наблюдением на вероятность перекрытия в боковом измерении влияют как типичные, так и нетипичные навигационные характеристики Термин "типичные характеристики" используются здесь в отношении обычных незначительных погрешностей определения местоположения, которые имеют место в тех случаях, когда навигационные системы работают правильно, нетипичные характеристики возникают либо вследствие отказа навигационных систем, либо вследствие ошибки оператора и могут приводить к весьма значительным отклонениям от правильного местоположения Нетипичные характеристики можно измерить в виде доли полетного времени, в течение которого воздушное судно удалено от правильной линии пути на расстояние, превышающее половину минимума бокового эшелонирования, и доли полетного времени воздушного судна, в течение которого оно находится вблизи осевой линии другого маршрута

Относительное влияние этих двух источников погрешностей на вероятность перекрытия в боковом измерении может быть различным в зависимости от воздушного пространства Например, в воздушном пространстве Северной Атлантики, в котором действуют техни-

ческие требования к минимальным навигационным характеристикам (NAT MNPS), минимум бокового эшелонирования настолько велик, что нетипичные характеристики оказывают безусловно наибольшее влияние на вероятность перекрытия в боковом измерении и, соответственно, на риск столкновения При планировании системы с параллельными линиями пути следует крайне внимательно подходить к установлению достаточно больших интервалов эшелонирования, практически исключающих любой риск вследствие типичных погрешностей, а также к определению уровня нетипичных навигационных характеристик и последующему контролю за ними

Навигационная точность в боковом измерении имеет также важное значение при оценке риска столкновения в продольном измерении, хотя в этом случае наибольшее значение приобретают номинальные характеристики Это объясняется тем, что в случае нарушения продольного эшелонирования двух воздушных судов, номинально выполняющих полет по одной линии пути, столкновение возможно только в случае перекрытия в боковом измерении Риск столкновения в продольном измерении прямо пропорционален вероятности перекрытия в боковом измерении двух воздушных судов, номинально следующих по одной линии пути Влияние изменения среднего квадратичного отклонения всех участвующих в воздушном движении воздушных судов (примерно половина значения RNP, если допустить, что центральная часть распределения представлена нормальным распределением) приводится в таблице 6-1 Следует отметить, что повышение навигационной точности в боковом измерении фактически увеличивает риск столкновения в продольном измерении

Таблица 6-1 Вероятность перекрытия в боковом измерении

Значение RNP	*Среднее квадратичное отклонение ВС (м мили)*	*Вероятность перекрытия в боковом измерении*
1	0,51	0,0301
4	2,04	0,0075
5*	2,55	0,0060
10*	5,10	0l,0030
12,6	6,43	0,0024
20	10,20	0,0015
* Пример регионального применения		

Навигационные характеристики в продольном измерении

Риск столкновения в продольном измерении зависит также от типичных навигационных характеристик в продольном измерении, которые определяют вероятность нарушения продольного эшелонирования Поэтому важно установить ограничения для характеристик участвующих в воздушном движении воздушных судов в продольном измерении В типичном океаническом воздушном пространстве где применяются донесения пилотов в точках пути, выдерживание продольного эшелонирования зависит не только от способности пилотов определять местоположение воздушного судна в продольном измерении, но и от точности измерения времени всеми воздушными судами, выполняющими полеты в системе Точность измерения местоположения может регулироваться посредством выбора того или иного значения RNP Точность измерения времени может регулироваться посредством указания точности выдерживания времени отдельными воздушными судами В тех случаях, когда регулируются оба эти элемента, они вместе взятые ограничивают разброс значений расстояния, разделяющего воздушные суда, снижая тем самым и риск

В процедурном воздушном пространстве минимальный интервал продольного эшелонирования часто указывается в виде минимального времени между воздушными судами, следующими друг за другом по одной линии пути В этом случае интервал продольного эшелонирования, измеряемый в морских милях, зависит от скорости соответствующего воздушного судна Выдерживание правильного интервала продольного эшелонирования на протяженных маршрутах можно упростить посредством применения мер контроля скорости, например, метода числа Маха, при использовании которого от всех воздушных судов в системе требуется выдерживать постоянную скорость (см главу 2 раздела 2 части II документа Doc 9426) В этом случае исходный интервал продольного эшелонирования при входе в систему линий пути основывается на относительной скорости каждой пары следующих друг за другом воздушных судов и устанавливается для того, чтобы минимальный интервал эшелонирования на линии пути не нарушался на протяжении всего полета Применение метода числа Маха уменьшает разброс значений интервала эшелонирования между воздушными судами и уменьшает потребность во вмешательстве служб УВД с целью коррекции эшелонирования

Навигационные характеристики
в вертикальном измерении

Навигационные характеристики в вертикальном измерении определяются возможностями участвующих в воздушном движении воздушных судов выдерживать абсолютную высоту. Навигационные характеристики в вертикальном измерении не только имеют важное значение для установления требований к вертикальному эшелонированию (см. Doc 9574), но и, кроме того, номинальные характеристики влияют на риск столкновения в боковом и продольном измерениях. Если эшелонирование воздушных судов, номинально занимающих один эшелон полета, нарушается в обоих этих измерениях, столкновение произойдет лишь в случае перекрытия обоих воздушных судов и в вертикальном измерении. Поэтому риск столкновения в продольном или боковом измерении прямо пропорционален вероятности перекрытия в вертикальном измерении двух воздушных судов, номинально выполняющих полет на одной абсолютной высоте.

3) Влияние наблюдения и связи

Риск столкновения в данном воздушном пространстве непосредственно зависит от возможностей служб УВД обнаруживать воздушные суда, следующие по пересекающимся линиям пути, и исправлять положение до того, как может произойти столкновение. Возможности вмешательства со стороны служб УВД определяются эффективностью систем наблюдения и связи, имеющихся в распоряжении диспетчера службы управления воздушным движением. Безопасные минимумы эшелонирования в том или ином воздушном пространстве тесно связаны со средствами наблюдения и связи, имеющимися в распоряжении служб УВД. По мере отказа от использования в воздушных пространствах исключительно процедурных систем, улучшения, вносимые в системы наблюдения, связи и в наземные автоматические системы, вместе взятые, способствуют созданию более совершенной системы поддержки принятия решений диспетчерами и позволяют постепенно уменьшать интервалы эшелонирования, которые могут использоваться безопасно.

Одной из основных характеристик каналов связи между пилотом и диспетчером, влияющей на минимальный интервал эшелонирования, который может безопасно выдерживаться, является задержка при передаче необходимой информации. Необходимо также оценить надежность, готовность и целостность подсистемы связи для того, чтобы понять ее роль в общей системе поддержки принятия решений. В том случае, когда канал связи служит для передачи сообщений для целей зависимого наблюдения, параметры характеристик связи непосредственно связаны с функцией наблюдения, например, когда в качестве основного средства наблюдения используется ADS, характеристики используемого канала передачи данных оказывают непосредственное влияние на возможности наблюдения и вмешательства и, тем самым, на достижимые безопасные минимумы эшелонирования. В добавлении 8 в обобщенном виде представлен метод определения минимумов бокового эшелонирования в системе УВД, основанной на ADS.

Информация о состоянии и местоположении воздушных судов необходима для службы УВД. Эта информация может поступать с различной скоростью: от 30 минут или более при донесениях пилотов до 4—6 секунд (частота обновления радиолокационных данных). Какая бы система ни использовалась, необходимо оценить ее надежность, целостность и готовность, а также точность информации и любые задержки при представлении информации службе УВД.

Задержка при представлении информации диспетчеру связана с частотой обновления данных в системе наблюдения, а в некоторых случаях может определяться средствами автоматизации (например, при разрешении проблемы несовпадения времени представления донесений, поступающих от различных систем наблюдения). Кроме представления диспетчеру, в некоторых системах используется проверка соответствия в отношении отдельных воздушных судов или прогнозирование конфликтных ситуаций в отношении пар воздушных судов. Выбор пороговых значений для этих средств обеспечения принятия решений и связанных с ними уровней подачи сигнала оповещения будет влиять на безопасность системы.

Дополнительное повышение уровня безопасности, обеспечиваемое вмешательством диспетчера, можно оценить отчасти путем определения расчетной задержки с момента выявления диспетчером существования опасности столкновения до момента передачи указаний и реагирования воздушного судна.

Установление критериев оценки

6.13 Для оценки расчетной величины риска столкновения ее следует сравнить с максимальным допустимым риском столкновения в данной системе. Определение этого уровня риска представляет собой самостоятельный процесс с участием лиц, принимающих решения, которые представляют полномочные органы государств, региональные полномочные органы или технические группы экспертов ИКАО. Максимальный допустимый риск обычно выражается в виде TLS. В прошлом, когда TLS применялся в отношении риска столкновения на маршруте, он выражался в виде возможного числа катастроф в результате столкновений между воздушными судами на час полета (при этом одно столкновение между двумя воздушными судами рассматривается как две катастрофы). Хотя ИКАО согласилась с тем, что концепция глобального TLS является правомерной, показатель числа катастроф на час полета (применяемый, например, в регионе NAT) может не подходить для других регионов. ИКАО согласилась с разработкой и использованием других показателей при условии, что может быть доказано, что любое изменение минимумов эшелонирования или других параметров системы производится с учетом обязательного положения, согласно которому риск столкновения в результате нарушения эшелонирования, по любой причине, должен быть ниже риска при согласованном уровне безопасности системы.

6.14 Нынешний уровень риска в воздушном пространстве NAT, в котором действуют MNPS, оценивается по отношению к новому TLS в вертикальной плоскости, равному 5×10^{-9} катастроф вследствие столкновений на час полета в системе (для уровней RVSM), и по отношению к TLS, равному 2×10^{-8} катастроф вследствие столкновений на час полета в системе для других уровней, кроме RVSM. В первом показателе учитывается риск столкновения, связанный с навигационными характеристиками в вертикальном измерении, а также с ошибками служб УВД или пилота (ошибки при выполнении полетов). Второе значение используется также в горизонтальных (боковой и продольной) плоскостях. По мере внедрения сокращенных интервалов эшелонирования в горизонтальной плоскости риск системы в боковом и продольном измерениях будет также измеряться по отношению к новому TLS, равному 5×10^{-9} катастроф на час полета.

6.15 В инструктивном материале (*Руководство по применению минимума вертикального эшелонирования в 300 м (1000 фут) между эшелонами полета 290 и 410 включительно* (Doc 9574)) установлен TLS, равный $2{,}5 \times 10^{-9}$ катастроф на час полета в отношении риска столкновения, связанного с навигационными характеристиками в вертикальном измерении. Следует отметить, что риск, возникающий вследствие ошибок либо службы УВД, либо пилота, в данном TLS не учитывается.

6.16 Однако этот аспект учтен при полетах в режиме RVSM в регионе NAT посредством применения TLS в вертикальной плоскости, равного 5×10^{-9} катастроф вследствие столкновений на час полета в системе, как описано выше в пункте 6.14. По мере дальнейшего внедрения RVSM в глобальном масштабе этот TLS в вертикальной плоскости может использоваться в качестве ориентира другими группами регионального планирования.

6.17 RGCSP рекомендует выбирать величину 5×10^{-9} катастроф вследствие столкновений на час полета применительно к одному измерению в качестве эталонного TLS для систем, которые планируется внедрить после 2000 года в регионах, в которых использование этого показателя является целесообразным. Там, где применение этого показателя не является целесообразным, следует установить обоснованные альтернативные величины и методы оценки.

Выявление опасностей

6.18 Этап выявления опасностей предполагает изучение событий, которые способны привести к столкновению. Следует рассмотреть как ошибки оператора, так и системные отказы. Выявление опасностей обычно проводится с участием экспертов по всем аспектам системы, которые выявляют все возможные механизмы, которые способны привести к столкновению. Важными аспектами этого процесса являются точность навигационных систем, характеристики наблюдения и связи и используемые правила выполнения полетов. На примере региона NAT, который описывается в добавлении 4, были выявлены две основные причины, которые способны привести к нарушению эшелонирования: навигационные ошибки, которые способны привести к отклонению воздушного судна от заданной линии пути, и недоразумения или ошибки, допущенные летными экипажами или службами УВД, которые способны привести к следованию воздушного судна по неправильной траектории.

Определение расчетной частоты возникновения опасностей и моделирование последствий

6.19 Анализ частоты возникновения опасности, которая способны привести к нарушению эшелонирования, может основываться на изучении случаев, имевших место в прошлом, экспертной оценке или же проводиться при разработке структуры системы. Основная трудность при определении расчетной частоты и моделировании последствий в целях

анализа эшелонирования заключается в том, что представляющие интерес события, то есть события, ведущие к столкновениям, наступают редко и возникают затруднения с получением данных, основанных на непосредственных наблюдениях или на донесениях о событиях Поэтому определение расчетной частоты обычно сводится к определению расчетной частоты тех или иных нарушений эшелонирования, например, при оценке риска в регионе NAT (добавление 4) на основе наблюдений определяется расчетная доля времени нахождения на удалении до 10 м миль от осевой линии одного из смежных маршрутов Затем с помощью моделей последствий определяется расчетная вероятность столкновения при условии, что воздушное судно выполняет полет на удалении до 10 м миль от смежной линии пути Параметры системы, описанные в пункте 6 12, являются одним из важных элементов процесса определения расчетной частоты возникновения опасностей и моделирования последствий

6 20 В методах анализа опасностей, разработанных в других отраслях, учитывается проблема оценки частоты появления очень редких событий Это привело к разработке методов, которые могут использоваться для представления экспертной оценки в количественном выражении Эти методы предполагают привлечение групп экспертов-практиков, возглавляемых опытным руководителем, которые используют также большой объем данных о вероятной частоте появления ошибок, накопленных в других отраслях В случае отсутствия данных о частоте появления ошибок, вызванных той или иной конкретной причиной, эти характерные данные могут служить ориентиром в отношении вероятной частоты появления ошибок Однако следует отметить, что согласно имеющимся сведениям частота ошибок, допускаемых обученным персоналом в авиационной отрасли, меньше ожидаемой частоты появления ошибок в некоторых других отраслях В добавлениях 9 и 10 приводится более подробное описание примеров этого процесса

Определение расчетного риска и его оценка

6 21 Процесс определения расчетного риска предполагает объединение рисков столкновения в результате каждой из выявленных опасностей с целью определения расчетной величины общего риска На этом этапе важно, чтобы все риски были пересчитаны в такой же единый показатель, который используется для критериев оценки Как отмечалось в предыдущих главах, риск столкновения в системе зависит от широкого круга факторов Для оценки чувствительности расчетной величины риска по отношению к различным параметрам часто полезно представить риск в виде функции каждого из основных параметров, например, риск в зависимости от потребности в воздушном движении и риск в зависимости от навигационной точности в боковом измерении В случаях наличия прогнозируемых значений различных параметров полезным показателем может служить зависимость риска от календарного года

6 22 Процесс оценки риска предполагает построение в первую очередь математических моделей, в которых на основе подробной информации о системе определяется расчетная величина риска столкновения (см добавление В к главе 4 части II документа Doc 9426) Три примера этого процесса описаны в добавлениях 4, 5 и 11 В добавлении 4 описывается анализ бокового эшелонирования в 60 м миль в регионе NAT, а в добавлении 5 описывается анализ продольного эшелонирования в 50 м миль в Азиатском/Тихоокеанском регионе В добавлении 11 рассматриваются вопросы, относящиеся к анализу системы ОВД с целью обеспечения соответствия целевым показателям безопасности и пропускной способности, а также обоснованного выбора требований к компонентам системы В добавлениях 9 и 10 описывается альтернативный метод, основанный на процессе анализа опасностей, при котором расчетные величины риска определяются путем экспертной оценки и сравнения с полетами в других аналогичных условиях В некоторых случаях может оказаться необходимым лишь определить и оценить изменения по сравнению с ранее проводившимся анализом в другом воздушном пространстве При анализе этих изменений главное внимание рекомендуется уделять основным параметрам системы, упоминаемым в настоящем разделе

6 23 Если показатели расчетного риска и критерии оценки одинаковы, то оценка риска представляет собой простую задачу, предполагающую прямое сравнение двух величин Поскольку расчетная величина риска характеризуется высоким уровнем неопределенности, может оказаться необходимым определить в количественном выражении статистическую достоверность того, что истинный уровень риска будет ниже пороговой величины Для решения этой проблемы, возможно, достаточно будет определить расчетные величины на основе консервативных допущений и, тем самым, определить расчетный верхний предел риска

Меры по снижения риска

6 24 Меры, направленные на снижение риска, следует использовать в тех случаях, когда расчетная величина общего риска превышает предварительно установленную пороговую величину и когда установлено, что тот или иной конкретный элемент системы оказывает непропорционально большое влияние на

риск, при условии, что связанные с этим затраты будут приемлемыми. Проведение подробной оценки риска позволяет упростить выявление эффективных процедур снижения риска, поскольку обеспечивает возможность прямого анализа влияния изменений на различные параметры системы. В главе 7 описаны некоторые из элементов, которые могут быть рассмотрены с точки зрения внесения изменений.

Глава 7
ВНЕСЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В ПРЕДЛАГАЕМУЮ СИСТЕМУ

СНИЖЕНИЕ РИСКА

7 1 Если в результате анализа риска установлено, что предлагаемая система неприемлема, специалист по планированию воздушного пространства может счесть целесообразным вновь рассмотреть элементы, указанные в описании предлагаемой системы (см главу 3), и попытаться найти средства, позволяющие снизить риск Специалист по планированию воздушного пространства может решить

a) изменить уровень обслуживания воздушного движения

Этот вариант может потребовать изменения разделения ОВД на секторы с целью использования возможностей современных технологий CNS/ATM и технологий, применяемых на воздушных судах

b) изменить структуру маршрутов

Например, если первоначально была выбрана система двунаправленных маршрутов, возможно, использование однонаправленных или параллельных маршрутов может снизить риск до приемлемого уровня и обеспечить эффективность выполнения полетов (то есть снизить рабочую нагрузку служб УВД)

c) пересмотреть предлагаемые минимумы эшелонирования

Если первоначально предполагалось сократить минимумы эшелонирования, специалист по планированию воздушного пространства может рассмотреть возможность менее значительного сокращения или воспользоваться другими способами увеличения пропускной способности воздушного пространства

d) снизить степень сложности воздушного пространства

Посредством изменения расположения маршрутов возможно удастся уменьшить число пересекающихся линий пути, линий пути во встречных направлениях или частоту полетов воздушных судов с набором высоты и снижением в одном воздушном пространстве Еще одним вариантом, хотя, вероятно, он имеет ограничительный характер, могло бы стать разделение воздушного движения по признаку характеристик и/или оснащенности воздушных судов

e) установить более высокий уровень требуемых навигационных характеристик

Использовать более низкий тип RNP с целью улучшения навигационных характеристик и/или, в случае продольного эшелонирования, повысить точность выдерживания времени воздушными судами посредством введения требования об обязательном оснащении воздушных судов оборудованием измерения времени, соответствующим установленным уровням характеристик При этом специалист по планированию воздушного пространства должен учитывать, что изменение типа RNP приведет к необходимости использования другого набора MASPS и MOPS и, вследствие этого, может привести к исключению некоторых воздушных судов из данного воздушного пространства Кроме того, изменение типа RNP может потребовать совершенствования наземной инфраструктуры

f) улучшить возможности связи

Внедрить более эффективные средства связи с точки зрения скорости или надежности, например, посредством перехода от ВЧ к ОВЧ или от ВЧ к CPDLC Улучшение связи между диспетчерами (между органами ОВД и внутри органов ОВД) может снизить риск столкновения благодаря снижению рабочей нагрузки диспетчеров

g) улучшить возможности наблюдения

В тех случаях, когда единственным доступным вариантом является процедурное наблюдение, может быть установлено требование более

частого представления донесений пилотов При использовании независимого наблюдения (радиолокационного) улучшение характеристик радиолокационной системы (например, зоны действия, частоты обновления данных, применение моноимпульсного метода) может также способствовать снижению риска В районах, в которых независимое наблюдение невозможно, может быть внедрено ADS Если в первоначальном предложении предусматривалось использование ADS, специалист по планированию может рассмотреть возможность изменения контракта ADS (например, повышения основной частоты обновления данных ADS о местоположении), улучшения вспомогательной системы связи, обеспечивающей передачу данных (например, уменьшения задержки при передаче), или увеличения минимумов эшелонирования

h) внедрить или улучшить возможности организации потоков

Если в первоначальном предложении не предусматривалась возможность регулирования потребности в воздушном движении, внедрение организации потока воздушного движения (ATFM) может способствовать снижению риска посредством уменьшения максимальной потребности в воздушном движении и, тем самым, снижения подверженности воздушных судов риску столкновения Однако следует напомнить, что внедрение ATFM повлияет на пропускную способность В тех случаях, когда используется та или иная форма стратегической ATFM, улучшение может быть обеспечено посредством внедрения тактической ATFM или повышения эффективности в представляющем интерес регионе, например, посредством централизации ATFM

i) внедрить или улучшить средства организации воздушного движения (ATM)

Снижение рабочей нагрузки диспетчеров за счет внедрения средств оповещения о несоответствии может оказать значительное влияние на риск, например, в случае независимых линий пути с небольшим разделительным интервалом Применение автоматических средств диспетчерского планирования позволяет уменьшить число потенциальных конфликтных ситуаций и, тем самым, снизить рабочую нагрузку диспетчеров, что, в свою очередь, повышает возможности для вмешательства со стороны диспетчера Усовершенствованные диспетчерские индикаторы способствуют снижению рабочей нагрузки диспетчеров, а также дают возможность диспетчеру более легко выявлять потенциальные конфликтные ситуации

7 2 Специалисту по планированию воздушного пространства следует рассмотреть все перечисленные выше варианты, а также любые другие имеющиеся возможности Необходимо выявить варианты, которые могут быть улучшены при сохранении у специалиста по планированию возможности достижения первоначальной цели — внедрения необходимого изменения При рассмотрении вариантов, допускающих внесение изменений, следует учитывать, что достигаемые преимущества должны быть более существенными, чем затраты поставщиков и пользователей

Глава 8
ВНЕДРЕНИЕ И КОНТРОЛЬ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

8 1 Сокращенные минимумы эшелонирования могут внедряться тремя способами

1 Воздушное пространство, в котором должен применяться тот или иной конкретный минимум эшелонирования, может быть определено в соответствующих документах с указанием конкретных вертикальных и горизонтальных пределов (например, воздушное пространство NAT MNPS)

2 Поставщики ОВД могут обозначить конкретный маршрут или маршруты, на которых применяется конкретный минимум эшелонирования

3 Поставщики ОВД могут принять решение о применении того или иного минимума эшелонирования на тактической основе в отношении воздушных судов, утвержденных для выполнения полетов с использованием данного минимума (например, утверждение RNP-4, RVSM)

8 2 Внедрение и дальнейшее применение любого сокращенного минимума эшелонирования или разделения маршрутов должно осуществляться с учетом обязательного требования, согласно которому риск столкновения в результате нарушения эшелонирования, по любой причине, должен быть ниже риска при согласованном уровне безопасности системы (см пункт 6 13)

НЕОБХОДИМОСТЬ В КРИТЕРИЯХ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ

8 3 Все воздушные суда, к которым применяются минимумы эшелонирования, должны быть оснащены оборудованием, обслуживаться и эксплуатироваться в соответствии с правилами соответствующего государства, относящимися к летной годности и эксплуатации Это может потребовать разработки технических требований к минимальным характеристикам бортовых систем

8 4 Хотя единые процессы закупки наземного оборудования могут не потребоваться, необходимо будет обеспечить соответствие характеристик наземного оборудования планируемому эшелонированию С учетом этого необходимо будет разработать единые стандарты для характеристик наземного оборудования и обеспечить проектирование и монтаж наземного оборудования в соответствии с этими стандартами

НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ В ПРАВИЛА ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

8 5 Для использования в полном объеме подлежащих применению минимумов эшелонирования необходимо будет разработать правила организации и управления воздушным движением Такие правила необходимы для обеспечения полетов в пересмотренном воздушном пространстве и должны разрабатываться государствами-поставщиками ОВД индивидуально или на региональной основе При этом им, возможно, потребуется координировать свои действия с соответствующей группой регионального планирования ИКАО

НЕОБХОДИМОСТЬ УТВЕРЖДЕНИЯ

8 6 Все воздушные суда, которые предполагается эксплуатировать в воздушном пространстве с данным типом RNP, должны быть утверждены для выполнения полетов соответствующим авиационным полномочным органом Следует отметить, что процессы утверждения воздушных судов, описанные, например, в MASPS для RNP, будут, в случае соответствия требованиям ИКАО, служить для поставщиков услуг и пользователей воздушного пространства гарантией того, что при работе оборудования будут соблюдаться утвержденные допуски

НЕОБХОДИМОСТЬ КОНТРОЛЯ

8 7 Эффективные процессы и программы утверждения воздушных судов и эксплуатантов

являются основными элементами, обеспечивающими соответствие стандартам навигационных характеристик воздушных судов и выдерживание стандартов безопасности воздушных судов Процесс контроля является функцией контроля качества, которая используется для обеспечения уверенности поставщиков ОВД и пользователей в том, что программы утверждения действительно применяются эксплуатантами воздушных судов Контроль должен осуществляться в ходе проверки и эксплуатационных испытаний, ведущих к внедрению стандарта сокращенного эшелонирования Однако после того, как появится уверенность в действенности программ утверждения воздушных судов и эксплуатантов, можно будет уменьшить сложность и масштабы программ контроля или отменить их, например, программы сертификации и технического обслуживания воздушных судов могут оказаться в достаточной степени пригодными для обеспечения требуемых характеристик участвующих в воздушном движении воздушных судов, что позволит отказаться от соответствующей программы контроля

8 8 Контроль может осуществляться по нескольким направлениям подборка конкретных данных, обязательные донесения об инцидентах, специальные донесения об инцидентах, тактический контроль со стороны полномочных органов службы воздушного движения или установленный порядок действий летного экипажа и технического обслуживания, а также региональные программы контроля, которые могут быть разработаны в отношении конкретных параметров риска, таких, как в воздушном пространстве с MNPS, годовая доля крупных ошибок и среднее квадратичное отклонение от центральной части распределения характеристик

8 9 Контроль может осуществляться с целью анализа многих различных параметров навигационных характеристик, характеристик вмешательства (наблюдения и связи), плотности воздушного движения, эффективности правил, последствий рабочей нагрузки диспетчеров или других характеристик системы

8 10 Если в процессе контроля выяснится, что характеристики выходят за установленные пределы, потребуется принять корректирующие меры с целью восстановления соответствия системы установленным требованиям Может быть рассмотрен ряд вариантов, а именно

a) совершенствование программ подготовки для отдельных эксплуатантов или поставщиков ОВД,

b) изменение процедур УВД,

c) ограничение потребностей,

d) изменение структуры маршрутов или классификации воздушного пространства (уровня обеспечиваемого ОВД), и

e) увеличение минимумов эшелонирования

ВОПРОСЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ВНЕДРЕНИЮ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

8 11 Необходимо будет разработать программу мер УВД с целью содействия сокращению минимумов эшелонирования в том или ином воздушном пространстве Масштаб этих задач будет зависеть от характера конкретного рассматриваемого воздушного пространства Следует учитывать следующие относящиеся к минимуму соображения

a) оценить существующую зону действия наблюдения и связи в рассматриваемом воздушном пространстве,

b) разработать план изменения маршрутов в рассматриваемом воздушном пространстве,

c) оценить и обеспечить необходимые изменения в программном обеспечении систем обработки полетных данных (FDPS) и систем обработки радиолокационных данных (RDPS),

d) разработать план решения вопросов ATFM,

e) разработать план и внести изменения в разделение воздушного пространства на секторы в случае необходимости,

f) обеспечить интеграцию военных воздушных судов в рассматриваемое воздушное пространство (могут потребоваться специальные гражданские/военные процедуры),

g) изучить необходимость в моделировании в ускоренном режиме и в режиме реального времени,

h) разработать план и провести моделирование в случае необходимости,

i) оценить и обеспечить механизм сопряжения измененного воздушного пространства и соседнего воздушного пространства — для этого может потребоваться разработать специальные процедуры в районах перехода,

j) оценить последствия с точки зрения ресурсов ОВД, например, наличие подготовленного персонала, и

k) разработать план, составить и осуществить программы подготовки диспетчеров в случае необходимости.

СРОКИ ВНЕДРЕНИЯ

8.12 В начале процесса планирования необходимо установить реалистичные сроки внедрения. Внедрение минимумов эшелонирования на местной основе может быть связано с незначительными трудностями и, следовательно, с коротким циклом внедрения. Однако не следует недооценивать последствий значительного сокращения минимумов эшелонирования и разделения маршрутов. Ниже приводятся некоторые из соображений, которые необходимо учитывать при планировании сроков внедрения:

a) требования к переоборудованию воздушных судов и внесение необходимых изменений в наземную инфраструктуру могут оказаться сложными, привести к большим затратам времени и средств;

b) может возникнуть необходимость в исследовании роли человеческого фактора с целью определения степени автоматизации работы диспетчеров службы управления воздушным движением, необходимой для обеспечения безопасного внедрения предлагаемых минимумов эшелонирования;

c) необходимость в зачастую дефицитных средствах моделирования может неблагоприятно сказаться на сроках внедрения; и

d) во многих случаях в начале этапа планирования внедрения потребуется провести исследования затрат—выгод с целью обеспечения своевременного финансирования как со стороны эксплуатантов, так и со стороны администраций.

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ О ВНЕДРЕНИИ

8.13 После выполнения критериев анализа безопасности может быть принято решение о внедрении планируемого минимума эшелонирования или разделения маршрутов и начато осуществление соответствующего контроля. Одним из способов содействия принятию этого решения является организация практической демонстрации и внедрение как можно большего числа мер, которые связаны с внедрением предлагаемого эшелонирования и необходимы для него, за исключением собственно планируемого эшелонирования.

8.14 В ходе этой практической демонстрации можно осуществлять контроль за характеристиками системы до тех пор, пока не появится достаточная уверенность в том, что сопутствующие программы эффективны и что выбранный установленный уровень безопасности может быть достигнут. Заключительный этап предполагает принятие решения о внедрении планируемого сокращения после того, как будет установлено наличие достаточных гарантий того, что процесс может быть успешно внедрен и что безопасность не будет поставлена под угрозу.

Добавление 1

ОБЩАЯ МОДЕЛЬ РИСКА СТОЛКНОВЕНИЯ НА ОДНОЙ И ПЕРЕСЕКАЮЩИХСЯ ТРАССАХ ДЛЯ СЛУЧАЯ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ, ОСНОВАННОГО НА РАССТОЯНИИ

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящем добавлении представлена новая модель, предназначенная для случая оценки риска столкновения при эшелонировании, основанном на расстоянии, как на одной так и на пересекающихся трассах. Данная модель базируется на хорошо отработанной модели Райха (справочные материалы 19, 20 и 21), но представленная здесь логика преобразований является новой и демонстрирует общую применимость метода.

2. МЕТОДОЛОГИЯ

2.1 Предположим, что случайно выбранная пара воздушных судов, не обязательно на одном и том же эшелоне, осуществляет перелет через океан по одной или пересекающимся трассам. Обозначим через T_C среднее время перелета через океан. Пусть Prob{X} означает вероятность появления события X и определим

$$C_p = \text{Prob}\{\text{пара сталкивается за время пересечения океана}\}. \quad (1)$$

2.2 Так же, как и в модели Райха, представим воздушное судно простой геометрической фигурой. В данном добавлении будем полагать, что воздушные суда представляются круговыми цилиндрами диаметром λ_{xy} и высотой λ_z. Используем геометрию, аналогичную геометрии модели Райха, где одно воздушное судно, здесь воздушное судно 1, представляет собой цилиндр радиуса λ_{xy}, высотой $2\lambda_z$, который обозначим C. Другое воздушное судно, воздушное судно 2, – точка, которую обозначим через P. Очевидно, чтобы имело место столкновение, P должна проникнуть в C через боковую поверхность либо через верх или низ. Также очевидно, что горизонтальное перекрытие двух воздушных судов будет иметь место, когда P проникает в бесконечный цилиндр радиуса λ_{xy}, полученный продолжением вверх и вниз цилиндра, представляющего воздушное судно 1. Таким образом,

$$C_p = \text{Prob}\{\text{P проникает в C} \mid \text{P проникает в бесконечный цилиндр}\} \times \text{HOP}(T_C), \quad (2)$$

где $\text{HOP}(T_C)$ обозначает вероятность того, что пара воздушных судов будет иметь горизонтальное перекрытие за время пересечения океана.

2.3 Теперь, чтобы вычислить Prob{P проникает в C | P проникает в бесконечный цилиндр}, обозначим через ℓ_{xy} среднее горизонтальное расстояние при пересечении цилиндра радиуса λ_{xy}, которое будет определяться как

$$\ell_{xy} = \pi \lambda_{xy} /2. \tag{3}$$

Если в момент проникновения точки P в бесконечный цилиндр она имеет относительную скорость V_{rel}^{C}, то пересечение цилиндра займет время

$$\tau_{xy} = \frac{\ell_{xy}}{V_{rel}^{C}}. \tag{4}$$

В течение этого времени P продвигается вертикально на расстояние $z = |\dot{\bar{z}}| \times \tau_{xy}$. Таким образом, эффективная толщина цилиндра, представляющего столкновение, будет

$$2\lambda_z \times \left(1 + \frac{|\dot{\bar{z}}|}{2\lambda_z} \cdot \frac{\pi\lambda_{xy}}{2V_{rel}^{C}}\right).$$

2.4 Таким образом, если вероятность одновременного вертикального перекрытия двух воздушных судов высотой λ_z, номинально разделенных по вертикали на расстояние h_z, в момент горизонтального перекрытия обозначается как $P_z(h_z)$, и допуская, что $P_z(h_z)$ изменяется линейно от λ_z на рассматриваемых малых расстояниях, получаем:

$$\text{Prob\{P проникает в C | P проникает в бесконечный цилиндр\}} = P_z(h_z) \times \left(1 + \frac{|\dot{\bar{z}}|}{2\lambda_z} \cdot \frac{\pi\lambda_{xy}}{2V_{rel}^{C}}\right). \tag{5}$$

2.5 Для перехода от столкновения пары воздушных судов к катастрофам на летный час умножаем на 2 × NP, где NP определяется как число пар, приходящихся на летный час. Заметим, что для случая продольного эшелонирования число пар по существу такое же, как число воздушных судов, и NP = $1/T_C$. Для случая горизонтального эшелонирования на пересекающихся трассах это может быть не так. Большинство пар, в этом случае, будет образовываться каждым воздушным судном, проходящим точку пересечения по одной трассе, с двумя воздушными судами на другой трассе, осуществляющими пересечение непосредственно перед данным воздушным судном и сразу после него. Подобная ситуация не очень вероятна и на практике NP зачастую существенно меньше 1. Чтобы сохранить общий вид модели, введем множитель NP и запишем окончательно риск столкновения в единицах катастроф на летный час

$$\text{CR} = 2 \times \text{NP} \times \text{HOP}(T_C) \times P_z(h_z) \times \left(1 + \frac{|\dot{\bar{z}}|}{2\lambda_z} \cdot \frac{\pi\lambda_{xy}}{2V_{rel}^{C}}\right). \tag{6}$$

2.6 Заметим, что в общем случае V_{rel}^{C} будет зависеть от действующего минимума эшелонирования, навигационной точности воздушного судна, угла между курсами двух воздушных судов, интервала времени между последовательными сообщениями о местоположении, а также от используемого буфера для связи и вмешательства диспетчера. V_{rel}^{C} представляет собой относительную скорость двух воздушных судов на момент горизонтального перекрытия. Не вполне корректно использовать V_{rel}^{C} как фиксированное

значение, и предыдущие модели (смотри, например, справочные материалы 1, 4, 5, 6, 10, 15, 16, 17), которые использовали фиксированные значения $|\vec{x}|$ и $|\vec{y}|$, были ошибочны.

2.7 Заметим также, что представленная здесь модель *не* требует, чтобы оба воздушных судна находились в горизонтальном полете. Все, что требуется, – это оценка h_z, то есть номинального вертикального разделения на момент горизонтального перекрытия. Если оба воздушных судна *находятся* в горизонтальном полете, то h_z – это как раз норма вертикального эшелонирования. Если h_z неизвестна, то можно получить некоторую завышенную оценку риска столкновения, используя $P_z(0)$ в уравнении 6 вместо $P_z(h_z)$, поскольку $P_z(0) \geq P_z(h_z)$ для любого h_z.

3. ВЕРОЯТНОСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

3.1 Общий случай

3.1.1 Рассмотрим общую ситуацию, когда два воздушных судна приближаются к пересечению по разным трассам (в общем случае), как показано на рис. А-1-1. В случае одной трассы, когда $\theta = 0$, "пересечение", в действительности, является путевой точкой на общей трассе. В условиях процедурного управления мы полагаем, что за какое-то время до достижения первым воздушным судном точки пересечения диспетчер запросит расстояние до пересечения от обоих пилотов. Первое воздушное судно ответит первым, поэтому разница расстояний будет меньше номинального разделения. Пусть $t = 0$ будет моментом времени передачи сообщения вторым пилотом. В условиях ADS полагаем, что наземная система или диспетчер определяют расстояние от, возможно, экстраполированного положения каждого воздушного судна до точки пересечения. Только в случае полета по одной трассе расстояние между двумя воздушными судами может быть измерено непосредственно. Примем за $t = 0$ временную отметку в последнем сообщении ADS о местоположении какого-либо воздушного судна. При анализе нормы эшелонирования в условиях ADS будем полагать, что оба воздушных судна посылают свои сообщения о местоположении одновременно. Это является осторожным допущением, потому что при неодновременной передаче сообщений система ADS будет экстраполировать местоположение только первого из воздушных судов на момент передачи сообщения вторым воздушным судном данной пары. Поскольку риск заметно уменьшается с уменьшением времени экстраполяции, учет неодновременности передачи сообщений только уменьшит оценку риска.

3.1.2 Обозначим номинальное расстояние до пересечения в момент времени $t = 0$ воздушных судов 1 и 2 $\hat{d}_1^0$ и $\hat{d}_2^0$ соответственно. Тогда, если ε_1^A и ε_2^A – продольные ошибки двух воздушных судов, а ε_1^C и ε_2^C – их боковые отклонения от трассы, координаты действительных местоположений воздушных судов в момент t определятся как

$$x_1(t) = -\hat{d}_1^0 + \varepsilon_1^A + V_1 t; \tag{7}$$

$$y_1(t) = \varepsilon_1^C \tag{8}$$

и

$$x_2(t) = -(\hat{d}_2^0 - \varepsilon_2^A)\cos\theta - \varepsilon_2^C \sin\theta + V_2 t \cos\theta; \tag{9}$$

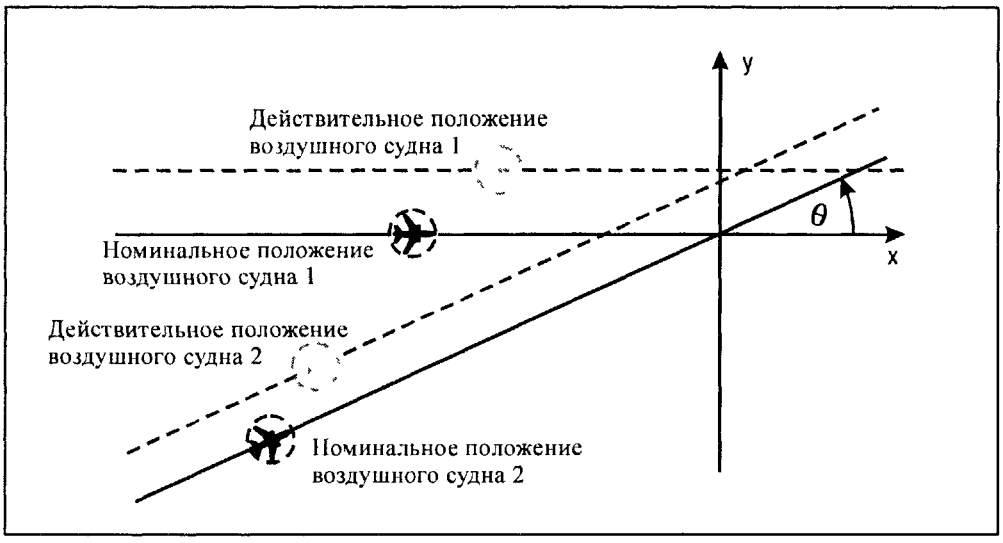


Рисунок А-1-1. Номинальное и действительное положение воздушных судов на момент $t = 0$

$$y_2(t) = -\left(\hat{d}_2^0 - \varepsilon_2^A\right)\sin\theta + \varepsilon_2^C \cos\theta + V_2 t \sin\theta\,, \tag{10}$$

где V_1 и V_2 есть истинные путевые скорости двух воздушных судов.

3.1.3 Теперь *D(t)*, расстояние между центрами двух воздушных судов в момент времени *t*, будет определяться следующим образом:

$$D(t) = \sqrt{\left(x_1(t) - x_2(t)\right)^2 + \left(y_1(t) - y_2(t)\right)^2}\,, \tag{11}$$

и мы хотим минимизировать $D(t)$ для $0 \le t \le T + \tau$, где T есть время между периодическими сообщениями, а τ – буфер для связи и вмешательства диспетчера (см. справочные материалы 1, 4, 5, 6, 10, 15, 16, 17). Горизонтальное перекрытие будет иметь место, когда $D^C_{\min}$, ограниченный минимум $D(t)$, станет

$$D^C_{\min} \le \lambda_{xy}\,. \tag{12}$$

Таким образом, вероятность горизонтального перекрытия определится как

$$\text{HOP} = \text{Prob}\left\{D^C_{\min} \le \lambda_{xy}\right\}. \tag{13}$$

Заметим, что $D^2(t)$ является квадратичной формой от t

$$D^2(t) = D_0^2 + 2Bt + V_{rel}^2 t^2. \tag{14}$$

D_0 есть истинное расстояние между двумя воздушными судами в момент $t = 0$ и определяется как

$$D_0^2 = \Delta x_0^2 + \Delta y_0^2, \tag{15}$$

а Δx_0 и Δy_0 определяются следующим образом:

$$\Delta x_0 \equiv x_1(0) - x_2(0) = \hat{d}_2^0 \cos\theta - \hat{d}_1^0 + \varepsilon_x \tag{16}$$

и

$$\Delta y_0 \equiv y_1(0) - y_2(0) = \hat{d}_2^0 \sin\theta + \varepsilon_y. \tag{17}$$

Ошибки ε_x и ε_y определяются как

$$\varepsilon_x = \varepsilon_1^A - \varepsilon_2^A \cos\theta + \varepsilon_2^C \sin\theta \tag{18}$$

и

$$\varepsilon_y = \varepsilon_1^C - \varepsilon_2^C \cos\theta - \varepsilon_2^A \sin\theta. \tag{19}$$

V_{rel} – величина вектора истинной относительной скорости – определяется следующим образом:

$$V_{rel} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2\cos\theta}, \tag{20}$$

а B определяется как

$$B = \Delta x_0 (V_1 - V_2\cos\theta) - \Delta y_0 V_2 \sin\theta. \tag{21}$$

$D_{\min}$ – *неограниченный* минимум $D(t)$ – имеет место, когда

$$t = t_{\min} = -B / V_{rel}^2, \tag{22}$$

и после некоторых алгебраических преобразований можно записать

$$D_{\min} = \frac{\left|\Delta x_0 V_2 \sin\theta + \Delta y_0 (V_1 - V_2\cos\theta)\right|}{V_{rel}}. \tag{23}$$

Когда $\theta = 0$ и $V_1 = V_2$, требуется особое внимание, поскольку $V_{rel} = 0$. В этом случае истинное расстояние между воздушными судами равно D_0 для всех t.

3.1.4 Если $t_{\min}$ выходит за интервал между 0 и $T + \tau$, ограниченный минимум $D(t)$ будет больше, чем $D_{\min}$, и поскольку зависимость $D(t)$ от t является параболической, то мы имеем:

$$\text{если } t_{\min} < 0, \text{ то } D^C_{\min} = D_0;$$

$$\text{если } t_{\min} > T + \tau, \text{ то } D^C_{\min} = D(T + \tau).$$

3.1.5 Обозначая номинальную путевую скорость двух воздушных судов через $\hat{V}_1$ и $\hat{V}_2$, определяем

$$v_1 = V_1 - \hat{V}_1 \tag{24}$$

и

$$v_2 = V_2 - \hat{V}_2. \tag{25}$$

3.1.6 Раньше (см. справочные материалы 1, 4, 5, 6, 10, 15, 16, 17) мы использовали "незапланированную относительную скорость", v, определяемую просто как

$$v = v_1 - v_2. \tag{26}$$

Это было уместно, потому что рассматривались только общие трассы ($\theta = 0$). Для представленной в настоящем добавлении модели требуется определение индивидуальной разницы скорости по отношению к номинальной, поэтому мы описываем полученные ранее для v данные сверткой двух двусторонних экспоненциальных плотностей со средним значением, равным нулю, и общим параметром λ_v. Чтобы сохранить вид модели для ADS, аналогичным модели процедурного эшелонирования, используется больший из полученных таким образом параметров, а также параметр, полученный аппроксимацией фактических данных по отклонениям путевых скоростей от номинальной (из выборки 10 318 сообщений ADS за 1994 и 2000 годы). Выбранное значение составило

$$\lambda_v = 5{,}82. \tag{27}$$

3.1.7 Для проведения расчетов положим, что ε_1^A, ε_2^A, ε_1^C и ε_2^C являются случайными величинами, распределенными по двустороннему экспоненциальному закону с нулевым средним и параметром λ_n, определенным, исходя из значения требуемой навигационной точности. Как было отмечено выше, мы также полагаем, что v_1 и v_2 имеют двустороннее экспоненциальное распределение с нулевым средним и параметром λ_v. К сожалению, даже с этими допущениями невозможно записать простое алгебраическое выражение для НОР в уравнении 13, за исключением частных случаев $\theta = 0$ и $\theta = 180°$.

3.1.8 В справочном материале 3 для численного расчета НОР в общем случае предложен метод Монте-Карло. В этом методе с целью ускорения вычислений использовались значимые выборки и учитывалась симметричность функций плотности вероятностей. В связи с тем, что моделировались очень маленькие

вероятности, метод Монте-Карло потребовал генерации большого количества реализаций. Например, для анализа продольного эшелонирования использовались выборки порядка 10^{11}, или 100×10^9.

3.1.9 Одним из преимуществ использования метода Монте-Карло явилось то, что наряду с вероятностью горизонтального перекрытия была получена правильная оценка V_{rel}^C. Это было сделано посредством предположения, что в точке горизонтального перекрытия каждое воздушное судно имеет случайную боковую скорость, $\dot{y}$, функция плотности вероятностей которой может быть аппроксимирована двумерным экспоненциальным законом с масштабным параметром, выбранным из условия, чтобы свертка двух таких плотностей для случая одной и той же трассы ($\theta = 0$) давала значение $|\bar{\dot{y}}| = 20$, которое использовалось в предыдущих исследованиях. Заметим, что если случайная переменная $\dot{y}$ имеет функцию плотности вероятностей, представляющую собой свертку двух одинаковых двусторонних экспоненциальных функций плотности вероятностей с масштабным коэффициентом λ, то $|\bar{\dot{y}}| = 3\lambda/2$. Поэтому в справочном материале 3 выбрано

$$\lambda = 40/3. \tag{28}$$

3.1.10 В справочном материале 18 описан численный метод, который является альтернативным методу Монте-Карло. Далее в данном добавлении представлены результаты, полученные на основе этого метода. Хотя в справочном материале 18 нет параметра V_{rel}^C, это не является серьезной проблемой. Как будет показано ниже, для $\theta = 0$ возможно получение его теоретического значения. Это значение будет достаточным для углов меньше 15°. Для больших углов достаточно точной будет оценка V_{rel}, определяемая уравнением 20. Заметим, что V_{rel}^C является одной из составляющих последнего множителя в уравнении 6, величина которого немного превосходит единицу, и не требует, поэтому, высокой точности определения.

3.2 Продольное эшелонирование на одной трассе

3.2.1 В этом случае мы разбиваем перелет через океан на m интервалов передачи сообщений длительностью T летных часов, так что $T_C = mT$. Предположим, что риск столкновения в каждом таком интервале является одним и тем же. Тогда общий риск будет просто m-кратным риском столкновения в каждом из интервалов. Полагая полет обоих воздушных судов на одном заданном эшелоне, уравнение 6 можно записать

$$\mathrm{CR} = \frac{2}{T} \times \mathrm{HOP}(T+\tau) \times P_z(0) \times \left(1 + \frac{|\bar{\dot{z}}|}{2\lambda_z} \cdot \frac{\pi \lambda_{xy}}{2V_{rel}^C}\right), \tag{29}$$

где HOP(T+τ) – горизонтальное перекрытие за время одного периода передачи сообщения плюс буфер для связи и вмешательства диспетчера (см. справочные материалы 1, 4, 5, 6, 10, 15, 16, 17), при этом мы использовали также соотношение NP = $1/T_C$ = $1/mT$. Если два воздушных судна имеют существенно разные номинальные скорости, то допущение, что общий риск является суммой m рисков, будет осторожным, так как упомянутые воздушные суда будут образовывать пару на меньшем количестве интервалов, чем m.

3.2.2 Если расчеты показывают, что максимальный риск имеет место в точке $\theta = 0$, то более правильным будет использовать следующую хорошую аппроксимацию вероятности горизонтального перекрытия HOP. Принимая в уравнениях 7, 8, 9 и 10 $\theta = 0$, получим:

$$x_1(t) - x_2(t) = \hat{d}_2^0 - \hat{d}_1^0 + \varepsilon_1^A - \varepsilon_2^A + (V_1 - V_2)t \tag{30}$$

и

$$y_1(t) - y_2(t) = \varepsilon_1^C - \varepsilon_2^C. \tag{31}$$

3.2.3 Рассматривая направления x и y независимо и принимая $t = T+\tau$, с целью максимизации риска в этом случае, мы можем представить вероятность горизонтального перекрытия как произведение вероятности продольного перекрытия или изменения порядка следования воздушных судов на момент $t = T + \tau$ и вероятности бокового перекрытия

$$\text{HOP} = \text{LOP} \times P_y(0), \tag{32}$$

где $P_y(0)$ – вероятность бокового перекрытия двух воздушных судов с размахом крыльев $\lambda_y = \lambda_{xy}$, которые по плану совершают полет по одной трассе, а вероятность перекрытия в продольном измерении, LOP, определяется как:

$$\text{LOP} \approx \text{Prob}\{x_1(T+\tau) - x_2(T+\tau) \le \lambda_{xy}\}. \tag{33}$$

Такая аппроксимация достаточно хороша до тех пор, пока $T+\tau$ существенно меньше значений, использованных в разделе 4.

3.2.4 Номинальное продольное разделение на момент $t = T + \tau$ будет равно:

$$\hat{S} = \hat{d}_2^0 - \hat{d}_1^0 + (\hat{V}_1 - \hat{V}_2)(T+\tau), \tag{34}$$

поэтому

$$x_1(T+\tau) - x_2(T+\tau) = \hat{S} + \varepsilon_1^A - \varepsilon_2^A + (v_1 - v_2)(T+\tau). \tag{35}$$

3.2.5 Используя полученный результат в уравнении 33 и вынося свертку в предположении, что распределение $\hat{S}$ имеет равномерный характер в интервале между A и B при условии, что B существенно больше, чем A, получаем:

$$\text{LOP} \approx \frac{1}{4(B-A)}\left\{S_1\lambda_n\beta^2 \exp\left(\frac{\lambda_{xy}-A}{\lambda_n}\right) + S_2\lambda_2(1-\beta)^2 \exp\left(\frac{\lambda_{xy}-A}{\lambda_2}\right)\right\}, \tag{36}$$

где $\lambda_n = \text{RNP}/2{,}995732;$ (37)

$$\lambda_2 = \lambda_v \times (T+\tau); \tag{38}$$

$$\beta = \lambda_n^2/(\lambda_n^2 - \lambda_2^2); \tag{39}$$

$$S_1 = \frac{A - \lambda_{xy}}{\lambda_n} + 3 + 4(1-\beta); \tag{40}$$

и

$$S_2 = \frac{A - \lambda_{xy}}{\lambda_2} + 3 + 4\beta. \tag{41}$$

Заметим, что в общем случае номинальное продольное разделение на момент t определяется как

$$\hat{S}(t) = \hat{d}_2(t) - \hat{d}_1(t), \tag{42}$$

где $\hat{d}_1(t)$ и $\hat{d}_2(t)$ – номинальные расстояния до пересечения на момент t, определяемые выражениями

$$\hat{d}_1(t) = \hat{d}_1^{\,0} + \hat{V}_1 t \tag{43}$$

и

$$\hat{d}_2(t) = \hat{d}_2^{0} + \hat{V}_2 t. \tag{44}$$

3.2.6 Предположим, что при $\hat{V}_2 > \hat{V}_1$ диспетчер в момент времени $t = 0$ при необходимости увеличит эшелонирование между воздушными судами, чтобы гарантировать правильное их разделение после момента времени $(T + \tau)$. Если, с другой стороны, $\hat{V}_2 < \hat{V}_1$,то головное воздушное судно номинально летит быстрее, чем следующее за ним, и риск столкновения должен быть существенно меньше. По этим причинам и с учетом обсужденного выше допущения относительно суммы рисков по отдельным интервалам передачи сообщений сделаем, для расчетных целей, осторожное допущение относительно равенства номинальных скоростей обоих воздушных судов. Примем также для расчета, что $\hat{S}(0)$ является случайной переменной, функция плотности вероятности которой соответствует равномерной плотности в интервале между нормой продольного эшелонирования по расстоянию S_x и $S_x + 250$ (м. миль). При $\theta = 0$ это подразумевает, что A= S_x и B = S_x + 250.

3.2.7 Как было отмечено ранее, в случае θ =0 можно также получить математическое выражение для V_{rel}^{C}. Определим

$$V_{rel}^{C} = \frac{\mathrm{E}\left(|w| \mid s + w \le \lambda_{xy}\right)}{T + \tau}, \tag{45}$$

где E обозначает математическое ожидание, $s = \hat{S} + \varepsilon_1^A - \varepsilon_2^A$, $w = v(T + \tau)$ и $v = v_1 - v_2$, как в уравнении 26. Условная плотность w определяется как

$$g\left(w \mid s + w \le \lambda_{xy}\right) = g(w) H(\lambda_{xy} - w) / \mathrm{LOP}, \tag{46}$$

где

$$g(w) = \frac{1}{4\lambda_2} \exp\left(-|w| / \lambda_2\right) \cdot \left(|w| / \lambda_2 + 1\right), \tag{47}$$

и

$$H(s)=\begin{cases}\dfrac{\lambda_1}{4(B-A)}\exp\left(\dfrac{s-A}{\lambda_1}\right)\cdot\left(\dfrac{A-s}{\lambda_1}+3\right) & \text{для } s\le A;\\ \dfrac{s-A}{B-A}+\dfrac{\lambda_1}{4(B-A)}\exp\left(\dfrac{A-s}{\lambda_1}\right)\cdot\left(\dfrac{s-A}{\lambda_1}+3\right) & \text{для } A<s<<B.\end{cases} \tag{48}$$

Следовательно,

$$V_{rel}^{C}\approx\left|\int_{v=-M}^{\infty}vg(v)H(\lambda_{xy}-v)dv\right|\Big/(T+\tau)\cdot\mathrm{LOP}, \tag{49}$$

где M удовлетворяет условию $A<<M<<B$.

3.2.8 Хотя V_{rel}^{C} можно представить в аналитическом виде, однако соответствующее выражение будет достаточно сложным. Более простым и при этом достаточно точным для целей настоящего исследования является использование численного интегрирования с $M = S_x + 50$. Заменим также верхний предел интеграла нулем, поскольку вклад положительных значений v пренебрежимо мал. Типичные значения, полученные с использованием такого подхода, приведены в разделе 4.

3.3 Продольное эшелонирование на основе ADS на встречных маршрутах

3.3.1 Здесь рассматривается ситуация, когда два воздушных судна, оснащенных ADS, находятся на разных эшелонах пересекающихся трасс. Одно воздушное судно может начать набирать высоту или снижаться, пересекая эшелон полета другого, когда с помощью измерения расстояний между отметками воздушных судов (возможно экстраполированными) и точкой пересечения будет определено, что первое воздушное судно находится от точки пересечения дальше, чем второе, по крайней мере, на величину нормы продольного эшелонирования по расстоянию S_x. Эта ситуация показана на рис. А-1-2 и А-1-3. На рис. А-1-2 S_z – применяемая норма вертикального эшелонирования. В воздушном пространстве RVSM S_z должна быть 1000 фут, а в другом воздушном пространстве – 2000 фут. Возьмем худший случай и предположим, что изменение эшелона полета начинается, как только было достигнуто номинальное эшелонирование по расстоянию. Без потери общности предположим, что эшелон меняет воздушное судно 2. Также предположим, что изменение высоты начинается после прошествия времени $T_{CL}/2$ от момента прохождения воздушным судном 2 точки пересечения, где T_{CL} представляет время, необходимое воздушному судну для набора высоты или снижения на две нормы вертикального эшелонирования. Таким образом, когда воздушное судно 2 номинально проходит точку пересечения, то номинально оно должно быть на том же эшелоне, что и воздушное судно 1.

3.3.2 Основные математические выкладки являются теми же самыми, что и в подробно описанном выше общем случае, при этом изменяются знаки $\hat{d}_2^0$, ε_1^A, ε_2^A, ε_2^C, V_1 и V_2. Отличие от модели продольного эшелонирования на одной трассе заключается в том, что в данном случае не используется буфер для связи и вмешательства диспетчера, τ. Предполагается, что если диспетчер не имеет возможности связаться с воздушным судном или было потеряно последнее сообщение ADS о местоположении любого воздушного судна, то диспетчер запросит сообщение ADS и/или связь с воздушным судном. Учитывая, что воздушное

судно 2 может начать изменение эшелона в любой момент между сообщениями ADS, найдем точку наибольшего сближения воздушных судов для времени t на интервале между $\hat{t}_2 - T_{CL}/4$ и $\hat{t}_2 + T_{CL}/4$ и максимизируем риск для $\hat{t}_2 = \hat{d}_2^0 / \hat{V}_2$ на интервале между 0 и T.

3.3.3 Основанием для этого является то, что после начала изменения эшелона и пока воздушное судно 2 имеет номинальное вертикальное разделение с воздушным судном 1 более половины нормы вертикального эшелонирования, вероятность вертикального перекрытия будет достаточно мала, так что в сочетании с вероятностью бокового эшелонирования риск столкновения будет пренебрежимо мал.

3.3.4 Заметим, что для воздушных судов, соответствующих требованиям RVSM MASPS, вероятность вертикального перекрытия двух воздушных судов, имеющих номинальное разделение 500 фут, составляет приблизительно $5{,}6 \times 10^{-4}$. Для воздушных судов, не удовлетворяющих требованиям RVSM MASPS, вероятность вертикального перекрытия пары воздушных судов, имеющих номинальное разделение по вертикали 1000 фут, составляет приблизительно $9{,}3 \times 10^{-6}$. Эти значения основаны на моделировании вертикальных ошибок при помощи смешанной гауссово-экспоненциальной плотности в соответствии со справочным материалом 8. В расчетах для вероятности вертикального перекрытия мы использовали $P_z(0)$, поскольку в действительности номинальное вертикальное разделение при горизонтальном перекрытии неизвестно и, как показано в разделе 2, использование $P_z(0)$ приводит к завышенной оценке риска столкновения.

3.3.5 Следующее отличие от модели одной трассы заключается в том, что вместо предположения о том, что начальное разделение между воздушными судами является случайной переменной с равномерной плотностью вероятности, принятого в предыдущем разделе, мы полагаем, как отмечено выше, что второе воздушное судно начнет изменение эшелона, как только первое воздушное судно окажется дальше от точки пересечения, чем второе, на величину нормы продольного эшелонирования S_x (и будет увеличивать это расстояние в дальнейшем).

3.3.6 Последний аспект, требующий некоторого обсуждения, это величина NP, число пар на летный час. Выше было показано, что для продольного эшелонирования по расстоянию NP составляет $1/T$. Будем полагать, что при использовании процедур того типа, который рассматривается здесь, воздушное судно меняет эшелон указанным образом не чаще, чем один раз за период одного сообщения, и поэтому будем использовать тот же коэффициент. Данное предположение, почти наверняка, чрезмерно пессимистично. Уравнение риска столкновения для этого случая будет таким же, как уравнение 29, с учетом отмеченных выше изменений.

3.3.7 Если в действительности будет иметь место случай, когда риск максимизируется при $\theta = 180°$, то возможно осуществить хорошую аппроксимацию вероятности горизонтального перекрытия HOP таким же образом, как это делалось ранее для $\theta = 0$, и изменяя знак $\hat{d}_1^0$ в уравнениях 7, 8, 9 и 10, мы можем получить

$$x_1(t) - x_2(t) = \hat{d}_1^0 - \hat{d}_2^0 + \varepsilon_1^A + \varepsilon_2^A + (V_1 + V_2)t \tag{50}$$

и

$$y_1(t) - y_2(t) = \varepsilon_1^C + \varepsilon_2^C. \tag{51}$$

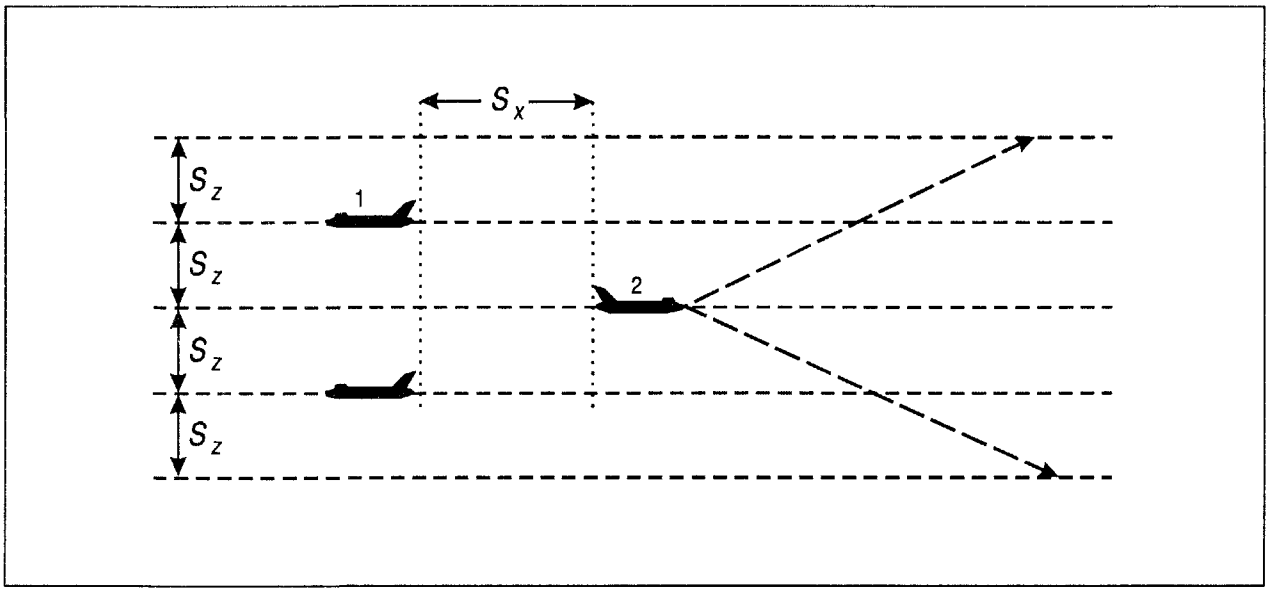


Рисунок А-1-2. Вид сбоку для сценария встречных трасс

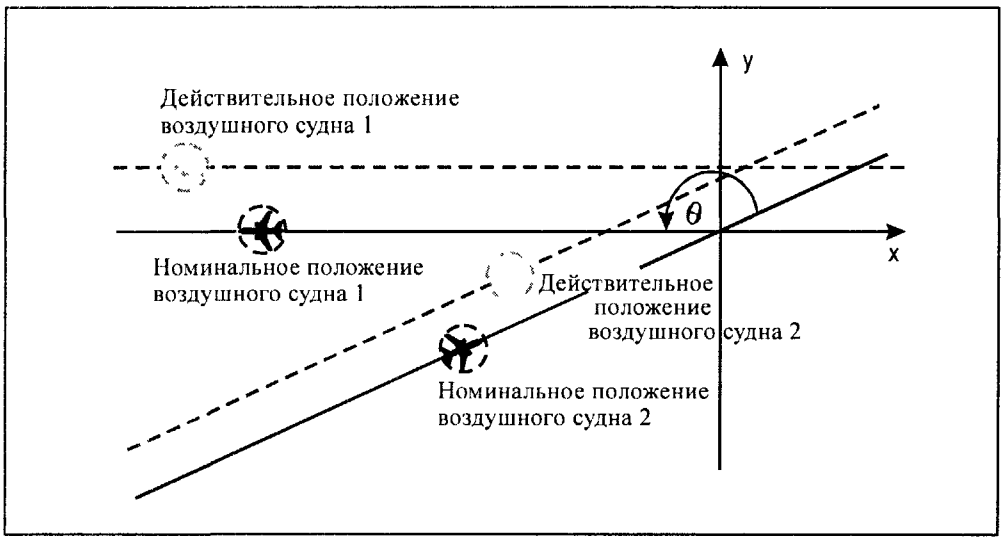


Рисунок А-1-3. Номинальное и действительное положения воздушных судов на момент $t = 0$ (встречные трассы)

3.3.8 Рассматривая направления *x* и y независимо и принимая $\hat{t}_2 = T$, поскольку в этом случае риск становится максимальным, мы можем представить вероятность горизонтального перекрытия как произведение вероятности продольного перекрытия или изменения порядка следования воздушных судов в момент $T - T_{CL}/4$ и вероятности бокового перекрытия $P_y(0)$. Таким образом,

$$\text{HOP} \approx \text{Prob}\left\{x_2\left(T - T_{CL}/4\right) - x_1\left(T - T_{CL}/4\right) \le \lambda_{xy}\right\} \times \text{P}_y\left(0\right). \tag{52}$$

3.3.9 Номинальное продольное перекрытие в момент $T-T_{CL}/4$ определяется как

$$\hat{S} = S_x + \frac{T_{CL}}{4}\left(\hat{V}_1 + \hat{V}_2\right), \tag{53}$$

поэтому

$$x_1\left(T - T_{CL}/4\right) - x_2\left(T - T_{CL}/4\right) = \hat{S} + \varepsilon_1^A + \varepsilon_2^A + \left(v_1 + v_2\right)\left(T - T_{CL}/4\right). \tag{54}$$

3.3.10 Используя этот результат в уравнении 52 и вынося свертку, относящуюся к продольному перекрытию, получим:

$$\text{HOP} = \frac{P_y(0)}{4}\left\{S_1\beta^2 \exp\left(\frac{-\hat{S} + \lambda_{xy}}{\lambda_n}\right) + S_2\left(1-\beta\right)^2 \exp\left(\frac{-\hat{S} + \lambda_{xy}}{\lambda_2}\right)\right\}, \tag{55}$$

где $\lambda_n = \text{RNP}/2{,}995732;$ (56)

$$\lambda_2 = \lambda_v \times \left(T - T_{CL}/4\right); \tag{57}$$

$$\beta = \lambda_n^2 / \left(\lambda_n^2 - \lambda_2^2\right); \tag{58}$$

$$S_1 = \frac{\hat{S} - \lambda_{xy}}{\lambda_n} + 2 + 4(1-\beta) \tag{59}$$

и

$$S_2 = \frac{\hat{S} - \lambda_{xy}}{\lambda_2} + 2 + 4\beta. \tag{60}$$

3.4 Боковое эшелонирование на пересекающихся трассах

3.4.1 Ранее уже были представлены (см. справочные материалы 2, 7 и 9) несколько версий математической методологии, относящихся к случаю пересечения трасс. Бурные дебаты вызвал аспект проверки их

достоверности. Настоящее исследование, учитывая результаты проведенного обсуждения, основывается на более робастных (устойчивых) методах, описанных в разделе 3.1.

3.4.2 Боковое эшелонирование воздушных судов на пересекающихся трассах основано на концепции определения зоны конфликта в районе точки пересечения. Эта зона имеет форму четырехугольника (см. рис. А-1-4), углы которого именуются точками бокового эшелонирования и определяются как точки на трассе, где расстояние по перпендикуляру к другой трассе равно норме бокового эшелонирования, которую мы будем обозначать через S_y. Боковое эшелонирование осуществляется диспетчером, который гарантирует, что два воздушных судна не будут одновременно находиться в зоне конфликта на одной высоте.

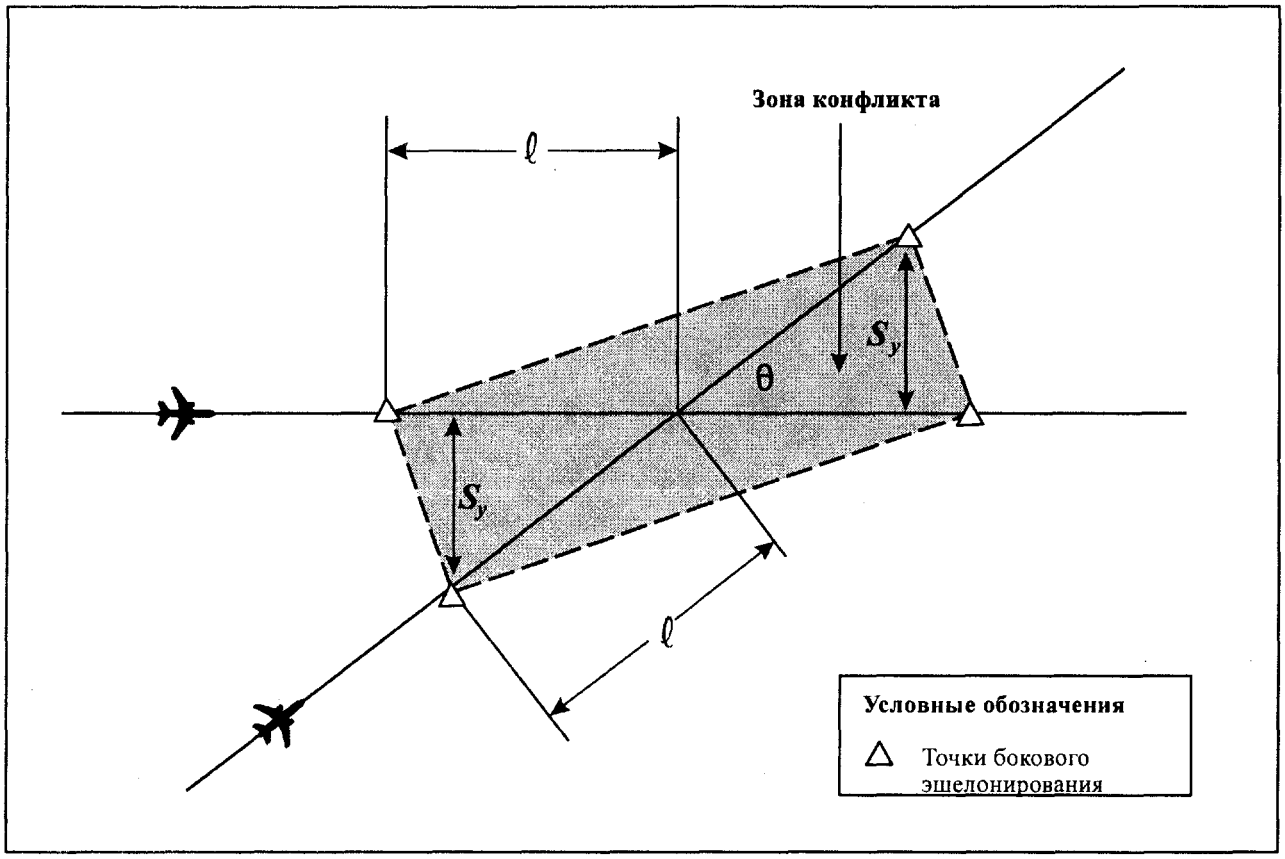


Рисунок А-1-4. Точки бокового эшелонирования и зона конфликта

3.4.3 Предположим, что оба воздушных судна приближаются к точке пересечения, как показано на рис. А-1-5. Будем считать, что воздушное судно 1 достигнет (номинально) точки пересечения первым. Диспетчер обеспечивает боковое эшелонирование, используя процедуру запроса у обоих пилотов расстояния до точки пересечения, прежде чем оценить, что второе воздушное судно будет находиться в пределах, скажем, половины нормы продольного эшелонирования до точки бокового эшелонирования, к которой оно приближается. Как и в случае продольного эшелонирования, при процедурном управлении диспетчер должен убедиться в недооценке номинального разделения, убедившись, что первое воздушное судно отвечает первым.

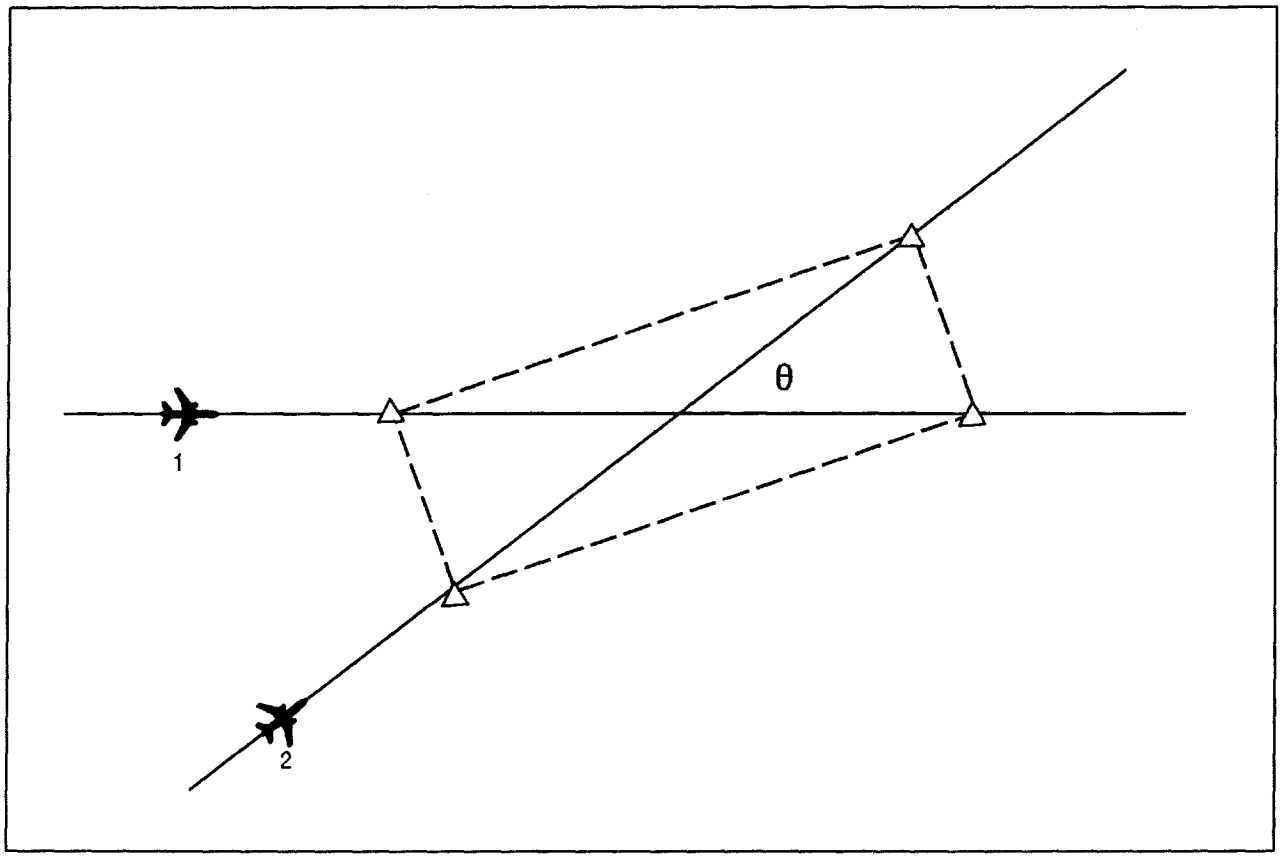


Рисунок А-1-5. Оба воздушных судна подходят к зоне конфликта

3.4.4 При использовании ADS оценки могут основываться на данных о местоположении (возможно, экстраполированных). Диспетчер на основании сообщенных или рассчитанных расстояний до точки пересечения, номинальных путевых скоростей двух воздушных судов и известного времени передачи сообщения вычисляет t_2^E, то есть время входа воздушного судна 2 в зону конфликта, а также t_1^E и t_1^L, времена входа воздушного судна 1 в зону конфликта и выхода из нее соответственно. Если $t_1^E \le t_2^E \le t_1^L$, то в некоторый момент времени воздушные суда одновременно появятся в зоне конфликта и в связи с этим в точке бокового эшелонирования воздушное судно 2 должно быть на другом эшелоне. Заметим, что некоторые государства, например Австралия, требуют, чтобы второе воздушное судно было вертикально эшелонировано на расстоянии $S_x/2$ до точки бокового эшелонирования или, что эквивалентно, на расстоянии $\ell + S_x/2$ от точки пересечения, где ℓ – расстояние от точки бокового эшелонирования до точки пересечения, определяемое из выражения

$$\ell = S_y / \sin\theta. \tag{61}$$

3.4.5 В данном добавлении, однако, это максимальное требование не используется. Предполагается только, что воздушные суда не должны одновременно находиться в зоне конфликта на одном эшелоне.

Результаты, представленные в разделе 4, показывают, что целевой уровень безопасности достигается и без этого.

3.4.6 Имеют место два различных случая, относящихся к рассматриваемой проблеме:

a) *Оба воздушных судна подходят к зоне конфликта.* Для анализа этой ситуации возьмем худший случай, когда оба воздушных судна имеют равные номинальные скорости и номинальное максимальное сближение происходит после момента $T + \tau$. Таким образом, мы полагаем, что в момент $t = 0$

$$\hat{d}_1^0 = \ell + \hat{V}_1(T + \tau) \tag{62}$$

и

$$\hat{d}_2^0 = \hat{d}_1^0 . \tag{63}$$

Вследствие того, что воздушные суда могут передать сообщение в любое время до входа в зону конфликта, мы принимаем максимальное значение риска в отношении T. Заметим, что в действительности к моменту нахождения на расстоянии ℓ от точки пересечения воздушное судно 2 должно быть на соседнем эшелоне, но мы консервативно полагаем, что оно находится на том же эшелоне, что и воздушное судно 1 до расстояния ℓ от точки пересечения, а затем мгновенно оказывается на соседнем эшелоне. Этот случай показан на рис. A-1-5. Анализ такой ситуации аналогичен анализу продольного эшелонирования, за исключением того, что номинальные расстояния воздушных судов до точки пересечения в момент $t = 0$ различны. Значение NP в основной модели риска столкновения также требует некоторого обсуждения. Худший случай был бы, если бы каждое воздушное судно на одной трассе образовывало пару с воздушным судном на другой трассе. Ясно, что такой случай мог бы иметь место, но не все пары тогда были бы разделены нормой эшелонирования, рассматриваемой в рамках данного анализа. На самом деле разница в номинальных расстояниях пар до пересечения должна быть в среднем по крайней мере $S_x/2$. Кроме того, как отмечено в разделе 2, на практике NP часто значительно меньше 1.

b) *Одно воздушное судно выходит из зоны конфликта в то время, как другое входит в нее.* Эта ситуация изображена на рис. A-1-6. Анализ такой ситуации аналогичен анализу основного случая, но, конечно, отличаются номинальные разделения. В качестве худшего случая мы принимаем случай, когда оба воздушных судна номинально находятся на одном эшелоне и воздушное судно 1 номинально покидает зону конфликта, в то время как воздушное судно 2 входит в нее. Таким образом, мы получаем:

$$\hat{d}_1^0 = \hat{V}_1 T \tag{64}$$

и

$$\hat{d}_2^0 = \hat{V}_2 T + \ell \times \left(1 + \hat{V}_2 / \hat{V}_1\right). \tag{65}$$

Чтобы максимизировать риск по всем возможным временам передачи сообщений, мы полагаем, что воздушные суда передают сообщения, когда у воздушного судна 1 остается время T до пересечения, и максимизируем риск по двум периодам передачи сообщения. Заметим, что когда угол пересечения трасс 45° (или 135°), обычно воздушному судну

требуется менее 20 мин для пересечения зоны конфликта, если норма бокового эшелонирования 50 м. миль, и менее 11 мин, если она составляет 30 м. миль.

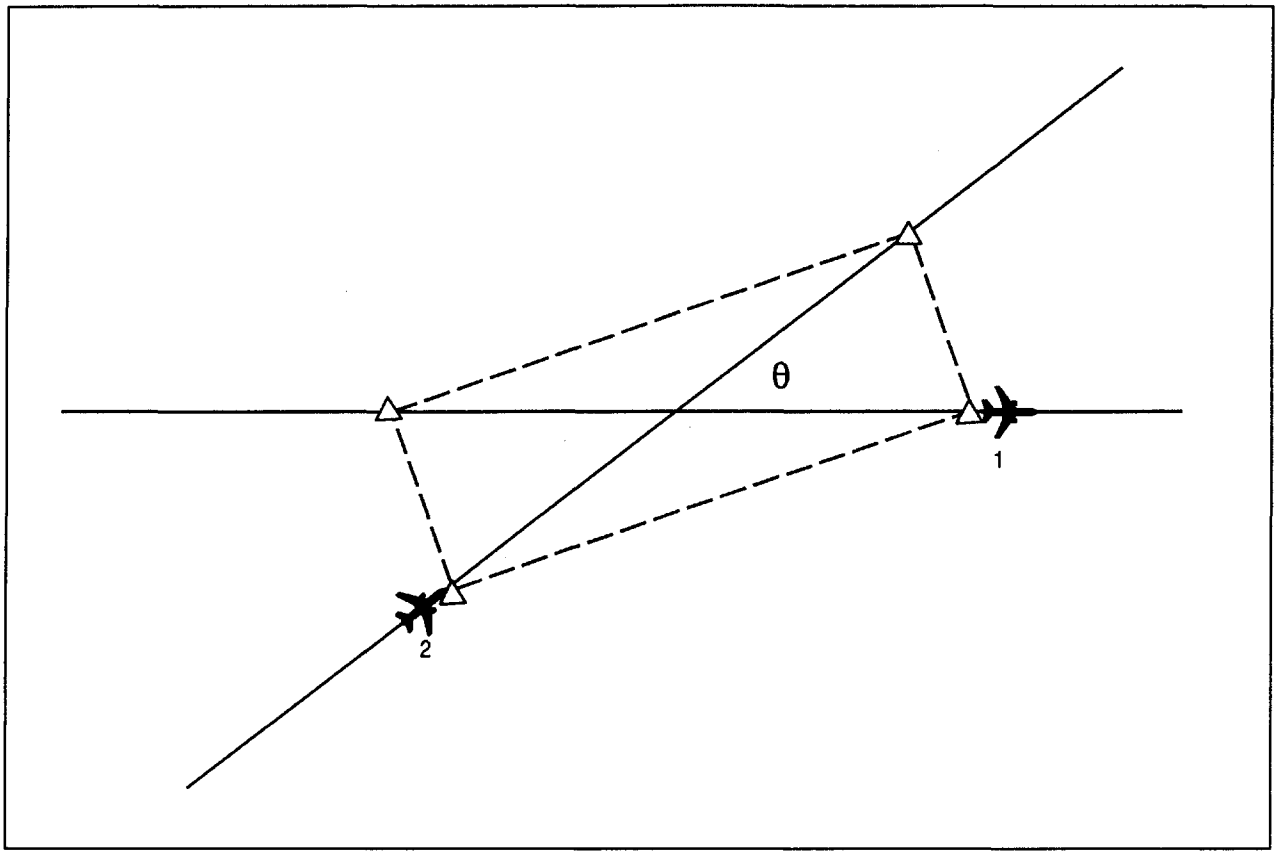


Рисунок А-1-6. Одно воздушное судно покидает зону конфликта, в то время как другое входит в нее

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

4.1 Общие положения

4.1.1 Результаты, приведенные в данном добавлении, были получены на основе тех же допущений, которые использовались в справочном материале 4, 8, 9 и 10, за исключением следующих:

а) Более не предполагается применение числа Маха, хотя очевидно, что диспетчеры, при необходимости, будут использовать контроль скорости воздушных судов. Предполагается, что неопределенность скорости отдельного воздушного судна описывается двусторонней экспоненциальной функцией плотности вероятности, как это показано в разделе 3.1.

b) Предполагается, что воздушные суда представляют собой цилиндры диаметром λ_{xy} и высотой λ_z. Для воздушных судов, соответствующих требованиям RNP 10, λ_{xy} = 192,2 фут, λ_z = 54,8 фут; для воздушных судов, соответствующих требованиям RNP 4, λ_{xy} = 231,8 фут, λ_z = 63, 4 фут.

c) В связи с широким использованием RVSM значение P_z (0) увеличено до 0,48 для воздушных судов, соответствующих RNP 10 и до 0,55 для воздушных судов с RNP 4.

d) В расчетах используется эквивалент $|\dot{\bar{x}}|$ и $|\dot{\bar{y}}|$, а именно V_{rel}^C. Как отмечено выше, ее значение в общем случае зависит от действующей нормы эшелонирования, величины $T + \tau$, значения RNP, которому соответствуют воздушные суда, и угла пересечения трасс. Когда в точке $\theta = 0$ имеет место максимальный риск, мы используем ее значение, полученное теоретически из уравнения 49. Типичные значения V_{rel}^C для RNP 4 представлены в таблице A-1-1. Эти значения используются при близких к 0 величинах θ (меньше 15°). При больших θ достаточная точность может быть получена при использовании относительной скорости, не ограниченной условиями, то есть

$$V_{rel}^C = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2\cos\theta}. \tag{66}$$

Таблица A-1-1. Значения V_{rel}^C для $\theta = 0$, RNP 4

	T = 32 мин, S_x = 50 м. миль	T = 14 мин, S_x = 30 м.миль
τ = 4 мин	91,9 уз	87,7 уз
τ = 10,5 мин	80,5 уз	76,6 уз
τ = 13,5 мин	76,2 уз	71,1 уз

4.1.2 Отметим, в частности, что мы рассчитываем риск для двух значений буфера для связи и вмешательства диспетчера для процедурного эшелонирования, а именно τ = 6 мин и τ = 12,5 мин, а также для трех его значений при использовании ADS, а именно τ = 4 мин, τ = 10,5 мин и τ = 13,5 мин. В соответствии с пояснениями, приведенными в справочных материалах 4 и 10, окончательная оценка риска рассчитывается как средневзвешенные значения риска для отдельных значений τ следующим образом:

a) Процедурное эшелонирование:

Оценка = 0,95 × CR (τ = 6) + 0,05 × CR (τ = 12,5).

b) Эшелонирование с использованием ADS:

Оценка = 0,95 × (0,95 × CR (τ = 4) + 0,05 × CR (τ = 10,5) + 0,05 × CR (τ = 13,5).

4.1.2.1 Мы также используем общее значение $|\dot{\bar{z}}| = 1{,}5$ узла для анализа RNP 10 и $|\dot{\bar{z}}| = 1{,}0$ для RNP 4, за исключением случая встречных маршрутов, где используется значение $|\dot{\bar{z}}| = 5{,}0$, поскольку одно из воздушных судов изменяет свой эшелон полета.

4.2 Продольное эшелонирование

Представленные в таблице А-1-2 результаты по RNP 10 для процедурного эшелонирования были получены в предположении, что интервал передачи сообщений равен 24 мин, в то время как результаты таблицы А-1-3 для ADS получены при интервале передачи сообщений 27 мин. Результаты для RNP 4, представленные в таблице А-1-4, получены при интервале 14 мин для нормы эшелонирования 30 м. миль и 32 мин для нормы 50 м. миль. Полученные результаты по ряду причин отличаются от предложенных ранее значений. Одна из причин связана с изменениями основной модели для случая полета по разным трассам. Проведенные расчеты показали, что в общем случае риск возрастает с увеличением угла пересечения θ, за исключением RNP 4 при бóльших значениях $T + \tau$ и встречном движении воздушных судов. В некоторых случаях при RNP 10 риск в области $\theta = 45°$ почти в три раза выше риска при $\theta = 0$. Другая причина различий заключается в использовании, в соответствии с приведенными выше объяснениями, существенно больших значений вероятности вертикального перекрытия.

Таблица А-1-2. Результаты расчетов для RNP 10 при продольном процедурном эшелонировании (Значения риска приведены в единицах катастроф на летный час)

Норма эшелонирования (м. мили)	Требуемые навигационные характеристики	Максимальный период передачи сообщений (мин)	Риск для τ = 6 мин	Риск для τ = 12,5 мин	Средне-взвешенный риск
50	10	24	$4{,}9 \times 10^{-9}$	$5{,}8 \times 10^{-9}$	$4{,}9 \times 10^{-9}$

Таблица А-1-3. Результаты расчетов для RNP 10 при эшелонировании на основе ADS (Значения риска приведены в единицах катастроф на летный час)

Норма эшелонирования (м. мили)	Требуемые навигационные характеристики	Максимальный период передачи сообщений (мин)	Риск для τ = 4 мин	Риск для τ = 10,5 мин	Риск для τ = 13,5 мин	Средне-взвешенный риск
50	10	27	$4{,}0 \times 10^{-9}$	$8{,}2 \times 10^{-9}$	$8{,}2 \times 10^{-9}$	$4{,}4 \times 10^{-9}$

Таблица А-1-4. Результаты расчетов для RNP 4 при эшелонировании на основе ADS (Значения риска приведены в единицах катастроф на летный час)

Норма эшелонирования (м. мили)	Требуемые навигационные характеристики	Максимальный период передачи сообщений (мин)	Риск для $\tau = 4$ мин	Риск для $\tau = 10{,}5$ мин	Риск для $\tau = 13{,}5$ мин	Средне-взвешенный риск
30	4	14	$3{,}6 \times 10^{-10}$	$1{,}6 \times 10^{-8}$	$5{,}7 \times 10^{-8}$	$3{,}9 \times 10^{-9}$
50	4	32	$1{,}4 \times 10^{-9}$	$1{,}3 \times 10^{-8}$	$2{,}8 \times 10^{-8}$	$3{,}3 \times 10^{-9}$

Таблица А-1-5. Результаты расчетов для продольного эшелонирования на основе ADS на встречных маршрутах (Значения риска приведены в единицах катастроф на летный час)

Требуемые навигационные характеристики	Норма продольного эшелонирования (м. мили)	Норма вертикального эшелонирования (фут)	Максимальный период передачи сообщений ADS (мин)	Время изменения эшелона (мин)	Оценка риска
10	50	2 000	27	8	$1{,}7 \times 10^{-10}$
10	50	1 000	27	4	$3{,}2 \times 10^{-9}$
4	30	2 000	14	8	$3{,}9 \times 10^{-16}$
4	30	1 000	14	4	$1{,}1 \times 10^{-12}$

4.3 Продольное эшелонирование на основе ADS на встречных маршрутах

Как было отмечено в разделе 3.3, оказывается, что риск для этого случая становился максимальным при $\theta = 180°$. Следовательно, мы можем использовать результаты, основанные на аналитической зависимости, представленной уравнением 55. Результаты приведены в таблице А-1-4. Аналогично для RNP 10 используется значение вероятности вертикального перекрытия 0,48, а для RNP 4 – значение 0,55. Также, поскольку одно из воздушных судов меняет эшелон полета, для $|\bar{\dot{z}}|$ мы используем значение 5 узлов. Это составляет приблизительно 500 фут/мин – обычная характеристика для набора высоты. Значения, представленные в таблице А-1-5, относятся к номинальной скорости воздушных судов 300 узлов, при которой получается максимальная оценка риска, хотя весьма маловероятно, что оба воздушных судна будут иметь столь малую путевую скорость, если они находятся на встречных маршрутах. Данные результаты были рассчитаны для одного значения периода передачи сообщений для каждого RNP, так как чем больше этот период, тем больше риск, что связано с ростом ошибок экстраполяции. Предполагалось также, что в воздушном пространстве RVSM необходимое время изменения эшелона составляет 4 мин, а в обычном воздушном пространстве оно составляет 8 мин.

4.4 Боковое эшелонирование

Результаты для обеих частей данного раздела были получены в предположении, что значение NP, числа пар на летный час, составляет 0,5. Анализ времен передачи сообщений воздушных судов при осуществлении пересечений в районе Тасманского моря как на основе исторических данных за 1993 и 1994 годы, так и по данным моделирования на основе шестинедельных планов полетов за 1998 и 1999 годы дал значение NP приблизительно 0,02 по всем пересечениям. Таким образом, представленные результаты должны быть консервативными с коэффициентом приблизительно 25 для района Тасманского моря и, следовательно, должны быть применимы к воздушному пространству со значительно более интенсивным воздушным движением, чем в районе Тасманского моря. Заметим, что параметр NP оставляет воздушным судам возможность составлять несколько пар при различных пересечениях за время полета в данном воздушном пространстве. Отметим также еще одно консервативное допущение, что все пары разделены на величину нормы эшелонирования.

a) *Оба воздушных судна входят в зону конфликта.* Результаты, основанные на методологии справочного материала 18, представлены в таблице A-1-6. Расчеты проводились для углов в интервале между 15 и 135°. Максимальный риск был получен при $\theta = 15°$.

b) *Одно воздушное судно выходит из зоны конфликта в то время, как другое входит в нее.* Результаты, представленные в таблице A-1-7, были получены для различных сочетаний скоростей воздушных судов. Расчеты проводились для углов между 15 и 135°. Для RNP 10 риск получался максимальным при $\theta = 135°$ во всех случаях; однако для RNP 4 это имело место не всегда.

Таблица A-1-6. Результаты расчетов для случая бокового эшелонирования на пересекающихся трассах, когда оба воздушных судна подходят к зоне конфликта (Значения риска приведены в единицах катастроф на летный час)

Требуемые навигационные характеристики	Норма бокового эшелонирования (м. мили)	Максимальный период передачи сообщений (мин)	Оценка риска
10	50	24	$1{,}1 \times 10^{-9}$
10	50	27	$1{,}1 \times 10^{-9}$
4	30	14	$4{,}4 \times 10^{-13}$

Таблица А-1-7. Результаты расчетов для случая бокового эшелонирования на пересекающихся трассах, когда одно воздушное судно входит в зону конфликта, в то время как второе покидает ее (Значения риска приведены в единицах катастроф на летный час)

Требуемые навигационные характеристики	Норма бокового эшелонирования (м. мили)	Максимальный период передачи сообщений (мин)	Номинальная скорость первого воздушного судна (узлы)	Номинальная скорость второго воздушного судна (узлы)	Оценка риска
10	50	27	300	600	$2{,}4 \times 10^{-9}$
10	50	27	480	480	$1{,}4 \times 10^{-9}$
10	50	27	300	300	$1{,}7 \times 10^{-9}$
10	50	27	600	300	$1{,}6 \times 10^{-9}$
4	30	14	300	600	$6{,}4 \times 10^{-11}$
4	30	14	480	480	$3{,}0 \times 10^{-11}$
4	30	14	300	300	$2{,}2 \times 10^{-12}$
4	30	14	600	300	$3{,}6 \times 10^{-13}$

5. ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Автор признателен Кариму Мехадхеби за численные методы, описанные в справочном материале 18, а также за предоставление соответствующих программ, которые были использованы для проведения расчетов в этом добавлении. Автор был бы также рад поблагодарить членов Математической подгруппы RGCSP за многочисленные ценные комментарии и предложения, улучшившие данный материал.

6. СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Anderson, D. and Karppinen, N.E., *A Collision Risk Analysis of Data from the Oakland and Pacific Areas*, ICAO RGCSP WG/A WP/15, September 1994.

2. Anderson, David, *A Collision Risk Analysis of Intersecting Tracks*, ICAO RGCSP WG/A WP/7, April 1998.

3. Anderson, David, *A General Collision Risk Model for Distance-Based Separation on Intersecting and Coincident Tracks*, ICAO RGCSP WG/A WP/12 (revised), November 2000.

4. Anderson, David, *An Extended Methodology for ADS Longitudinal Separation Standards*, ICAO RGCSP/10 WP/7, May 2000.

5. Anderson, D., *Details of Derivations in WP9 (Seattle) and WP15, WP9 (Singapore)*, unpublished working paper, 1994.

6. Anderson, D., *On the Standard Longitudinal Collision Risk Equation*, RGCSP/9 WP/7, May 1996.

7. Anderson, D. and Lin, X.G., *A Collision Risk Model for a Crossing Track Separation Methodology*, ICAO RGCSP/9 WP/9, May 1996.

8. Anderson, D. and Lin, X.G., *A Methodology for ADS Reciprocal Track Longitudinal Separation Standards*, ICAO RGCSP/10 WP/21, May 2000.

9. Anderson, D. and Lin, X.G., *A Modified Collision Risk Model for a Crossing Track Separation Methodology*, ICAO RGCSP/10 WP/14, May 2000.

10. Anderson, D. and Lin, X.G., *An Extended Methodology for Longitudinal Same-Track Separation*, ICAO RGCSP/10 WP/9, May 2000.

11. Brooker, P. and Lloyd, D.E., *Collision Risk and Longitudinal Separation Standards for North Atlantic Air Traffic*, DORA communication 7801, Civil Aviation Authority, London, 1978.

12. Flax, B., *Estimating the Probability and Duration of Horizontal Overlaps Experienced by Airplanes Assigned to the Same Flight Level on Intersecting Oceanic Routes*, ICAO RGCSP WG/A WP/2, May 1999.

13. Flax, B., *Estimating the Rate of Collisions Between Airplanes Assigned to the Same Flight Level on Intersecting Oceanic Routes*, ICAO RGCSP WG/A WP/3, May 1999.

14. ICAO Doc 4444, *Procedures for Air Navigation Services, Rules of the Air and Air Traffic Services*, Thirteenth Edition, 1996.

15. ICAO Doc 9689-AN/953, *Manual on Airspace Planning Methodology for the Determination of Separation Minima*, First Edition, 1998.

16. Karppinen, N.E. and Anderson, D., *A General Methodology Relating Navigational Performance to Longitudinal Distance Separation*, ICAO RGCSP WG/A WP/9, September 1993.

17. Karppinen, N.E. and Anderson, D., *A Preliminary Collision Risk Analysis Using Data from the Pacific Area*, ICAO RGCSP WG/A WP/8 September 1993.

18. Mehadhebi, K., *Analytical Derivation of the Crossing Track ADS Model*, CENA/NT01-508, 9 January 2001.

19. Reich, PG. *Analysis of Long-Range Air Traffic Systems — Separation Standards I*, Journal of Navigation, 1966.

20. Reich, PG. *Analysis of Long-Range Air Traffic Systems — Separation Standards II*, Journal of Navigation, 1966.

21. Reich, PG. *Analysis of Long-Range Air Traffic Systems — Separation Standards III, Journal of Navigation*, 1966.

Эта страница специально оставлена чистой

Таблица А-1-1. Боковое эшелонирование маршрутов
Соотношение разности углов между линиями пути и CPA, обеспечивающее расстояние от точки пересечения, на котором выдерживается боковое эшелонирование

Разность углов	CPA (воздушное судно 1) = = 50 м.миль				CPA (воздушное судно 1) = = 30 м.миль				CPA (воздушное судно 1) = = 25 м.миль				CPA (воздушное судно 1) = = 15 м.миль			
CPA (ВС 2)→	50 м.миль	30 м.миль	25 м.миль	15 м.миль	50 м.миль	30 м.миль	25 м.миль	15 м.миль	50 м.миль	30 м.миль	25 м.миль	15 м.миль	50 м.миль	30 м.миль	25 м.миль	15 м.миль
15°	388	310	291	252	310	232	213	174	291	213	194	155	252	174	155	116
20°	293	235	220	191	235	176	161	132	220	161	147	117	191	132	117	88
25°	237	190	178	154	190	142	131	107	178	131	119	95	154	107	95	71
30°	201	161	151	131	161	121	111	90	151	111	101	80	131	90	80	60
35°	175	140	131	114	140	105	96	79	131	96	88	70	114	79	70	53
40°	156	125	117	102	125	94	86	71	117	86	78	63	102	71	63	47
45°	142	114	107	92	114	85	78	64	107	78	71	57	92	64	57	43
50°	131	105	98	85	105	79	72	59	98	72	66	53	85	59	53	40
55°	123	98	92	80	98	74	68	55	92	68	62	49	80	55	49	37
60°	116	93	87	76	93	70	64	52	87	64	58	47	76	52	47	35
65°	111	89	83	72	89	67	61	50	83	61	56	45	72	50	45	34
70°	107	86	80	70	86	64	59	48	80	59	54	43	70	48	43	32
75°	104	83	78	68	83	63	57	47	78	57	52	42	68	47	42	32
80°	102	82	77	66	82	61	56	46	77	56	51	41	66	46	41	31
85°	101	81	76	66	81	61	56	46	76	56	51	41	66	46	41	31
90°	100	80	75	65	80	60	55	45	75	55	50	40	65	45	40	30

Примечание. В таблице А-1-1 представлены предварительно установленные значения расстояния, на котором выдерживается боковое эшелонирование при пересекающихся линиях пути. Точку бокового эшелонирования можно определить посредством выбора CPA обоих маршрутов и значения разности углов в точке пересечения, с округлением в сторону уменьшения, и считывания расстояния.

Добавление 2
ПЛАНИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МАРШРУТОВ

В настоящем добавлении приводится описание двух случаев пересмотра маршрутов. Первое описание относится к стратегии совершенствования сети маршрутов ОВД в рамках Программы гармонизации и интеграции управления воздушным движением в Европе. Второе описание относится к пересмотру структур воздушных трасс ОВД и RNAV, предпринятому Управлением гражданской авиации Австралии.

ЧАСТЬ 1: СТРАТЕГИЯ И МЕТОДИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СЕТИ МАРШРУТОВ ОВД В РАМКАХ ПРОГРАММЫ ГАРМОНИЗАЦИИ И ИНТЕГРАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В ЕВРОПЕ (EATCHIP)

1. ИСТОРИЯ ВОПРОСА

1.1 Еще в 1988 году было признано, что в Европейском регионе, в который входит много государств, в том числе несколько очень небольших государств, сеть воздушных трасс ОВД необходимо совершенствовать на региональной основе вместо того, чтобы каждое отдельное государство самостоятельно занималось решением своих собственных конкретных проблем. Был проведен ряд совещаний, в которых принимали участие специалисты по планированию воздушного пространства, представлявшие в каждом случае не менее пятнадцати государств. В результате все европейские государства согласились направить усилия в первую очередь на создание системы, получившей название "Сеть магистральных воздушных трасс ARN". Это соглашение предусматривало использование возможностей RNAV с целью уменьшения протяженности маршрутов ОВД выше эшелона полета 300. Эти усилия завершились ограниченным успехом, однако послужили предвестником более тщательно проработанных стратегий.

1.2 Начиная с 1992 года, европейские государства в рамках Программы гармонизации и интеграции управления воздушным движением в Европе (EATCHIP) принимают меры с целью расширения возможностей ОВД на основе более эффективной организации воздушного пространства и оптимизации сети маршрутов ОВД. Эта работа ведется силами группы специалистов по планированию воздушного пространства из различных стран всего региона, которые обеспечивают согласованность, совместимость и практическую осуществимость деятельности по планированию и разработке усовершенствований в сети маршрутов и структуре воздушного пространства.

1.3 В настоящем добавлении разъясняется методика, используемая при разработке усовершенствований на региональной основе. Она приводится в качестве примера того, как можно проводить такую работу на региональной основе в регионе, состоящем из большого числа государств, у каждого из которых есть свои конкретные проблемы и свои собственные требования к гражданскому и военному воздушному пространству.

2. МЕТОДИКА

2.1 Используемый в рамках EATCHIP метод состоит из пяти основных этапов:

a) *совместное планирование* с участием всех заинтересованных сторон — гражданских и военных поставщиков ОВД и пользователей;

b) согласование *комплекса региональных принципов и критериев*, обеспечивающих максимально возможный учет национальных требований;

c) определение *единой поэтапной методики* планирования и разработки усовершенствований, то есть воспроизводимого, эволюционного подхода к изменению сети маршрутов;

d) *разработка предложений*, основанных на использовании систематического общего подхода к региональному планированию; и

e) использование групп специалистов для *проверки предложений* и обеспечения утверждения государствами.

2.1.1 Совместное планирование

2.1.1.1 Прилагаются максимальные усилия, с тем чтобы обеспечить участие в процессе планирования всех заинтересованных сторон с самых ранних этапов до окончательного утверждения. Предварительное планирование осуществляется группой широкого состава — группой по вопросам воздушного пространства и навигации (ANT), в которую входят гражданские и военные специалисты по планированию воздушного пространства, гражданские и военные пользователи и другие специалисты по вопросам ОВД по мере необходимости. ANT принимает решения высокого уровня и дает поручения подгруппе специалистов — подгруппе по разработке сети маршрутов (RNDSG), которая может, в случае необходимости, поручать конкретные задания целевым группам. RNDSG состоит из ряда отобранных членов ANT. RNDSG работает над конкретными усовершенствованиями сети маршрутов и вносит предложения о них на рассмотрение ANT.

2.1.1.2 Важно, чтобы все заинтересованные государства были приглашены участвовать в работе как ANT, так и RNDSG. Кроме того, как гражданским, так и военным полномочным органам каждого государства предлагается принять активное участие в их работе. Ключевыми участниками процесса являются также эксплуатанты воздушных судов авиации общего назначения, рейсовых и чартерных воздушных судов. Еще одним необходимым участником процесса является Секретариат ИКАО. В Европе этот процесс координирует организация ЕВРОКОНТРОЛЬ. В других регионах эту роль может взять на себя та или иная организация, согласованная государствами.

2.1.2 Региональные принципы и критерии

2.1.2.1 В начале процесса следует определить комплекс согласованных принципов и критериев. В них четко формулируются цели процесса, определяются возможные меры и подтверждается обязательство всех заинтересованных сторон по достижению заявленных общих целей. Крайне важно сделать это как можно раньше, с тем чтобы обеспечить четкое понимание всеми участниками объема своих обязательств и выделение национальных ресурсов для нужд процесса. По мере возможности должны учитываться национальные и субрегиональные требования.

2.1.3 Определение единой поэтапной методики

2.1.3.1 Необходимо признать, что в крупном регионе, состоящем из большого числа государств, усовершенствование сети маршрутов по необходимости носит эволюционный характер в противоположность единовременным крупномасштабным изменениям. Почти невозможно перестроить всю сеть, с учетом соответствующих изменений в инфраструктуре УВД (разделение на секторы, распределение частот и т.д.), за один прием. Признание эволюционного характера предлагаемых изменений определяет необходимость повторного использования одного и того же метода разработки предложений в рамках всего процесса среднесрочного и долгосрочного планирования/разработок. В результате этого обеспечиваются постоянный пересмотр усовершенствований сети маршрутов/структуры воздушного пространства и постоянная разработка предложений. Этот процесс иллюстрируется на рис. А-2-1.

2.1.4 Разработка предложений по изменению сети маршрутов/структуры воздушного пространства

2.1.4.1 В рамках обычного процесса организация ЕВРОКОНТРОЛЬ (координатор) и специалисты по планированию, представляющие соответствующую часть региона, изучают выявленные "проблемные участки" и вырабатывают первоначальные рекомендации. Затем эти рекомендации рассматриваются и дополнительно уточняются RNDSG. На следующем этапе RNDSG готовит свой собственный вариант предлагаемой сети маршрутов/структуры воздушного пространства для специалистов по планированию более высокого уровня, входящих в состав ANT. После этого ANT рассматривает предложения и либо просит RNDSG пересмотреть некоторые компоненты предложения, либо утверждает предложение. В конечном счете предложения представляются, по рекомендации ANT, Совету EATCHIP по проектам, который является группой высокого уровня, состоящей из представителей государств. Совет по проектам, будучи группой, занимающейся разработкой политики, может либо запросить дополнительную информацию, либо утвердить предложения. После утверждения предложений Советом по проектам они направляются на рассмотрение в рамках обычного процесса консультаций в рамках ИКАО. Преимущество такого подхода заключается в том, что все государства — поставщики услуг и пользователи воздушного пространства уже "задействованы" в работе над предложениями до начала процесса консультаций в рамках ИКАО.

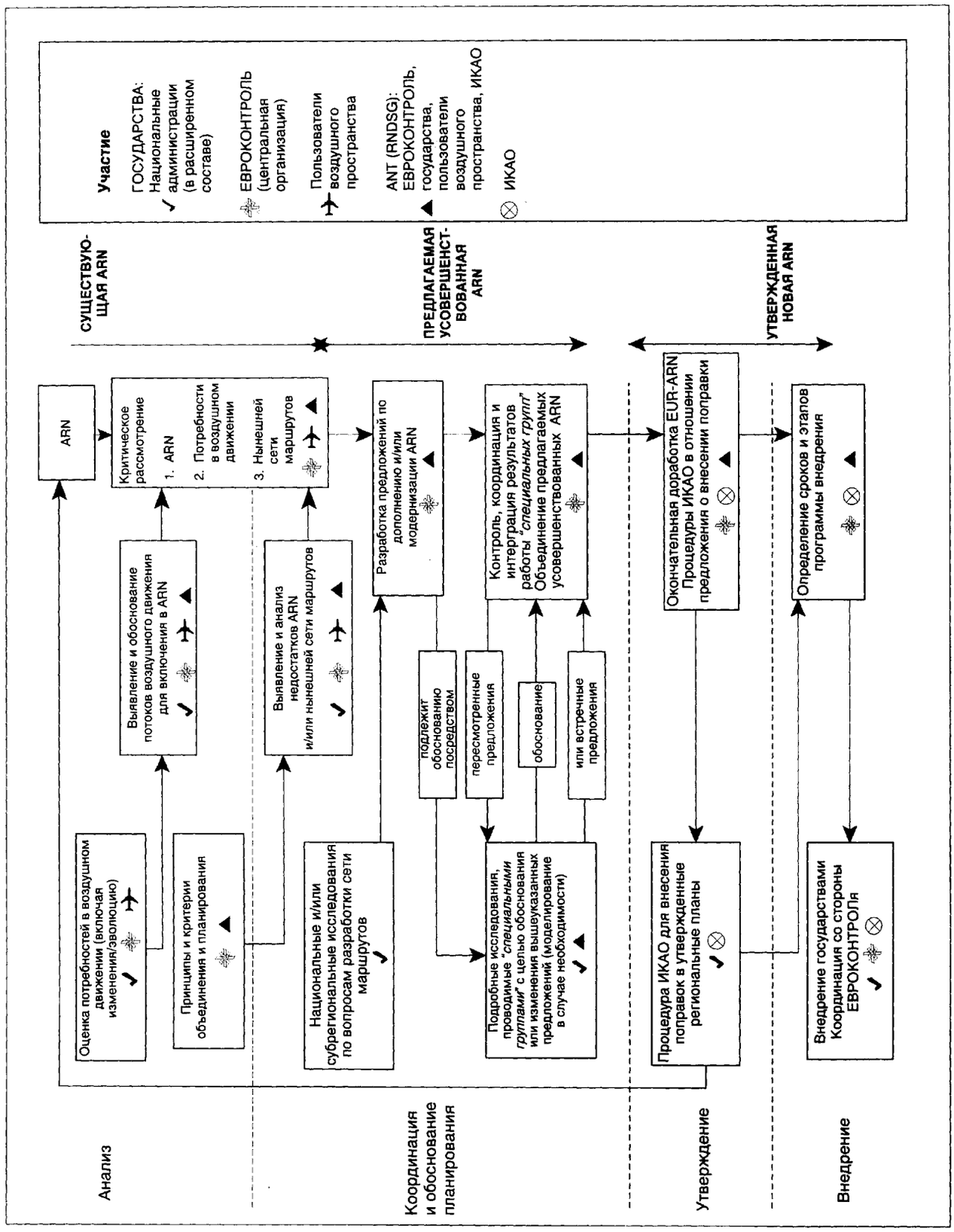


Рисунок А-2-1. Пример поэтапной методики

2.1.5 Группа специалистов по вопросам проверки и утверждения

2.1.5.1 В рамках описанного выше процесса могут созываться группы специалистов для рассмотрения предлагаемых изменений в структуре сети маршрутов/воздушного пространства. Обычно рассматривается конкретный "проблемный участок" или несколько проблемных участков. Группа специалистов должна состоять из национальных экспертов, пользователей и других лиц, хорошо знакомых с проблемой. Группа специалистов должна проводить подробные исследования предлагаемых изменений, включая, например, влияние на соседнее воздушное пространство, возможности УВД и прогнозируемую потребность в воздушном движении. При исследованиях может использоваться моделирование в ускоренном режиме и/или в режиме реального времени. Необходимо учитывать, что предлагаемые изменения необходимо будет интегрировать в структуру сети маршрутов/воздушного пространства и рассмотреть их влияние на все воздушное пространство.

2.1.6 Внедрение

2.1.6.1 После согласования предлагаемых изменений должна быть разработана программа внедрения. При этом следует согласовать сроки публикации материалов по регламентированию и контролю аэронавигационной информации (AIRAC) и очередность реализации изменений в случае невозможности реализовать все предложение в целом в одно и то же время. На любом этапе осуществления программы необходимо обеспечивать согласованность и преемственность сети маршрутов. После утверждения программы каждое государство внедряет изменения в согласованные сроки с помощью, по мере необходимости, со стороны координирующей организации.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

3.1 Исходя из признания того, что разработка национальных или субрегиональных требований является непосредственной задачей национальных гражданских и военных полномочных органов, в основу организации успешного процесса положены обеспечение активной поддержки процесса всеми заинтересованными сторонами на начальном этапе и гарантирование их поддержки и участия на всех его этапах. Важно достигать консенсуса на каждом этапе процесса. Этот консенсус обеспечивает уверенность, необходимую для того, чтобы можно было приступить к процессу консультаций в рамках ИКАО при наличии определенных гарантий, что соответствующие поставщики услуг и пользователи принимали участие в процессе, приведшем к разработке предложения ИКАО о поправке, знакомы с его содержанием и с большей степенью вероятности утвердят данную поправку.

ЧАСТЬ 2: ПЛАНИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МАРШРУТОВ В АВСТРАЛИИ

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 В конце 1993 года существовавшее в то время Управление гражданской авиации Австралии приступило к крупномасштабному пересмотру действующих структур воздушных трасс ОВД и RNAV. Был определен круг ведения, который кратко излагается ниже, и сформирована группа по пересмотру из представителей Управления[1], Министерства обороны и авиационной отрасли, включая соответствующие службы УВД и отраслевые организации пилотов. Эта группа по пересмотру должна была отчитываться перед Комитетом управляющих в составе представителей руководящего звена Управления обслуживания воздушного движения Австралии, CASA и Министерства обороны.

1.2 На своем первом заседании в ноябре 1993 года группа по пересмотру разработала четырнадцать "рабочих принципов построения воздушных трасс" (см. ниже раздел 3), которые были положены в основу ее работы по изменению структуры. Эти принципы были впоследствии утверждены Региональной группой ИКАО по планированию и внедрению аэронавигации в Азиатском/Тихоокеанском регионе (APANPIRG) в качестве "рабочих руководящих принципов построения воздушных маршрутов" и в дальнейшем использовались для содействия аналогичным пересмотрам структуры воздушных трасс над районами, такими, как Южно-Китайское море.

1.3 Новая структура маршрутов ОВД и RNAV для внутреннего и океанического воздушного пространства Австралии и для района Тасманова моря между Австралией и Новой Зеландией была разработана на основе подхода "чистого листа" и была успешно внедрена, наряду с пересмотренным планом разделения УВД на секторы, 14 сентября 1995 года. Новые маршруты были внедрены в соответствии с подробным "эксплуатационным переходным планом", который содержал также подробные

1. В июле 1995 года ответственность за обеспечение обслуживания и регламентирование безопасности была возложена, на основании закона, на две отдельные организации, а именно Управление обслуживания воздушного движения Австралии и Управление по безопасности гражданской авиации (CASA).

ограничения планирования полетов. Через две недели, с согласия органов УВД и соответствующих эксплуатантов, этот переходный план был аннулирован, и началось использование значительных преимуществ с точки зрения безопасности и эффективности, обеспечиваемых новой структурой маршрутов.

2. КРУГ ВЕДЕНИЯ

2.1 Круг ведения при проведении пересмотра включал в себя следующие задачи:

a) провести совместный анализ структур маршрутов ОВД и RNAV, представленных в Сборнике аэронавигационной информации (AIP) Австралии;

b) выявить недостатки в существующих структурах маршрутов ОВД и RNAV и в их представлении в AIP и выработать рекомендации, которые могут потребоваться, в целях скорейшего внедрения усовершенствований в структурах маршрутов, обеспечивающих:

   1) дальнейшие возможности отрасли по достижению оптимальных характеристик на основе использования современных бортовых систем,

   2) дальнейшие возможности по внедрению:

      i) односторонних маршрутов с боковым эшелонированием, например, структуры маршрутов в районе Большого Австралийского залива, и

      ii) гибкого или динамичного прокладывания маршрутов, например, гибких линий пути в южной части Тихого океана,

   3) эффективность с точки зрения ОВД на основе учета нынешних и будущих мер по организации воздушного пространства, включая разделение УВД на секторы, возможности системы ОВД и минимумы эшелонирования, и

   4) возможность рационализации существующей структуры маршрутов и усовершенствованного представления карт;

c) проводить консультации с отраслевыми консультативными органами, международными и отечественными эксплуатантами, Министерством обороны, соответствующими подразделениями Управления обслуживания воздушного движения Австралии (например, отделами по вопросам эксплуатации объектов и техники), регламентирующими полномочными органами и отраслевыми организациями; и

d) рассматривать рекомендации, содержащиеся в докладе независимого консультанта по вопросам необходимости и пропускной способности структуры маршрутов, наряду с применимостью инициатив по организации воздушных трасс и воздушного пространства, осуществляемых такими органами, как APANPIRG, Координационная группа ИКАО по обслуживанию воздушного движения в районе Индийского океана (IOACG) и Неофициальная координационная группа по обслуживанию воздушного движения в южной части Тихого океана (ISPACG).

3. РАБОЧИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ТРАСС

3.1 Ниже изложены четырнадцать рабочих принципов, разработанных группой по пересмотру:

a) Воздушные трассы будут соответствовать надлежащим Стандартам и Рекомендуемой практике ИКАО (SARPS).

b) По мере возможности маршруты следует устанавливать с целью повышения эффективности, уменьшения сложности и обеспечения дополнительных преимуществ для пользователей.

c) Необходимо применять следующие принципы обеспечения эшелонирования:

   1) маршруты следует устанавливать с обеспечением интервала эшелонирования, достаточного для независимого выполнения полетов,

   2) по мере возможности на маршрутах в условиях применения радиолокационного наблюдения следует обеспечивать процедурное (боковое) эшелонирование, и

   3) на маршрутах со средней/высокой плотностью движения следует устанавливать раздельные линии пути, которые определяются установленными критериями.

d) По мере необходимости маршруты следует строить с учетом процедур организации движения в районах аэродромов, например, SID/SRD/STAR, и методов организации потоков, в зависимости от обстоятельств.

e) В отдельно взятом секторе следует обеспечивать боковое эшелонирование схем полета в зоне ожидания относительно других используемых линий пути и допусков.

f) В отдельно взятой точке следует совмещать не более двух маршрутов с движением высокой плотности. Линии пути приближения следует совмещать под углом менее 90 градусов. В отдельной точке можно совмещать не более трех маршрутов с движением низкой плотности.

g) Следует избегать нескольких точек пересечения на пути основных потоков воздушного движения.

h) Следует свести к минимуму число пересечений на маршруте. В тех случаях, когда пересечения неизбежны, их следует, по возможности, устанавливать для крейсерской конфигурации. Такие пересечения должны происходить, по мере возможности, в пределах зоны действия радиолокатора.

i) При разделении воздушного пространства на секторы следует учитывать структуру маршрутов и рабочую нагрузку. В случае необходимости следует изменить разделение воздушного пространства на секторы с учетом изменений в конфигурации воздушной трассы.

j) Маршруты следует строить с учетом оптимальных навигационных возможностей основных пользователей (например, RNAV или обычные).

k) Основным определяющим фактором не должна быть минимальная протяженность линии пути в милях. Небольшое увеличение протяженности линии пути в милях может позволить оптимизировать потоки воздушного движения, избежать непрогнозируемых задержек или исключить необходимость ожидания.

l) Необходимо должным образом учитывать существующие и будущие возможности систем обработки полетных данных/радиолокационных данных (то есть уведомление о сообщениях в случае автоматической передачи управления и т.д.).

m) Необходимо периодически проводить проверку и пересмотр маршрутов с точки зрения безопасности с целью испытания как критериев сравнения потребностей и пропускной способности, так и принципов. В идеальном случае, их следует проводить параллельно с ежегодным рассмотрением схемы разделения на секторы.

n) Следует аннулировать маршруты, которые более не являются обоснованными.

4. ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕРЕСМОТРЕННОЙ СТРУКТУРЫ МАРШРУТОВ

4.1 Ниже перечислены основные преимущества пересмотренной структуры маршрутов ОВД и RNAV:

a) повышенная безопасность;

b) повышенная гибкость при планировании полетов на внутренних и международных маршрутах большой протяженности;

Примечание. Отраслевые исследования показали возможность экономии более чем 20 миллионов австралийских долларов ежегодно, главным образом за счет ежегодной экономии топлива в размере примерно 25 000 тонн.

c) значительное повышение эффективности УВД за счет уменьшения проблем рабочей нагрузки, возникавших вследствие ограничений бокового эшелонирования на отдельных участках прежней структуры маршрутов;

d) внедрение большего числа односторонних маршрутов с боковым эшелонированием, на которых используются схемы типа "ипподром";

e) более надлежащее представление типа полетов, которые выполняются в верхнем воздушном пространстве, то есть эксплуатантами, использующими оборудование RNAV; и

f) представление карт AIP/MAP с указанием как маршрутов RNAV, так и маршрутов ОВД на одной карте.

5. КОНТАКТЫ

5.1 Дополнительную информацию, касающуюся данного пересмотра, можно получить по адресу:

Manager, Airspace and Air Routes
Air Traffic Services Division
Air Services Australia
GPO Box 367
Canberra ACT 2601
AUSTRALIA

Телефон: +61 6 268 4437
Факс: +61 6 268 5695

Добавление 3

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВОПРОСАМ АНАЛИЗА ЗАТРАТ—ВЫГОД

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 В настоящем добавлении приводится краткое описание процесса, осуществляемого с целью первоначального анализа затрат—выгод (CBA), связанных с применением сокращенных минимумов вертикального эшелонирования (RVSM) и сокращенного бокового разделения маршрутов (RLRS) в воздушном пространстве Европы. Предварительные выводы и рекомендации приводятся в конце добавления.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ И ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВОПРОСАМ CBA

2.1 До начала исследования по вопросам CBA необходимо определить предмет анализа, масштабы и конечную цель исследования. Для этого необходимо уточнить рамки исследования и определить, возможен ли достоверный анализ на основании имеющихся данных.

2.2 После того, как принято решение о содержании и цели исследования, следующий шаг состоит в построении модели, которая точно отражает нынешние условия и те условия, которые существовали бы в случае внедрения предлагаемых изменений (в данном случае RVSM или RLRS). Чтобы определить, существуют ли в достаточной степени положительные показания для продолжения исследования, проводится первоначальная оценка данной модели.

3. РАЗРАБОТКА ИСХОДНОГО ("БЕЗ ИЗМЕНЕНИЙ") И ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СЦЕНАРИЕВ

3.1 Одним из важных элементов исследования по вопросам CBA является определение того, какими будут типичные затраты и условия в будущем в том случае, если система сохранится в неизменном виде. Важно, чтобы относящиеся к рассматриваемому периоду прогнозы плотности воздушного движения были как можно более точными. При сравнении RVSM и RLRS в воздушном пространстве Европы в сценарии "без изменений" были приняты следующие допущения:

a) воздушные суда обладают навигационными возможностями не ниже типа RNP-5;

b) воздушные суда не будут обладать навигационными возможностями типа RNP-1;

c) RVSM будут применяться только в пределах NAT;

d) вертикальное эшелонирование будет составлять 2000 фут для воздушных судов выше эшелона полета 290, а продольное эшелонирование воздушных судов будет составлять 5—10 м. миль; и

e) те усовершенствования, которые были согласованы на региональной основе для ОВД в Европе, будут завершены к 1998 году, однако ни RVSM, ни RLRS не будут внедрены.

3.2 При определении альтернативных сценариев важное значение имеет привлечение эксплуатационного персонала служб ОВД, технического персонала и персонала по эксплуатации авиалиний (пользователи воздушного пространства). В рамках исследования рассматривались следующие сценарии:

a) внедрение RVSM:

1) вертикальное эшелонирование в 1000 фут будет применяться в отношении воздушных судов между эшелоном полета 290 и эшелоном полета 410,

2) воздушные суда будут обладать навигационными возможностями типа RNP-5,

3) в Европейском регионе будут внедрены согласованные на региональной основе усовершенствования системы ОВД,

4) будут введены в действие MASPS в отношении систем измерения высоты,

5) службы ОВД будут осуществлять контроль за характеристиками выдерживания относительной высоты участвующих в воздушном движении воздушных судов,

6) ЕКГА не предъявляет никаких требований в отношении типа RNP-1, и

7) RVSM будет внедрен в период 1999—2003 годов и будет продолжать действовать по меньшей мере до 2015 года;

b) внедрение полномасштабного RLRS:

1) оснащение воздушных судов оборудованием RNAV, утвержденным для типа RNP-1, будет обязательным на всех маршрутах в районе,

2) RLRS будет внедрено в верхнем воздушном пространстве ЕКГА и на маршрутах перехода с эшелона на участок захода на посадку в ТМА,

3) будут введены в действие стандарты ЕВРОКОНТРОЛя в отношении оборудования,

4) разделение маршрутов между осевыми линиями будет составлять 7—10 м. миль,

5) RVSM не будет введен в действие, и

6) RLRS будет внедрено в период 2003—2007 годов и будет продолжать действовать по меньшей мере до 2015 года; и

c) внедрение минимального RLRS:

1) обязательное оснащение воздушных судов утвержденным оборудованием типа RNP-1 будет ограничено маршрутами с высокой плотностью движения,

2) будет действовать вариант простого снижения требований по сравнению с полномасштабным RLRS, при этом определенная часть маршрутов будет отводиться исключительно для воздушного движения с применением RLRS, и

3) минимальное RLRS будет внедрено в период 1998—2002 годов и будет продолжать действовать по меньшей мере до 2015 года.

4. АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ

4.1 После того, как определены сценарии, необходимо перечислить преимущества, которые предполагается получить в результате предлагаемых изменений. На этом этапе важно провести консультации со всеми заинтересованными сторонами (поставщиками ОВД, пользователями, военными ведомствами, техническим персоналом, представителями отрасли и т.д.), поскольку предполагаемые преимущества, которые получит одна часть авиационного сообщества, могут не быть очевидными для других сторон.

4.2 В отношении изменений, связанных с внедрением RVSM/RLRS в Европе, по каждому варианту был составлен перечень групп потенциальных преимуществ, в который были включены:

a) RVSM

1) сокращение задержек (выраженное в количественном отношении с помощью простой модели теории массового обслуживания на макроуровне (системном)),

2) экономия топлива в верхнем воздушном пространстве (выше эшелона полета 290), поскольку воздушные суда могут выполнять полет на эшелонах полета, более близких к оптимальному эшелону полета, и

3) экономия топлива в результате расширения возможности доступа к верхнему воздушному пространству; и

b) RLRS

c) сокращение задержек (также выраженное в количественном отношении с помощью модели теории массового обслуживания), и

d) экономия топлива вследствие того, что фактический маршрут, установленный для воздушного судна, будет расположен ближе к его оптимальному маршруту.

5. АНАЛИЗ ЗАТРАТ

5.1 После определения выгод необходимо определить затраты, связанные с реализацией каждого из сценариев. И в этом случае в определении вероятных необходимых затрат должны участвовать все заинтересованные стороны. Для всех трех вариантов элементы затрат включают в себя:

a) наем авиадиспетчеров;

b) капиталовложения (ATM/CNS) поставщика ОВД;

c) затраты поставщика ОВД на техническое обслуживание и обеспечение;

d) затраты поставщика ОВД на НИОКР;

e) капиталовложения эксплуатантов воздушных судов;

f) затраты эксплуатантов воздушных судов на техническое обслуживание и обеспечение; и

g) прочие (например, подготовка экипажей).

6. ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВА

6.1 Для оценки преимуществ альтернативных направлений инвестиций могут использоваться различные виды показателей или методы расчета. Государствам или регионам, которые рассматривают возможность внесения изменений, необходимо проконсультироваться со специалистами по данным вопросам, с тем чтобы определить наиболее пригодный метод. Для Европы был выбран метод классической чистой текущей стоимости (NPV), дополненный отношением дохода к издержкам. Такой метод необязательно является лучшим способом анализа во всех случаях. По этой причине ниже приводится объяснение различных показателей СВА.

6.2 Наиболее широко используемым и лучшим показателем является NPV, которая определяется как разность между текущей стоимостью выгод и текущей стоимостью затрат за весь период исследования. Следует выбирать вариант с самой высокой NPV.

6.3 Термин "текущая стоимость" означает, что потоки выгод и затрат на протяжении срока осуществления проекта дисконтируется с использованием *учетной ставки*, представляющей заявленную норму прибыли (в реальном выражении) на капитал, которая ожидается в данном секторе деятельности. Эта учетная ставка не зависит от инфляции и указывает, насколько быстро нынешняя стоимость будущей реальной валютной единицы (доллар) снижается со временем, так же, как реальная ставка процента указывает, насколько быстро будет возрастать стоимость одного доллара, инвестированного в настоящее время (компромисс между нынешним и будущим потреблением).

6.4 Альтернативным показателем является *внутренняя норма прибыли* (IRR). Она представляет собой учетную ставку, при которой чистая текущая стоимость проекта равна нулю; иными словами, при этой ставке дисконтированные выгоды равны дисконтированным затратам. Решение о том, следует ли осуществлять проект, должно в принципе зависеть от того, выше ли IRR целевой учетной ставки или ниже. Этот показатель широко используется в частном секторе. Кратные математические решения, к которым приводит этот метод, требуют осторожного подхода. Кроме того, нередко ранжирование проектов с помощью метода IRR не соответствует их ранжированию на основе критерия NPV.

6.5 Еще одним показателем является *срок окупаемости инвестиций*, который также широко применяется в частном секторе. Он представляет собой число лет, необходимых для возмещения первоначальных инвестиций. Сам по себе, срок окупаемости инвестиций является неудовлетворительным показателем, поскольку (за исключением тех случаев, когда он применяется к дисконтированным будущим наличным поступлениям) в нем не обеспечивается прямой учет сроков выгод и затрат и, что более серьезно, вовсе не учитываются любые чистые выгоды, возникающие после наступления срока окупаемости инвестиций. При использовании в сочетании с NPV (прибыльность проекта) он указывает на то, как долго первоначальные инвестиции будут подвержены риску, что может служить показателем риска проекта.

6.6 В тех случаях, когда сроки реализации альтернативных вариантов различны с экономической или эксплуатационной точки зрения, относящееся к проектам чистое движение наличности может быть выражено как *годовая эквивалентная стоимость* (AEV). Та или иная компонента движения наличности может быть представлена в виде постоянной годовой стоимости для целей сравнения. Такой способ представляет собой простую разновидность подхода с использованием NPV.

6.7 Еще одним критерием инвестиций является *отношение дохода к издержкам (B:C)*. Этот показатель определяется как текущая стоимость выгод, деленная на текущую стоимость затрат. Предлагаемый проект с отношением, равным по меньшей мере единице, обеспечит выгоды, равные затратам на его осуществление. Это соответствует положительной или нулевой NPV. Хотя отношение B:C позволяет получить ответ на вопрос о том, какой из альтернативных вариантов следует выбрать с экономической точки зрения, оно зачастую не позволяет определить, как наилучшим образом использовать ограниченные финансовые ресурсы при наличии конкурирующих и взаимоисключающих вариантов. Только в том случае, если все альтернативные варианты характеризуются одинаковой текущей стоимостью затрат (что на практике весьма малове-

роятно), выбор отношения с наибольшей величиной стоимости позволит получить экономически правильный результат.

7. АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

7.1 На данном этапе исследования необходимо определить, насколько детализированными должны быть результаты. Самым важным фактором, который необходимо учитывать, является уровень достоверности прогнозов, подготовленных при определении исходного и эксплуатационного сценария. Для Европы использовались сценарии как с низким, так и с высоким уровнем выгод для определения границ результатов и для отражения самых пессимистической и оптимистической оценок. Использовались следующие параметры чувствительности:

a) средние затраты эксплуатантов воздушных судов в расчете на одну минуту задержки;

b) средняя величина задержки по системе УВД в 1995 году;

c) максимальная приемлемая задержка;

d) годовые темпы роста воздушного движения при неограниченной потребности в движении;

e) отношение теоретической пропускной способности к потребности в воздушном движении в 1995 году ("резервная пропускная способность");

f) рост теоретической пропускной способности в 1995-1999 годах при использовании сценария "без изменений";

g) увеличение теоретической пропускной способности системы УВД при использовании новых вариантов;

h) экономическая учетная ставка;

i) цена авиационного топлива;

j) снижение уровня расхода топлива в процентах при использовании новых вариантов;

k) распределение пользователей в процентах между "новым/старым" воздушным пространством;

l) доля сборов с пользователей в процентах, направляемая на возмещение затрат служб ОВД;

m) изменение сроков внедрения (ускорение на один год); и

n) чувствительность затрат эксплуатантов воздушных судов по отношению к:

   1) срокам списания воздушных судов, не соответствующих MASPS,

   2) средним дополнительным затратам на новое воздушное судно, соответствующее требованиям RNP-1,

   3) средним затратам на модернизацию с учетом требований RNP-1,

   4) размерам парка воздушных судов, использовавших воздушное пространство ЕКГА в 1995 году, и

   5) доле новых воздушных судов, соответствующих MASPS типа RNP-1.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

8.1 На данном этапе на основании результатов, полученных на предшествующих этапах, можно сделать первые выводы. В зависимости от сведений, которые имеются при проведении анализа, и срока, остающегося до внедрения предлагаемого изменения в системе, может оказаться возможным или даже необходимым повторно провести анализ в более поздние сроки, с тем чтобы принять так называемое решение типа "да-нет" на основе более полных сведений. В Европе была достигнута договоренность о повторном проведении исследования в 1997 году, когда будет иметься больше сведений, особенно о затратах эксплуатантов (MASPS) и поставщиков ОВД с учетом требований к контролю за относительной высотой.

8.2 Следует учитывать, что некоторые выводы могут считаться лишь предварительными до тех пор, пока они не будут подтверждены, например, с помощью моделирования. В качестве примера выводов, которые могут быть сделаны, приводятся предварительные выводы европейского исследования:

a) сокращение задержек обеспечивается в случае внедрения как RVSM, так и RLRS. Однако затраты на внедрение RVSM оказываются более низкими, и поэтому следует отдать предпочтение RVSM перед RLRS;

b) экономия топлива имеет лишь второстепенное значение и намного ниже экономии, достигаемой за счет сокращения задержек;

c) выгоды с точки зрения задержек являются значительными, однако в большой степени зависят от методики, используемой при анализе (например, модель массового обслуживания, стоимость задержек), увеличения объема воздушного движения и допущений относительно роста производительности авиадиспетчеров (которые еще необходимо подтвердить с использованием моделирования);

d) сравнение в условиях стационарного режима показывает, что при прочих равных условиях RVSM является гораздо более эффективным с точки зрения издержек, чем RLRS;

e) если исходить из постоянного роста потребности в воздушном движении, RVSM потребует значительного увеличения числа авиадиспетчеров и затрат (до 60 процентов дополнительных затрат) для обеспечения увеличения пропускной способности;

f) выгоды будут достигнуты только в том случае, если узловые аэродромы/аэропорты смогут обслужить рост воздушного движения. Реальные затраты на инфраструктуру аэропортов в данном исследовании в расчет на принимались, в то время как все выгоды на маршруте теоретически учтены;

g) потенциальная экономия топлива без учета задержек при использовании RVSM намного больше, чем при использовании RLRS; и

h) затраты на внедрение RVSM ниже затрат на внедрение полномасштабного RLRS (до 50 процентов ниже). Это в основном связано с необходимостью высоких затрат на оснащение оборудованием и сертификацию по типу RNP-1 при использовании RLRS.

9. РЕКОМЕНДАЦИИ

9.1 Каждому государству или региону, которые рассматривают возможность внесения изменений в систему ATM, необходимо будет определить предпочтительный следующий этап (этапы), то есть определить, что следует делать на основании полученных выводов. Например, в Европе в качестве следующих этапов предполагается:

a) подтвердить достоверность увеличения пропускной способности системы УВД, которое было принято в качестве допущения для всех вариантов (с помощью моделирования и другими способами). До настоящего времени получены лишь теоретические (расчетные) выгоды. Тем не менее существует возможность реализации реальных и значительных выгод для пользователей в том случае, если будет подтверждена правильность анализа;

b) разработать более совершенный (менее приблизительный) подход к моделированию задержек, их взаимодействия с потребностью в воздушном движении и влияния на доходы и затраты эксплуатантов воздушных судов. В настоящее время не существует признанной методики решения этой задачи;

c) на основании полученных результатов отдать предпочтение RVSM перед RLRS; и

d) распространить СВА на группы пользователей (помимо коммерческих воздушных судов) или заинтересованных организаций, с тем чтобы определить, не упущены ли при анализе какие-либо последствия для этих групп.

Добавление 4

ВНЕДРЕНИЕ СОКРАЩЕННОГО ИНТЕРВАЛА БОКОВОГО ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ В ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ NAT

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Воздушное пространство Северной Атлантики (NAT), в котором действуют технические требования к минимальным навигационным характеристикам (MNPS), было внедрено в 1977 году вследствие необходимости увеличения пропускной способности. Такое увеличение пропускной способности было достигнуто за счет применения сокращенного интервала бокового эшелонирования. В настоящем добавлении приводится описание:

a) шагов, предпринятых до внедрения сокращенного интервала бокового эшелонирования в воздушном пространстве Северной Атлантики (NAT); и

b) работы, проводившейся на ежегодной основе с целью сохранения соответствия применяемого интервала бокового эшелонирования установленному уровню безопасности (TLS).

1.2 В разделе 2 приводится описание региона NAT и создания Группы планирования систем в Северной Атлантике (NAT SPG). В разделе 3 подробно рассматривается разработка MNPS для NAT с внедрением бокового эшелонирования в 60 м. миль, которое описывается в разделе 4. В разделе 5 приводятся подробные сведения о контроле за воздушным пространством NAT с целью сохранения соответствия системы установленному уровню безопасности. В разделе 6 приводится описание моделей, использовавшихся для анализа безопасности применяемой нормы бокового эшелонирования.

2. ИСТОРИЯ ВОПРОСА

2.1 Регион NAT

2.1.1 Система линий пути NAT является основным воздушным коридором в направлении восток — запад между Европой и Северной Америкой. С учетом потребностей в пассажирских перевозках, разницы между часовыми поясами и ограничений уровня шума в районе аэропортов значительная часть воздушного движения в регионе NAT приходится на один из двух потоков – поток в западном направлении из Европы утром и поток в восточном направлении из Северной Америки вечером. Под влиянием этих потоков основная часть движения концентрируется в одном направлении при максимальной плотности движения в западном направлении в период с 1130 до 1900 UTC и при максимальной плотности движения в восточном направлении в период с 0100 до 0800 UTC.

2.1.2 С учетом изменений погодных условий в регионе, в особенности местоположения струйного течения в восточном направлении, наиболее эффективный маршрут через NAT меняется на ежедневной основе. В целях наилучшего обслуживания основной части воздушного движения каждые 12 часов формируется система организованных параллельных маршрутов для обеспечения следования как можно большего числа воздушных судов по оптимальной траектории или вблизи нее. Эта система получила название системы организованных маршрутов (OTS). Вследствие ограничений, связанных со значительными критериями эшелонирования и ограниченным вертикальным диапазоном относительных высот, обеспечивающих экономичный режим полета (эшелон полета 310 — эшелон полета 390), в часы максимальной нагрузки воздушное пространство является относительно насыщенным.

2.2 Система организованных маршрутов

2.2.1 OTS формируется каждые 12 часов для обеспечения следования как можно большего числа воздушных судов по траектории, обеспечивающей минимальные затраты, или вблизи нее. После определения основных линий пути, обеспечивающих минимальные затраты времени, с должным учетом предпочтений авиалиний и любых действующих ограничений воздушного пространства, OTS формируется соответствующим океаническим районным диспетчерским центром (OACC). OACC в Гандере несет ответственность за оповещение о ночной OTS

(в восточном направлении) и OACC в Шэнвике — о дневной системе OTS (в западном направлении).

2.2.2 Сформированная OTS с помощью наземной сети авиационной фиксированной электросвязи (AFTN) доводится до сведения всех заинтересованных сторон в Европе и Северной Америке.

2.2.3 Каждая линия пути OTS описывается точками пути, располагающимися через каждые десять градусов долготы (20° з.д., 30° з.д., 40° з.д. и т.д.), которые пересекаются на широтных параллелях, соответствующих целым значениям градусов. Кроме точек пути через каждые 10 градусов, указываются точки входа и выхода на океанических границах. Набор линий пути OTS образует в целом параллельную структуру, в которой самая северная дневная линия пути обозначается как линия пути "A", следующая самая северная линия пути — "B" и т.д. (справочный материал 2)[1]. В ночное время самая южная линия пути обозначается как линия пути "Z", следующая самая южная линия пути — "Y" и т.д. Все маршруты должны прокладываться таким образом, чтобы обеспечивались минимумы эшелонирования.

2.2.4 В некоторых случаях из-за местоположения аэродрома отправления и/или назначения воздушного судна использование OTS потребовало бы неоправданного отклонения. Такие воздушные суда следуют по маршрутам, получившим название "произвольных" маршрутов, которые либо проходят в стороне от OTS, либо совпадают с ней лишь отчасти. Произвольные маршруты описываются в формате, аналогичном описанию линий пути OTS. Воздушные суда, выполняющие полеты в полном соответствии с OTS, образуют воздушное движение OTS. Воздушные суда, маршруты которых отклоняются от OTS, образуют произвольное воздушное движение.

2.3 ПРОЦЕДУРЫ

2.3.1 В то время как восточная и западная океанические границы находятся в зоне действия радиолокаторов, основная часть региона NAT находится вне зоны радиолокационного слежения. Поэтому управление движением воздушных судов в воздушном пространстве с MNPS осуществляется на основе процедур.

2.3.2 До входа в воздушное пространство воздушное судно должно получить от службы УВД разрешение в отношении своего запрошенного маршрута, скорости и эшелона полета. Запрошенные параметры проверяются, с тем чтобы выяснить, не приведут ли они, в любой точке пересечения, к конфликтной ситуации с воздушными судами, уже получившими разрешение. Возможность возникновения таких конфликтных ситуаций должна быть устранена до выдачи разрешения воздушному судну. Точки пути разрешенного маршрута вручную вводятся летным экипажем в навигационную систему.

2.3.3 В ходе полета воздушное судно в каждой точке пути должно направлять службе УВД донесения о своем местоположении, эшелоне полета и времени пересечения точки пути. Для этого применяется речевая ВЧ-связь. Служба УВД использует эту информацию для проверки того, что воздушное судно следует разрешенным маршрутом. Иногда воздушное судно запрашивает повторное разрешение в процессе полета по маршруту. Повторное разрешение выдается воздушному судну только в том случае, если у него не возникнет конфликтной ситуации с любыми другими участниками воздушного движения в любой точке оставшейся части перелета. В отношении всех сообщений применяются формальные процедуры, например, повторение полученных данных о параметрах маршрута. Более подробные сведения об условиях применения MNPS в регионе NAT приводятся в справочных материалах 1 и 2.

3. РАЗВИТИЕ MNPS В РЕГИОНЕ NAT

3.1 В 1964 году боковое эшелонирование линий пути в регионе NAT составляло 120 м. миль при продольном эшелонировании в 15 минут и вертикальном эшелонировании в 1000 фут ниже эшелона полета 290 и 2000 фут выше эшелона полета 290. В это время было предложено сократить боковое эшелонирование до 90 м. миль в качестве средства улучшения экономических показателей и доступности системы линий пути. Это предложение не было принято из-за отсутствия уверенности в том, что был проведен должный анализ риска столкновения.

3.2 ИКАО создала NAT SPG в 1965 году. Первоначально цель NAT SPG заключалась в проведении исследования бокового эшелонирования и разработки основы процесса принятия решений с целью последующего сокращения норм эшелонирования. В ходе своих первых заседаний (в период 1966—1968 годов) NAT SPG, совместно с другими группами ИКАО, разработала метод анализа безопасного эшелонирования линий пути в системе организованных маршрутов NAT. В рамках этого метода собранные в регионе NAT данные используются в качестве исходных данных для математической модели, получившей название модель Райха (см. раздел 6), с помощью которой рассчитывается соотношение между риском столкновения и интервалом эшелонирования. На основе другой, глобальной информации NAT

1. Все справочные материалы приведены в конце данного добавления.

SPG предложила также величину максимального приемлемого риска столкновения, получившую название установленного уровня безопасности (TLS). Посредством сравнения риска столкновения, рассчитанного для определенного интервала бокового эшелонирования, с этим TLS можно определить, может ли предлагаемая норма эшелонирования считаться в достаточной степени безопасной.

3.3 Данные, используемые для анализа характеристик в боковом измерении воздушных судов в регионе, собираются с помощью радиолокаторов, установленных вблизи границ воздушного пространства. Наблюдать за навигационными характеристиками на протяжении всего полета невозможно; можно наблюдать только за погрешностью бокового отклонения в конечной точке.

3.4 В результате сбора данных, предпринятого для определения расчетного риска системы, и наблюдения, осуществляемого службами УВД, было установлено, что существует ряд случаев значительного отклонения воздушных судов от заданной линии пути. Было определено, что такие отклонения (справочный материал 3), получившие название грубых навигационных ошибок (GNE), объясняются рядом причин. К ним относятся:

a) ошибки в контуре системы УВД: Ошибкой в контуре системы УВД является любая ошибки, вызванная недоразумением между пилотом и диспетчером в отношении заданного эшелона полета, числа Маха или установленного маршрута. Такие ошибки могут быть вызваны неправильным толкованием сигнала линии пути NAT диспетчерами авиалиний, ошибками при координации действий между органами УВД и неправильным толкованием пилотами океанического разрешения или повторного разрешения;

b) ошибки ввода точек пути: Эти ошибки возникают в тех случаях, когда пилоты случайно вводят неправильные данные о точке пути в систему управления полетом (FMS). Это может быть вызвано либо неправильным вводом данных, либо тем, что пилот неправильно понял разрешение и правильно ввел неправильную информацию (разновидность ошибки в контуре системы УВД); и

c) отказ оборудования: Эти ошибки возникают в тех случаях, когда происходит либо полный, либо частичный отказ навигационной системы, что приводит к снижению точности выдерживания курса.

3.5 В результате анализа данных, собранных в регионе NAT, группа NAT SPG установила, что сокращение интервала бокового эшелонирования в принципе осуществимо и что источником большинства GNE является меньшая часть тех воздушных судов, за которыми велось наблюдение. Поэтому сокращение интервала бокового эшелонирования для всех участвующих в воздушном движении воздушных судов не представлялось возможным. В результате было предложено создать воздушное пространство с техническими требованиями к минимальным навигационным характеристикам (MNPS), в которое допускалось бы большинство воздушных судов, использующих NAT, но из которого исключались бы воздушные суда, характеристики которых не соответствуют необходимому стандарту.

3.6 Цели MNPS заключаются в содействии либо:

a) выбору минимума эшелонирования, совместимого с потребностями того или иного конкретного воздушного пространства с точки зрения плотности воздушного движения и уровня риска столкновения; либо

b) сокращению существующего минимума эшелонирования с учетом навигационных характеристик и плотности воздушного движения при сохранении приемлемого уровня безопасности; либо

c) дальнейшему использованию существующего минимума эшелонирования в условиях роста объема воздушного движения при сохранении приемлемого уровня безопасности.

3.7 На своем одиннадцатом заседании (Париж, май 1975 года) NAT SPG рассмотрела вопрос о введении MNPS для воздушных судов, выполняющих полеты в OTS. Поскольку использование системы дальней радиоаэронавигации (ЛОРАН) должно было быть резко ограничено к концу 1977 года, эти технические требования вводились для воздушных судов, использующих инерциальные навигационные системы (с тем чтобы эксплуатанты, использующие ЛОРАН А, учитывали это при замене своего оборудования). Была достигнута договоренность о том, что новые технические требования будут разработаны для OTS с планируемым боковым эшелонированием в 60 м. миль и что будут существовать возможности перехода к смешанной системе с эшелонированием в 30 м. миль и 1000 фут.

3.8 Было предложено ввести MNPS и разработать программу контроля для проверки соблюдения технических требований. Предложенные технические требования к характеристикам были разработаны с целью обеспечения приемлемого уровня риска бокового столкновения в условиях использования системы линий пути по меньшей мере в течение десятилетнего периода с момента принятия. Предус-

матривалось периодическое повторное определение расчетного риска столкновения в течение этого периода для оценки влияния параметров характеристик системы на безопасность.

3.9 MNPS были разработаны в 1975 году и приняты ИКАО в мае 1976 года. Они вступили в действие 29 декабря 1977 года одновременно с прекращением эксплуатации цепи станций ЛОРАН А в регионе NAT.

3.10 Воздушное пространство с MNPS является частью воздушного пространства NAT между эшелоном полета 275 и эшелоном полета 400 от 27° с.ш. до Северного полюса, ограниченной на востоке восточными границами диспетчерских районов Санта-Мария Океанический, Шэнвик Океанический и Рейкьявик и на западе западной границей диспетчерского района (CTA) Рейкьявик, западной границей CTA Гандер Океанический и западной границей CTA Нью-Йорк Океанический, за исключением района к западу от 60° з.д. и к югу от 38° 30' с.ш. MNPS предусматривают, что:

a) среднее квадратичное отклонение ошибок выдерживания линии пути в боковом измерении не должно превышать 6,3 м. мили;

b) доля общего полетного времени, в течение которого воздушное судно находится в 30 м. милях или более от линии пути, не должна превышать $5{,}3 \times 10^{-4}$; и

c) доля общего полетного времени, в течение которого воздушное судно находится в 50—70 м. милях от линии пути, должна быть меньше 13×10^{-5}.

3.11 Эти требования к характеристикам были разработаны на основании допущений об объемах воздушного движения и предназначались для обеспечения соблюдения TLS.

4. ВНЕДРЕНИЕ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ В 60 М. МИЛЬ

4.1 В августе 1978 года собралась Рабочая группа математиков (MWG) NAT SPG, которая рассмотрела центральную часть распределения боковых навигационных характеристик и GNE (то есть боковые отклонения свыше 30 м. миль), имеющих место в воздушном пространстве с MNPS. Она пришла к выводу, что:

a) среднее квадратичное отклонение центральной части распределения ошибок выдерживания линии пути в боковом измерении находится строго в пределах технических требований MNPS;

b) число ошибок, превышающих или равных 30 м. милям, примерно соответствует их максимальному числу, допускаемому MNPS; и

c) число ошибок в пределах 50—70 м. миль оказалось больше максимального числа, допускаемого критериями MNPS.

4.2 Поэтому MWG не смогла рекомендовать сокращение интервала бокового эшелонирования до 60 м. миль вследствие большого количества ошибок GNE, которые наблюдались в то время. Группа пришла также к выводу о целесообразности продолжения контроля и оценки GNE в целях дальнейшего анализа. 30 октября 1980 года, после успешных усилий по уменьшению числа грубых ошибок, боковое разделение линий пути в 60 м. миль было внедрено в системе линий пути NAT.

5. КОНТРОЛЬ

5.1 В целях обеспечения соответствия любым MNPS государствам необходимо установить процедуры для систематического и периодического контроля за достигнутыми навигационными характеристиками. Цель этого контроля заключается в подтверждении того, что характеристики, требуемые согласно критериям MNPS, выдерживаются и что уровень безопасности является приемлемым (то есть соответствует TLS).

5.2 Функция контроля охватывает четыре области:

a) получение данных контроля (на постоянной основе);

b) меры, которые должен принять орган УВД при обнаружении GNE, и необходимые последующие меры со стороны эксплуатанта и/или соответствующего государства;

c) предоставление через периодические интервалы времени сводки данных об отклонениях согласно радиолокационным наблюдениям всем заинтересованным государствам и международным организациям, с тем чтобы охарактеризовать общую ситуацию, существующую в регионе NAT; и

d) проведение других специальных мероприятий по сбору данных о навигационных характеристиках.

5.3 В воздушном пространстве NAT, в котором действуют MNPS, ответственность за контроль возложена на Центральное контрольное агентство (CMA). Ежегодно NAT SPG по данным, собранным

СМА, определяет расчетный риск, связанный с системой NAT MNPS. Описание порядка расчета этих показателей, применяемого в настоящее время, приводится ниже.

6. МОДЕЛЬ РАЙХА

6.1 NAT SPG использует модель Райха (справочный материал 4) для определения расчетного риска столкновения в воздушном пространстве NAT, в котором действуют MNPS; в этой модели рассматривается риск столкновения вследствие нарушения эшелонирования между двумя воздушными судами, выполняющими полет по номинально параллельным линиям пути. Описанная здесь форма модели используется для анализа риска столкновения в боковом измерении.

6.2 Для упрощения математических расчетов предполагается, что каждое воздушное судно представляет собой прямоугольный параллелепипед со средними габаритными размерами λ_x, λ_y, λ_z. Эти габаритные размеры представляют соответственно среднюю длину, ширину и высоту участвующих в воздушном движении воздушных судов. Риск столкновения между двумя такими параллелепипедами в математическом отношении эквивалентен риску столкновения между точкой и параллелепипедом с габаритными размерами $2\lambda_x$, $2\lambda_y$, $2\lambda_z$. Следует иметь в виду, что при изменении состава участвующих в воздушном движении воздушных судов необходимо вновь определить расчетные значения этих габаритных размеров. Расчетные значения габаритных размеров воздушных судов рекомендуется вновь определять не реже чем через пять лет (справочный материал 5).

6.3 Число столкновений на единицу времени определяется выражением:

$$C = N_x P_y P_z + N_y P_x P_z + N_z P_x P_y,$$

где N_r — частота уменьшения интервала эшелонирования до величины менее λ_r в r-м измерении;

P_r — вероятность нарушения эшелонирования в r-м измерении; и

r может быть x (продольным), y (боковым) или z (вертикальным) измерением.

Таким образом, число столкновений на единицу времени равно:

$$C = \sum_{\text{все измерения}} \left(\begin{array}{c}\text{частота нарушения эшелонирования между двумя воздушными судами в одном измерении}\end{array} \times \begin{array}{c}\text{вероятность одновременного нарушения эшелонирования в других двух измерениях}\end{array} \right)$$

6.4 Обозначим относительную скорость двух воздушных судов в r-м измерении как $|\dot{r}|$. Тогда время, необходимое для прохождения точки сквозь параллелепипед в r-м измерении, было бы равно $2\lambda_r/|\dot{r}|$.

6.5 Вероятность P_r перекрытия в r-м измерении в любой момент времени равна средней продолжительности перекрытия в данном измерении. Иными словами:

$$P_r = \frac{\begin{array}{c}\text{частота перекрытия в } r\text{-м измерении}\end{array} * \begin{array}{c}\text{средняя продолжительность перекрытия на одно перекрытие}\end{array}}{\text{единица времени}}$$

6.6 Если за единицу времени принимается 1 час, а габаритные размеры и относительная скорость измеряются соответственно в морских милях и узлах, то:

$$P_r = \frac{N_r * 2\lambda_r}{|\dot{r}|}$$

и таким образом:

$$N_r = \frac{P_r * |\dot{r}|}{2\lambda_r}$$

Из этого следует, что число столкновений C на единицу времени может быть выражено следующим образом:

$$C = P_x P_y P_z \left[\frac{|\dot{x}|}{2\lambda_x} + \frac{|\dot{y}|}{2\lambda_y} + \frac{|\dot{z}|}{2\lambda_z} \right]$$

6.7 В случае столкновений вследствие нарушения бокового эшелонирования обозначения P_x, P_y и P_z можно расширить до вида $P_x(O)$, $P_y(S_y)$ и $P_z(O)$. $P_x(O)$ — вероятность перекрытия в продольном измерении, зависит от объема воздушного движения в системе. Если число воздушных судов, следующих по соседним линиям пути на удалении до S_x друг от друга, обозначить как E, то P_x равна $E\lambda_x/S_x$ (справочный материал 3). Величина E называется занятостью системы и служит показателем плотности воздушного движения. Столкновение может произойти между воздушными судами, движущимися либо в одном направлении, либо во встречных направлениях. В этом случае значения относительной скорости в продольном измерении были бы различными, например, $|\dot{x}_s|$ и $|\dot{x}_o|$, как и значения плотности воздушного движения E_s и E_o, где "s" означает движение в одном направлении, а "o" — движение во встречных направлениях.

6.8 $P_y(S_y)$ представляет вероятность перекрытия в боковом измерении, то есть вероятность того, что любые два воздушных судна, которым задано правильное боковое эшелонирование, в действительности не эшелонированы в боковом измерении.

6.9 $P_z(O)$ представляет вероятность перекрытия в вертикальном измерении, то есть вероятность перекрытия в вертикальном измерении двух воздушных судов, номинально занимающих один эшелон полета.

6.10 Таким образом, уравнение для определения риска столкновения в боковом измерении приобретает вид:

$$C = P_y(S_y)P_z(0)\frac{\lambda_x}{S_x}\left\{E_s\left[\frac{|\dot{x}_s|}{2\lambda_x} + \frac{|\dot{y}|}{2\lambda_y} + \frac{|\dot{z}|}{2\lambda_z}\right] + E_o\left[\frac{|\dot{x}_o|}{2\lambda_x} + \frac{|\dot{y}|}{2\lambda_y} + \frac{|\dot{z}|}{2\lambda_z}\right]\right\}$$

где C — ожидаемое число катастроф на час полета воздушного судна.

6.11 За исключением $P_y(S_y)$, E_s и E_o, все параметры вышеприведенного уравнения более или менее стабильны во времени. В таблице А-4-1 представлены расчетные значения параметров для риска столкновения в боковом измерении при минимуме бокового эшелонирования в 60 м. миль. Эти значения относятся к параметрам, использовавшимся в 1995 году.

Таблица А-4-1. Значения параметров риска столкновения в боковом измерении

Параметр	Расчетное значение
S_y	60 м. миль
S_x	120 м. миль (15 мин)
$P_z(0)$	0,39
λ_x	0,0306 м. мили
λ_y	0,0272 м. мили
λ_z	0,0086 м. мили
$\lvert\dot{x}_s\rvert$	13 узлов
$\lvert\dot{x}_o\rvert$	960 узлов
$\lvert\dot{y}\rvert$	80 узлов
$\lvert\dot{z}\rvert$	1,5 узла

6.12 Параметры $P_y(S_y)$, E_s и E_o, как правило, изменяются со временем и в регионе NAT измеряются на регулярной основе.

6.13 Занятость системы (E_s и E_o) рассчитывается на протяжении всего года по данным плана полета для выборки из нескольких дней (справочный материал 3). Вероятность перекрытия в боковом измерении $P_y(S_y)$ рассчитывается по данным наблюдений службы УВД за GNE в постоянно контролируемых "окнах" воздушного пространства у восточной и западной границ океана. Это объясняется тем, что бóльшая часть океана находится вне зоны действия радиолокаторов; хотя могут поступать донесения об отклонениях от линии пути над средней частью океана, нельзя предположить, что такая информация является полной.

6.14 При разработке модели Райха первоначально предполагалось, что данные, собранные в отдельных частях данного воздушного пространства, являются представительными и для остальной части воздушного пространства. Соответственно, вероятность перекрытия в боковом измерении рассчитывалась непосредственно на основании наблюдаемых распределений. Иными словами, считалось, что распределение отклонений, измеренное у границы, является точно таким же, как распределение, измеренное в любой другой точке над океаном. Этот подход получил название модели 1 (справочный материал 3). По мере увеличения объема накопленной информации было сочтено, что маловероятно, чтобы распределение отклонений, наблюдаемое у границы, является представительным в отношении фактического распределения. Поэтому для более точного определения вероятности перекрытия в боковом измерении некоторые наблюдаемые отклонения взвешивались с целью повышения точности взвешенного распределения. Этот подход получил название модели 2. Подробные сведения об обеих моделях и расчетах, применявшихся при определении параметров, приводятся в справочном материале 3.

6.15 Если значения каждого из параметров известны, они могут быть использованы в качестве исходных данных модели риска столкновения для определения расчетной величины риска системы. Для будущих систем могут использоваться расчетные значения занятости, плотности воздушного движения и т.д. После расчета риска системы его можно сравнить с установленным уровнем безопасности, с тем чтобы определить вероятность соответствия системы требованиям, предъявляемым к безопасности. Эти расчеты производятся на ежемесячной основе для NAT, а результаты рассматриваются ежегодно в рамках NAT SPG.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Consolidated Guidance Material – North Atlantic Region. ICAO, September 1992, NAT Doc 001, T13.5N.
[Сводный инструктивный материал — регион Северной Атлантики. ИКАО]

2. North Atlantic MNPS airspace operations manual, Sixth Edition. Published on behalf of the North Atlantic Systems Planning Group by the Civil Aviation Authority, London, December 1993.
[Руководство по производству полетов в воздушном пространстве Северной Атлантики с MNPS, шестое издание. Опубликовано от имени Группы планирования систем в Северной Атлантике Управлением гражданской авиации]

3. L. Davies, A. Sharpe. Review of the North Atlantic lateral collision risk model. Air Traffic Control Quarterly, Vol. 1(3), 1993, pp. 225-253.
[Л. Дэвис, А. Шарп. Обзор модели риска столкновения в боковом измерении в Северной Атлантике.]

4. P.G. Reich. Analysis of Long Range Air Traffic Systems – Separation Standards Parts I, II and III. Journal of the Institute of Navigation, Vol. 19, 1966.
[П. Дж. Райх. Анализ систем воздушного движения большой протяженности — Нормы эшелонирования. Части I, II и III.]

5. Summary of discussions and conclusions of the Thirty-First Meeting of the North Atlantic Systems Planning Group, NAT SPG/31, June 1995.
[Резюме обсуждений и выводы тридцать первого заседания Группы планирования систем в Северной Атлантике]

Добавление 5

АНАЛИЗ ПРОДОЛЬНОГО ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ В АЗИАТСКОМ/ТИХООКЕАНСКОМ РЕГИОНЕ

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 В настоящем добавлении описывается методика, используемая государствами-членами Региональной группы по планированию и внедрению аэронавигации в Азиатском/Тихоокеанском регионе (APANPIRG) с целью определения основанных на расстоянии минимумов продольного эшелонирования для использования во всех районах Азиатского/Тихоокеанского региона.

1.2 Методика была представлена Австралией Группе экспертов по рассмотрению общей концепции эшелонирования (RGCSP) в ряде документов в 1993 и 1994 годах (справочные материалы 1—5)[1]. Она может использоваться для оценки норм основанного на расстоянии продольного эшелонирования для существующих маршрутов RNAV и воздушных пространств или маршрутов с RNP в условиях процедурного управления служб УВД или в условиях применения ADS. Сбор данных, на которых основывается анализ, проводился, в том числе, в регионе южной части Тихого океана и в районе полетной информации (РПИ) Окленд в течение двенадцати месяцев с сентября 1993 года до конца августа 1994 года.

1.3 Данный метод базируется на получившей признание теории, предложенной Райхом (справочные материалы 6, 7, 8), однако основан на расстоянии, и, в соответствии с концепциями RNP, в качестве отправной точки характеристик бортовых навигационных систем в нем используются 95-процентные показатели удерживания в продольном и боковом измерениях.

1.4 Эта оценка получена в результате математического анализа без учета эксплуатационных и технических соображений, относящихся к возможности внедрения основанных на расстоянии минимумов продольного эшелонирования. Это особенно важно в связи с минимумами эшелонирования менее 50 м. миль, при которых необходимо обеспечить, чтобы допущения, принятые при анализе, были достижимыми с эксплуатационной и технической точек зрения.

2. ДОПУЩЕНИЯ

2.1 При анализе предполагалось, что при использовании основанных на расстоянии норм продольного эшелонирования соблюдаются следующие условия:

a) в тех случаях, когда воздушные суда выдерживают минимальное применимое эшелонирование или предполагается, что они должны сократить эшелонирование до такой величины, должны применяться методы регулирования скорости, включая заданное число Маха;

b) должна обеспечиваться прямая связь "пилот — диспетчер";

c) в условиях применения ADS эшелонирование устанавливается с помощью системы индикации, которая позволяет диспетчеру оценивать расстояние между воздушными судами. Эшелонирование соблюдается в тех случаях, когда наблюдаемый на таком индикаторе интервал продольного эшелонирования равен соответствующему минимуму или превышает его;

d) в условиях применения процедурной RNAV эшелонирование устанавливается посредством запроса к воздушным судам по очереди представлять донесения о расстоянии RNAV до одной общей точки пути. С точки зрения очередности, первым представлять донесения должно ведущее воздушное судно. Эшелонирование соблюдается при условии, что разность между расстояниями согласно донесениям равна соответствующему минимуму или превышает его;

1. Список справочных материалов приведен в конце данного добавления.

e) эшелонирование необходимо проверять достаточно часто, с тем чтобы расстояние между любыми двумя воздушными судами не было меньше установленного минимума. Максимальный допустимый временной интервал между донесениями меняется в зависимости от применяемого минимума эшелонирования, а также от того, применяется ADS или нет, и указывается ниже при рассмотрении результатов;

f) если существует вероятность нарушения минимального интервала эшелонирования в течение следующего периода представления донесения плюс 15 минут, диспетчер должен принять меры с целью выдерживания эшелонирования или установления какой-либо альтернативной формы эшелонирования;

g) если диспетчер не может установить связь с воздушным судном при наступлении времени проверки расстояния, необходимо принять меры для установления какой-либо альтернативной формы эшелонирования в предписанный временной интервал. Надлежащая продолжительность этого временного интервала рассматривается в настоящем документе. Если в течение 3 минут после установленного времени диспетчер не получит очередное донесение о местоположении от системы ADS, будет запрошено внеочередное донесение ADS. Если в течение еще 5 минут не удастся восстановить наблюдение с помощью системы ADS, то диспетчер должен приступить к осуществлению незамедлительных мер для установления какой-либо альтернативной формы эшелонирования; и

h) если эшелонирование основывается на использовании донесений системы ADS о местоположении, направляемых в различное время, то соответствующие воздушные суда и наземная система (системы) должны использовать единую систему отсчета времени, например, глобальную систему определения местоположения (GPS).

3. КРИТЕРИИ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ

3.1 Безопасность предлагаемых стандартов оценивалась относительно установленного уровня безопасности (TLS), составляющего 2×10^{-8} катастроф на час полета. Район Тасманова моря между Австралией и Новой Зеландией является типичным районом воздушного пространства, в котором могли бы применяться предлагаемые стандарты. В этом воздушном пространстве общий налет составляет примерно 30 000 летных часов в год. В данном воздушном пространстве согласованный TLS соответствует частоте потери воздушных судов, составляющей одно воздушное судно каждые 1 667 лет.

4. ОБЩИЙ ОБЗОР МЕТОДИКИ

4.1 Ниже приводится описание математической модели, используемой для анализа риска столкновения.

4.2 Допустим, что первоначально, при установлении стандарта эшелонирования, два воздушных судна разделены некоторым расстоянием S. При данной методике первый этап заключается в расчете вероятности столкновения для данной конкретной пары с момента установления эшелонирования до момента, когда оно должно быть проверено в очередной раз.

4.3 Плановое эшелонирование воздушных судов при наступлении момента очередной проверки будет несколько больше минимума. Однако весьма вероятно, что расстояние в момент проверки будет отличаться от планового расстояния вследствие того или иного сочетания факторов, таких, как погрешности индикаторного числа Маха, изменение скорости в обычных пределах систем управления полетом, различия в силе и направлении ветра, воздействующего на воздушные суда.

4.4 Были собраны данные об изменениях относительной скорости пар воздушных судов. На основании распределения этих значений скорости можно рассчитать, для любого исходного интервала эшелонирования, вероятность любого конкретного значения конечного эшелонирования.

4.5 Упоминаемые выше интервалы эшелонирования основаны на донесениях о местоположении, поступающих от бортовых навигационных систем, поэтому они представляют лишь номинальные интервалы эшелонирования. Если известно распределение погрешностей бортовых навигационных систем, то можно рассчитать вероятность столкновения для каждого случая. Ее можно определить на основе RNP для воздушного пространства или маршрута, в отношении которых должен применяться стандарт.

4.6 Вместо того чтобы строить расчеты исключительно на основе временного интервала до очередной проверки расстояния (который называется интервалом обновления), в модели используется концепция буферного интервала времени между сеансом связи и вмешательством диспетчера с учетом возможности того, что при очередной проверке расстояния диспетчер может выяснить, что

эшелонирование нарушено, что потребует от него установления какой-либо альтернативной формы эшелонирования. Этот буферный интервал добавляется к интервалу времени, для которого рассчитывается риск столкновения, с тем чтобы расчетное значение риска столкновения относилось к случаю, в котором необходимо вмешательство. Поскольку вмешательство будет необходимым лишь в небольшом числе случаев, рассчитываемый таким образом риск столкновения будет больше истинного риска столкновения. При наличии данных о частоте вмешательства этот процесс можно будет смоделировать более точно. Однако, поскольку применяемый при данном анализе метод будет приводить к завышению истинного риска столкновения, этот метод основан на консервативном подходе.

5. БУФЕРНЫЙ ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ СЕАНСОМ СВЯЗИ И ВМЕШАТЕЛЬСТВОМ ДИСПЕТЧЕРА

5.1 Буферный интервал времени между сеансом связи и вмешательством диспетчера (обозначаемый как τ), складывается из следующих подлежащих учету элементов:

a) время, необходимое диспетчеру для обнаружения потенциальной конфликтной ситуации и разработки альтернативного средства эшелонирования (в данном случае, поскольку мы имеем дело с процедурным управлением в океаническом районе, предполагается, что оно обеспечивается за счет изменения эшелона полета);

b) время, необходимое для передачи указаний пилоту;

c) время, необходимое пилоту для реагирования и начала выполнения соответствующего маневра; и

d) время, необходимое для того, чтобы воздушное судно изменило траекторию в достаточной степени для предотвращения столкновения.

5.2 Одним из требований при использовании процедурных стандартов RNAV является обеспечение прямой связи "диспетчер — пилот". В будущем для выполнения этого требования может использоваться связь по каналу передачи данных "диспетчер — пилот" (CPDLC). Значение τ должно будет включать в себя задержки в системе CPDLC, а также, в тех случаях, когда для эшелонирования воздушных судов применяется ADS, задержки в канале передачи данных и системе индикации данных ADS. Поскольку расчетные значения задержек при применении CPDLC больше задержек при применении прямой речевой связи, для случая процедурной RNAV и для случая ADS использовалось значение τ, соответствующее условиям применения CPDLC.

5.3 Хотя к моменту проведения настоящего анализа соответствующие группы экспертов ИКАО не завершили разработку стандартов проектирования и технических требований к характеристикам для всех компонентов CPDLC, тем не менее расчетное значение τ удалось определить с использованием факторов, которые могут оказать значительное влияние. В этом расчетном значении учтен тот факт, что диспетчер принимает решения на основе отображаемой на экране компьютера информации, которая не является текущей, а также то, что необходимые указания пилоту поступят к нему и будут исполнены спустя некоторое время.

5.4 Допущения, которые были приняты при определении значений τ, основывались на следующем понимании функционирования системы ADS. Хотя реализация FANS A для аэробусов основывается на первоначальной реализации ADS, получившей название модернизации FANS 1 для воздушных судов "Боинг 747-400", ожидается, что она будет аналогичной. Предполагалось, что при наступлении времени представления донесения от системы ADS о местоположении компьютерная система управления полетом (FMCS) воздушного судна соберет необходимые данные, сформирует донесение и передаст донесение в систему связи ARINC для адресации и передачи сообщений (ACARS), которая затем обеспечит отправку донесения. В документе (справочный материал 9) выявлены следующие факторы, приводящие к возникновению предполагаемой задержки при передаче:

a) время, необходимое для приема сообщения от FMCS;

b) время ожидания обслуживания в системе ACARS;

c) время, необходимое для маршрутизации сообщения по выбранному каналу передачи данных (радио или спутниковому);

d) время, необходимое для передачи сообщения выбранным передатчиком;

e) время, необходимое для передачи сообщения от наземной станции до процессора поставщика услуг;

f) время, необходимое для маршрутизации сообщения от поставщика услуг до маршрутизатора наземной оконечной системы; и

g) время, необходимое для маршрутизации сообщения от маршрутизатора наземной оконечной системы до адресата.

5.5 Если максимальное устаревание данных до момента передачи с воздушного судна обозначить как *R*, а максимальное время передачи данных по каналу связи "вниз" как *D*, то сумму *R+D* можно считать равной времени, необходимому для всех вышеуказанных этапов. Предполагается, что авиадиспетчер будет использовать экран, на котором отображаются данные о местоположении, поступающие от системы ADS, и что отображаемые данные обновляются каждые *X* секунд, что диспетчеру потребуется *C* секунд для обнаружения потенциальной конфликтной ситуации и еще *M* секунд для формирования сообщения. Обозначим символом *U* максимальное время прохождения сообщения по каналу связи "вверх" и символом *P* время, необходимое пилоту для реагирования на сообщение и начала действий по изменению траектории. Наконец, обозначим символом *A* время, необходимое воздушному судну для достижения альтернативного эшелонирования. В отношении океанических полетов предполагалось, что для этого альтернативного эшелонирования потребуется изменение эшелона полета на 500 фут. Отсюда получаем следующее выражение для τ:

$$\tau = R+D+X+C+M+U+P+A.$$

5.6 Хотя определить точные значения компонентов, составляющих τ, оказалось невозможным, удалось определить их верхние пределы. В первых документах Федерального авиационного управления (справочные материалы 10, 11) был сделан вывод, что сумма *R+D*, вероятно, будет меньше 61 с. В документе, относящемся к воздушным судам "Боинг" (справочный материал 9), содержался вывод: "В настоящее время предполагается, что для этих этапов" (пункт 5.4 a) — g) выше) "потребуется примерно 1 минута в 95 процентах случаев". При анализе в качестве суммы $R+D$ использовалось значение 61 с. В том же анализе Федерального авиационного управления в качестве приблизительной верхней границы величины *U* (максимальное время прохождения сообщения по каналу связи "вверх") в 95 % случаев приводилось значение 107 с. В нем также представлены данные, позволяющие предположить, что значение *P* (время, необходимое пилоту для реагирования на сообщение службы УВД), вероятно, будет больше 22 с. Обсуждения с сотрудниками Директората регламентирования безопасности воздушного движения существовавшего в то время Управления гражданской авиации Австралии привели к принятию значения *P*, равного 45 с. Аналогичные обсуждения в существовавшем в то время Управлении гражданской авиации Австралии, включая сотрудников органов обслуживания воздушного движения и технических служб, привели к принятию значения *X* (частота обновления информации о местоположении воздушного судна на индикаторе авиадиспетчера), равного 60 с, значения *C* (время, необходимое диспетчеру для обнаружения потенциальной конфликтной ситуации), равного 30 с, и значения *M* (время, необходимое диспетчеру для формирования сообщения), равного 30 с. Значение *A* (время, необходимое для достижения воздушным судном альтернативного эшелонирования) можно рассчитать, если допустить, что инерция воздушного судна приведет к задержке на 15 с и что воздушное судно наберет дополнительную высоту в 500 фут при скорости набора высоты 500 фут в минуту, в результате чего значение *A* составит 75 с. В итоге был получен следующий результат:

$$\tau = 408 \ c$$

5.7 И в этом случае при определении расчетного риска столкновения использовалось несколько завышенное значение τ, равное 7 мин.

6. АВТОМАТИЧЕСКОЕ ЗАВИСИМОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

6.1 Система ADS позволяет воздушным судам автоматически передавать наземным службам УВД по линиям связи донесения о своем местоположении, определяемом бортовыми навигационными системами. В исследовании предполагалось, что местоположение воздушных судов, оснащенных оборудованием ADS, будет отображаться на экране диспетчера, аналогичном индикаторам, применяемым в настоящее время в радиолокаторах. Несмотря на внешнее сходство с радиолокатором, первоначальной задачей ADS будет контроль за стандартами процедурного эшелонирования. Предполагаемая частота обновления данных в океаническом воздушном пространстве будет недостаточной для использования процедур управления, аналогичных радиолокационным.

6.2 Воздушные суда, оснащенные оборудованием ADS, будут, как правило, обладать также возможностями CPDLC и будут использовать этот канал связи для получения указаний служб УВД. Поскольку CPDLC будет основным средством связи с воздушными судами, буферный интервал времени между сеансом связи и вмешательством диспетчера должен основываться на ее применении.

6.3 Использование ADS ведет к появлению еще одного источника ошибок, которого не было в случае процедурной RNAV. Речь идет об ошибке экстрапо-

ляции, когда местоположение воздушных судов пролонгируется в направлении движения относительно данных донесения системы ADS, поступившего некоторое время назад.

6.4 Ошибки экстраполяции

6.4.1 При анализе стандартов процедурного эшелонирования предполагалось, что оба воздушных судна в паре представляют донесения более или менее одновременно или по меньшей мере таким образом, что диспетчер получает заниженное значение интервала эшелонирования. При использовании ADS дело обстоит иначе. Информация, отображаемая на экране диспетчера, всегда будет устаревшей, и даже в том случае, когда различные воздушные суда представляют донесения с одинаковой частотой обновления, они никогда не будут направлять донесения ADS одновременно. Возможно даже, что два соседних воздушных судна будут представлять донесения с различной частотой обновления. При моделировании риска столкновения предполагалось, что самым неблагоприятным случаем будет ситуация, когда донесение ADS одного воздушного судна только что получено, а донесение второго воздушного судна должно поступить почти сразу после него. В этом случае данные, относящиеся ко второму воздушному судну, устареют почти на величину одного интервала представления донесений. Предполагалось, что в наземной системе данные о местоположении будут тем или иным образом экстраполироваться с учетом расчетной путевой скорости воздушного судна. Таким образом, при определении расчетного риска столкновения необходимо было учесть возможную погрешность прогнозирования.

6.4.2 При полномасштабной реализации ADS в случае изменения путевой скорости воздушного судна более чем на 20 узлов автоматически формируется донесение ADS. Поскольку в модернизации FANS 1 воздушных судов "Боинг" такая возможность не реализована, предполагалось, что функция плотности распределения, представляющая изменение путевой скорости отдельного воздушного судна в следующие друг за другом интервалы представления донесений, представлена двумерным экспоненциальным распределением.

6.4.3 Следствием ошибки экстраполяции является увеличение неопределенности местоположения воздушного судна, определяемого путем экстраполяции. Это было учтено в методике посредством изменения распределения погрешностей навигационной системы, как показано в математическом описании в дополнении А.

7. РЕЗУЛЬТАТЫ

7.1 Результаты, приведенные в данном разделе, основаны на данных, собранных RGCSP в 1993/94 году в районе Тихого океана. С использованием этих данных было рассчитано распределение интервалов эшелонирования *w(s)* и распределение значений относительной скорости $\Phi_x(v)$.

7.2 Распределение интервалов эшелонирования

7.2.1 Данные, собранные в районе Тихого океана, где предполагалось впервые применить новые стандарты, использовались для определения характера распределений интервалов эшелонирования, которые, вероятно, будут наблюдаться на практике. В качестве данных использовались донесения о местоположении воздушных судов. Расстояние между парами воздушных судов, следующих друг за другом на одном эшелоне полета, рассчитывалось посредством пересчета разности во времени между воздушными судами при представлении донесения о местоположении в расстояние с учетом средней путевой скорости на последнем участке маршрута следующего воздушного судна.

7.2.2 Поскольку предстояло внедрить новый стандарт эшелонирования, необходимо было рассчитать влияние нового стандарта на распределение. С этой целью было принято первоначальное допущение, согласно которому все воздушные суда будут следовать на одном эшелоне полета. Затем, если продольное эшелонирование в том или ином конкретном пункте представления донесения будет меньше нового минимума, эшелон полета следующего воздушного судна нужно будет скорректировать в сторону уменьшения для обеспечения эшелонирования.

7.2.3 Только для целей планирования воздушного пространства был разработан минимум продольного эшелонирования RNAV в 50 м. миль; это было сделано посредством анализа риска столкновения, определяющего условия, при которых этот минимум может применяться. Анализ проводился при соблюдении следующих условий:

1) частота наблюдаемых или расчетных интервалов эшелонирования воздушных судов, следующих друг за другом на одном эшелоне полета, такова, что на любой отдельный диапазон в 10 м. миль будет приходиться не более 4 % значений интервала эшелонирования в пределах от минимального интервала эшелонирования в 50 м. миль до интервала эшелонирования в 100 м. миль; и

2) используются такие средства связи, при которых общий буферный интервал времени между сообщением и вмешательством диспетчера во всех случаях не будет превышать 7 мин.

7.3 Распределение значений относительной скорости

7.3.1 Расчетное распределение значений относительной скорости $\phi_x(v)$ определялось на основании тех же самых данных. Значения относительной скорости рассчитывались путем сравнения следующих друг за другом донесений о местоположении пар воздушных судов, выполняющих полет на одном эшелоне полета и в пределах одного часа друг от друга. Поскольку для расчета незаданной относительной скорости необходима поправка на разность выбранных значений числа Маха, пары исключались из расчета, если в обоих донесениях о местоположении обоих воздушных судов не указывалось число Маха. Последнее требование привело к значительному уменьшению размера выборки из-за невыполнения требования об указании в донесении и передаче сведений о числе Маха, особенно на ранних этапах сбора данных. Пригодная для расчетов выборка состояла из 2 677 пар.

7.4 Расчет предполагаемого числа катастроф на час полета (N_{ax}) при нормальных эксплуатационных условиях

7.4.1 Для расчета риска столкновения необходимы значения нескольких параметров. Значения, используемые в ходе анализа, приведены в таблице А-5-1 и являются представительными для данных о воздушном движении, охваченном выборкой.

Таблица А-5-1. Значения параметров уравнения риска столкновения

Параметр	*Значение (процедурная RNAV)*	*Значение (ADS)*
λ_x	192,2 фут	232 фут
λ_y	167,7 фут	211 фут
λ_z	54,8 фут	64 фут
$\overline{\lvert\dot{x}\rvert}$	35 узлов	35 узлов
$\overline{\lvert\dot{y}\rvert}$	20 узлов	20 узлов
$\overline{\lvert\dot{z}\rvert}$	1,5 узла	1 узел
$P_y(0)$ для RNP 4	0,041	0,052
$P_y(0)$ для RNP 10	0,017	нет данных
$P_y(0)$ для RNP 20	0,008	нет данных
$P_z(0)$	0,390	0,390

Результаты анализа представлены в таблицах А-5-2 и А-5-3.

Таблица А-5-2. Расчетные значения риска столкновения – процедурная RNAV (τ = 7 мин) (катастрофы на час полета)

Погрешность навигационной системы (удержание 95%) (м. мили)	*Стандарт эшелонирования (м. мили)*	*Максимальное допустимое время между донесениями (минуты)*	*Точечная оценка риска столкновения*
4	30*	15	$3{,}12 \times 10^{-10}$
4	40*	30	$6{,}54 \times 10^{-10}$
10	50	30	$4{,}81 \times 10^{-9}$
20	80	55	$1{,}74 \times 10^{-8}$

* См. пункт 1.4.

Таблица А-5-3. Расчетные значения риска столкновения – ADS (τ = 7 мин) (катастрофы на час полета)

Погрешность навигационной системы (удержание 95%) (м. мили)	*Стандарт эшелонирования (м. мили)*	*Максимальное допустимое время между донесениями (минуты)*	*Точечная оценка риска столкновения*
4	30*	15	$8{,}17 \times 10^{-9}$
4	50	30	$1{,}47 \times 10^{-8}$

* См. пункт 1.4.

7.5 Влияние отказов оборудования связи

7.5.1 Если воздушное судно не представляет донесение о пролете заданного пункта или не отвечает на вызов органа УВД, диспетчер должен в течение 3 мин принять меры для установления связи. К таким мерам относятся: вызов на других частотах и запрос к другим воздушным судам вызвать воздушное судно, с которым отсутствует связь.

7.5.2 С тем чтобы учесть влияние отказа оборудования связи при использовании основанного на расстоянии стандарта продольного эшелонирования, предполагалось, что если связь не будет восстановлена в течение 5 мин после обычного 3-минутного времени проверки связи, то диспетчер должен будет принять меры для обеспечения какой-либо альтернативной формы эшелонирования.

7.5.3 В результате для случая отказа оборудования связи было установлено значение τ, равное 15 мин.

7.5.4 Влияние этого значения на риск столкновения приводится в таблицах А-5-4 и А-5-5.

Таблица А-5-4. Расчетные значения риска столкновения — процедурная RNAV (τ = 15 мин) (катастрофы на час полета)

Погрешность навигационной системы (удержание 95%) (м. мили)	*Стандарт эшелонирования (м. мили)*	*Максимальное допустимое время между донесениями (минуты)*	*Точечная оценка риска столкновения*
4	30*	15	$1{,}85 \times 10^{-8}$
4	40*	30	$4{,}01 \times 10^{-8}$
10	50	30	$1{,}91 \times 10^{-8}$
20	80	55	$3{,}00 \times 10^{-8}$

* См. пункт 1.4.

Таблица А-5-5. Расчетные значения риска столкновения – ADS (τ = 15 мин) (катастрофы на час полета)

Погрешность навигационной системы (удержание 95%) (м. мили)	*Стандарт эшелонирования (м. мили)*	*Максимальное допустимое время между донесениями (минуты)*	*Точечная оценка риска столкновения*
4	30*	15	$1{,}20 \times 10^{-7}$
4	50	30	$5{,}05 \times 10^{-8}$

* См. пункт 1.4.

7.5.5 Буферный интервал времени для связи и задержек τ складывается из нескольких параметров характеристик, относящихся к системе связи. Согласно общепринятой практике, к этим характеристикам относятся готовность, непрерывность, задержка при сквозной передаче, целостность и надежность. Эти параметры определены Группой экспертов ИКАО по автоматическому зависимому наблюдению (ADSP) для различных применений канала передачи данных, однако здесь они используются в качестве общих параметров характеристик связи.

a) Готовность. (*Способность системы выполнять свои функции в момент начала планируемой операции. В количественном выражении она определяется как отношение времени готовности системы к времени планируемой готовности системы.*) Предполагается, что если в момент начала операции канал связи не находится в состоянии готовности, будет применено соответствующее альтернативное эшелонирование.

b) Непрерывность. (*Вероятность того, что система будет выполнять свои функции без незапланированных перерывов в течение планового периода работы.*) В случае отказа оборудования связи предполагается, что перечисленные ниже действия ограничены следующими временными рамками:

Обнаружение отказа оборудования связи: 3 мин

Попытка использования альтернативных средств связи: 5 мин

Достижение альтернативного эшелонирования: 7 мин

Поэтому предполагается, что для достижения альтернативного эшелонирования потребуется в целом 15 мин. С учетом влияния этого параметра на риск столкновения максимальная допустимая вероятность потери связи составляет 0,21 для 80 м. миль (то есть непрерывность по меньшей мере 79 %) и 1,00 для 50 м. миль (то есть непрерывность по меньшей мере 0 %), при условии, что суммарная продолжительность потери связи не превышает 5 мин.

c) Задержка при сквозной передаче. (*Период, прошедший с момента, когда пользователь —*

отправитель начинает инициирующее действие, до момента получения передаваемой информации получателем, которому она предназначена.)

Предполагаемая задержка при сквозной передаче по каналу связи "вниз": примерно 60 с (95 %)

Предполагаемая задержка при сквозной передаче по каналу связи "вверх": 107 с (95 %)

d) Целостность. (*Вероятность неправильного обнаружения ошибок. Это относится к случаям, когда указывается, что в том или ином правильном сообщении содержится ошибка или несколько ошибок, либо когда указывается, что сообщение, в котором содержится ошибка или несколько ошибок, является правильным. Целостность характеризует степень доверия, с которым можно подходить к правильности информации.*) Предполагается, что целостность такова, что не окажет значительного влияния на расчетное значение риска столкновения.

e) Надежность. (*Вероятность того, что система обеспечит доставку конкретного сообщения без одной или нескольких ошибок.*) Предполагается, что в том случае, если частота появления ошибок будет сочтена пользователями неприемлемой, будет обеспечено соответствующее альтернативное эшелонирование. Любые задержки, вызванные повторной передачей после появления ошибок, включаются в величину задержки, указанную в пункте, касающемся непрерывности, выше.

7.6 Суммарный риск столкновения

7.6.1 Для расчета суммарного риска столкновения в системе при наличии отказов оборудования связи значения риска столкновения для обоих случаев (обычный режим и при отказах связи) следует умножить на соответствующие значения вероятности этих событий. В этом случае риск столкновения с учетом отказов определяется суммой этих двух членов уравнения.

7.6.2 Во время проведения этого анализа данные о частоте потери связи отсутствовали. Однако с учетом допущений, принятых при данном анализе, будет обеспечен TLS, равный 2×10^{-8} катастроф на час полета, при условии, что частота потери связи не превысит значений, приведенных в последней колонке таблицы А-5-6. Предполагалось, что частота потери связи будет существенно лучше любого из этих значений.

8. ВЫВОДЫ

В результате этого анализа были рекомендованы минимумы эшелонирования, указанные в таблице А-5-6, с учетом замечаний, приведенных в пункте 1.4:

Таблица А-5-6. Приемлемые минимумы продольного эшелонирования в условиях процедурной RNAV

Погрешность навигационной системы (удержание 95%) (м. мили)	*Стандарт эшелонирования (м. мили)*	*Максимальное допустимое время между донесениями (минуты)*	*Максимальная допустимая вероятность потери связи*
10 или лучше	50	30	1,00
20 или лучше	80	55	0,21

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. A General Methodology Relating Navigational Performance to Longitudinal Distance Separation. Karppinen, N.E. and Anderson, D., ICAO RGCSP WG/A WP/9, September 1993.
   [Общая методика определения зависимости между навигационными характеристиками и основанными на расстоянии минимумами продольного эшелонирования. Карппинен Н.Е. и Андерсон Д.]

2. A preliminary collision risk analysis using data from the Pacific Area. Karppinen, N.E. and Anderson, D., ICAO RGCSP WG/A WP/8, September 1993.
   [Предварительный анализ риска столкновения с использованием данных, относящихся к району Тихого океана. Карппинен Н.Е. и Андерсон Д.]

3. A Collision Risk Analysis Relating Navigational Performance to Initial ADS Longitudinal Separation Minima Using the FANS 1 Avionics Package. Anderson, D. and Karppinen, N.E., ICAO RGCSP WG/A WP/9, May 1994.
   [Анализ риска столкновения для определения зависимости между навигационными характеристиками и исходными минимумами продольного эшелонирования в условиях применения ADS с использованием комплекта бортового электронного оборудования FANS 1. Андерсон Д. и Карппинен Н.Е.]

4. A Collision Risk Analysis Relating Navigational Performance to Initial ADS Longitudinal Separation Minima For Initial ARINC 622 ADS Implementations. Anderson, D. and Karppinen, N.E., ICAO RGCSP WG/A WP/10, September 1994.

   [Анализ риска столкновения для определения зависимости между навигационными характеристиками и исходными минимумами продольного эшелонирования в условиях применения ADS применительно к исходным вариантам реализации ADS ARINC 622. Андерсон Д. и Карппинен Н.Е.]

5. A Collision Risk Analysis of Data from the Oakland and Pacific Areas. Anderson, D. and Karppinen, N.E., ICAO RGCSP WG/A WP/15, September 1994.
   [Анализ риска столкновения на основе данных, относящихся к районам Окленд и Тихого океана. Андерсен Д. и Карппинен Н.Е.]

6. Reich, P.G., Analysis of Long-Range Air Traffic Systems – Separation Standards I. Journal of the Institute of Navigation, 1966.
   [Райх П. Дж. Анализ систем воздушного движения большой протяженности – стандарты эшелонирования I.]

7. Reich, P.G., Analysis of Long-Range Air Traffic Systems . Separation Standards II. Journal of the Institute of Navigation, 1966.
   [Райх П. Дж. Анализ систем воздушного движения большой протяженности – стандарты эшелонирования II.]

8. Reich, P.G., Analysis of Long-Range Air Traffic Systems – Separation Standards III. Journal of the Institute of Navigation, 1966.
   [Райх П.Дж. Анализ систем воздушного движения большой протяженности – стандарты эшелонирования III.]

9. Air Traffic Services System Requirements and Objective (Draft Rev E). Boeing Commercial Airplane Group, Document No. D240U123.
   [Требования к системе обслуживания воздушного движения и ее цели.]

10. Price, F., A Minimum Rate of Position Reporting for Automatic Dependant Surveillance. ICAO ADSP/2 WP/28, June 1992.
    [Прайс Ф. Минимальная частота представления донесений о местоположении в условиях применения автоматического зависимого наблюдения.]

11. Price, F., Position Data Refresh in Automatic Dependent Surveillance. ICAO ADSP/2 WP/27, June 1992.
    [Прайс Ф. Частота обновления данных о местоположении в условиях применения автоматического зависимого наблюдения.]

Дополнение А к добавлению 5

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ РИСКА СТОЛКНОВЕНИЯ ПРИ ОСНОВАННОМ НА РАССТОЯНИИ ПРОДОЛЬНОМ ЭШЕЛОНИРОВАНИИ

Пусть:

N_{ax} = Предполагаемое число катастроф на час полета.

Π_x = Доля времени, в течение которого имеет место перекрытие типичного воздушного судна в продольном измерении с другим воздушным судном, которому заданы та же линия пути и тот же эшелон полета.

$P_y(0)$ = Вероятность перекрытия в боковом измерении двух воздушных судов, которым задана одна и та же линия пути.

$P_z(0)$ = Вероятность перекрытия в вертикальном измерении двух воздушных судов, которым задан один и тот же эшелон полета.

$\overline{|\dot{x}|}$ = Средняя продольная составляющая относительной скорости двух воздушных судов, которые сталкиваются вследствие нарушения продольного эшелонирования.

$\overline{|\dot{y}|}$ = Средняя относительная скорость в боковом измерении двух воздушных судов, которым задана одна и та же линия пути.

$\overline{|\dot{z}|}$ = Средняя относительная скорость в вертикальном измерении двух воздушных судов, которым задан один и тот же эшелон полета.

λ_x = Средняя длина воздушных судов, использующих данное воздушное пространство.

λ_y = Средний размах крыла воздушных судов, использующих данное воздушное пространство.

λ_z = Средние вертикальные габаритные размеры воздушных судов, использующих данное воздушное пространство.

t = 0 — Начало периода представления донесения.

t = T — Конец того же периода представления донесения.

τ = Буферный интервал времени, учитывающий задержки связи и другие задержки, а также действия диспетчера.

S = Применяемый стандарт эшелонирования.

S_t = Истинное продольное эшелонирование пары воздушных судов в момент t.

$\hat{S}_t$ = Номинальное продольное эшелонирование пары воздушных судов в момент t (то есть интервал эшелонирования, рассчитанный на основании расстояний, указанных бортовыми навигационными системами).

$\hat{S}_0$ = Номинальное продольное эшелонирование воздушных судов в момент $t=0$.

S_F = Истинное эшелонирование в момент $t = T + \tau$.

Тогда

$$N_{ax} = \Pi_x P_y(0) P_z(0) \left[\frac{\overline{|\dot{x}|}}{2\lambda_x} + \frac{\overline{|\dot{y}|}}{2\lambda_y} + \frac{\overline{|\dot{z}|}}{2\lambda_z} \right]. \quad (1)$$

В уравнении (1) значение Π_x определяется согласно уравнению

$$\Pi_x = \frac{4\lambda_x}{S} \times \int_s w(s) U(s) ds, \quad (2)$$

где

$w(s)$ = Плотность распределения, определяющая вероятность, по всей оцениваемой системе, того, что любая выбранная пара воздушных судов, занимающих один эшелон полета, номинально разделена в продольном измерении расстоянием s, и

$U(s)$ = Вероятность продольного перекрытия в период с момента $t=0$ до момента $t = T + \tau$ при первоначальном номинальном интервале эшелонирования $\hat{S}_0 = s$.

Пусть

$\psi(x)$ = Функция плотности вероятности погрешностей навигационной системы в продольном измерении для первого воздушного судна.

$\varsigma(x)$ = Функция плотности вероятности погрешностей навигационной системы в продольном измерении для второго воздушного судна.

$F(a)$ = Вероятность в любой данный момент времени того, что истинный интервал эшелонирования пары воздушных судов составляет $\leq \lambda_x$ при условии, что номинальный интервал эшелонирования равен a

= Prob $\left(S_t \leq \lambda_x | \hat{S}_t = a\right)$.

$\phi_x(v)$ = Функция плотности вероятности незапланированных значений относительной скорости в продольном направлении.

Следует отметить, что функция $\phi_x(v)$ учитывает любые грубые навигационные ошибки или технические ошибки при выполнении полета.

Уравнение для определения $F(a)$ с учетом погрешностей навигационных систем каждого воздушного судна имеет вид

$$F(a) = \int_{x=a-\lambda_x}^{\infty} \int_{n=-\infty}^{\infty} \varsigma(n)\Psi(n-x)dndx, \quad (3)$$

а $U(s)$ определяется согласно уравнению

$$U(s) = P(S_F \leq \lambda_x | \hat{S}_0 = s), \quad (4)$$

где мы допустили, что на любой данный интервал представления донесений не приходится несколько пролетов одной и той же пары воздушных судов. В этом случае

$$U(s) = \int_{v=-\infty}^{\infty} \phi_x(v)P(S_F \leq \lambda_x | \hat{S}_F = s+v(T+\tau))dv = \int_{v=-\infty}^{\infty} \phi_x(v)F(s+v(T+\tau))dv. \quad (5)$$

В условиях применения процедурной RNAV мы допускаем, что значения $\psi(x)$ и $\varsigma(x)$ могут описываться двумерными экспоненциальными функциями плотности вероятности. Иными словами,

$$\psi(x) = \varsigma(x) = \frac{1}{2\lambda} e^{-\frac{|x|}{\lambda}}. \quad (6)$$

В условиях применения ADS необходимо учитывать неодновременность представления донесений о местоположении пар воздушных судов. Для обеспечения соответствия расчетных данных в условиях применения ADS исходным расчетным данным в условиях применения процедурной RNAV местоположение одного из воздушных судов в паре необходимо экстраполировать для более позднего момента времени, совпадающего со временем представления донесения вторым воздушным судном. Следовательно, мы изменяем $\varsigma(x)$, принимая ее равной функции плотности вероятности, определяемой суммой двух произвольных переменных, каждая из которых распределена согласно различным двумерным экспоненциальным плотностям. Иными словами

$$\varsigma(x) = \frac{\lambda e^{-\frac{|x|}{\lambda}} - \gamma e^{-\frac{|x|}{\gamma}}}{2[\lambda^2 - \gamma^2]}, \quad (7)$$

где γ — двумерный экспоненциальный параметр, соответствующий погрешности экстраполяции.

Добавление 6
ПРИМЕР СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ

Представленная в настоящем добавлении информация основана на документах, опубликованных в журнале Института навигации (Соединенное Королевство), том 42, № 3, 1989 г., с. 403—416 и том 44, № 1, 1991 г., с. 110—121 (на англ. языке).

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 В воздушном пространстве Японии применяется минимум радиолокационного эшелонирования в 5 м. миль в отношении пар воздушных судов, находящихся на удалении 40—200 м. миль от места установки радиолокатора. Радиолокационные системы, используемые для поддержания этого минимума эшелонирования, называются обзорным маршрутным радиолокатором (ARSR) и используются с 1976 года без каких-либо проблем с точки зрения безопасности. Для увеличения зоны применения эшелонирования в 5 м. миль в океаническом воздушном пространстве была разработана система вторичного обзорного радиолокатора дальнего действия (LSSR). Эта система была спроектирована таким образом, чтобы максимальная зона ее действия составляла 250 м. миль, а точность определения расчетного азимута была повышена за счет использования моноимпульсного метода.

1.2 Перед внедрением LSSR был проведен анализ риска при использовании новой системы для обеспечения радиолокационного эшелонирования в 5 м. миль.

1.3 В этом сценарии предполагалось, что воздушное движение и процедуры, используемые службой управления воздушным движением, будут такими же, как и прежде. Единственное различие связано с качеством наблюдения при использовании нового радиолокатора. Поскольку все остальные характеристики воздушного пространства остаются неизменными, достаточно было сравнить только точность измерения, обеспечиваемую двумя радиолокационными системами, при этом эталонной для данного анализа является существующая система. С целью сравнения качества наблюдения при использовании LSSR и ARSR для обеих систем была рассчитана вероятность непосредственного сближения (CAP) — параметра, который связан с риском столкновения. CAP определяется как вероятность фактического перекрытия пары воздушных судов в том случае, когда видимое расстояние между ними равно минимуму радиолокационного эшелонирования.

2. МЕТОД СРАВНЕНИЯ

2.1 Авиадиспетчеры обеспечивают эшелонирование воздушных судов, исходя из отметок/символов воздушных судов на экране индикатора радиолокатора. Отображаемое на экране местоположение характеризуется следующими неопределенностями:

a) *погрешности отображаемого местоположения* воздушных судов; и

b) дискретность данных (частота обновления 10 с).

2.2 Неопределенность отображаемого местоположения воздушного судна можно выразить через параметры, используемые для определения безопасных минимумов радиолокационного эшелонирования.

2.3 Моделирование риска столкновения может использоваться для явной оценки уровня безопасности, связанного с применением конкретного минимума эшелонирования при использовании радиолокационной системы наблюдения. Однако не всегда легко определить расчетные значения всех параметров модели. При данной оценке рассчитывалась CAP, то есть вероятность фактического перекрытия пары воздушных судов в том случае, когда видимое расстояние между ними равно минимуму радиолокационного эшелонирования D_s. CAP (P_{ca}) определяется выражением

$$P_{ca} = Prob[d < D_k | D_s], \qquad (1)$$

где d — фактический интервал эшелонирования пары воздушных судов, а D_k — размер воздушного судна.

2.4 Как правило, в районе, расположенном далеко от места установки радиолокатора, погрешности измерения дальности радиолокационной системы пренебрежимо малы по сравнению с погрешностями измерения азимута. Поэтому самым неблагоприятным вариантом является ситуация, в которой два воздушных судна находятся на дуге радиусом R с отсчетом от радиолокатора. Такая ситуация представлена на рис. А-6-1. В этом случае САР является вероятностью перекрытия пары воздушных судов в азимутальном направлении, когда номинальное эшелонирование равно D_s.

2.5 Если допустить, что погрешности определения азимута для каждого воздушного судна распределяются независимо и идентично, то САР для пары воздушных судов, находящихся на дуге радиусом R, можно приблизительно определить с помощью выражения:

$$P_{ca}(R) = 2(D_k/R)\ C(D_s/R) \qquad (2)$$

где

$$C(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)f(x - z)\,dx \qquad (3)$$

и $f(x)$ — функция плотности вероятности *(pdf)* погрешности определения азимута.

2.6 После определения $f(x)$ можно рассчитать свертку $C(z)$. Уравнение (2) принимает максимальное значение при максимальной дальности действия R_{max}.

3. ОЦЕНКА САР ДЛЯ ОБЕИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

3.1 Методика

3.1.1 Оценка радиолокационных систем проводилась в три этапа:

a) определить модель погрешности определения азимута для каждой радиолокационной системы на основании эмпирических данных. Расчетная *pdf* погрешностей определения азимута определяется по распределению отклонений азимута на основании представленных в цифровой форме данных двух радиолокационных систем;

b) определить расчетную максимальную САР для обеих систем;

c) сравнить значения максимальной САР обеих систем.

3.2 Анализ данных

3.2.1 Использовались два набора данных — один, относящийся к LSSR, который подлежал оценке, и второй, относящийся к действующему ARSR/ВОРЛ в Дзобон-зане. Используемые при анализе данные относились к прибывающим воздушным судам, выполняющим полет по маршрутам ОВД в северной части Тихого океана. Используемые схемы полета, в рамках двух наборов данных, были почти идентичными, и район сбора данных был примерно одинаковым для обеих систем. Оба радиолокатора были установлены почти в одном и том же месте (на расстоянии 150 м друг от друга).

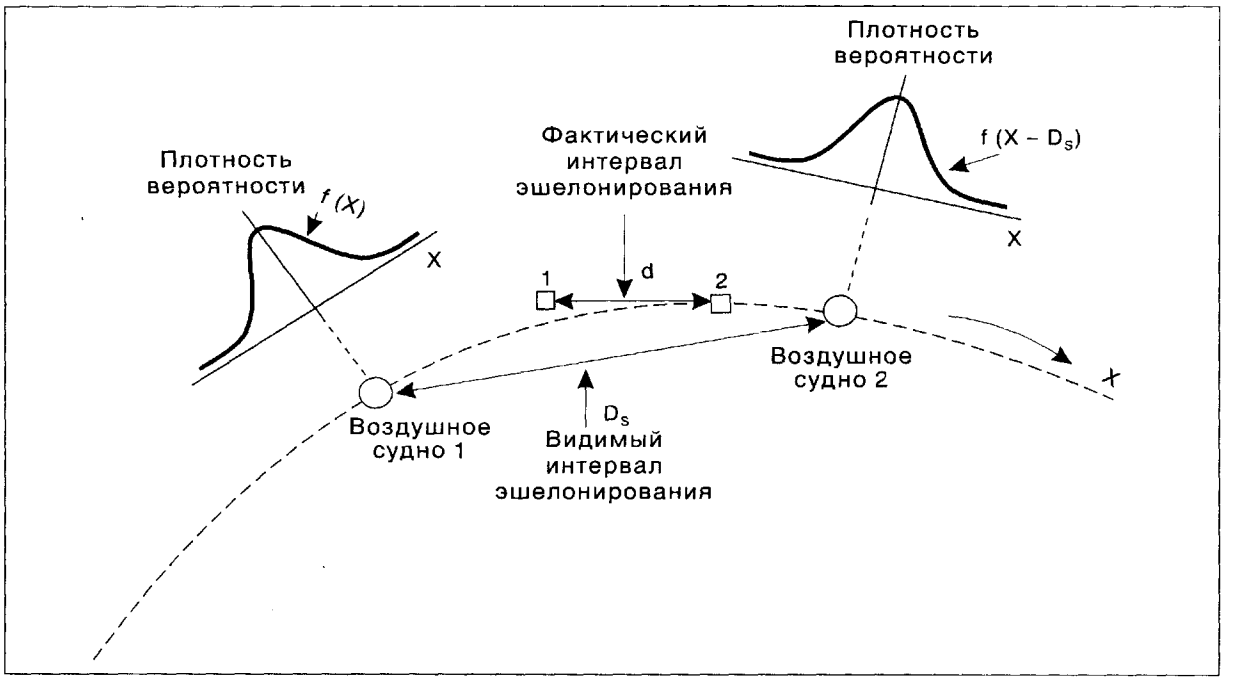


Рисунок А-6-1. Фактический и видимый интервалы эшелонирования двух воздушных судов

3.2.2 В обычном ARSR для определения расчетного значения азимута целевого воздушного судна использовался метод коррелирования данных, поступающих в следующие друг за другом периоды сканирования; такой метод называется методом скользящего окна. В LSSR использовался моноимпульсный метод. В таблице А-6-1 сравниваются характеристики обеих систем.

3.2.3 Погрешности определения азимута рассчитывались как разность между наблюдаемым (расчетным) азимутом и истинным (сглаженным) азимутом. Для эмпирических распределений был подобран ряд моделей *pdf*, при этом наиболее подходящими для определения расчетных значений CAP считались следующие модели:

a) модель N-N для данных обычного радиолокатора

$$f(x) = (1 - \alpha)N(x|\sigma_1) + \alpha N(x|\sigma_2) \qquad (4)$$

b) модель N-DE для LSSR

$$f(x) = (1 - \alpha)N(x|\sigma_1) + \alpha DE(x|\lambda), \qquad (5)$$

где

$N(x|\sigma_i)$ — *pdf* нормального распределения с нулевым средним отклонением и средним квадратичный отклонением, равным σ_i ,

$DE(x|\lambda)$ — *pdf* двумерного экспоненциального распределения с нулевым средним отклонением и средним квадратичный отклонением, равным $\lambda\sqrt{2}$, и

α — весовой коэффициент ($0 < \alpha < 1$).

Параметры модели рассчитывались с помощью метода определения расчетной максимальной вероятности.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты расчетов приводятся в таблице А-6-2. Они свидетельствуют о том, что $P_{ca}(R_{max})$ для LSSR значительно ниже, чем для обычного радиолокатора. Хотя эти значения являются точечными оценками, статистический подход, основанный на методе раскрутки, также подтвердил полученные результаты (справочный материал 1). Поскольку результаты свидетельствовали о том, что использование LSSR обеспечит бóльшую точность, чем существующая система, и что ухудшения безопасности не произойдет, была внедрена система LSSR.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

1. Nagaoka, S., Amai, O. Estimation Accuracy of Close Approach Probability for Establishing a Radar Separation Minimum. Journal of the Institute of Navigation, Vol. 44, No. 1, 1991.
[Нагаока С., Амаи О. Точность определения расчетного значения вероятности непосредственного сближения при установлении минимума радиолокационного эшелонирования].

Таблица А-6-1. Сравнение обычного ARSR/ВОРЛ и LSSR

	Обычный ARSR/ВОРЛ	*LSSR*
Место размещения	Дзобон-зан	Дзобон-зан
Метод измерения азимута	"Скользящее окно"	Моноимпульсный
Зона действия	200 м. миль	250 м. миль
Радиолокатор	ПОРЛ/ВОРЛ	ВОРЛ

Таблица А-6-2. Расчетные параметры модели и значения CAP

Данные	*Обычный ARSR/ВОРЛ*	*LSSR*
Размер выборки	8 935	11 395
Ср. кв. окл. погрешностей определения азимута	0,112 град.	0,037 град.
Наиболее подходящая модель *pdf*	N-N	N-DE
Подобранные параметры модели	σ_1 = 0,0987 град. σ_2 = 0,1640 град. α = 0,164	σ = 0,0226 град. λ = 0,0315 град. α = 0,5823
Расчетное значение $P_{ca}(R_{max})$	$5{,}3 \times 10^{-12}$ (R_{max} = 200 м. миль)	$3{,}1 \times 10^{-16}$ (R_{max} = 250 м. миль)

Добавление 7

ПРИМЕР КОМПРОМИССНОГО ВЫБОРА РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ СРАВНЕНИИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ СИСТЕМЫ С ЭТАЛОННОЙ СИСТЕМОЙ

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 В данном руководстве кратко излагаются два основных метода определения того, является ли та или иная система безопасной. Один метод предполагает сравнение предлагаемой системы с той или иной эталонной системой. Если предлагаемая система в достаточной степени похожа на эталонную систему и эталонная система признана безопасной, то предлагаемую систему можно внедрять без проведения анализа риска. В некоторых случаях предлагаемая система может быть аналогичной эталонной системе, однако некоторые аспекты могут отличаться настолько, что потребуется проведение анализа предлагаемого изменения. В этих случаях безопасность предлагаемой системы можно оценить посредством компромиссного выбора различных параметров характеристик системы.

1.2 В настоящем добавлении приводится пример такого анализа безопасности предлагаемой системы.

2. КОМПРОМИСС МЕЖДУ ЗАНЯТОСТЬЮ И ВЕРОЯТНОСТЬЮ ПЕРЕКРЫТИЯ В БОКОВОМ ИЗМЕРЕНИИ

2.1 Рассмотрим предлагаемое воздушное пространство, идентичное во всех отношениях нынешнему воздушному пространству Северной Атлантики (NAT), в котором действуют технические требования к минимальным навигационным характеристикам (MNPS), за тем исключением, что плотность воздушного движения в нем выше, а навигационная точность в боковом измерении лучше с точки зрения как основных характеристик, так и числа грубых ошибок, которые будут иметь место. В эталонной системе и в предлагаемой системе используются одни и те же минимумы бокового эшелонирования и одни и те же средства связи и наблюдения, однако частота применения минимумов бокового эшелонирования и навигационные характеристики различны. Перед внедрением такой системы необходимо убедиться в том, что она будет безопасной. Поскольку в других отношениях предлагаемая система аналогична эталонной, достаточно рассмотреть влияние на риск столкновения увеличения занятости и изменений навигационных характеристик воздушных судов. В данном примере рассматривалось только влияние на риск бокового столкновения. Следует учитывать, что навигационная точность в боковом измерении влияет также на риск продольного и вертикального столкновения.

2.2 Для расчета риска столкновения в воздушном пространстве NAT с MNPS обычно используется модель Райха. Формулу для определения риска в боковом измерении C можно представить в виде:

$$C = P_y(S_y)P_z(0)\frac{\lambda_x}{S_x}E_{tot},$$

где

$$E_{tot} = E_s\left[\frac{|\bar{\dot{x}}_s|}{2\lambda_x} + \frac{|\bar{\dot{y}}|}{2\lambda_y} + \frac{|\bar{\dot{z}}|}{2\lambda_z}\right] + E_o\left[\frac{|\bar{\dot{x}}_o|}{2\lambda_x} + \frac{|\bar{\dot{y}}|}{2\lambda_y} + \frac{|\bar{\dot{z}}|}{2\lambda_z}\right].$$

В таблице A-7-1 приводятся определения различных параметров, фигурирующих в данной формуле.

2.3 E_{tot} относится к занятости в боковом измерении и служит показателем плотности воздушного движения в системе. Она указывает число воздушных судов, с которыми каждое воздушное судно в системе, как ожидается, будет образовывать, в любой отдельный момент, сближающуюся пару. В NAT с MNPS два воздушных судна образуют сближающуюся пару, если они находятся на удалении 120 м. миль друг от друга в продольном измерении, номинально выполняя полет на одном эшелоне полета по соседним маршрутам. Если два воздушных судна выполняют полет в одном направлении, они образуют сближающуюся пару в одном направлении, а если они движутся во встречных направле-

ниях, то они образуют сближающуюся пару во встречных направлениях.

2.4 Из модели Райха явствует, что риск C пропорционален E_{tot}, $P_y(S_y)$ — вероятности перекрытия в боковом измерении и $P_z(0)$ — вероятности перекрытия в вертикальном измерении. Поэтому для предотвращения увеличения риска с ростом плотности воздушного движения необходимо уменьшить либо $P_y(S_y)$, либо $P_z(0)$. В данном случае, вследствие улучшенной навигационной точности в боковом измерении, уменьшается $P_y(S_y)$. Однако для оценки того, достаточно ли этого уменьшения для компенсации роста плотности воздушного движения, необходимо провести анализ компромисса между $P_y(S_y)$ и E_{tot}.

2.5 Нынешнее значение максимального допустимого риска столкновения для воздушного пространства NAT с MNPS составляет 2×10^{-8} катастроф на час полета в одном измерении. Полеты с применением RVSM в будущем должны будут соответствовать более жесткому TLS, равному 5×10^{-9}, и, вероятно, любое сокращение минимумов горизонтального эшелонирования будет также связано с более жестким TLS. На рис. А-7-1 приводятся значения $P_y(S_y)$ и E_{tot}, которые удовлетворяют этим значениям TLS. Область приемлемого риска располагается на приведенных кривых и ниже них. Следует учитывать, что кривые представляют максимальный приемлемый риск и, с учетом роста воздушного движения в будущем, расчетный риск должен быть ниже этих кривых.

2.6 Путем расчета значений E_{tot} и $P_y(S_y)$ для предлагаемой системы специалист по планированию воздушного пространства может определить, является ли риск в предлагаемой системе приемлемым. Например, если расчетное значение E_{tot} равно 1200, а $P_y(S_y) = 5 \times 10^{-8}$, специалист по планированию воздушного пространства может прийти к выводу, что предлагаемая система будет соответствовать TLS, равному 2×10^{-8}, но не TLS, равному 5×10^{-9}. Для обеспечения TLS = 5×10^{-9} необходимо либо уменьшить занятость, либо улучшить навигационные характеристики воздушных судов.

Таблица А-7-1. Параметры модели Райха для определения риска столкновения

Параметр	*Описание*
S_y	Минимум бокового эшелонирования.
$P_y(S_y)$	Вероятность перекрытия в боковом измерении двух воздушных судов, номинально разделенных минимумом бокового эшелонирования.
$P_z(0)$	Вероятность перекрытия в вертикальном измерении двух воздушных судов, следующих по одной линии пути.
S_x	Длина продольного окна, используемая при расчете занятости.
λ_x	Средняя длина воздушных судов.
λ_y	Средний размах крыла воздушных судов.
λ_z	Средняя высота воздушных судов.
E_s	Занятость в боковом измерении в одном направлении.
E_o	Занятость в боковом измерении во встречных направлениях.
$\lvert\overline{\dot{x}_o}\rvert$	Средняя относительная скорость в продольном измерении воздушных судов, следующих во встречных направлениях.
$\lvert\overline{\dot{x}_s}\rvert$	Средняя относительная скорость в продольном измерении воздушных судов, следующих в одном направлении.
$\lvert\overline{\dot{y}}\rvert$	Средняя относительная скорость в боковом измерении.
$\lvert\overline{\dot{z}}\rvert$	Средняя относительная скорость в вертикальном измерении.

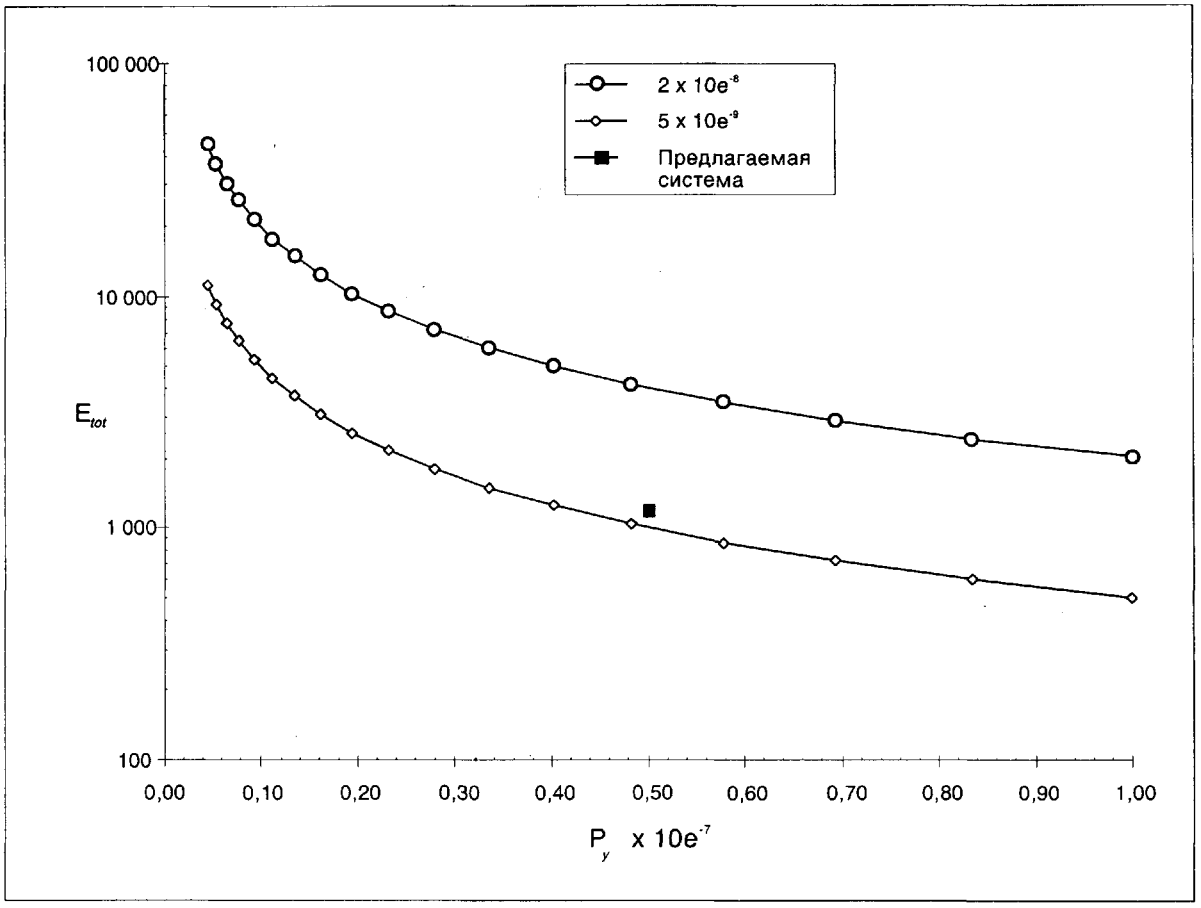


Рисунок А-7-1. Кривая значений P_y и E_{tot}, соответствующих TLS

Добавление 8

МОДЕЛЬ РИСКА СТОЛКНОВЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМУМОВ БОКОВОГО ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ADS

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 В настоящем добавлении описывается модель риска столкновения, которая может использоваться для определения минимумов бокового эшелонирования в системе управления воздушным движением, основанной на ADS. В нем обобщаются два рабочих документа (справочные материалы 1 и 2)[1], которые были представлены Рабочей группе А Группы экспертов ИКАО по рассмотрению общей концепции эшелонирования (RGCSP).

1.2 Модель, которую предстоит описать, основана на эксплуатационных требованиях (OR) к полномасштабной системе ADS, описанной в справочном материале 3. Не все OR оказывают непосредственное влияние на риск столкновения. Учитывались следующие OR:

OR 4 Сравнение четырехмерных (4D) параметров, хранящихся в бортовой системе, с полетными данными, хранящимися в системе обработки полетных данных (FDPS).

OR 8 Обнаружение входа воздушного судна в систему ADS-УВД.

OR 9 Подтверждение того, что прогнозируемые параметры воздушного судна совпадают с параметрами, хранящимися в FDPS.

OR 10 Проверка средствами FDPS того, что воздушное судно следует в соответствии с разрешением службы УВД.

OR 11 Предоставление диспетчеру самой новой имеющейся информации о воздушной обстановке с использованием информации, поступившей из ADS.

OR 12 Обеспечение автоматического представления донесений о местоположении в соответствии с соглашениями ADS, установленными наземной системой УВД.

OR 17 Автоматический контроль и автоматическое представление воздушными судами донесений о значительных изменениях параметров полета.

OR 18 Уведомление воздушными судами об изменениях возможностей определения местоположения.

1.3 Модель представляет собой расширенный вариант первоначальной модели риска столкновения воздушных судов, предложенной Райхом, в том отношении, что в ней допускается возможность возникновения различных видов навигационных ошибок в боковом измерении. Каждый из этих видов ошибок приводит к собственному значению вероятности перекрытия в боковом измерении. В модели рассматривается влияние различных возможностей ADS на обнаружение и устранение или уменьшение числа различных видов ошибок. Это влияние зависит от состояния, то есть состояния отказа или нормальной работы, различных элементов системы УВД, основанной на ADS. Удобным средством анализа всех возможных сочетаний состояний является дерево событий. Затем в модели риска столкновения рассчитывается общая вероятность перекрытия в боковом измерении как взвешенное среднее значений вероятности перекрытия в боковом измерении, связанных с отдельными видами навигационных ошибок, при этом весовые коэффициенты представляют долю времени, в течение которого можно ожидать возникновения каждой ошибки на практике.

1. Список справочных материалов приведен в конце данного добавления.

2. ДОПУЩЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМЫ

2.1 Описание системы

2.1.1 В схематическом виде система ADS-УВД может быть представлена в виде блок-схемы, приведенной на рис. А-8-1. FDPS являются частью органа ADS-УВД, которая обеспечивает автоматизацию работы системы ADS-УВД на земле. Связь между воздушным судном и системой ADS-УВД осуществляется по каналу передачи данных. Каждый из четырех внешних элементов, то есть бортовое электронное оборудование, пилот, FDPS и диспетчер, может инициировать сообщения для передачи по каналу передачи данных. На рис. А-8-1 показан также канал радиосвязи между пилотом и диспетчером.

2.1.2 В настоящем документе отдельно выделены следующие элементы E_i (i=1,...,4) системы ADS-УВД:

E_1: воздушное судно
E_2: подсистема канала передачи данных
E_3: подсистема формирования данных о воздушной обстановке
E_4: подсистема обработки плана полета.

2.2 Канал передачи данных и наземная система

2.2.1 Элементы E_3 и E_4 являются подсистемами FDPS. Предполагается, что подсистема обработки плана полета E_4 используется для сравнения информации о параметрах полета из двух источников — воздушного судна и системы, как предусмотрено требованиями OR 4 и 9.

2.2.2 Далее допускается, что каждый из элементов E_2—E_4 может находиться в любом из двух состояний:

$$E_i = \begin{cases} 0 & \textit{номинальные характеристики} \\ & \qquad\qquad i = 2, 3, 4 \\ 1 & \textit{отказ} \end{cases}$$

2.2.3 В целях упрощения допускается, что отказ эквивалентен неготовности. Как описано в справочном материале 3 применительно к OR 4 и 9, FDPS должна формировать тревожное оповещение в том случае, когда любое несоответствие (боковые параметры, продольные параметры, абсолютная высота, время) между информацией о параметрах полета, хранящейся на воздушном судне и в FDPS, превышает существующие допуски. В том случае, если FDPS не направляет такое оповещение или диспетчер игнорирует направленное оповещение, наступают те же последствия, как и в случае неготовности FDPS. Таким образом, вероятность отказа или неготовности подсистемы обработки плана полета E_4 можно толковать как сумму вероятностей действительного отказа, невыдачу оповещения, когда это требуется, и отсутствия реакции на оповещение со стороны диспетчера.

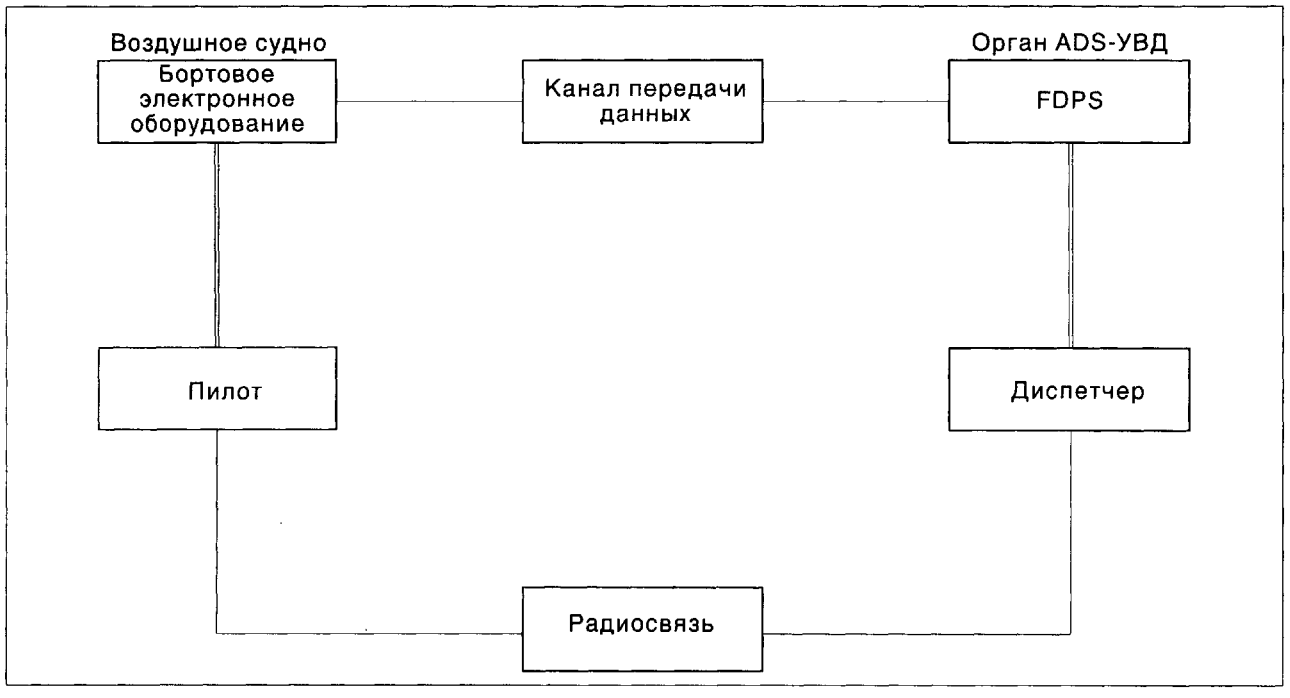


Рисунок А-8-1. Схематическое представление возможной системы ADS-УВД

2.2.4 Основная идея, представленная в справочных материалах 1 и 2, заключается в учете различных инициирующих риск событий, связанных с воздушным судном (E_1), и в рассмотрении элементов E_2, E_3 и E_4 в качестве функций/систем безопасности или вспомогательных функций/систем, которые призваны ослаблять последствия таких инициирующих событий. Это позволяет построить общее дерево событий, представленное на рис. А-8-2, на котором ветви, идущие от узла вверх, соответствуют состоянию подсистемы 0 (номинальное), а ветви, идущие от узла вниз, соответствуют состоянию подсистемы 1 (отказ).

2.2.5 Следующий этап заключается в расчете значений вероятности, связанных с каждым маршрутом дерева на рис. А-8-2. Для этого необходимо определить совместное распределение вероятностей элементов системы E_2, E_3 и E_4. По сути, предполагается, что эти элементы являются независимыми от E_1 (воздушного судна). В справочном материале 1 допускалось также, что элементы E_2, E_3 и E_4 являются полностью *независимыми*. Преимущество такого допущения состоит в том, что в этом случае совместное распределение вероятностей можно рассчитать как произведение распределений вероятностей отдельных элементов.

2.2.6 Однако это допущение было подвергнуто сомнению в отношении E_3 и E_4 (подсистемы формирования данных о воздушной обстановке и подсистемы обработки плана полета), поскольку эти системы, вероятно, будут совместно использовать одно и то же оборудование. Поэтому можно ожидать, что отказ оборудования повлияет как на E_3, так и на E_4. Кроме отказов оборудования, возможны также некоторые программные сбои E_3 и/или E_4. Таким образом, в зависимости от степени независимости разработки программного обеспечения для E_3 и E_4, может существовать некоторая дополнительная зависимость между этими двумя элементами системы.

2.2.7 В принципе частоту сбоев программного обеспечения можно определить, однако на практике это сделать очень трудно. В отсутствие таких данных разумно допустить, что частота сбоев программного обеспечения элементов E_3 и E_4 одинакова и что влияние отказов оборудования на E_3 и E_4 также одинаково. Отсюда следует, что их совместное распределение вероятностей является симметричным по отношению к E_3 и E_4.

Инициирующее событие	Система			Состояние системы ADS-УВД	
Событие, относящееся к E_1	E_2	E_3	E_4	Номер (последовательности событий)	Состояние (E_2 E_3 E_4)
				1	000
				2	001
				3	010
				4	011
				5	100
				6	101
				7	110
				8	111

Рисунок А-8-2. Общее дерево событий для инициирующего риск события, относящегося к воздушному судну E_1

2.2.8 В справочном материале 2 рассматривается другой крайний случай — полная *зависимость* между E_3 и E_4, то есть отказ E_3 наступает только в случае отказа E_4, а E_3 обеспечивает номинальные характеристики только в случае обеспечения номинальных характеристик E_4. Независимость E_3 и E_4 от E_2 и E_1 была сохранена. Было показано, что вследствие предполагаемой полной зависимости вероятности, связанные с последовательностями событий 2, 3, 6 и 7 на рис. А-8-2, принимали нулевое значение и, что более важно, вероятности, связанные с последовательностями 4 и 8, принимали значение порядка p_1, а не $p_1 * p_1$ ($p_1 \ll 1$). Последствия инициирующих риск событий, вероятно, будут наиболее значительными для этих двух последовательностей, то есть в том случае, когда как E_3, так и E_4 находятся в состоянии отказа. Соответственно, в случае допущения о полной зависимости необходимо оценить только последовательности событий 1, 4, 5 и 8. В настоящем документе это допущение будет сохранено.

2.3 Воздушное судно

2.3.1 Состояния системы ADS-УВД на рис. А-8-2 относятся к одному конкретному инициирующему риск событию. Таким образом, необходимо выявить все инициирующие риск события, относящиеся к воздушному судну. С этой целью отдельно выделены следующие три элемента воздушного судна:

A: пилот
B: навигационная система } Система управления полетом
C: интерфейс канала передачи данных

2.3.2 На самом высоком уровне источником навигационных ошибок воздушного судна является система управления полетом (FCS). Работа FCS зависит от правильности задания программы пилотом, алгоритма управления и точности определения местоположения навигационной системой. Применительно к пилоту и навигационной системе различают следующие состояния:

$$A = \begin{cases} 0 & \text{нормальная работа} \\ 1 & \text{ошибка ввода точек пути} \\ 2 & \text{выбор неправильного маршрута} \end{cases}$$

$$B = \begin{cases} 0 & \text{нормальная работа} \\ 1 & \text{ухудшение характеристик} \\ 2 & \text{отказ} \end{cases}$$

2.3.3 Для каждого из девяти возможных сочетаний состояний A и B в разделе 4 будет определено отдельное распределение навигационных ошибок. Влияние алгоритма управления будет отражено в состоянии навигационной системы. В частности, все три состояния пилота в сочетании с отказом навигационной системы, то есть $B = 2$, могут толковаться как ручное управление полетом, а остальные шесть случаев могут рассматриваться как автоматическое управление полетом.

2.3.4 Ухудшение характеристик навигационной системы может быть, например, вызвано ухудшением характеристик гироскопа или акселерометра в случае инерциальной навигационной системы или сдвиг маршрута и внезапные ионосферные помехи в случае такой системы как Омега.

2.3.5 Наконец, различают два состояния интерфейса канала передачи данных воздушного судна, а именно:

$$C = \begin{cases} 0 & \text{нормальная работа} \\ 1 & \text{отказ} \end{cases}$$

2.3.6 Так же, как для элементов системы E_2, E_3 и E_4, необходимо определить значения совместной вероятности состояний относящихся к воздушному судну элементов A, B и C. Считается, что относящиеся к воздушному судну элементы A, B и C являются полностью независимыми. Поскольку элемент A относится к ошибкам пилота, а элементы B и C относятся к оборудованию воздушного судна, а также с учетом порядка определения их состояний, можно обоснованно допустить, что элемент A независим от элементов B и C. Кроме того, учитывая, что в элементах B и C используется различное оборудование, с полным основанием можно допустить, что B и C являются независимыми. В этом случае можно утверждать, что:

$$Prob\{A = j, B = k, C = l\} = Prob\{A = j\} * Prob\{B = k\} * Prob\{C = l\}, \quad j, k = 0, 1, 2;\ l = 0, 1 \tag{1}$$

$$Prob\{A = j\} = p_j^A,\ j = 0, 1, 2 \tag{2}$$

$$Prob\{B = k\} = p_k^B,\ k = 0, 1, 2 \tag{3}$$

$$Prob\{C = l\} = p_1^C,\ l = 0, 1 \tag{4}$$

при значениях p_1^A, p_2^A, p_1^B, p_2^B и p_1^C намного меньше 1.

2.3.7 Следует отметить, что возможная зависимость между состояниями элементов B и C может быть без труда смоделирована с использованием значений условной вероятности, смотри, например, справочный материал 2. Учитывая, что интерфейсы канала передачи данных начали применяться для целей ADS лишь недавно, считается, что в настоящее время нереалистично применять такое моделирование к практическим ситуациям.

2.3.8 В таблице А-8-1[2] приводится полный набор из восемнадцати комбинированных состояний относящихся к воздушному судну элементов *A*, *B* и *C*, которые указаны в четырех колонках в левой части таблицы (остальные колонки рассматриваются в разделе 4). Каждое из восемнадцати комбинированных состояний воздушного судна является потенциальным инициирующим риск событием в том смысле, что с каждым состоянием связано некоторое значение вероятности перекрытия в боковом измерении. Несомненно, вероятность перекрытия в боковом измерении будет намного ниже для номинального состояния воздушного судна 1, чем для состояния воздушного судна 18. С другой стороны, поскольку значения других вероятностей, помимо p_0^A, p_0^B и p_0^C, намного меньше единицы, некоторые из комбинированных состояний элементов A, B и C имеют пренебрежимо малую вероятность возникновения по сравнению с другими. Однако влияние того или иного конкретного сочетания на безопасность системы зависит как от вероятности данного сочетания, так и от связанной с ним вероятности перекрытия в боковом измерении, рассчитанной на основании распределения навигационных ошибок в боковом измерении для данного сочетания. Распределения ошибок рассматриваются в разделе 4, и до этого момента ни одно из вышеприведенных сочетаний не исключается из рассмотрения.

3. МОДЕЛЬ РИСКА СТОЛКНОВЕНИЯ

3.1 Рассмотрим типичную пару воздушных судов, то есть оба воздушных судна имеют одинаковые плотности вероятности $f_1(y_1)$ и $f_2(y_2)$ соответственно. Пусть $f_{i,j,k}^{ABC}(y_1)$ обозначает плотность вероятности навигационных ошибок в боковом измерении воздушного судна 1, которое характеризуется комбинированным состоянием *ijk* трех элементов A, B и C. В этом случае общая плотность вероятности $f_1(y_1)$ навигационных ошибок в боковом измерении данного воздушного судна может быть представлена в следующем виде:

$$f_1(y_1) = \sum_{i=0}^{2}\sum_{j=0}^{2}\sum_{k=0}^{1} p_i^A\, p_j^B\, p_k^C\, f_{i,j,k}^{ABC}(y_1), \qquad (5)$$

то есть речь идет о смешанной плотности, содержащей (в данном случае) восемнадцать членов. Может случиться так, что некоторые из составляющих плотностей будут идентичными для различных наборов значений *ijk*. В этом случае соответствующие члены можно объединить.

3.2 Аналогичным образом, для другого воздушного судна, обозначенного 2, общая плотность вероятности навигационных ошибок в боковом измерении будет иметь следующий вид:

$$f_2(y_2) = \sum_{p=0}^{2}\sum_{q=0}^{2}\sum_{r=0}^{1} p_p^A\, p_q^B\, p_r^C\, f_{p,q,r}^{ABC}(y_2). \qquad (6)$$

3.3 Число параметров в уравнениях (5) и (6) равно 3 + 3 + 2 = 8. Законом общей вероятности для этих параметров предусматривается три нормирующих уравнения, при этом необходимо определить только пять независимых параметров.

3.4 Вероятность перекрытия в боковом измерении для этой пары воздушных судов определяется из уравнения

$$P_y(S_y) = Prob\{\, d \in [-\lambda_y, +\lambda_y]\} = \int_{-\lambda_y}^{\lambda_y} f_d(x)\, dx \approx 2\lambda_y\, f_d(0), \qquad (7)$$

где d обозначает боковое расстояние между воздушными судами, то есть

$$d = S_y + y_2 - y_1 \qquad (8)$$

и

$$f_d(d) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(y_1) f_2(d + y_1 - S_y)\, dy_1. \qquad (9)$$

Подстановка уравнений (5) и (6) в уравнение (9) приводит к результату

$$f_d(d) = \sum_{i=0}^{2}\sum_{j=0}^{2}\sum_{k=0}^{1}\sum_{p=0}^{2}\sum_{q=0}^{2}\sum_{r=0}^{1} p_i^A p_j^B p_k^C p_p^A p_q^B p_r^C \int_{-\infty}^{\infty} f_{i,j,k}^{ABC}(y_1) f_{p,q,r}^{ABC}(d + y_1 - S_y)\, dy_1 \qquad (10)$$

Более подробно плотности ошибок $f_1(y_1)$ и $f_2(y_2)$ будут рассмотрены в разделе 4.

3.5 Вышеприведенные плотности вероятности зависят от состояний элементов E_2, E_3 и E_4 системы ADS-УВД. Эта зависимость может быть представлена в явном виде с помощью обозначения $f_1(y_1; E_2{=}\bullet, E_3{=}\bullet, E_4{=}\bullet)$ вместо $f_1(y_1)$ и аналогичным образом — для $f_2(y_2)$. Соответственно, вероятность перекрытия в боковом измерении $P_y(S_y)$ также зависит от состояний элементов E_2, E_3 и E_4, что может быть выражено в более полном виде следующим образом: $P_y(S_y; E_2{=}\bullet, E_3{=}\bullet, E_4{=}\bullet)$. Следует подчеркнуть, что эта зависимость *не* предполагает введения в модель дополнительных параметров. Это означает лишь, что состояние $E_2E_3E_4$ определяет, *какие* конкретные параметры из набора базовых плотностей $f_{i,j,k}^{ABC}(y_1)$ и $f_{i,j,k}^{ABC}(y_2)$ присутствуют в уравнениях смешанных плотностей (5) и (6).

3.6 В вышеприведенном описании неявно допускалось, что используется только один тип

2. Таблицы А-8-1 — А-8-10 приведены в конце данного добавления.

навигационной системы. Общую плотность вероятности навигационных ошибок в боковом измерении типичного воздушного судна можно определить аналогичным образом для случая использования M различных типов навигационных систем, каждая из которых обладает своей собственной навигационной точностью и параметрами отказов и ухудшения характеристик. Более подробные сведения приводятся в справочном материале 1.

3.7 Исходя из допущения о том, что потоки воздушного движения можно разделить на следующие в одном направлении и во встречных направлениях, модель риска столкновения можно представить в виде

$$N_{ay} = \begin{aligned}&[p_{20}p_{3040}\{P_y(S_y;\ E_2 = 0,\ E_3 = 0,\ E_4 = 0)\} + \\ &p_{20}p_{3141}\{P_y(S_y;\ E_2 = 0,\ E_3 = 1,\ E_4 = 1)\} + \\ &p_{21}p_{3040}\{P_y(S_y;\ E_2 = 1,\ E_3 = 0,\ E_4 = 0)\} + \\ &p_{21}p_{3141}\{P_y(S_y;\ E_2 = 1,\ E_3 = 1,\ E_4 = 1)\}] *\end{aligned} \quad (11)$$

$$\left[P_x(same)P_z(0)\left\{\frac{|\overline{\Delta V}|}{2\lambda_x} + \frac{|\bar{\dot{y}}|}{2\lambda_y} + \frac{|\bar{\dot{z}}|}{2\lambda_z}\right\} + P_x(opp)P_z(0)\left\{\frac{\overline{V}}{\lambda_x} + \frac{|\bar{\dot{y}}|}{2\lambda_y} + \frac{|\bar{\dot{z}}|}{2\lambda_z}\right\}\right]$$

где

$$p_{20} = Prob\{E_2 = 0\};\ \ p_{21} = Prob\{E_2 = 1\} \quad (12)$$

$$p_{3040} = Prob\{E_3 = 0\ ,\ E_4 = 0\} = Prob\{E_3 = 0\} = Prob\{E_4 = 0\} = p_0 \quad (13)$$

$$p_{3141} = Prob\{E_3 = 1\ ,\ E_4 = 1\} = Prob\{E_3 = 1\} = Prob\{E_4 = 1\} = p_1 \quad (14)$$

3.8 Остальные символы имеют свое обычное значение, как в модели риска столкновения Райха. В частности, P_x(same) и P_x(opp) обозначают вероятности перекрытия в продольном измерении воздушных судов, следующих в одном направлении и во встречных направлениях соответственно. Их расчетное значение можно определить из выражений

$$P_x(same) = E_y(same)\frac{\lambda_x}{S_x}\ ;\ \ P_x(opp) = E_y(opp)\frac{\lambda_x}{S_x}, \quad (15)$$

где E_y(same) и E_y(opp) обозначают занятость в боковом измерении в одном направлении и во встречных направлениях соответственно.

4. СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ И НАВИГАЦИОННЫЕ ОШИБКИ В БОКОВОМ ИЗМЕРЕНИИ

4.1 В настоящем разделе описываются типы навигационных ошибок, которые присутствуют при различных состояниях системы ADS-УВД. Влияние ADS на ошибки, обусловленные действиями пилота, рассматривается в первую очередь.

4.2 Влияние ADS на ошибки, обусловленные действиями пилота

4.2.1 Как указано в разделе 2, одним из следствий допущения о полной зависимости между элементами системы E_3 и E_4 является то, что ненулевую вероятность имеют только последовательности событий 1, 4, 5 и 8, представленные на рис. A-8-2. Поэтому ниже рассматриваются только эти четыре последовательности.

4.2.2 Навигационные ошибки воздушного судна определяются совместным влиянием ошибок навигационной системы и ошибок, обусловленных действиями пилота. В таблице A-8-1 приводятся возможные сочетания этих двух компонентов ошибок для системы УВД без наблюдения ADS и вмешательства диспетчера. Одной из основных функций ADS является уменьшение или устранение последствий ошибок, связанных с вводом точек пути и выбором неправильного маршрута, производимых пилотом. Это достигается путем передачи прогнозируемых параметров полета с воздушного судна на землю и их сравнения с параметрами полета, хранящимися в системе, а также путем регулярного представления донесений о следующей и дальнейших точках пути наземным элементам системы ADS-УВД. Смотри OR 4 и OR 9 в справочном материале 3. Таким образом, допускается, что ошибки, связанные с вводом точек пути и выбором неправильного маршрута, устраняются полностью в том случае, когда элементы системы E_2, E_3 и E_4 находятся в нормальном рабочем состоянии (состояние 0), а само воздушное судно может передавать соответствующую информацию. Последнее зависит от состояния относящихся к воздушному судну элементов *B* и *C*.

4.2.3 Влияние относящихся к воздушному судну элементов B (навигационная система) и *C* (интерфейс канала передачи данных воздушного судна) на возможности воздушного судна передавать данные о параметрах полета моделируется следующим образом. Очевидно, что в случае неготовности бортового интерфейса канала передачи данных воздушное судно не сможет передавать свои данные. Аналогичным образом, допускается (справочные материалы 1 и 2), что данные воздушного судна о параметрах полета являются недоступными и не могут передаваться в случае отказа навигационной системы. В случае ухудшения характеристик навигационной системы данные о параметрах полета являются, как правило, доступными и могут быть переданы. В целом, в результате этого существует четыре случая, в которых невозможно передавать данные о параметрах полета. При отсутствии такой возможности ошибки ввода точек пути нельзя устранить посредством сравнения с данными, хранящимися в FDPS. Вероятно, это окажет лишь весьма

незначительное влияние на риск столкновения в боковом измерении, поскольку для этого потребовалось бы одновременное наступление по меньшей мере двух событий, имеющих малую вероятность, а именно, ошибка при вводе точек пути и отказ интерфейса канала передачи данных и/или навигационной системы.

4.2.4 Из этого следует, что в правильно функционирующей системе ADS-УВД состояние 2 согласно таблице А-8-1 более не будет существовать, то есть ошибочные точки пути будут обнаружены и устранены. В таблице А-8-2 приводятся возможные сочетания ошибок навигационной системы и ошибок, обусловленных действиями пилота, для совместного состояния 000 элементов $E_2E_3E_4$, то есть для последовательности событий 1 согласно рис. А-8-2.

4.2.5 Рассмотрим теперь последовательность событий 4 согласно рис. А-8-2, при которой происходит отказ систем E_3 и E_4. Совместное состояние $E_2E_3E_4$ в этом случае представляется как 011. Вследствие отказа подсистемы обработки плана полета E_4 ошибки, связанные с вводом точек пути и выбором неправильного маршрута, не могут обнаружены и исправлены. Таким образом, результирующие навигационные ошибки, обусловленные действиями пилота, являются такими же, как и в условиях отсутствия ADS. Поэтому таблица А-8-3 идентична таблице А-8-1.

4.2.6 При отказе подсистемы канала передачи данных, то есть при состоянии 100 элементов $E_2E_3E_4$ и последовательности событий 5 согласно рис. А-8-2, в отношении ошибок, связанных с вводом точек пути и выбором неправильного маршрута, какие-либо корректирующие меры невозможны, и результат оказывается таким же, как при состоянии 011 (таблица А-8-3).

4.2.7 Рассмотрим, наконец, последовательность событий 8 согласно рис. А-8-2, которая соответствует состоянию 111 элементов $E_2E_3E_4$. В этом случае ошибки, связанные с вводом точек пути и выбором неправильного маршрута, не могут быть обнаружены и исправлены вследствие отказа как подсистемы канала передачи данных E_2, так и подсистемы обработки плана полета E_4. Результат будет таким же, как и при состояниях 011 и 100 (таблица А-8-3).

4.2.8 В итоге, три состояния — 011, 100 и 111 — элементов $E_2E_3E_4$ приводят к возникновению полностью одинаковых ошибок в боковом измерении. Таким образом, уравнение (11) модели риска столкновения можно упростить посредством сложения последних трех групп членов. В результате получаем

$$|N_{xy} = |p_{20}p_{3040}\{P_y(S_y;\ E_2 = 0,\ E_3 = 0,\ E_4 = 0)\} + (p_{3141} + p_{21}p_{3040})\ \{P_y(S_y;\ E_2 = 1,\ E_3 = 0,\ E_4 = 0)\}| * \left[P_x(same)P_z(0)\left\{\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|\bar{y}|}{2\lambda_y} + \frac{|\bar{z}|}{2\lambda_z}\right\} + P_x(opp)P_z(0)\left\{\frac{V}{\lambda_x} + \frac{|\bar{y}|}{2\lambda_y} + \frac{|\bar{z}|}{2\lambda_z}\right\}\right] \quad (16)$$

4.3 Влияние ADS на ошибки, связанные с оборудованием

4.3.1 Рассмотрим теперь случаи отказа и ухудшения характеристик навигационных систем. Очевидно, что они остаются основной причиной риска столкновения в боковом измерении после устранения, в основном, ошибок ввода точек пути (включая выбор неправильного маршрута). По сути, как отмечается в справочном материале 1, несанкционированные пользователи и ошибки, связанные с оборудованием, были источником риска столкновения в боковом измерении в рамках описанного Дэвисом (справочный материал 5) анализа полномасштабной действующей системы ADS. Шеневье (справочный материал 8) также установил, что отказы навигационной системы, представленной в его модели характеристиками навигационной системы типа RNP-4, а не RNP-1, оказывали крайне неблагоприятное влияние на безопасность системы.

4.3.2 В требовании OR 18, содержащемся в справочном материале 3, установлено, что бортовое электронное оборудование воздушного судна будет автоматически направлять соответствующее донесение наземной FDPS при изменении показателя качества (FOM) навигационных возможностей воздушного судна. Диспетчер будет оповещен о таком изменении. В качестве первого этапа моделирования влияния этого OR в справочном материале 1 было принято следующее допущение:

Воздушные суда, которые представляют донесение об изменении состояния, свидетельствующем об отказе навигационной системы, будут обслуживаться системой УВД в особом режиме, с тем чтобы они не представляли какого-либо значительного риска для любых других воздушных судов. (Аналогичные допущения были сделаны Ромом и Кришнаном (справочный материал 10) и Шеневье (справочный материал 8).)

4.3.3 Как отмечается в справочном материале 2, это допущение подвергалось сомнению, поскольку в воздушном пространстве с интенсивным движением не всегда может иметься возможность выделить альтернативную линию пути или эшелон полета с увеличенным интервалом эшелонирования по отношению к другим воздушным судам. Даже при наличии такой возможности для перехода на новый эшелон полета/линию пути службе УВД и воздушному судну потребуется некоторое время.

Таким образом, в модель пришлось бы включать небольшой интервал времени на случай отказов навигационной системы. При использовании такого подхода проблема заключается в том, что этот интервал может меняться в зависимости от обстановки в воздушном пространстве и, поэтому, вызывать затруднения при его количественной оценке. Кроме того, фактический порядок внедрения FOM (и, соответственно, донесений об отказах навигационной системы) еще не вполне определен. Таким образом, было бы разумным предположить в предварительном порядке, что ситуации, связанные с отказом навигационной системы, не будут устранены.

4.3.4 Поэтому в настоящем документе принято допущение о том, что применение ADS не оказывает никакого влияния на последствия ухудшения характеристик и отказов навигационного оборудования.

4.4 Моделирование отдельных типов навигационных ошибок в боковом измерении

4.4.1 Модели распределения вероятности необходимы для следующих типов навигационных ошибок в боковом измерении:

связанные с навигационной системой:
- нормальная работа
- ухудшение характеристик
- отказ

связанные с пилотом:
- нормальная работа
- ошибка ввода точек пути
- выбор неправильного маршрута

4.4.2 Исходя из сравнения моделей, предложенных в справочных материалах 2—9, в справочном материале 1 было принято допущение о том, что каждый из вышеприведенных типов навигационных ошибок можно моделировать с использованием нормального распределения, при котором среднее и среднее квадратичное отклонения зависят от типа ошибок. Кроме того, функционирование навигационной системы характеризовалось нулевым средним отклонением и средним квадратичным отклонением, которое зависело от режима работы.

4.4.3 Допущение о нормальном распределении не имеет решающего значения для моделирования, которое рассматривается в настоящем документе или в предшествовавшем ему справочном материале 1. Это объясняется тем, что в результате свертки двух нормальных плотностей получается еще одна нормальная плотность, что устраняет необходимость в процессах численной свертки. Выдвигался также довод, согласно которому ADS, вероятно, будет способствовать устранению или уменьшению хвостов кривой смешанных распределений, описывающих обычные распределения навигационных ошибок.

4.4.4 Хотя центральная часть распределения некоторых типов ошибок вполне может относиться к нормальному типу, по-видимому, не все эксперты разделяют эту точку зрения. Поэтому в настоящем документе будет принято допущение о том, что все отдельные распределения ошибок навигационной системы являются двумерными экспоненциальными распределениями с нулевым средним отклонением и среднем квадратичным отклонением, которое зависит от режима работы.

4.4.5 Нормальная работа пилота также характеризуется нулевым средним значением. Плотность ошибок выбора неправильного маршрута представляет собой смесь двух двумерных экспоненциальных плотностей с соответствующими средними значениями, равными положительной и отрицательной величине существующего стандарта бокового эшелонирования. Плотность ошибок, связанных с вводом точек пути, состоит в основном из двух частей, одна из которых описывает смещение точки пути влево, а вторая описывает смещение точки пути вправо. Каждая часть представляет собой двумерное экспоненциальное смешанное распределение, среднее значение которого изменяется линейно в интервале от нуля до положительной или отрицательной величины стандарта эшелонирования S_y. Эта модель основана на хорошо известной "треугольной" форме ошибки, связанной с вводом точек пути. Продольный интервал 2^*L между тремя следующими друг за другом точками пути делится на подынтервалы $2^*N_1^A$, и каждому подынтервалу ставится в соответствие один из членов смешанного распределения.

4.5 Моделирование общих навигационных ошибок для состояний системы

4.5.1 Модели для отдельных типов навигационных ошибок в боковом измерении, описанные в разделе 4, можно использовать для построения моделей для каждого из 18 сочетаний ошибок навигационной системы и навигационных ошибок, обусловленных действиями пилота, согласно таблицам А-8-2 и А-8-3. В рамках этого процесса нормальная работа пилота означает, что к ошибке навигационной системы не следует добавлять каких-либо ошибок, то есть действия пилота уже учтены в среднем квадратичном отклонении распределения ошибок навигационной системы. Распределения сочетаний ошибок навигационной системы и ошибок ввода точек пути или выбора неправильного маршрута, допущенных пилотом, определяются с использовани-

ем среднего квадратичного отклонения ошибки навигационной системы в распределениях ошибок, относящихся к соответствующей ошибке пилота.

4.5.2 Полученные таким образом плотности представляют собой плотности $f_{i,j,k}^{ABC}(y_1)$ и $f_{p,q,r}^{ABC}(y_2)$, определенные в разделе 2.

5. Применение

5.1 В справочных материалах 1 и 2 приводится ряд примеров использования подхода, основанного на моделировании риска столкновения, который описан в разделах 2—4. Эти примеры были основаны на наборах значений параметров, заимствованных из разных источников, и поэтому не относились к какому-либо конкретному воздушному пространству. В настоящем разделе будет рассмотрена система NAT. В частности, будет изучена возможность сокращения существующего минимума бокового эшелонирования в 60 м. миль до 30 м. миль. Этот вопрос уже отчасти рассматривался в справочных материалах 4 и 5. Стандартная модель, используемая в настоящее время применительно к NAT, то есть так называемая "пересмотренная модель 2 со взвешенными ошибками", использовалась наряду с некоторыми глобальными допущениями в отношении влияния ADS на безопасность системы. В этой связи следует подчеркнуть, что данная модель не призвана заменить модель со взвешенными ошибками. Ее следует рассматривать в качестве альтернативной модели, подтверждающей модель со взвешенными ошибками при аналогичных условиях и расширяющей ее в некоторых деталях по отношению к ряду параметров, характерных для системы УВД, основанной на ADS.

5.2 Как и в предыдущих примерах, предполагается, что имеется лишь один тип навигационной системы и что все воздушные суда оснащены оборудованием ADS. Поскольку в настоящее время неясно, каким образом будут внедряться смешанные условия применения ADS, это представляется разумным допущением. Поскольку в разделе 4 было принято консервативное допущение, согласно которому применение ADS не будет оказывать никакого влияния на риск, связанный с отказами и ухудшением характеристик навигационной системы, основной целью является анализ влияния ADS на устранение ошибок, обусловленных действиями пилота, в частности в зависимости от параметров системы ADS.

5.3 Эталонный набор значений параметров приводится в таблице А-8-4. Их можно разделить на три группы. Верхняя часть таблицы содержит обычные параметры модели риска столкновения, предложенной Райхом, и была составлена на основании справочных материалов 6, 7 и 9. Следующие три параметра: p_{21}, p_{31} и p_{41} представляют вероятности отказа подсистемы канала передачи данных ADS (E_2), подсистемы формирования данных о воздушной обстановке (E_3) и подсистемы обработки плана полета (E_4) соответственно. В справочном материале 8 были предложены значения этих параметров, приведенные в таблице А-8-4, однако их следует рассматривать в качестве предварительных. В отношении этих параметров будет проведен анализ чувствительности. Следует отметить, что согласно уравнению (15) в разделе 4 зависимость риска столкновения от этих значений вероятности отказа ($p_{3141}=p_{31}=p_{41}$) можно легко проанализировать после расчета соответствующих вероятностей перекрытия в боковом измерении. Они, в свою очередь, зависят от последней группы параметров в таблице А-8-4, а именно p_1^A, p_2^A, p_1^B, p_2^B и p_1^C. Как явствует из уравнения (10), последняя зависимость является весьма сложной.

5.4 Данные о грубых навигационных ошибках в боковом измерении применительно к NAT приводятся в справочных материалах 7 и 9. Эти ошибки делятся на классы A, B, C1, C2, D, E и F. В 1992 и 1993 годах не было обнаружено ни одной ошибки класса А — сертифицированные воздушные суда, не относящиеся к типу MNPS. К классу В относятся ошибки в контуре системы УВД, которые в настоящем добавлении называются ошибками выбора неправильного маршрута. В 1993 году не было обнаружено ни одной такой ошибки, а в 1992 году — две, из которых одна составляла 2° (рассматривается как две ошибки). Число полетов в эти два года составило 213 905 и 204 040 соответственно. В результате, вероятности ошибок оказались равными нулю и $1{,}4703 \times 10^{-5}$. К классу С относятся различные типы ошибок, связанных с вводом точек пути; расчетное значение вероятности этих ошибок составило $5{,}1425 \times 10^{-5}$ и $3{,}4307 \times 10^{-5}$ в 1993 и 1992 годах соответственно. К классам D, E и F относятся другие навигационные ошибки, включая отказы навигационной системы. В 1993 году была обнаружена одна ошибка, относящаяся к этим классам, а в 1992 году — ни одной ошибки, в результате чего вероятность таких ошибок оказалась равной $4{,}675 \times 10^{-6}$ и нулю соответственно. Эти значения могут использоваться в отношении как отказов, так и ухудшения характеристик навигационной системы согласно определениям, принятым в настоящем документе.

5.5 Сначала рассматривалось наиболее неблагоприятное сочетание вероятностей ошибок p_1^A, p_2^A, p_1^B, p_2^B и p_1^C с использованием значений занятости в NAT за 1993 год. В таблице А-8-5 приводится рассчитанная вероятность перекрытия в боковом измерении для различных состояний элементов системы $E_2E_3E_4$. Для каждого состояния приводятся как невзвешенные (средняя колонка), так и взвешенные (последняя колонка) значения. В отношении

общего значения и риска столкновения применимы только взвешенные значения. Невзвешенные значения указывают на вероятность перекрытия в боковом измерении в том случае, если бы воздушное пространство находилось в соответствующем состоянии все время. Как показано в разделе 4, (невзвешенная) вероятность перекрытия в боковом измерении одинакова для состояний 011, 100 и 111.

5.6 Вероятность перекрытия в боковом измерении в случае отсутствия ADS можно также определить из таблицы А-8-5. Она имеет такое же значение, как и (невзвешенная) вероятность перекрытия в боковом измерении для состояния 100, то есть в том случае, когда канал передачи данных ADS недоступен. Таким образом, вероятность перекрытия в боковом измерении в отсутствие ADS будет равна $17{,}8 \times 10^{-8}$.

5.7 Общая взвешенная вероятность перекрытия в боковом измерении в условиях применения ADS с требованиями OR 4 и OR 9 равна $0{,}147 \times 10^{-8}$. Как видно из таблицы А-8-5, она по существу равна вероятности перекрытия в боковом измерении в системе воздушного пространства, находящейся в состоянии 000, вследствие очень небольшой доли времени, в течение которого возможен отказ подсистем E_2, E_3 или E_4. Соответствующий риск столкновения составляет $2{,}74 \times 10^{-10}$, что намного ниже предлагаемого будущего TLS, равного 5×10^{-9} (справочный материал 11).

5.8 Тот же набор значений параметров использовался в сочетании с сокращенным минимумом бокового эшелонирования S_y = 30 м. миль. Результаты приводятся в таблице А-8-6. Общая взвешенная вероятность перекрытия в боковом измерении составляет $0{,}583 \times 10^{-8}$ при риске столкновения, равном $1{,}09 \times 10^{-9}$, что намного ниже предлагаемого TLS.

5.9 Сравнение данных, приведенных в таблицах А-8-5 и А-8-6, показывает, что изменение минимума эшелонирования с 60 до 30 м. миль оказывает значительное влияние на вероятность перекрытия в боковом измерении для состояния системы 000. При других состояниях системы — 011, 100 и 111 — оно оказывает лишь незначительное влияние. Это объясняется тем, что для этих состояний ошибки выбора неправильного маршрута не устраняются. В данном примере можно показать, что эти ошибки оказывают решающее влияние на вероятность перекрытия и что последняя практически не зависит от существующего минимума эшелонирования.

5.10 Затем значения вероятности ошибок, связанных с вводом точек пути и выбором неправильного маршрута, p_1^A и p_2^A, были увеличены в два раза. Результаты для этого случая приводятся в таблице А-8-7 применительно к S_y = 60 м. миль и в таблице А-8-8 применительно к S_y = 30 м. миль. Соответствующие значения риска столкновения составляют $2{,}81 \times 10^{-10}$ и $1{,}10 \times 10^{-9}$. По сравнению с первым примером результаты представляются довольно устойчивыми. Это объясняется двумя причинами: низкими значениями вероятности отказа подсистем ADS и низкими значениями вероятности ухудшения характеристик и отказа навигационной системы.

5.11 Далее, при сохранении самых последних значений вероятностей ошибок p_1^A и p_2^A вероятности ошибок навигационной системы также были увеличены вдвое. Результаты для этого случая приводятся в таблицах А-8-9 и А-8-10. Общие взвешенные вероятности перекрытия в боковом измерении составляют $0{,}294 \times 10^{-8}$ и $0{,}115 \times 10^{-7}$ при S_y = 60 и S_y = 30 м. миль соответственно. Соответствующие расчетные значения риска столкновения составляют $5{,}49 \times 10^{-10}$ и $2{,}15 \times 10^{-9}$.

5.12 Теперь, исходя из вероятностей $P_y(S_y; E_2=0, E_3=0, E_4=0)$ и $P_y(S_y; E_2=0, E_3=0, E_4=0)$ при сочетании наибольших вероятностей ошибок пилота и навигационной системы, с помощью уравнения (16) можно оценить чувствительность риска столкновения к вероятностям отказа p_{21} и p_{3141} элементов E_2, E_3 и E_4 системы ADS. Если пренебречь членами второго порядка в вероятностях ошибок, то уравнение (16) можно представить в следующем приближенном виде:

$$N_{ay} \approx [P_y(S_y;000) + (p_{21} + p_{3141}) \{P_y(S_y;100) - P_y(S_y;000)\}] * 0{,}186934 \quad (17)$$

Подстановка вместо $P_y(S_y;000)$ и $P_y(S_y;100)$ значений из таблицы А-8-10 приводит к результату

$$N_{ay} \approx [1{,}15180 \times 10^{-8} + (p_{21} + p_{3141}) \{41{,}2468 - 1{,}15180\} \times 10^{-8}] \times 0{,}186934 \quad (18)$$

или

$$N_{ay} \approx [1{,}15180 + (p_{21} + p_{3141}) \times 40{,}0950] \times 10^{-8} \times 0{,}186934 \quad (19)$$

5.13 В результате приведения вышеуказанного выражения к TLS можно определить все сочетания вероятностей отказа p_{21} и p_{3141}, которые в совокупности были бы допустимыми при данном значении TLS. Таким образом, сумма вероятностей отказа подсистемы канала передачи данных (E_2) и подсистемы обработки плана полета (E_4) (или подсистемы формирования данных о воздушной обстановке E_3) не должна превышать значения $2{,}8 \times 10^{-2}$, с тем чтобы соответствовать TLS, равному 5×10^{-9}, при минимуме бокового эшелонирования в 30 м. миль.

6. ВЫВОДЫ

6.1 Получена обобщенная модель для определения расчетного риска столкновения вследствие нарушения бокового эшелонирования воздушных судов в системе УВД на основе ADS, разработанная в двух предыдущих рабочих документах.

6.2 В этой модели в явном виде учитывается риск, связанный с навигационными ошибками, обусловленными действиями пилота, и отказами навигационной системы. Основной особенностью модели является расчет общей вероятности перекрытия в боковом измерении посредством должного взвешивания вероятностей перекрытия в боковом измерении, относящихся к конкретным состояниям различных подсистем системы ADS-УВД. Результирующая вероятность перекрытия в боковом измерении используется в модели риска столкновения, предложенной Райхом, применительно к гипотетическому воздушному пространству с воздушным движением в одном направлении и во встречных направлениях.

6.3 Навигационные характеристики, связанные с действиями пилота, подразделяются на нормальные действия, ошибки ввода точек пути и ошибки выбора неправильного маршрута. Характеристики навигационной системы подразделяются на нормальные характеристики, ухудшение характеристик и отказ. Каждый из этих отдельных типов навигационных ошибок моделируется с использованием двумерного экспоненциального распределения вероятностей, в котором среднее и среднее квадратичное отклонения зависят от типа ошибки. Последние величины служат параметрами модели для расчета вероятности перекрытия в боковом измерении. Другими важными параметрами этой модели являются вероятности возникновения различных ошибок пилота и навигационной системы, вероятность отказа бортового интерфейса канала передачи данных и готовность подсистем ADS. В отношении отказов навигационной системы применяется консервативный подход, заключающийся в допущении о том, что применение ADS не будет оказывать какого-либо влияния на их последствия.

6.4 Произведены некоторые расчеты с целью изучения влияния ADS на устранение ошибок, обусловленных действиями пилота. С использованием последних данных о грубых навигационных ошибках в регионе NAT, а также предполагаемых значений параметров системы ADS были рассчитаны значения риска столкновения в боковом измерении для ADS в NAT при эталонном минимуме бокового эшелонирования в 60 м. миль. Расчетное значение риска сравнивалось с будущим предлагаемым TLS, равным 5×10^{-9}, и изучались перспективы сокращения существующего минимума эшелонирования до 30 м. миль.

6.5 Предварительные результаты, представленные в настоящем документе, свидетельствуют о том, что будущий предлагаемый TLS, равный 5×10^{-9}, может быть обеспечен в NAT при использовании минимума бокового эшелонирования в 30 м. миль. Для подтверждения этого вывода необходима дальнейшая работа по уточнению параметров модели.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Modelling of lateral collision risk for ADS-based Air Traffic Control. Moek, G., ICAO RGCSP WG/A WP/33, April 1994.
[Моделирование риска столкновения в боковом измерении в системе управления воздушным движением, основанной на ADS. Мек Дж.]

2. Modelling of lateral collision risk for ADS-based Air Traffic Control. Moek, G., ICAO RGCSP WG/A WP/26, May 1995.
[Моделирование риска столкновения в боковом измерении в системе управления воздушным движением, основанной на ADS. Мек Дж.]

3. Автоматическое зависимое наблюдение (ADS) и применение линий передачи данных в целях обслуживания воздушного движения (ОВД) (Циркуляр 256-AN/152, 1995)

4. An initial investigation into the effects of ADS on lateral safety in the NAT region. Davies, E. H., ICAO RGCSP/8 WP/33, March 1993.
[Предварительное исследование влияния ADS на безопасность в боковом измерении в регионе NAT. Дэвис Э. Х.]

5. Establishment of target ADS separation criteria. Davies, E. H., ICAO RGCSP WG/A WP/26, April 1994.
[Установление целевых критериев эшелонирования в условиях применения ADS. Дэвис Э. Х.]

6. Summary of discussions and conclusions of the 27th Meeting of the North Atlantic Systems Planning Group. NAT SPG/27, June 1991.
[Резюме обсуждений и выводы 27-го совещания Группы планирования систем в Северной Атлантике.]

7. Summary of discussions and conclusions of the 30th Meeting of the North Atlantic Systems Planning Group. NAT SPG/30, 1994.
[Резюме обсуждений и выводы 30-го совещания Группы планирования систем в Северной Атлантике.]

8. Analysis of system safety in the scope of the definition of separation standards in an ADS-based ATC system. Chénevier, E., ICAO RGCSP WG/A WP/16, September 1993.
[Анализ безопасности системы в рамках определения стандартов эшелонирования в системе УВД, основанной на ADS. Шеневье Э.]

9. Summary of discussions and conclusions of the 29th Meeting of the North Atlantic Systems Planning Group. NAT SPG/29, June 1993.
[Резюме обсуждений и выводы 29-го совещания Группы планирования систем в Северной Атлантике.]

10. Rome, H. J., Krishnan, V. Causal probability model for transoceanic track separations with applications to automatic dependent surveillance. Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), IEEE, Orlando, Florida, December 1988, pp. 353-365.
[Ром Х. Дж., Кришнан В. Причинно-следственная вероятностная модель для определения интервалов разделения трансокеанических линий пути в условиях применения автоматического зависимого наблюдения. Симпозиум по вопросам определения местоположения, размещения и навигации]

11. A review on deriving a Target Level of Safety (TLS) for en-route collision risk. Parker, I. G. ICAO RGCSP WG/A WP/8, May 1995.
[Обзор методов определения установленного уровня безопасности (TLS) применительно к риску столкновения на маршруте. Паркер И. Дж.]

Таблица А-8-1. Навигационные ошибки в отсутствие ADS

E_1				*Навигационная система*			*Пилот*		
Состояние №	*A*	*B*	*C*	*Обычная ошибка*	*Ухудшение характеристик*	*Отказ*	*Ошибочные точки пути*	*Выбор неправильного маршрута*	*Обычная ошибка*
1	0	0	0	v					v
2	1	0	0	v			v		
3	2	0	0	v				v	
4	0	1	0		v				v
5	1	1	0		v		v		
6	2	1	0		v			v	
7	0	2	0			v			v
8	1	2	0			v	v		
9	2	2	0			v		v	
10	0	0	1	v					v
11	1	0	1	v			v		
12	2	0	1	v				v	
13	0	1	1		v				v
14	1	1	1		v		v		
15	2	1	1		v			v	
16	0	2	1			v			v
17	1	2	1			v	v		
18	2	2	1			v		v	

Таблица А-8-2. Навигационные ошибки в системе ADS-УВД, основанной на OR 4 и OR 9; элементы системы $E_2E_3E_4$ находятся в состоянии 000

E_1				Навигационная система			Пилот		
Состояние №	*A*	*B*	*C*	*Обычная ошибка*	*Ухудшение характеристик*	*Отказ*	*Ошибочные точки пути*	*Выбор неправильного маршрута*	*Обычная ошибка*
1	0	0	0	v					v
2	1	0	0	v					v
3	2	0	0	v					v
4	0	1	0		v				v
5	1	1	0		v				v
6	2	1	0		v				v
7	0	2	0			v			v
8	1	2	0			v	v		
9	2	2	0			v		v	
10	0	0	1	v					v
11	1	0	1	v			v		
12	2	0	1	v				v	
13	0	1	1		v				v
14	1	1	1		v		v		
15	2	1	1		v			v	
16	0	2	1			v			v
17	1	2	1			v	v		
18	2	2	1			v		v	

Таблица А-8-3. Навигационные ошибки в системе ADS-УВД, основанной на OR 4 и OR 9, при состояниях 011, 100 и 111 элементов $E_2E_3E_4$

E_1				*Навигационная система*			*Пилот*		
Состояние №	*A*	*B*	*C*	*Обычная ошибка*	*Ухудшение характеристик*	*Отказ*	*Ошибочные точки пути*	*Выбор неправильного маршрута*	*Обычная ошибка*
1	0	0	0	v					v
2	1	0	0	v			v		
3	2	0	0	v				v	
4	0	1	0		v				v
5	1	1	0		v		v		
6	2	1	0		v			v	
7	0	2	0			v			v
8	1	2	0			v	v		
9	2	2	0			v		v	
10	0	0	1	v					v
11	1	0	1	v			v		
12	2	0	1	v				v	
13	0	1	1		v				v
14	1	1	1		v		v		
15	2	1	1		v			v	
16	0	2	1			v			v
17	1	2	1			v	v		
18	2	2	1			v		v	

Таблица А-8-4. Значения параметров, используемые в разделе 5

	Источник информации (справочные материалы)				
Параметр	*[9] NAT 1992*	*[7] NAT 1993*	*[6] NAT 1990*	*[8] Шеневье*	*[10] Ром и Кришнан*
E_y(same)	0,980	1,002			
E_y(opp)	0,004	0,005			
S_y			60 м. миль		
S_x			120 м. миль		
$P_z(0)$			0,39		
λ_x			0,033 м. мили		
λ_y			0,029 м. мили		
λ_z			0,009 м. мили		
$\overline{\lvert\Delta V\rvert}$			13 узлов		
$\overline{V}$			480 узлов		
$\lvert\overline{\dot{y}}\rvert$			80 узлов		
$\lvert\overline{\dot{z}}\rvert$			1,5 узлов		
p_{21}				$4{,}0 \times 10^{-6}$	
p_{31} (=p_1)				$4{,}0 \times 10^{-6}$	
p_{41} (=p_1)				$4{,}0 \times 10^{-6}$	
L					300 м. миль
p_1^C				$2{,}0 \times 10^{-4}$	
p_1^B	0,0	$4{,}675 \times 10^{-6}$			0,0035
p_2^B	0,0	$4{,}675 \times 10^{-6}$			0,0027
p_1^A	$3{,}4307 \times 10^{-5}$	$5{,}1425 \times 10^{5}$			
p_2^A	$1{,}4703 \times 10^{-5}$	0,0			
σ_0^B	2 м. мили				
σ_1^B					20 м. миль
σ_2^B					40 м. миль

Таблица А-8-5. Невзвешенные и взвешенные вероятности перекрытия в боковом измерении при различных состояниях системы

$p_1^A = 5{,}1425 \times 10^{-5}$, $p_2^A = 1{,}4703 \times 10^{-5}$, $p_1^B = 4{,}675 \times 10^{-6}$, $p_2^B = 4{,}675 \times 10^{-6}$
S_y = 60 м. миль

Состояние элементов системы $E_2E_3E_4$	$P_y\{60;E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}\times 10^{-8}$	$P_y\{60;E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}$ *Prob$\{E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}\times 10^{-8}$
000	0,147	0,147
011	17,8	$0{,}710 \times 10^{-4}$
100	17,8	$0{,}710 \times 10^{-4}$
111	17,8	$0{,}710 \times 10^{-4}$

Таблица А-8-6. Невзвешенные и взвешенные вероятности перекрытия в боковом измерении при различных состояниях системы

$p_1^A = 5{,}1425 \times 10^{-5}$, $p_2^A = 1{,}4703 \times 10^{-5}$, $p_1^B = 4{,}675 \times 10^{-6}$, $p_2^B = 4{,}675 \times 10^{-6}$
S_y = 30 м. миль

Состояние элементов системы $E_2E_3E_4$	$P_y\{30;E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}\times 10^{-8}$	$P_y\{30;E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}$ *Prob$\{E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}\times 10^{-8}$
000	0,583	0,583
011	20,63	$0{,}825 \times 10^{-4}$
100	20,63	$0{,}825 \times 10^{-4}$
111	20,63	$0{,}825 \times 10^{-4}$

Таблица А-8-7. Невзвешенные и взвешенные вероятности перекрытия в боковом измерении при различных состояниях системы

$p_1^A = 1{,}0285 \times 10^{-5}$, $p_2^A = 2{,}9407 \times 10^{-5}$, $p_1^B = 4{,}675 \times 10^{-6}$, $p_2^B = 4{,}675 \times 10^{-6}$
S_y = 60 м. миль

Состояние элементов системы $E_2E_3E_4$	$P_y\{60;E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}\times 10^{-8}$	$P_y\{60;E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}$ *Prob$\{E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}\times 10^{-8}$
000	0,150	0,150
011	35,4	$0{,}141 \times 10^{-3}$
100	35,4	$0{,}141 \times 10^{-3}$
111	35,4	$0{,}141 \times 10^{-3}$

Таблица А-8-8. Невзвешенные и взвешенные вероятности перекрытия в боковом измерении при различных состояниях системы

$p_1^A = 1{,}0285 \times 10^{-5}$, $p_2^A = 2{,}9407 \times 10^{-5}$, $p_1^B = 4{,}675 \times 10^{-6}$, $p_2^B = 4{,}675 \times 10^{-6}$
$S_y = 30$ м. миль

Состояние элементов системы $E_2E_3E_4$	$P_y\{30;E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}\times 10^{-8}$	$P_y\{30;E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}$ *Prob$\{E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}\times 10^{-8}$
000	0,587	0,587
011	40,7	$0{,}163 \times 10^{-3}$
100	40,7	$0{,}163 \times 10^{-3}$
111	40,7	$0{,}163 \times 10^{-3}$

Таблица А-8-9. Невзвешенные и взвешенные вероятности перекрытия в боковом измерении при различных состояниях системы

$p_1^A = 1{,}0285 \times 10^{-5}$, $p_2^A = 2{,}9407 \times 10^{-5}$, $p_1^B = 9{,}350 \times 10^{-6}$, $p_2^B = 9{,}350 \times 10^{-6}$
$S_y = 60$ м. миль

Состояние элементов системы $E_2E_3E_4$	$P_y\{60;E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}\times 10^{-8}$	$P_y\{60;E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}$ *Prob$\{E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}\times 10^{-8}$
000	0,293	0,293
011	35,5	$0{,}142 \times 10^{-3}$
100	35,5	$0{,}142 \times 10^{-3}$
111	35,5	$0{,}142 \times 10^{-3}$

Таблица А-8-10. Невзвешенные и взвешенные вероятности перекрытия в боковом измерении при различных состояниях системы

$p_1^A = 1{,}0285 \times 10^{-5}$, $p_2^A = 2{,}9407 \times 10^{-5}$, $p_1^B = 9{,}350 \times 10^{-6}$, $p_2^B = 9{,}350 \times 10^{-6}$
$S_y = 30$ м. миль

Состояние элементов системы $E_2E_3E_4$	$P_y\{30;E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}\times 10^{-8}$	$P_y\{30;E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}$ *Prob$\{E_2=\bullet,E_3=\bullet,E_4=\bullet\}\times 10^{-8}$
000	1,152	1,152
011	41,2	$0{,}165 \times 10^{-3}$
100	41,2	$0{,}165 \times 10^{-3}$
111	41,2	$0{,}165 \times 10^{-3}$

Добавление 9

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ОПАСНОСТИ/РИСКА, ПРИМЕНЯЕМАЯ ЕВРОКОНТРОЛем

1. ИСТОРИЯ ВОПРОСА

1.1 В будущем планируется ввести в действие маршруты RNP 1, которые позволят, в принципе, использовать интервалы эшелонирования примерно в 6—8 м. миль между осевыми линиями вместо нынешних 16 м. миль. Навигационные характеристики типа RNP 1 определяются как обеспечивающие 95-процентное удерживание в пределах 1 м. мили. Однако это значение определяет только достигнутые характеристики навигационной системы с точки зрения выдерживания линии пути. Ошибки в контуре системы УВД (грубые ошибки) и отказы навигационной системы, которые выходят за пределы этой центральной части распределения, потенциально являются гораздо более значительными. Поэтому разделение маршрутов, достижимое без учета вмешательства диспетчера и основанное исключительно на моделировании риска столкновения, может быть немногим лучше обеспечиваемого для нынешних маршрутов ОВД.

1.2 Для разделения маршрутов при полетах в Северной Атлантике применяется моделирование риска столкновения с учетом характеристик выдерживания линии пути, плотности воздушного движения и установленных уровней безопасности без учета вмешательства службы УВД. В европейском воздушном пространстве, для которого стандарты разделения маршрутов были разработаны до создания методов моделирования риска столкновения, осуществляется радиолокационное наблюдение с целью контроля за отклонениями и обеспечивается прямая речевая ОВЧ-связь "пилот — диспетчер", то есть возможность вмешательства службы УВД с целью предотвращения случаев потенциального нарушения эшелонирования.

1.3 В одном из первых исследований, финансировавшемся ЕВРОКОНТРОЛем, изучалась возможность использования анализа опасности при разработке минимального разделения маршрутов ОВД типа RNP 1. Это исследование показало, что анализ опасности/риска является перспективным методом и что было бы целесообразным продолжить разработку полномасштабной модели риска столкновения, включая уменьшение риска, связанного с готовностью систем наблюдения и прямой речевой связи.

1.4 Было заказано проведение последующего исследования, которое сейчас находится в процессе подготовки.

2. ЦЕЛИ ПРОГРАММЫ АНАЛИЗА ОПАСНОСТИ

2.1 Анализ опасности был впервые применен при разработке систем автоматической посадки и получил существенное развитие в результате применения в высокотехнологичных отраслях, таких как морское бурение, ядерная энергетика, для оценки риска, связанного с ролью человеческого фактора в контуре управления.

2.2 Цель настоящего исследования заключается в объединении более традиционного моделирования риска столкновения (статистический анализ) с подробными данными о типах, механизмах и частоте возникновения отклонений, вызываемых ошибками в контуре системы УВД в рамках всей системы воздушного движения. Кроме того, в программе учитывается возможность использования радиолокационного наблюдения и речевой ОВЧ-связи с целью устранения видимых отклонений и уменьшения риска.

2.3 Конечной целью этой программы является разработка стандартов бокового разделения маршрутов типа RNP1 для применения в воздушном пространстве континентальной части Европы. Используемая в настоящем исследовании методика может быть адаптирована для использования в других регионах или государствах в зависимости от обстоятельств.

3. МЕТОДИКА

3.1 Общая методика применения анализа опасности к проблеме риска столкновения при наличии системы УВД схематически представлена ниже на рис. А-9-1.

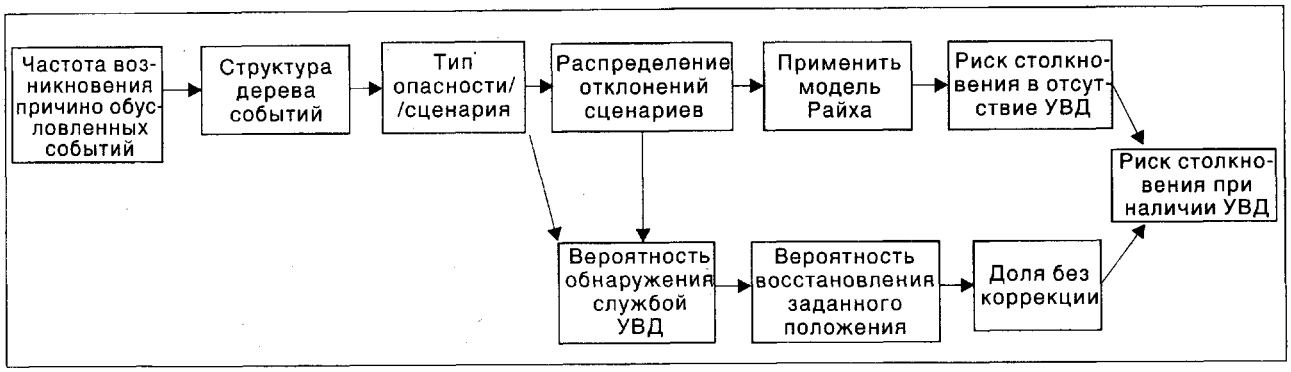


Рисунок А-9-1. Структура модели риска столкновения

3.2 Элементы модели риска столкновения

3.2.1 К основным элементам модели риска столкновения относятся следующие:

a) выявление сценариев, которые могут привести к нарушению эшелонирования или возможному столкновению двух воздушных судов;

b) выявление конкретных опасностей и определение частоты их возникновения. Каждая опасность ведет сама по себе или в сочетании с другими обстоятельствами к сценарию отклонения с соответствующим распределением отклонений;

c) расчет вероятного риска столкновения, вытекающего из вышеприведенных сценариев, на основании допущения о том, что отклонения не будут исправлены (модель Райха);

d) расчет вероятности обнаружения и исправления отклонения либо пилотом, либо службой УВД. Различные режимы вмешательства служб УВД, то есть режимы предотвращения конфликтных ситуаций или исправления отклонений, будут влиять на зависимость различных типов опасности от времени и на стратегии их обнаружения и восстановления заданного положения; и

e) определение результирующей общей вероятности столкновения несмотря на возможность осуществления наблюдения. Вероятность столкновения (при отсутствии корректирующих действий) определяется с учетом вероятности необнаружения и восстановления заданного положения до наступления столкновения.

3.3 Замечания в отношении методики

3.3.1 При разработке модели особое внимание уделялось правильному представлению поведения как отказов общего режима (CMF), то есть тех случаев, когда отдельная опасность может привести одновременно к неправильному функционированию или отказу нескольких элементов системы, так и событий, которые могут привести к локализованным пикам хвостов кривых распределения отклонений результирующего значения при оценке взаимодействия/свертки распределений. В данной модели учитываются только воздушные суда, выполняющие полет на заданном эшелоне.

3.4 Возможности модели и результаты моделирования

3.4.1 Модель позволяет производить расчет риска при заданных условиях и при различных интервалах между линиями пути. Сравнение этих рисков и применимого TLS позволяет определить минимальный интервал между линиями пути. Кроме того, модель позволяет определить чувствительность риска к различным опасностям и обеспечивает полезную обратную связь по отношению к взаимосвязям между причинно обусловленными опасностями и результирующим риском. Наконец, модель позволяет прогнозировать другие поддающиеся оценке события, что может использоваться для подтверждения достоверности результатов.

4. СЦЕНАРИИ

4.1 Рассматривается ряд сценариев, которые приводятся ниже. Они не охватывают все возможные сценарии, однако дают представление о типах

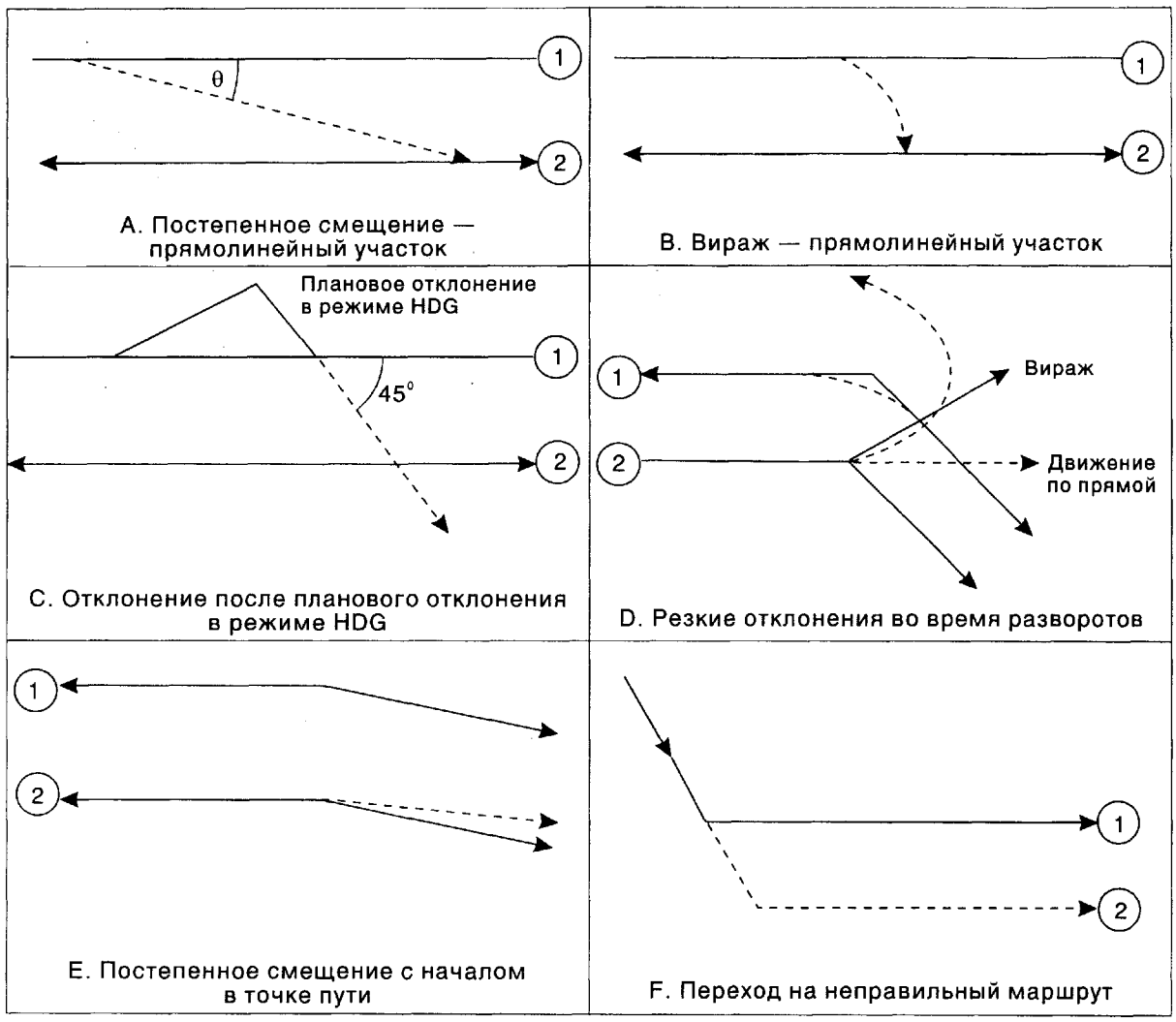


Рисунок А-9-2. Сценарии отклонений

результирующих отклонений, вызываемых выявленными опасностями.

4.2 Следует отметить, что приведенные на рис. А-9-2 схемы могут также отображать незначительные периодические отклонения относительно осевой линии маршрута, а не отдельное резкое отклонение от курса. Кроме того, отклонение может начинаться не от осевой линии, а от уже смещенной линии пути, параллельной осевой линии.

5. ВЫЯВЛЕНИЕ ОПАСНОСТЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

5.1 До настоящего момента рассматривались лишь опасности, ведущие к боковым отклонениям.

5.2 Выявление опасностей

5.2.1 Различают следующие типы ошибок, которые, как известно, вызывают отклонение в боковом измерении:

a) общие навигационные возможности и их изменения, включая качество навигационных средств, ошибки в базах данных и оснащение навигационным оборудованием, которое является непригодным для маршрутов типа RNP 1;

b) ошибки летного экипажа, включая неправильный ввод данных, неправильный ввод точек пути, ошибки циклирования и общая невнимательность;

c) ошибка служб УВД, включая неправильную передачу управления между секторами и невнимательность диспетчера;

d) неправильное установление связи между службой УВД и пилотом, включая неправильную передачу и распознавание позывных и реагирование не того воздушного судна на указания службы УВД; и

e) административные и системные ошибки, включая ошибки в плане полета, вводящие в заблуждение NOTAM, отказы бортового оборудования и ошибки в программном обеспечении.

5.2.2 Даже в том случае, когда эти ошибки обнаруживаются в ходе полета, многие из них считаются незначительными и не отражаются в донесениях. Как правило, в отношении регулярно возникающих незначительных проблем неофициально разрабатываются временные меры, применяемые в кабине экипажа/диспетчерской. Однако часто проблема возникает не из-за отдельной ошибки; значительное отклонение может произойти в тех случаях, когда возникают две или несколько ошибок одновременно с другими незначительными проблемами. Относительно незначительные проблемы становятся потенциально более значительными при применении RNP 1.

5.2.3 Для выявления опасностей использовались следующие методы:

a) анализ донесений об инцидентах, баз данных и т.д.; и

b) формальные совещания с целью выявления и анализа опасностей.

5.3 Анализ донесений об инцидентах и баз данных об инцидентах

5.3.1 Многие опасности выявляются по данным, полученным в соответствии с действующими процедурами представления донесений, а также в результате исследований, подготовленных национальными или международными полномочными органами.

5.3.2 В числе других источников, в исследовании, проведенном ЕВРОКОНТРОЛем, широко использовалась информация, предоставленная эксплуатантами в Европейском регионе. Эти данные относятся к событиям, о которых добровольно представляют донесения летные экипажи, эксплуатанты и поставщики ОВД (диспетчеры), помимо обязательных донесений о событиях, представляемых теми же группами.

5.3.3 События, связанные с меньшим риском, также могут быть значительными, однако для получения представительной выборки статистических данных необходимо иметь значительный объем данных. Сбор достаточного количества данных осложняется тем, что обычно регистрируются лишь значительные события, в результате чего выборка данных является слишком маленькой, чтобы можно было получить представительную статистику. В настоящем исследовании особый интерес проявлялся к потенциальным опасностям, отмечаемым при взаимодействии между летным экипажем и диспетчерами.

5.4 Формальные совещания с целью выявления и анализа опасностей (HAZOP)

5.4.1 HAZOP — это метод, который используется для определения вероятных опасностей и последствий в условиях применения передовых технологий, в которых одним из важных звеньев в процессе принятия решений является человеческий фактор. Группа в составе четырех или пяти опытных сотрудников составляет контрольный перечень, на основе которого проводятся собственно формальные совещания с целью выявления опасностей. На каждом совещании присутствует примерно десять специалистов, представляющих летные экипажи, диспетчеров и изготовителей оборудования, которых знакомят с контрольным перечнем потенциальных ситуаций, ведущих к риску. Затем специалистам предлагается высказать свое мнение по следующим вопросам:

a) вероятные причины;

b) возможные средства предупреждения; и

c) возможные последствия.

5.4.2 В ходе формальных совещаний по выявлению опасностей не предпринимается каких-либо попыток дать количественную оценку рисков, связанных с опасностями, или частоты возникновения инициирующих опасностей.

5.5 Частота возникновения опасностей и их ранжирование

5.5.1 Относительная степень различных инициирующих опасностей определяется путем оценки частоты их возникновения и потенциального результирующего риска.

5.5.2 Расчетная частота возникновения опасностей определяется по данным, полученным из различных источников, с привлечением дополнительной информации из других источников (регистрируемые радиолокационные данные и т.д.) при наличии таковых. Затем созывается группа экспертов для определения достоверности этих оценок. Мнения, высказанные при определении расчетной частоты возникновения опасностей, включаются в вопросник, касающийся конкретных опасностей, их

последствий, обнаружения и устранения. Затем этот вопросник рассылается более широкому кругу сотрудничающих пилотов и диспетчеров.

5.5.3 В ходе определения расчетной частоты и потенциального результирующего риска некоторые опасности выделяются как основные источники риска с точки зрения как вероятности, так и степени тяжести. Эти ключевые опасности необходимо ранжировать в порядке их значения и попытаться более точно определить частоту их возникновения, поскольку они оказывают относительно большое влияние на конечный системный риск.

6. СОБЫТИЯ, ОБНАРУЖЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗАДАННОГО ПОЛОЖЕНИЯ

6.1 Как видно из рис. А-9-1, тот или иной конкретный тип отклонения возникает вследствие взаимодействия нескольких опасностей. Последствия отклонения и возможность его перерастания в инцидент определяются аналогичным набором взаимодействий, которые весьма несложно проанализировать, используя дерево обнаружения и восстановления заданного положения.

6.2 Основные факторы, связанные с обнаружением

6.2.1 К числу факторов, неразрывно связанных с обнаружением отклонения, относятся следующие:

a) тип отклонения, плотность воздушного движения, рабочая нагрузка службы УВД и пилота;

b) возникает ли отклонение в тот момент, когда предполагается выполнить разворот;

c) возникает ли отклонение во время передачи управления при переходе воздушного судна из одного сектора в другой; и

d) возможности наблюдения, включая минимумы радиолокационного эшелонирования, базовую точность радиолокатора, фильтрацию и разрешающую способность.

6.2.2 Время обнаружения зависит от готовности систем оповещения, типа индикаторов, системы связи и т.д.

6.3 Основные факторы, связанные с восстановлением заданного положения

6.3.1 Важное значение при восстановлении заданного положения в случае отклонения имеют следующие факторы:

a) задержки вследствие неправильного опознавания воздушных судов;

b) неправильные корректирующие указания или неправильно выполненный корректирующий маневр; и

c) остающееся время для принятия корректирующих мер.

6.4 Простая модель отклонения и восстановления заданного положения

6.4.1 Для моделирования отклонений воздушного судна в рамках сценариев, описанных в разделе 4, разработана простая модель. В нее включены возможность обнаружения отклонения летным экипажем и службой УВД, время реагирования при корректировке и возможное восстановление соответствующего минимума эшелонирования. Цель заключается в определении вероятности нарушения отклонившимся от курса воздушным судном соседней линии пути.

6.5 Обнаружение и устранение конфликтных ситуаций применительно к заданному сценарию

6.5.1 Для каждого сценария отклонений было построено дерево событий и были определены параметры (значения вероятности и шкала времени) для следующих этапов:

a) обнаружение отклонившегося от курса воздушного судна службой УВД;

b) возможность сообщить об этом факте отклонившемуся от курса воздушному судну; и

c) возможность этого воздушного судна успешно завершить корректирующий маневр (уклонения).

6.5.2 Результирующие структуры являются крайне сложными, и не все возможные составные части дерева без труда поддаются анализу. Однако степень сложности удалось снизить на основе допущения, ограничивающего набор сроков принятия корректирующих мер, и определения вероятности коррекции до передачи краткосрочного предупреждения о конфликтной ситуации (STCA) или до достижения точки наибольшего сближения (CPA), как показано на рис. А-9-3.

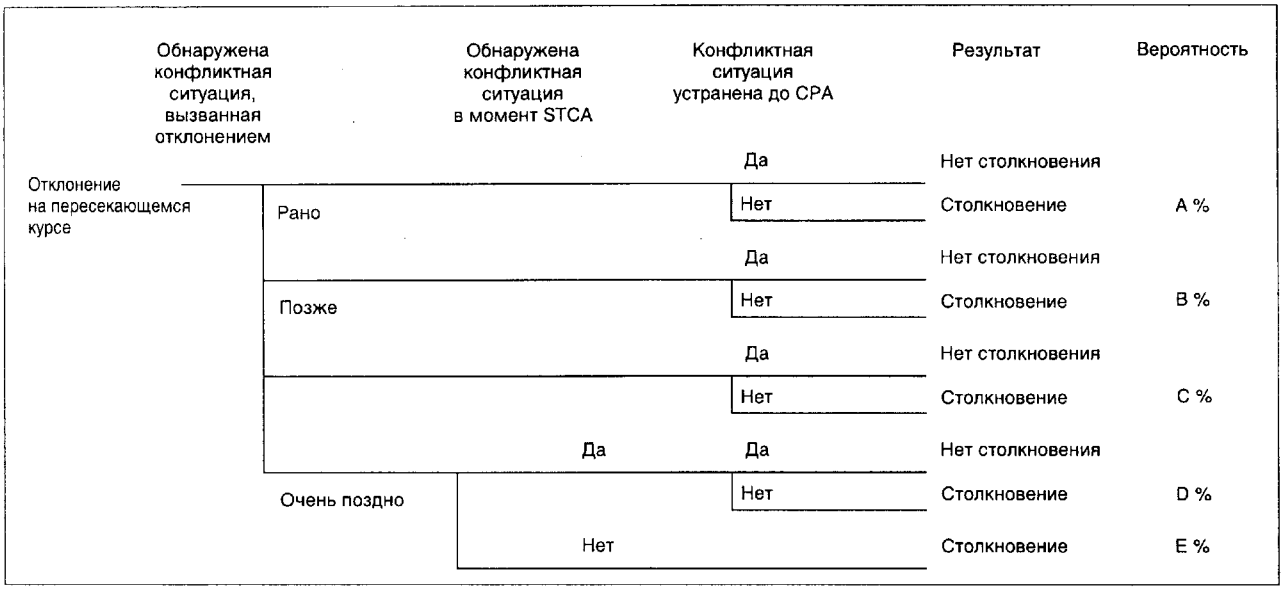


Рисунок А-9-3. Дерево обнаружения и устранения конфликтных ситуаций

(Вероятность того, что столкновение не будет предотвращено = (A + B + C + D + E) процентов)

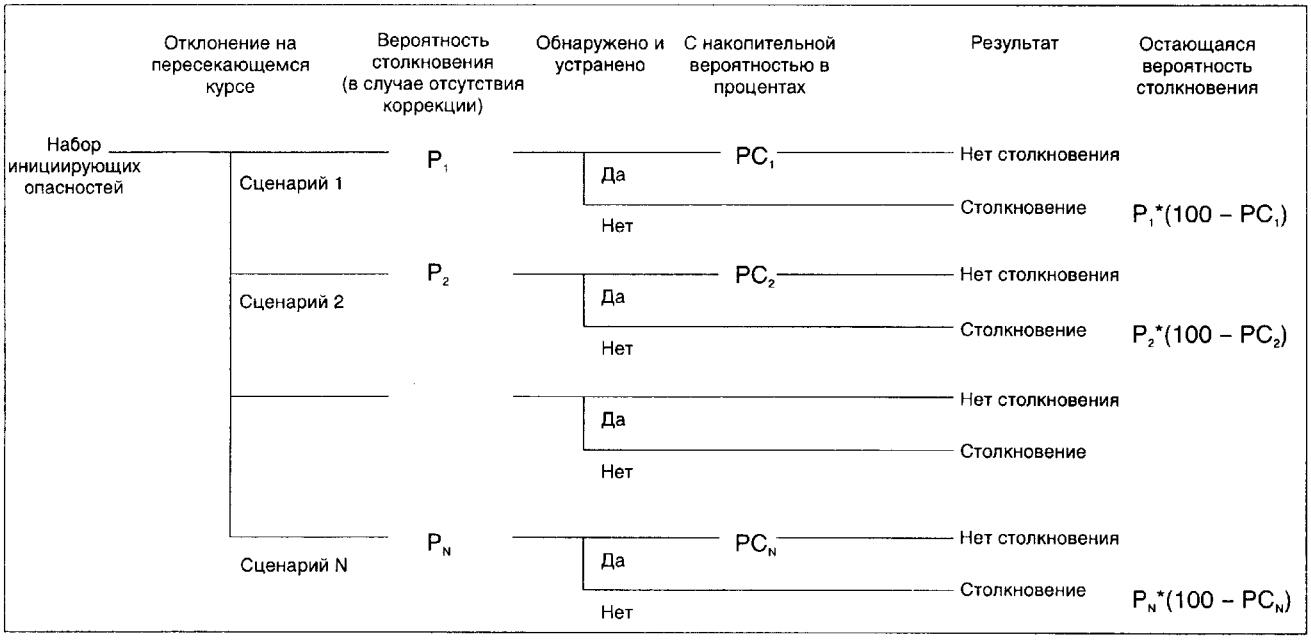


Рисунок А-9-4. Риск столкновения при обнаружении и устранении конфликтной ситуации службой УВД

6.5.3 Возможности служб УВД обнаруживать отклонения зависят от ряда обстоятельств, которые описаны выше, однако особое внимание следует уделять вероятности возникновения CMF.

6.6 Общий системный риск столкновения в условиях применения УВД

6.6.1 На рис. A-9-4 представлен расширенный вариант структуры, представленной на рис. A-9-3, с суммированием результатов N возможных сценариев. Вероятность столкновения для конкретного сценария (при отсутствии УВД) представлена как P_N, однако при наблюдении, осуществляемом службой УВД, отклонение может быть обнаружено и устранено с различной вероятностью вплоть до наступления момента столкновения. Если суммарная вероятность успешного применения корректирующих мер составляет PC_N процентов, то результирующая вероятность столкновения составит P_N * (100 – PC_N) процентов. Общая вероятность столкновения будет теперь представлена суммой результатов всех сценариев.

6.7 Будущие факторы, влияющие на обнаружение и устранение опасностей

6.7.1 Другими факторами, которые не учитывались на данном этапе, но которые могут приобретать все большее значение в будущем, являются средства автоматизации, которые позволяют системе УВД прогнозировать и обнаруживать конкретные опасности и предлагать оптимальные корректирующие стратегии. К ним относятся:

a) бортовое оборудование, способное обнаруживать отклонения от линии пути или потенциальный риск столкновения (например, автономный контроль целостности в приемнике (RAIM), автономный контроль целостности на борту воздушного судна (AAIM), система оповещения и предупреждения столкновений (TCAS)); и

b) автоматические возможности УВД, включая автоматическое оповещение о воздушном судне-нарушителе, которые могут привлекать внимание к неправильной передаче управления и обеспечивать контроль за маневрами вблизи границы.

7. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МОДЕЛИ

7.1 В рамках аналитического исследования опасности/риска проводится анализ чувствительности с целью оценки влияния различных расчетных значений и упрощений модели на рассчитанный системный риск. При этом важно в самом начале определить ключевые факторы/параметры, с тем чтобы обеспечить точную оценку параметров, оказывающих значительное влияние на результат. Методика анализа позволит также оценить влияние различных условий выполнения полетов на TLS.

8. ПРОВЕРКА ДОСТОВЕРНОСТИ

8.1 В прошлом неоднократно проводился анализ полученных на практике данных, однако выявление статистики отклонений, возникающих по конкретным причинам, связано с очень большими трудностями. Анализ, который проводился ИКАО (1976 год) и ЕВРОКОНТРОЛем (1982—1984 годы), позволил получить некоторые результаты при использовании относительно простых сценариев, в которых предпринимались попытки изолировать любое влияние, связанное с вмешательством служб УВД. Однако даже в этих случаях хвосты кривых распределения отклонений допускают различные толкования.

8.2 В данном случае в рамках методики прогнозируются распределения, возникающие при конкретных сочетаниях опасностей, в различных районах полетов с различными плотностями воздушного движения и т.д., а затем производится расчет риска с целью прогнозирования результирующей частоты нарушения эшелонирования. Далее полученные частоты нарушения эшелонирования сравниваются с данными радиолокационного наблюдения, с тем чтобы убедиться в том, что зарегистрированные и прогнозируемые показатели согласуются в широком диапазоне значений радиуса и обстоятельств нарушения эшелонирования.

9. ПРИМЕНЕНИЕ

9.1 Модель риска столкновения (CRM) применяется на подходящих маршрутах, отобранных полномочным органом, проводящим оценку. Собираются данные о плотностях воздушного движения, условиях сети маршрутов и частотах пролета, которые используются в качестве входных данных для модели, позволяющей определить интервал эшелонирования, необходимый для достижения требуемого TLS.

10. ДАЛЬНЕЙШАЯ ПРОГРАММА

10.1 В рамках проводимого в Европе исследования непосредственной задачей является дальнейшая разработка модели отклонений, их обнаружения

и устранения с включением более полных сценариев и проверкой достоверности ранее полученных результатов.

10.2 Анализ чувствительности, который следует применять на последних этапах разработки модели, указывает на те компоненты модели, которые требуют доработки в будущем посредством изменения ее сложности или определения более точных расчетных значений частоты возникновения. Завершенная модель может использоваться для расчета риска, связанного с различными минимумами эшелонирования, и для определения тех интервалов, которые позволят выполнять полеты при соблюдении требуемого TLS.

10.3 Дальнейшие исследования следует сосредоточить на расширении понимания механизмов ошибок в контуре системы УВД и показателя успешности вмешательства служб УВД с использованием как массивов подробных данных, так и дополнительных исследований с применением моделирования в режиме реального времени. По мере внедрения устройств автоматического оповещения об отклонении и других устройств оповещения или средств УВД необходимо оценивать их влияние.

Добавление 10

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИЗА РИСКА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА В АВСТРАЛИИ

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 В методике планирования воздушного пространства для определения минимумов эшелонирования содержится краткое описание двух основных методов определения того, является ли та или иная система приемлемо безопасной. Во-первых, сравнение с эталонной системой при условии, что безопасность системы подтверждается длительным периодом ее использования, измеряемым часами полета в системе. Следует отметить, что этот метод практически непригоден при низкой плотности воздушного движения.

1.2 Второй метод заключается в оценке риска системы по сравнению с пороговым TLS. Необходимо выявить критические с точки зрения безопасности параметры и построить модель их влияния на риск столкновения. Процесс анализа риска состоит из традиционных этапов — определение системы, установление критериев оценки, выявление опасностей, определение расчетной частоты их возникновения, моделирование последствий, определение расчетного риска, оценка риска и меры по уменьшению риска в случае необходимости. Рекомендуется TLS, равный $1{,}5 \times 10^{-8}$ катастроф вследствие столкновений на час полета в системе.

1.3 В инструктивном материале рекомендуются методы, такие, как математическое моделирование, экспертные оценки и сравнение с другими аналогичными условиями выполнения полетов. Предлагается также привлекать группы экспертов-практиков под контролем опытного руководителя, которые будут также использовать большие объемы накопленных данных о вероятной частоте появления ошибок в других отраслях.

1.4 В настоящем документе описывается именно такой подход; он был применен Управлением обслуживания воздушного движения Австралии для изучения риска при различных вариантах классификации и различных технологиях использования воздушного пространства в малонаселенных внутренних районах континентальной части Австралии. Был определен базовый вариант для существующих уровней риска, и была разработана модель риска для воздушного пространства (ARM).

1.5 Основная часть воздушного пространства Австралии, за исключением восточного побережья, столиц и крупных городов, является неконтролируемым воздушным пространством и, в конечном счете, будет отнесено к классу G ИКАО. Существуют опасения относительно риска столкновения, которому могут подвергаться воздушные суда, обеспечивающие регулярное сообщение общего пользования (RPT), на некоторых неконтролируемых сельских аэродромах, таких, как Даббо, Айерс-Рок и Кунунурра. На этих аэродромах установлена зона обязательной передачи широковещательных сигналов (MBZ), и они могут требовать организации на маршруте воздушного пространства класса E ИКАО.

2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОЛЖНОЙ ЗАБОТЛИВОСТИ

2.1 Применение инженерных методов для охраны жизни людей и имущественных ценностей получило распространение в перерабатывающей промышленности (справочный материал 1)[1]. Однако до недавнего времени эти методы почти не применялись в других отраслях. При многодисциплинарном подходе к управлению риском необходимо учитывать как технологический, так и человеческий факторы.

2.2 Обеспечение должной заботы о безопасности рабочего места и условий труда является одной из функций общего права. Обязанность обеспечить "как можно более низкий разумно возможный (ALARP)" риск предусмотрена также в законодательстве Австралии по вопросам охраны труда и техники безопасности (OH&S). Для установления виновности в небрежности необходимо, чтобы, с учетом принципов вероятности, на все четыре следующих вопроса был получен ответ "да".

---

1. Список справочных материалов приведен в конце данного добавления.

2.2.1 Вопрос 1: Причинная обусловленность

Причинен ли вред из-за "отсутствия безопасности" в вопросе, в отношении которого предъявлено обвинение в небрежности?

2.2.2 Вопрос 2: Возможность предвидения

Можно ли предвидеть возможность причинения этого вреда?

2.2.3 Вопрос 3: Возможность предотвращения

Имеется ли практическая альтернатива выполнению данной работы этим способом или с применением оборудования, имеющегося в распоряжении работодателя?

2.2.4 Вопрос 4: Разумность

Как в совокупности соотносится величина риска с усилиями, необходимыми для его уменьшения?

2.3 Для оценки риска, приводящего к критическим или катастрофическим последствиям (одна или несколько жертв), часто используются критерии вероятности. В тех случаях, когда риск близок к приемлемому, необходимо показать, что " . . . затраты на его снижение превышают достигнутое улучшение"; при более высокой степени риска риск является допустимым " . . . только в том случае, если его снижение практически неосуществимо или если затраты на его снижение явно несоразмерны с достигнутым улучшением".

3. МЕТОДИКА

3.1 Методы анализа опасности и риска впервые начали применяться в авиационно-космической промышленности в 1960-х годах. Они привели к значительному повышению уровня безопасности в так называемых высокоопасных отраслях — химической, нефтехимической и ядерной промышленности. В то же время были разработаны принципы высокой степени защиты от риска для предотвращения пожаров в обрабатывающей промышленности, целлюлозно-бумажной промышленности и энергетике.

3.2 Для разработки модели риска воздушного пространства был принят "причинно-следственный" подход к моделированию риска (справочный материал 1). При этом подходе совместно используются методы дерева отказов и дерева событий, основанные на главном событии — моменте времени, в который утрачивается контроль за потенциально опасной энергией. Эти методы применяются для решения проблем, связанных с опасностью, в ряде отраслей как в Австралии, так и в других странах.

3.3 Концепция риска всегда содержит два элемента, а именно, частота возникновения той или иной опасности и последствия опасного события (справочный материал 2). Подход "энергия—ущерб" используется при разработке моделей для количественной оценки последствий нежелательных событий, а подход "последовательность во времени" — для выявления причины и количественной оценки вероятности.

4. ПРИМЕНЕНИЕ

4.1 Модель риска воздушного пространства разработана с целью объективного определения уровней риска, связанного с нынешними и предлагаемыми методами управления воздушным пространством Австралии. Работа началась с рассмотрения неконтролируемого узлового воздушного пространства с точки зрения классификации ИКАО. Первоначально основное внимание уделялось наблюдению за воздушными судами, переходящими от условий полета по маршруту к условиям полета по аэродромному кругу, поскольку этот этап рассматривался как область наиболее высокого риска.

4.2 В модели ИКАО используется несколько типов воздушного пространства (A—G) с различными уровнями обслуживания. Согласно схеме классификации воздушного пространства Австралии (AACS) первоначально предлагается внести минимальные изменения при сохранении существующих границ воздушного пространства и обслуживания, но с пересмотром номенклатуры в соответствии с рекомендациями ИКАО. С учетом соображений безопасности при полетах по ППП и до проведения дальнейшего анализа риска, в воздушном пространстве класса G будет действовать требование обязательного уведомления о полетах по ППП.

4.3 Традиционно на воздушных судах используются вызовы по радиосвязи для обеспечения "предупреждения" в рамках правила "предупрежден, вижу и избегаю". На аэродромах с MBZ оснащение радиооборудованием является обязательным, а на аэродромах, на которых используется общая частота передачи консультативной информации о воздушном движении (CTAF), это требование не применяется. Обязательное оснащение радиооборудованием и его использование на аэродромах с MBZ ограничивается обычно зоной воздушного пространства радиусом 15 м. миль и до 5000 фут над уровнем земли (AGL).

4.4 В справочном материале 2 опасность определяется как физическая ситуация, связанная с возможностью причинения вреда людям. В это понятие включается опасность, которой подвергаются люди при столкновении в воздухе. В зоне аэрод-

рома непосредственно за пределами аэродромного круга прибывающие воздушные суда снижаются и совершают маневры на различных линиях пути, а вылетающие воздушные суда набирают высоту и также совершают маневры.

4.5 Наиболее вероятный тип пересекающихся пар воздушных судов будет зависеть от местоположения и погодных условий. Их можно разделить на категории в зависимости от того, выполняют ли воздушные суда полет в соответствии с правилами визуальных полетов (ПВП) или правилами полетов по приборам (ППП). К последней категории относятся различные воздушные суда — от частных/зафрахтованных воздушных судов малой вместимости с одним пилотом (ППП1) до воздушных судов RPT большой вместимости с двумя пилотами (ППП2).

4.6 Возможны девять типов пересекающихся пар:

a) ПВП/ПВП при ВМУ (1 случай);

b) ППП1/ПВП и ППП2/ПВП при ВМУ (2 случая); и

c) ППП1/ППП1, ППП1/ППП2 и ППП2/ППП2 как при ВМУ, так и при ПМУ (6 случаев).

4.7 При анализе пересекающихся пар рассматриваются как визуальные метеорологические условия, так и метеорологические условия полетов по приборам (ВМУ и ПМУ).

5. МОДЕЛЬ РИСКА ДЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА (ARM)

5.1 Основное внимание в ARM уделяется "опасному сближению" как критическому событию. Считается, что опасное сближение возникает в том случае, когда два (или несколько) воздушных судна сближаются до определенных пределов по горизонтали и вертикали, не зная о присутствии других воздушных судов в этой зоне. Для целей моделирования критической парой воздушных судов считаются воздушные суда, сблизившиеся до 1,0 м. мили по горизонтали и 500 фут по вертикали. В случае столкновения они становятся "пересекающейся парой".

5.2 При причинно-следственном моделировании (справочный материал 1) совместно используются традиционные методы дерева отказов и дерева событий, основанные на главном событии — моменте времени, в который утрачивается контроль за потенциально опасной энергией.

5.3 Для оценки возможных последствий конкретных пересекающихся пар используются средние статистические значения. При подходе, основанном на общественном риске, рассматривается совокупная частота происшествий с N или бóльшим числом жертв.

5.4 В рамках ARM, которая до настоящего времени применялась в основном к узловому району неконтролируемого аэродрома, предполагается, что пара воздушных судов, находящихся в потенциально конфликтной ситуации, становится критической парой только в случае отказа на *всех* трех этапах:

a) нарушаются процедуры эшелонирования в условиях применения УВД или, как в случае неконтролируемых аэродромов, не обеспечивается эшелонирование с участием службы УВД;

b) происходит отказ на этапе планомерных действий. В случае необходимости в этот этап включаются предупреждения службы ОВД. Он основан на координации действий пилотов по радио и эшелонировании с использованием процедурных методов, таких, как раздельные высоты или конкретные особенности прокладки маршрута. Как правило, он охватывает период продолжительностью четыре минуты, начиная за пять минут и заканчивая 60 секундами до потенциального столкновения. Планомерные действия со стороны любого воздушного судна позволят предупредить образование критической пары; и

c) происходит отказ на этапе действий по уклонению. Этот этап включает в себя любую ситуацию, при которой необходимо визуальное обнаружение и предупреждение столкновения, однако, как правило, его продолжительность составляет от 60 секунд до 12 секунд до потенциального столкновения. На этом этапе важное значение имеют взаимное расположение воздушных судов, образующих критическую пару, заблаговременное предупреждение (по радио, сведения о воздушных судах из других источников), габаритные размеры воздушных судов, цвет, дальность видимости, бдительность и рабочая нагрузка экипажа. Действия по уклонению со стороны любого воздушного судна позволят предупредить образование критической пары.

5.5 Когда основное внимание уделяется опасному сближению как критическому событию, потеря контроля за ситуацией определяется как момент времени, в который изменение положения рулей управления воздушного судна, подвергающегося риску, не может оказать какого-либо значительного влияния к моменту прохождения точки столкновения: какие бы действия ни предпринимал пилот, результат будет определяться везением. Этот мо-

мент наступает примерно за 12 секунд до любого столкновения/опасного сближения.

5.6 Схема причинно-следственных связей строится вокруг критического события, после которого наступают последствия и к которому ведут причинно обусловленные события, при этом вектор времени на схеме направлен слева направо. К элементам модели относятся:

a) потеря контроля — 12 секунд до столкновения в воздухе или опасного сближения;

b) предваряющие события — этапы планомерных действий и действий по уклонению; и

c) область результатов — ответы при анализе дерева событий.

5.7 На рис. А-10-1 показана логическая функция "И", предполагающая, что потеря контроля происходит только в том случае, когда не удается устранить ВСЕ пять выявленных причин. В правой части модели определяется расчетное соотношение вероятностей результатов.

5.8 Используемые в модели формулы основаны на обычных правилах сложения вероятностей.

В том случае, когда то или иное событие может произойти, если возникает любое из предваряющих событий, то есть существует несколько режимов причинной обусловленности или отказа, применяется логический элемент "ИЛИ":

$$A \text{ ИЛИ } B = A + B - A*B.$$

Следует отметить, что вычитаемый член необходим с целью исключения двойного учета пересечения двух событий. Если оба события характеризуются вероятностью отказа 1 из 10:

$$A \text{ ИЛИ } B = 0{,}1 + 0{,}1 - 0{,}1 * 0{,}1 = 0{,}19$$

(= 19% = $1{,}9 \times 10^{-1}$ = 1,9 E-1 в экспоненциальном представлении).

Напротив, в том случае, когда для предотвращения нежелательного события *C* предлагается мера управления *D*, применяется логический элемент "И", поскольку для того чтобы произошла потеря контроля необходимо, чтобы наступило событие *C* и произошел отказ события *D*:

$$C \text{ И } D = C*D,$$

например, если оба события характеризуются вероятностью отказа 0,1:

$$C \text{ И } D = 0{,}1*0{,}1 = 0{,}01$$

(= 1% = $1{,}0 \times 10^{-2}$ = /1 E-2 в экспоненциальном представлении).

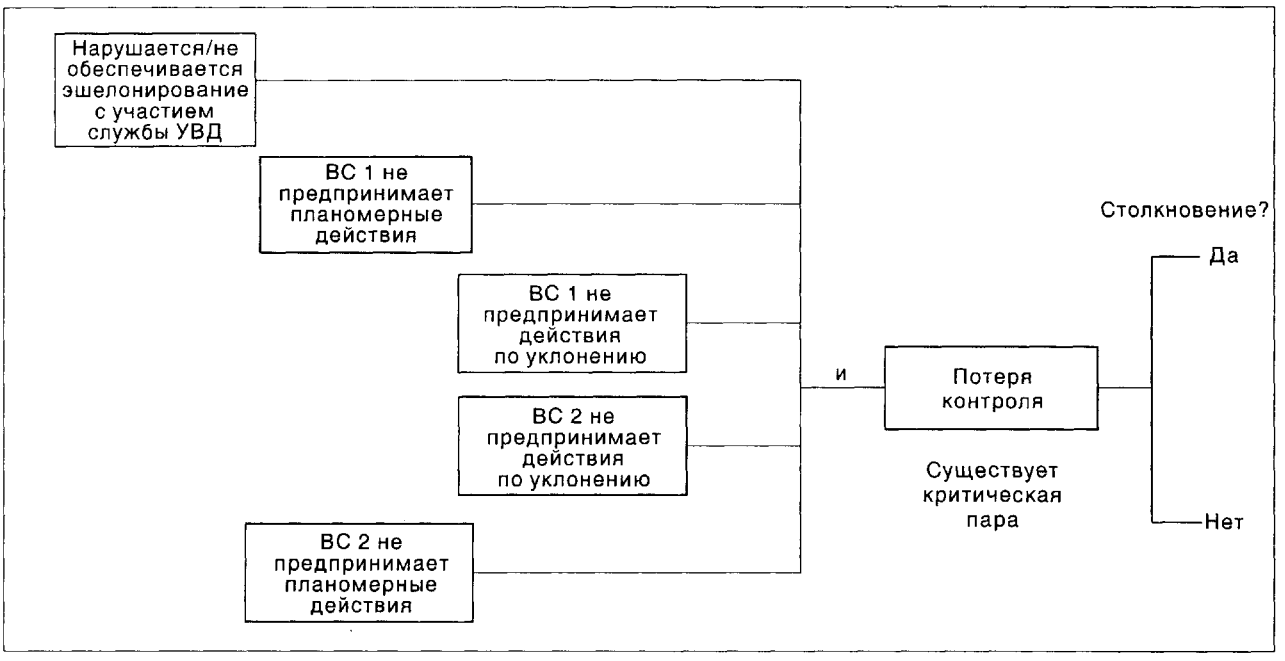


Рисунок А-10-1

5.9 Процесс оповещения о воздушной обстановке, несомненно, завершится неудачей, если воздушное судно не может принять вызов ИЛИ если не обеспечивается оповещение о воздушной обстановке. Кроме того, предупреждение может поступить от службы ОВД И от второго воздушного судна, то есть предупреждение не поступит только в случае отказа обоих источников. Это иллюстрируется на рис. А-10-2.

5.10 Воздушное судно не может принять вызов в том случае, если оно не имеет для этого возможностей — приемник не установлен ИЛИ приемник отказал. Возможен также отказ в результате выбора пилотом неправильной частоты ИЛИ в результате того, что прослушивание не ведется. Эта часть модели представлена на рис. А-10-3.

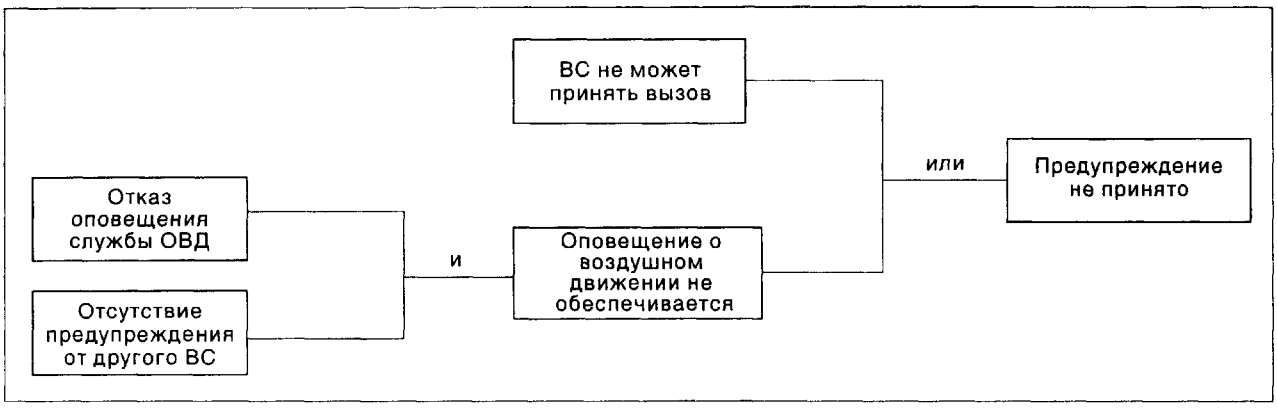


Рисунок. А-10-2

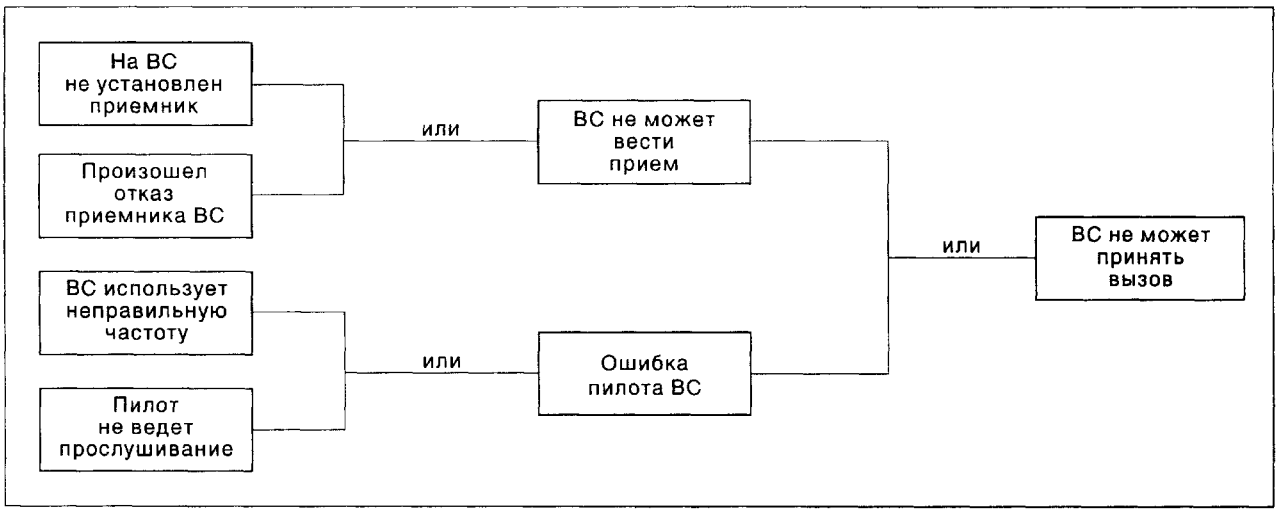


Рисунок А-10-3

5.11 На этапе планомерных действий отказ происходит в том случае, если оба воздушных судна не обнаруживают друг друга ИЛИ если одному воздушному судну известно о другом, но оно совершает ошибку. В этом контексте "обнаружение" может иметь более широкое значение: пилот одного воздушного судна "обнаруживает" другое "умозрительно", то есть мысленно представляет себе местоположение другого воздушного судна. Единственным выходом для воздушного судна, не получившего оповещения, является визуальное обнаружение, которое маловероятно на этапе планомерных действий. Даже если одному воздушному судну известно местоположение другого, оно все же может совершить ошибку либо вследствие бездействия по отношению к потенциальной угрозе, либо вследствие неправильного реагирования (см. рис. А-10-4).

5.12 На этапе действий по уклонению отказ происходит в том случае, если оба воздушных судна не обнаруживают друг друга ИЛИ одному воздушному судну известно о другом, но оно совершает ошибку. В этом контексте "обнаружение" имеет только одно значение – визуальное обнаружение при отсутствии оповещения. Другие возможности уже учтены в рамках периода планомерных действий. В качестве примера возможного использования в модели той или иной конкретной технологии управления на схеме показана также роль БСПС (рис. А-10-5).

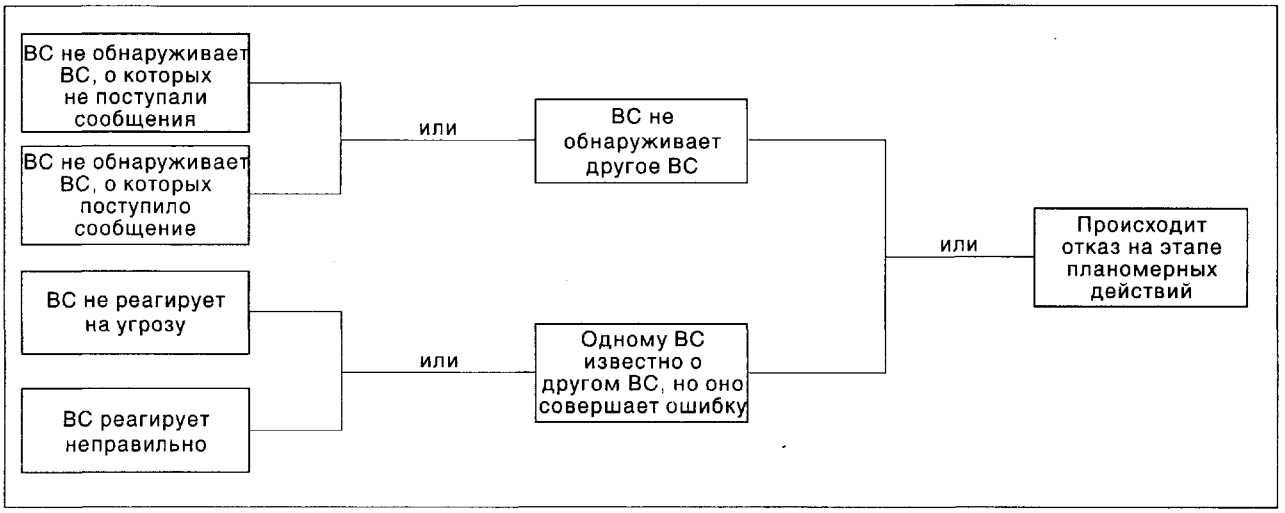


Рисунок А-10-4

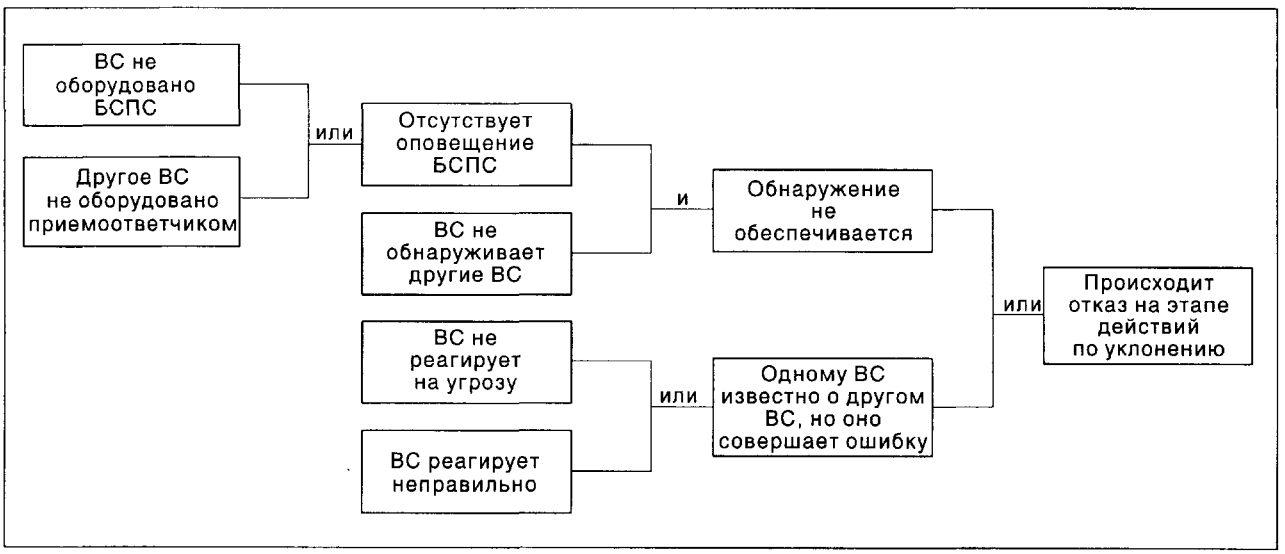


Рисунок А-10-5

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ

6.1 ARM была разработана и определена в количественном выражении исследовательской группой специалистов-практиков и исследователей с привлечением в качестве консультантов инженеров по вопросам риска. Значения вероятности для некоторых компонентов модели основывались непосредственно на эмпирических данных (например, исходя из состава оборудования), для некоторых компонентов — на косвенных или экстраполированных данных (например, визуальное обнаружение), а для других — на субъективных данных (например, человеческий фактор). Модель и относящиеся к ней значения вероятности были затем тщательно рассмотрены группой экспертов по вопросам безопасности, представляющих различные секторы отрасли и обладающих соответствующим эксплуатационным опытом. Эта группа экспертов приняла модель и некоторые из полученных эмпирически значений вероятностей, однако значения вероятности для некоторых компонентов модели она определила путем итеративного голосования.

6.2 Проверка состава оборудования воздушных судов, проведенная в 1994 году (справочный материал 3), свидетельствует о том, что на 5 процентах воздушных судов ПВП рация отсутствует, однако на всех воздушных судах ППП рация установлена.

6.3 Каждую неделю Бюро расследований по вопросам безопасности воздушного движения (BASI) сообщает о нескольких случаях отказа бортовых приемников в ходе примерно 150 000 полетов в Австралии. С учетом возможности представления неполных сведений частота отказов электронного оборудования, равная 1×10^{-4} (1 E-4), которая обычно используется при анализе риска в обрабатывающей промышленности (см. например, справочный материал 1), рассматривается как реалистичная.

6.4 Согласно сообщениям BASI, вероятность отказа вследствие использования воздушными судами неправильной частоты составляет 8 из 100 000. По мнению группы экспертов по вопросам безопасности, эта цифра будет сильно зависеть от опыта пилотов. Для пилотов ПВП она была сочтена невероятно низкой. Путем голосования группа экспертов определила показатели, равные 9 E-4 для воздушных судов ППП2 и 8,7 E-3 для воздушных судов ПВП, то есть было принято решение использовать для ПВП значение в 10 раз больше. В модели для ППП1 путем экстраполяции было определено значение 2,5 E-3.

6.5 В отношении пилотов ПВП, не ведущих прослушивание, было принято среднее значение вероятности 1,3 E-2, а в отношении пилотов ППП2 — 1,2 E-3, при этом интерполированное значение в отношении пилотов ППП1 составило 4,03 E-3.

6.6 Частота отказов при передаче оповещений службой ОВД, вероятно, будет очень низкой, например, 1 на 1 миллион применительно к отказам радиолокационного обнаружения или направления уведомления и 1 на 100 000 применительно к ошибкам при обработке или в системе связи.

6.7 Вышеупомянутая исследовательская группа предложила значения 1 E-3 для пилотов ППП и 1 E-2 для пилотов ПВП применительно к отказам при направлении вызова. Разница в этих значениях отражает теоретическое различие между опытным компетентным оператором и просто подготовленным оператором. Группа экспертов по вопросам безопасности приняла значение 1,4 E-3 для пилотов ППП2 и 6,2 E-2 для пилотов ПВП, что при экстраполяции дает значение 9,2 E-3 для пилотов ППП1.

6.8 Указанная группа экспертов приняла значение 2,7 E-3 для случая, когда пилоты ППП2 не реагируют на выявленную угрозу, поскольку они обучены организовывать и инициировать эшелонирование. Для случая, когда пилоты ПВП не реагируют на выявленную угрозу, было принято расчетное значение 5,4 E-2, а соответствующее значение для пилотов ППП1 составило 1,22 E-2.

6.9 Таким образом, предполагается что типичный пилот ППП, который реагирует неправильно в одном случае из 1000, допускает такую ошибку один раз примерно в три года. Группа экспертов по вопросам безопасности согласилась с тем, что это значение близко к истинному, приняв среднее значение 1,1 E-3. Для пилотов ПВП это значение составило 1,72 E-2, а для пилотов ППП1 — 4,43 E-3.

6.10 Бездействие при наличии явной и реально существующей опасности было представлено в виде одной ошибки пилота на 1000 полетов (профессиональный пилот, как правило, выполняет 1000 полетов за два года). Группа экспертов по вопросам безопасности приняла среднее значение 1,15 E-3 для пилотов ППП2, 1,31 E-3 для пилотов ПВП и 1,23 E-3 для пилотов ППП1.

6.11 Что касается неправильного реагирования воздушных судов, то здесь следует учитывать, что пилоты не имеют практики и не проходили проверку на выполнение маневров уклонения в потенциальных конфликтных ситуациях. Группа экспертов рассмотрела информацию о двух недавних случаях опасного сближения и приняла среднее значение 2,34 E-3 для пилотов ППП2. Значение для пилотов ПВП составило 4,75 E-3, а для пилотов ППП1 — 3,34 E-3.

7. РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ

7.1 Частота отказов для пересекающихся пар ППП/ППП в отсутствие оповещения составила от 0,22 процента до 1,89 процента. В условиях MBZ частота отказов составила 9,12 процента для пар ПВП/ПВП и от 2,44 процента до 7,71 процента для пар ППП/ПВП. В условиях CTAF частота отказов для пар ПВП/ПВП и ППП/ПВП оказалась весьма чувствительной к частоте участия пилотов, выполняющих полеты по ПВП, в радиообмене и составила от 15,45 процентов до 59,65 процентов.

7.2 Было высказано мнение, что вероятность необнаружения воздушного судна на удалении более одной минуты на этапе планомерных действий составляет от 78 процентов до 94 процентов для пилотов, психологически готовых к этому, но не "оповещенных". Группа экспертов приняла значение 5,7 E-3 для случаев, когда пилот ППП2 при получении оповещения не осознает необходимость в планомерных действиях. Для пилотов ПВП была принята средняя частота отказов 8,9 E-2, поскольку при их подготовке отслеживанию воздушной обстановки или ее прогнозированию не уделяется достаточного внимания. Для пилотов ППП1 путем экстраполяции было определено значение 2,36 E-2.

7.3 Значения, относящиеся к этапу действий по уклонению, основывались на таблицах совокупной вероятности до момента потери контроля за 12 секунд до потенциального столкновения. Было установлено, что критическим фактором в данном случае являются габаритные размеры целевого воздушного судна. Принятые значения вероятности отказа составили от 24,8 процента для пилота ППП2, пытающегося обнаружить воздушное судно ПВП, до 11,3 процента для пилота ПВП, пытающегося обнаружить воздушное судно ППП2.

7.4 Было высказано мнение, что соотношение между пересекающимися парами и критическими парами (опасное сближение) составляет примерно 1:300. Для определения расчетной вероятности наличия критической пары (опасное сближение) на том или ином маршруте использовалась модель для аэродрома Даббо в Новом Южном Уэльсе (N.S.W.DoP). В итоге, при 25 000 полетах в год было выявлено 250 критических пар, то есть 1 процент от общего числа полетов.

7.5 При использовании соотношения 1:300 были получены значения условной вероятности столкновения, приведенные в таблице A-10-1.

Таблица A-10-1

Пересекающаяся пара	*ПВП/ПВП*	*ППП1/ПВП*	*ППП2/ПВП*	*ППП1/ППП1*	*ППП1/ППП2*	*ППП2/ППП2*
Конфигурация						
Без оповещения	7,84 E-5	1,61 E-4	7,07 E-5	2,76 E-4	2,34 E-4	6,28 E-5
CTAF 70%*	3,31 E-5	2,93 E-5	1,27 E-5			
CTAF 80%*	2,32 E-5	1,96 E-5	8,24 E-6			
CTAF 90%*	1,43 E-5	1,15 E-5	4,67 E-6			
MBZ	4,93 E-6	3,85 E-6	1,29 E-6			
ПМУ без ОВД				1,10 E-5	3,80 E-6	6,54 E-7
ПМУ с ОВД				7,12 E-6	1,80 E-6	4,55 E-7
ВМУ без ОВД				1,19 E-6	2,02 E-7	1,69 E-8
ВМУ с ОВД				7,92 E-7	1,00 E-7	1,23 E-8

* Доля имеющих рацию воздушных судов, которые направляют вызовы по радио.

7.6 Вероятные средние последствия для каждой пересекающейся пары составляют 20 жертв для ППП2/ППП2, 11-12 жертв, если речь идет об одном воздушном судне ППП2, и 3,0-4,5 жертвы для пересекающихся пар ПВП/ППП1.

7.7 Результаты оценки относительного риска свидетельствуют о том, что для пересекающихся пар ППП вероятность столкновения резко уменьшается по мере роста тяжести последствий. Это отражает концепцию общественного риска, согласно которой общество в гораздо большей степени опасается событий с тяжелыми последствиями. Модель чувствительна к ПМУ, при которых риск увеличился на порядок величины по сравнению с ВМУ, поскольку при ПМУ правило "вижу и избегаю" не применимо. Однако в любом из указанных случаев отсутствие ОВД приводит лишь к незначительному увеличению риска столкновения. Это объясняется очень высокой степенью участия пилотов, выполняющих полеты по ППП, в радиообмене.

7.8 Для пар ППП/ПВП в условиях MBZ вероятность столкновения уменьшается на порядок величины по мере роста тяжести последствий, то есть риск (который равен произведению вероятности столкновения на тяжесть последствий) остается постоянным. Риск, относящийся к условиям MBZ, возрастает в 3 раза в условиях CTAF 90 процентов, а кроме того, риск, относящийся к наиболее оптимистическим допущениям о степени участия в радиообмене CTAF, увеличивается еще в 2,5 раза в случае наиболее пессимистических допущений. На рис. А-10-6 представлены некоторые из результатов определения относительного риска.

7.9 Результаты, относящиеся к пилотам, не получившим никакого оповещения, на 1—2 порядка величины выше даже результатов в условиях CTAF 70 процентов. Таким образом, ключевым моментом является проблема *оповещения.* Вероятность столкновения оказывается высокой в том случае, когда обоим воздушным судам не известно о другом. Любое средство, например, применение MBZ, которое позволяет воздушным судам получать сведения друг о друге, обеспечивает значительное преимущество. При использовании БСПС вероятность потери контроля еще более снижается для каждой пары воздушных судов, оснащенных таким оборудованием.

7.10 Согласно концепции "треугольника риска", которая первоначально была предложена Исполнительным советом по здравоохранению и охране труда Соединенного Королевства (H.S.E.U.K., Royal Soc. U.K.) (справочный материал 4) и в Справочнике по ПВП (справочный материал 5), диапазон ALARP составляет от 10^{-4} в год (100 шансов на миллион) до 10^{-6} в год (1 шанс на миллион) для критериев индивидуального риска для критических групп, подвергающихся опасности. Если провести сравнение с таблицами рисков для отдельного человека (справочный материал 6), это означает, что риск, связанный с более опасной деятельностью, чем вождение автомобиля, вероятно будет неприемлемым, а риск, примерно соответствующий вероятности поражения молнией, считается незначительным.

7.11 В том, что касается индивидуального риска, основное внимание уделяется критическим группам, подвергающимся опасности, таким, как члены экипажа, выполняющие около 500 полетов в год. Анализ пересекающихся пар в районе аэропорта Даббо показывает, что индивидуальный риск столкновения в воздухе составляет 23 шанса на миллион в год при полетах по ППП1 в условиях MBZ. Этот риск возрастает до 40 шансов на миллион в условиях CTAF 90 процентов, 57 шансов на миллион в условиях CTAF 80 процентов и 79 шансов на миллион в условиях CTAF 70 процентов.

7.12 Результаты, представленные на рис. А-10-7, свидетельствуют о том, что риск в условиях MBZ является "допустимым" (менее 25 шансов на миллион для экипажа ППП1), а риск в условиях CTAF 80 процентов является "предельно допустимым" (до 57 шансов на миллион для экипажа ППП1) в зависимости от степени участия в радиообмене. В указанном диапазоне ALARP сохраняется обязательство уменьшить риск до "как можно более низкого разумно возможного" уровня.

7.13 Риски, приводящие к различным последствиям, часто сравниваются исходя из допущения, согласно которому риски считаются аналогичными, если десятикратное увеличение степени тяжести последствий сопровождается десятикратным уменьшением вероятности. Однако, как представляется, когда речь идет о гибели людей, общество с гораздо большим опасением относится к происшествиям, приводящим к большому числу жертв. На рис. А-10-8 приводится совокупная вероятность N или большего числа жертв по отношению к примерным критериям общественного риска.

7.14 В рамках всей авиационной отрасли в целом необходимо проведение дальнейшей работы по определению параметров риска: число погибших пассажиров, безопасный налет в пассажиро-километрах, безопасный налет в километрах на число пассажирских мест и т.д.

8. ОБСУЖДЕНИЕ

8.1 Методы анализа риска пользуются поддержкой как необходимый инструмент при определении политики по вопросам безопасности.

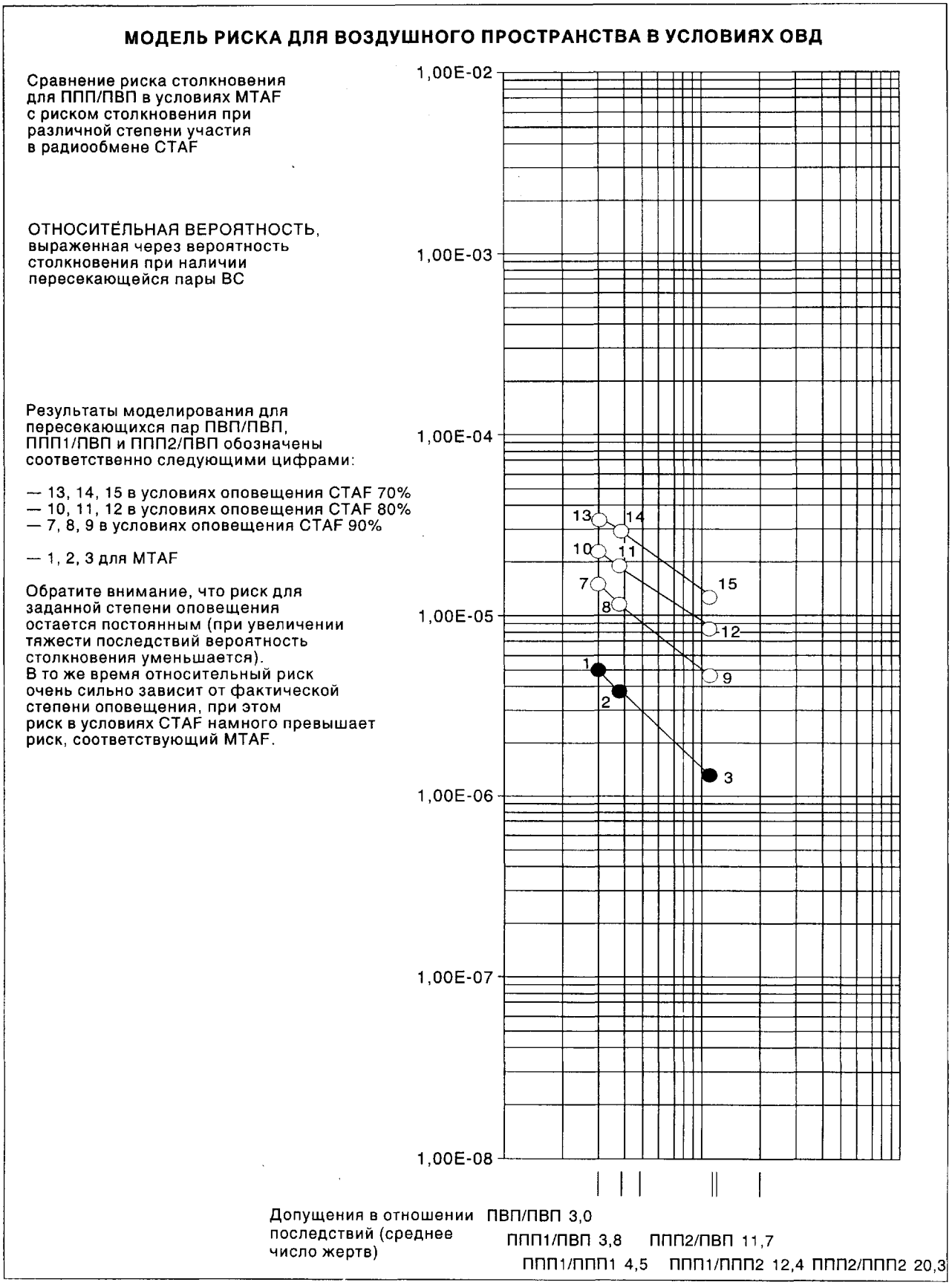
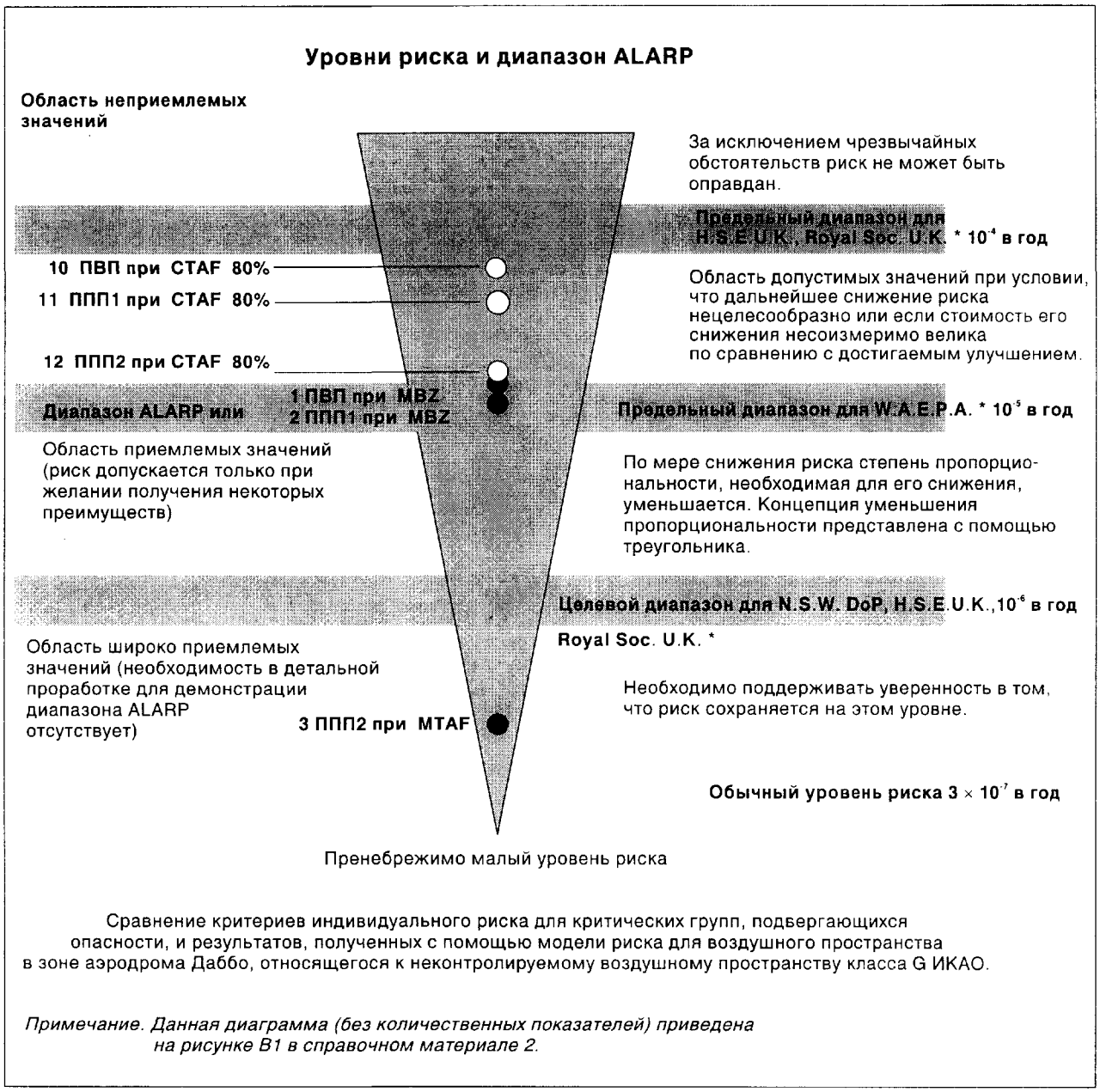


Рисунок А-10-6. Результаты моделирования относительно риска



Сравнение критериев индивидуального риска для критических групп, подвергающихся опасности, и результатов, полученных с помощью модели риска для воздушного пространства в зоне аэродрома Даббо, относящегося к неконтролируемому воздушному пространству класса G ИКАО.

Примечание. Данная диаграмма (без количественных показателей) приведена на рисунке B1 в справочном материале 2.

Рисунок А-10-7. Сравнение критериев индивидуального риска для критических групп, подвергающихся опасности, и результатов, полученных с помощью модели риска для воздушного пространства в зоне аэропорта Даббо, которое является неконтролируемым воздушным пространством класса G ИКАО.

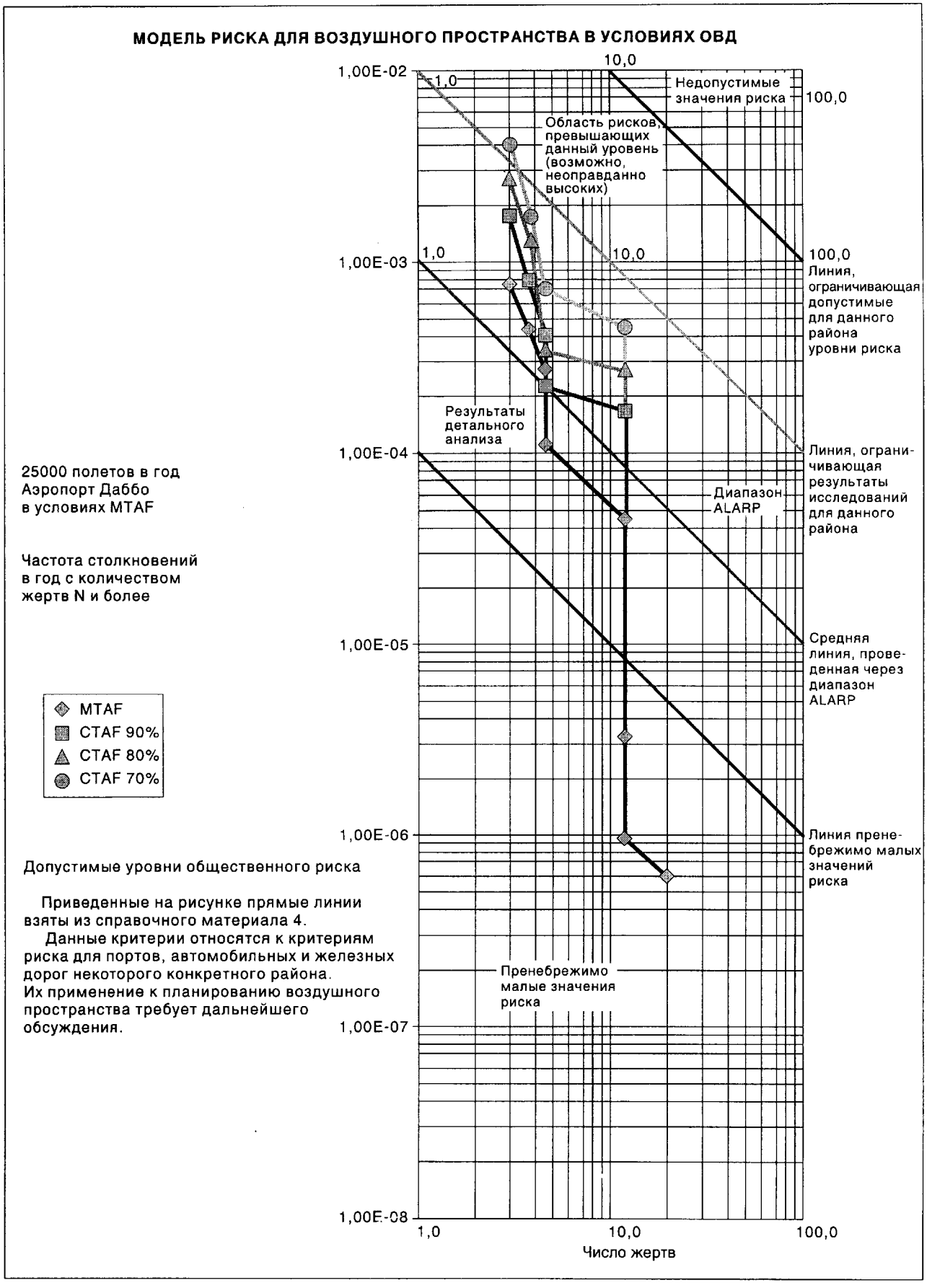


Рисунок А-10-8. Результаты анализа допустимых уровней общественого риска

8.2 Обнаружение и предупреждение столкновений согласно правилу "вижу и избегаю" в отсутствие оповещения сопряжено с неприемлемым риском. Критическим фактором являются габаритные размеры целевого воздушного судна. Вероятность необнаружения цели составляют от 11,3 процента для воздушного судна ПВП, пытающегося обнаружить воздушное судно ППП с двумя пилотами, до 33 процентов для воздушного судна ППП с одним пилотом, пытающимся обнаружить небольшое воздушное судно ПВП на этапе действий по уклонению.

8.3 Модель крайне чувствительна к степени участия пилотов ПВП в радиообмене в условиях CTAF, при этом имеются данные обследований, которые позволяют более подробно изучить этот вопрос.

8.4 Анализ риска ясно свидетельствует о том, что нынешние процедуры эшелонирования ППП/ППП для неконтролируемого воздушного пространства обеспечивают высокую степень безопасности, в результате чего риск столкновения в воздухе между воздушными судами ППП сводится к обычному уровню. Однако с учетом полетов в районе, в котором отсутствует требование обязательной передачи широковещательных сигналов (за пределами зоны MBZ), риск возникновения конфликтной ситуации между воздушным судном ППП с двумя пилотами и воздушным судном ПВП возрастает, но остается допустимым. Риск возникновения конфликтной ситуации между парами воздушных судов ППП с одним пилотом и парами воздушных судов ППП1/ПВП с одним пилотом также значительно возрастает и попадает в область предельно допустимого риска.

8.5 Начата дальнейшая работа с целью установления лимитов/критериев для внедрения условий MBZ вместо CTAF, а также с целью определения возможного снижения степени риска при определенном уровне затрат на внедрение новых технологий, таких, как БСПС.

8.6 Возможно усовершенствование подхода, основанного на моделировании причин и следствий, для целей анализа существующего риска в конкретной рассматриваемой системе. Путем проверки таких моделей посредством сопоставления их результатов с имеющимися данными и опытом руководящего состава и технического персонала соответствующей отрасли можно обеспечить точное отражение в модели наиболее достоверной информации и знаний, имеющихся на тот момент, когда она используется для принятия решений о приемлемости риска и снижении риска в случае необходимости.

9. ПОСЛЕДУЮЩИЕ МЕРЫ

9.1 В первую очередь необходимо признать, что, хотя базовая структура ARM едва ли изменится, представленные здесь количественные результаты являются предварительными. По мере проведения дальнейших исследований, особенно в таких критических областях, как вероятность обнаружения других воздушных судов и соотношение между случаями опасного сближения и столкновениями, результаты будут меняться.

9.2 Во-вторых, ARM нуждается в уточнениях, которые позволят учитывать несколько классов воздушных судов ППП, в частности воздушные суда RPT малой (менее 10 пассажирских мест), средней (10-38 мест) и большой (более 38 мест) вместимости. Это имеет важное значение, поскольку ARM чувствительна к числу вероятных жертв при столкновении в воздухе.

9.3 В-третьих, необходимо изучить взаимосвязь между критериями абсолютного риска и критериями приемлемости риска. В частности, должны ли критерии риска основываться на некоторой группе людей, подвергающейся критическому риску, такой, как пилоты RPT или частые участники полетов, или же на некоторой концепции общего риска. Это окажет влияние на такие вопросы, как критерии модернизации аэродрома с заменой условий CTAF условиями MBZ или условий MBZ на диспетчерское управление.

9.4 Четвертый этап основывается на признании того, что полученные до настоящего времени результаты относятся только к одному из крупных неконтролируемых узловых аэродромов Австралии. Применимы ли эти результаты ко всем неконтролируемым аэродромам? В нескольких других местах был проведен анализ данных о воздушном движении, которые упомянутая исследовательская группа в настоящее время использует в сочетании со своими методами моделирования с целью проверки общей применимости модели.

9.5 Пятый этап предполагает распространение модели на этап полета по маршруту и сравнение риска с уровнями обслуживания классов G и C. Для этого необходимо завершить не разработанную пока часть модели, относящуюся к мерам по обеспечению эшелонирования с участием службы УВД. После этого ARM будет почти полностью завершена, и ее можно будет применять ко всем классам воздушного пространства.

9.6 Таким образом, последующие меры будут направлены на постепенное распространение ARM на более высокие классы воздушного пространства, от D до A, а также на учет таких технологических новшеств, как применение TCAS.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Lees, F. *Loss prevention in the process industries.* Butterworth-Heineman. 1980.
[Лис Ф. Мероприятия по предотвращению потерь в отраслях перерабатывающей промышленности.]

2. IEC 1508: Functional safety: safety-related systems, Parts 1—7. International Electrotechnical Commission, Draft dated June 1995.
[Функциональная безопасность: системы, относящиеся к безопасности, части 1—7. Международная электротехническая комиссия.]

3. Phillips, R. *The great Australian aircraft equipment survey – aeroplanes, helicopters, ultralights.* Canberra, CAA Australia, 1994.
[Филипс Р. Крупномасштабное обследование бортового оборудования в Австралии — самолеты, вертолеты, сверхлегкие воздушные суда.]

4. Health and Safety Commission. *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances.* Report and Appendices of the Advisory Committee on Dangerous Substances. London, HMSO, 1989.
[Комиссия по здравоохранению и безопасности. Основные аспекты опасности при перевозках опасных веществ. Доклад и добавления Консультативного комитета по опасным веществам.]

5. *VRJ Handbook.* VRJ Risk Engineers Pty Ltd., Melbourne, 1995.
[Справочник по ПВП.]

6. Risk criteria for land use safety planning. Hazardous Industry Advisory Paper No. 4. N.S.W. Department of Planning, 1990.
[Критерии риска при планировании безопасности землепользования.]

Добавление 11

АНАЛИЗ И МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ АЭРОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Методика оценки риска столкновения в аэронавигационной системе, которая в настоящее время используется в Российской Федерации, основана на методе дерева событий, предложенном в "Руководстве по методике планирования воздушного пространства для определения минимумов эшелонирования". Однако, ввиду чрезвычайной сложности данной задачи при разработке этой методики были сделаны упрощения, существенно облегчающие процесс сведения анализа безопасности к рассмотрению числовых значений соответствующих параметров.

1.2 В методике, подробно описанной в настоящем добавлении, учитываются ошибки системы УВД, приводящие к серьезным авиационным происшествиям. Эти ошибки могут быть вызваны либо ошибками операторов УВД либо техническими отказами в системе УВД. Технические погрешности, относящиеся к воздушному судну, и ошибки пилотирования в данной методике не учитываются.

1.3 Применяется итеративный подход, при котором рассматриваются четыре различных состояния системы, причем три из них оказывают влияние на способность диспетчера контролировать воздушное пространство. Сначала структурные блоки системы рассматриваются в качестве функциональных каналов, которые отличаются один от другого по степени воздействия их отказа на систему управления воздушным движением. Следует отметить, что под функциональными каналами подразумевается оборудование, используемое для реализации функций УВД. После того как основные характеристики, которыми должны обладать данные функциональные каналы (с тем, чтобы они могли выполнять функции УВД), определены, становится возможным проведение более детального анализа, учитывающего влияние различных компонентов системы УВД.

1.4 При данной методике учитывается риск системы, обусловленный характером неконтролируемого потока самолетов, параметры подсистемы предварительного планирования, аэронавигационные характеристики движения воздушных судов, действия диспетчеров по предотвращению нарушения эшелонирования и параметры системы предотвращения столкновений (СПС). Следует отметить, что несмотря на то, что данная методика учитывает влияние бортовых систем предотвращения столкновений (БСПС), существующая технология БСПС не признается ИКАО как средство призванное внести свой вклад в определение норм эшелонирования или разделения маршрутов.

1.5 Применение данной методики позволяет определить требуемые характеристики некоторой ограниченной группы параметров системы, которые гарантируют поддержание необходимой безопасности воздушного движения при заданной пропускной способности. Те же самые параметры служат косвенными критериями для оценки безопасности при условии, что их поведение было заранее определено. Иными словами, данную методику можно использовать как для оценки безопасности уже действующей системы, так и для определения тех характеристик, которыми должна обладать система для того, чтобы быть безопасной.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

2.1 В данной методике рассматриваются следующие характеристики аэронавигационной системы:

a) тактические показатели системы УВД, а именно, нормы эшелонирования, размеры потенциально конфликтной зоны (S_x, S_y, S_z, L_x, L_y);

b) структура воздушного пространства и свойства самолетопотоков: весовые коэффициенты различных видов относительного движения воздушных судов (Г) и частота потенциально конфликтных ситуаций в неконтролируемом самолетопотоке ($\lambda_{пкс}$);

c) тактические летные характеристики потоков воздушных судов: средняя скорость движения потоков воздушных судов, точность выдерживания самолетопоком заданной траектории полета и плана полета, вероятность отсутствия у воздушного судна системы БСПС (V, σ_x, σ_y, σ_z, $C_{БСПС}$). Следует отметить, что согласно данной методике предполагается, что при наличии на борту воздушного судна БСПС столкновение невозможно;

d) показатели надежности эргономической поддержки системы УВД и рабочая нагрузка системы УВД, связанная с планированием воздушного движения ($P_{эр.1}$) и с функциями радиолокационного контроля ($P_{эр.2}$). Эти два параметра относятся соответственно к возможностям специалиста по планированию и диспетчеров предотвращать столкновения. Это позволяет, среди прочего, учитывать влияние средств связи, наблюдения и автоматизации путем учета их вклада в значения $P_{эр.1}$ и $P_{эр.2}$. Числовые значения $P_{эр.1}$ и $P_{эр.2}$, используемые в данной методике, представляют собой вероятность того, что диспетчер не сможет предотвратить столкновение;

e) показатели надежности работы функциональных каналов ($P_1^{КН}, P_2^{КН}, P_3^{КН}$). Эти параметры представляют собой совокупную надежность различных компонентов системы УВД.

В итоге вводится понятие вектора обобщенной характеристики системы $\overline{GSP}$.

$$\overline{GSP} = (S_x, S_y, S_z, L_y, L_x, \Gamma, \lambda_{ПКС}, V, \sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, C_{БСПС}, P_{эр.1}, P_{эр.2}, P_1^{КН}, P_2^{КН}, P_3^{КН}).$$

2.2 Удовлетворительными параметрами обобщенной характеристики системы ($\overline{SGSP}$) считаются такие параметры $\overline{GSP}$, которые обеспечивают достижение требуемых пропускной способности и безопасности аэронавигационной системы при минимальных экономических затратах.

2.3 Аналитически можно установить корреляцию, связывающую средний риск столкновения (N) в аэронавигационной системе со значениями составляющих вектора $\overline{GSP}$ и параметрически с ее пропускной способностью (c): $N = f(\overline{GSP}; c)$.

Это дает возможно формально представить вектор $\overline{SGSP}$ в следующем виде:

$$f(\overline{GSP}; c) - \text{TLS} = 0; \quad (1)$$

при критерии типа $E \rightarrow \min$, (2)

где TLS — целевой уровень безопасности, а E — затраты на установку и эксплуатацию аэронавигационной системы, удовлетворяющей уравнению (1).

2.4 Можно показать, что $f(\overline{GSP}; c)$ описывает математическое ожидание дискретной случайной величины, которая выражает риск столкновения для ряда определенных состояний системы. Различают четыре состояния системы:

a) нормальное рабочее состояние (вероятность этого состояния P_0, риск столкновения в системе N_0);

b) состояние, вызванное отказами оборудования, в результате которых воздушное движение становится неконтролируемым (вероятность этого состояния P_1, риск столкновения в системе N_1);

c) состояние, вызванное отказами оборудования, которые приводят к увеличению рабочей нагрузки диспетчеров УВД; однако при этом существует вероятность (не превышающая 0,1) того, что воздушное движение в системе может полностью выйти из-под контроля (вероятность этого состояния P_2, риск столкновения в системе N_2);

d) состояние, вызванное отказами оборудования, которые не приводят к потере контроля; однако такие отказы, как правило, повышают рабочую нагрузку диспетчеров, что увеличивает вероятность ошибок с их стороны по меньшей мере на порядок величины (вероятность этого состояния P_3, риск столкновения в системе N_3).

2.5 Средний риск столкновения в аэронавигационной системе формально описывается следующим выражением:

$$N = f(\overline{GSP}; c) = P_0N_0 + P_1N_1 + P_2N_2 + P_3N_3 \quad (3)$$

2.6 Пропорциональное соотношение числа столкновений, вызванных соответственно отказами функциональных каналов (ρ) и ошибками операторов (1 – ρ), известно. Поэтому риск столкновения, определяемый формулой (3), можно разделить соответственно на риск при нормальном рабочем состоянии системы и риск при возникновении отказов оборудования:

$$(1 - \rho) \times \text{TLS} = P_0N_0; \quad (4)$$

$$\rho \times \text{TLS} = P_1N_1 + P_2N_2 + P_3N_3. \quad (5)$$

2.7 Выражение (4) дает возможность либо провести анализ аэронавигационной системы на

основании параметров $\overline{GSP}$, которые не связаны с технической надежностью ее функциональных каналов, либо рассчитать составляющие вектора $\overline{SGSP}$, соответствующие нормальному рабочему состоянию оборудования аэронавигационной системы (то есть, определить требования к рабочим характеристикам нормально функционирующей аэронавигационной системы).

2.8 Выражение (5) позволяет сделать то же самое в отношении составляющих вектора $\overline{GSP}$, которые характеризуют техническую надежность функциональных каналов системы.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТАВЛЯЮЩИХ ВЕКТОРА $\overline{GSP}$ И ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УВД, ОТВЕЧАЮЩЕЙ ТРЕБОВАНИЯМ К БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

3.1 Для анализа составляющих вектора $\overline{GSP}$ с точки зрения обеспечения целевого уровня безопасности (TLS) и требуемой пропускной способности (c) используются выражения для риска столкновения, соответствующие различным состояниям оборудования системы, а именно, N_0, N_1, N_2 и N_3. Для этих четырех состояний системы используются следующие аналитические выражения. Как отмечалось ранее, при данной методике учитываются только риски, обусловленные ошибками авиадиспетчеров и техническими отказами в системе УВД.

$$N_0 = C_{БСПС} \times P_{эр.2} \times (P_{эр.1} \times \lambda_{пкс} \times \overline{P_{ст|пкс}} + (1 - P_{эр.1}) \times \overline{N^{(c)}_{сект}}) \quad (6)$$

$$N_1 = C_{БСПС} \times \lambda_{пкс} \times \overline{P_{ст|пкс}} \quad (7)$$

$$N_2 = 0{,}1 \times N_1 + 0{,}9 \times N_3 \quad (8)$$

$$N_3 = C_{БСПС} \times C_2 \times P_{эр.2} \times (C_1 \times P_{эр.1} \times \lambda_{пкс} \times \overline{P_{ст|пкс}} + (1 - C_2 \times P_{эр.1}) \times \overline{N^{(c)}_{сект}}) \quad (9)$$

3.2 В правой части выражений (6), (7), (8) и (9) фигурируют либо составляющие вектора $\overline{GSP}$ ($C_{БСПС}$, $P_{эр.1}$, $P_{эр.2}$, $\lambda_{пкс}$), либо функции этих составляющих ($\overline{P_{ст|пкс}}, \overline{N^{(c)}_{сект}}$). $\overline{P_{ст|пкс}}$ представляет собой среднюю вероятность столкновения при условии, что пара воздушных судов находится в потенциально конфликтной ситуации при отсутствии контроля за ситуацией, иными словами, это вероятность того, что в потенциально конфликтной ситуации между данными воздушными судами произойдет столкновение. $\overline{N^{(c)}_{сект}}$ представляет собой средний риск столкновения в секторе УВД для планового потока. Эти составляющие рассчитываются по формулам, приведенным в справочном материале [1][1].

3.3 Коэффициенты C_1 и C_2 отражают увеличение вероятности появления ошибок, допускаемых диспетчером на стадии предварительного планирования, и ошибок радиолокационного управления соответственно.

3.4 Для проведения анализа необходимо задать некоторую дополнительную информацию, а именно:

Значения вероятностей различных состояний системы

3.4.1 Предполагается, что вероятность нахождения системы УВД в определенном состоянии, вызванном техническими отказами, обратно пропорциональна риску столкновения в этом состоянии. Если имеются данные о безопасности, которые позволяют количественно определить весовые коэффициенты (δ_i) полного риска, вызванного риском при нахождении системы в i-ом состоянии (i = 1, 2, 3), то вероятность различных состояний можно определить по формуле:

$$P_i = \delta_i \frac{\rho \times TLS}{N_i} , \qquad i = 1, 2, 3 \quad (10)$$

3.4.2 Если статистическое определение весовых коэффициентов δ_i оказывается невозможным, то делается допущение о равном вкладе различных состояний системы, связанных с отказами оборудования, в полный риск столкновения:

$$P_i = \frac{1}{3} \frac{\rho \times TLS}{N_i} ; \quad (11)$$

Значения надежности функциональных каналов

3.4.3 Если несколько различных видов отказов независимо один от другого способны привести систему i-е состояние и при этом известны весовые коэффициенты для каждого из этих видов отказов, то тогда значения надежности функциональных каналов (отказы которых приводят к i-ому состоянию системы) можно вычислить по формуле:

$$P^{КН}_{ij} = 1 - \mu_{ij} \times P_i \quad (\text{при} \sum_{j=1}^{q_i} \mu_{ij} = 1); \quad (12)$$

где q_i — количество различных видов отказов, приводящих систему в i-е состояние, а μ_{ij} — весовой коэффициент, присвоенный j-му отказу (i-го состояния).

---

1. Справочный материал [1] указан в конце данного добавления.

3.4.4 Если предположить, что отказы каналов одинаковым образом влияют на переход системы в *i*-е состояние, то надежность каждого канала можно вычислить по формуле:

$$P_i^{кн}=1-\frac{P_i}{q_i} \quad . \tag{13}$$

3.4.5 При отсутствии достоверной априорной информации относительно характера влияния отказов на соотношение рисков в системе в целом, для проведения анализа в будущем следует использовать выражения (11) и (13).

3.5 В зависимости от того, какой знак будут иметь следующие выражения:

$$9{,}7N_0-\frac{(1-\rho)TLS}{P_0} \tag{14}$$

$$\sum_{i=1}^{3} P_i \times N_i - \rho \times TLS \quad ,$$

где $P_0 = 1 - (P_1 + P_2 + P_3)$, (15)

можно определить удовлетворяют ли или нет общие требования к системе критериям безопасности. Иными словами, если значения, вычисленные по формулам (14) и (15), имеют отрицательный знак, то система УВД удовлетворяет требованиям, принятым в отношении целевого уровня безопасности (TLS) и пропускной способности. В противном случае придется внести изменения в конструкцию системы и, следовательно, в некоторые составляющие вектора $\overline{GSP}$ с целью удовлетворения требований в отношении TLS и пропускной способности.

3.6 Задача планирования системы с целью удовлетворения требований, предъявляемых к целевому уровню безопасности и пропускной способности, может иметь не единственное решение, поскольку нужный результат может быть достигнут за счет изменения различных параметров вектора $\overline{GSP}$. Тем не менее, прежде чем приступить к выбору конкретных мер, необходимо решить следующее уравнение:

$$N_0(x_i)-\frac{(1-\rho)TLS}{P_o}=0 \quad , \tag{17}$$

где неизвестная величина x_i представляет либо пропускную способность (*c*), либо составляющую вектора $\overline{GSP}$, которая не связана с функциональной надежностью. Иными словами, прежде чем задавать функциональную надежность системы, следует определить такие значения параметров, которые обеспечат удовлетворение критериев безопасности системы, когда она находится в нормальном рабочем состоянии.

3.7 Как правило, достаточно удобным способом создания системы, приемлемой с точки зрения безопасности воздушного движения, является изменение следующих параметров обобщенной характеристики системы:

a) параметры, относящиеся к свойствам потоков воздушных судов, а именно, $C_{БСПС}$, σ_x, σ_y и σ_z;

b) параметры, характеризующие структуру воздушного пространства и свойства самолетопотоков в зоне ответственности системы УВД, а именно, Г и $\lambda_{пкс}$;

c) параметры, характеризующие уровень автоматизации функций УВД в рассматриваемой системе УВД, а именно, $P_{эр.1}$ и $P_{эр.2}$.

3.8 Требования к надежности функциональных каналов определяются значениями составляющих вектора $\overline{SGSP}$, рассчитанными с помощью выражений (11) и (13).

4. ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТНОЙ АЭРОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

4.1 Рассматривается гипотетический сектор УВД, имеющий достаточно сложную топологию и находящийся в верхнем воздушном пространстве. Сектор состоит из элементов, на которых осуществляется параллельное относительное движение ВС, продольное относительное движение ВС, боковое относительное перемещение ВС, параллельное движение ВС в вертикальной плоскости, а также относительное движение ВС с пересечением и схождением воздушных трасс. Интенсивность воздушного движения на пересекающихся и сходящихся воздушных трассах достигает 60% всей пропускной способности сектора. Доля времени осуществления каждого из перечисленных видов относительного движения известна для каждого элемента воздушного пространства в данном гипотетическом секторе. Допустим, что целевой уровень безопасности (TLS) равен $2{,}0 \times 10^{-8}$ (катастроф на час полета), а пропускная способность (*c*) должна составлять 30 ВС/ч.

4.2 В этом случае представляющие интерес составляющие вектора $\overline{GSP}$ имеют следующие значения:

S_x = 30 км; S_y = 30 км; S_z = 500 м;

L_x = 45 км;

$\lambda_{пкс}$ = 0,6;

V = 850 км/ч; σ_x = 4 км; σ_y = 2 км;

$P_z(0) = 0{,}25$; $C_{БСПС} = 1$; $P_{эр.1} = P_{эр.2} = 0{,}5 \times 10^{-2}$.

4.3 При этих значениях параметров величина $\overline{P_{ст/пкс}}$, согласно расчетам, оказалась равной $1{,}13 \times 10^{-3}$, а $N^{(c)}_{сект}$ равной $2{,}02 \times 10^{-6}$. Эти значения были получены с помощью формул, приведенных в справочном материале [1].

4.4 Кроме того, известно, что доля риска, обусловленного отказами оборудования (ρ), составляет 0,3. На основании этого было произведено следующее разграничение TLS для различных состояний системы: для нормального рабочего состояния системы $TLS = 1{,}4 \times 10^{-8}$, для состояний системы, связанных с отказами оборудования $TLS = 0{,}6 \times 10^{-8}$.

4.5 Число каналов при нахождении системы в первом, втором и третьем состояниях равно 3, 4 и 5 соответственно (то есть, $q_1 = 3$, $q_2 = 4$, $q_3 = 5$). Кроме того, предполагается, что вероятность нахождения системы в первом, втором и третьем состояниях обратно пропорциональна соответствующим рискам столкновения: N_1, N_2 и N_3. Будем считать, что в случае перегрузок вероятность ошибок, допущенных диспетчером на стадии предварительного планирования, и ошибок радиолокационного управления возрастает в десять раз (то есть, $C_1 = C_2 = 10$).

4.6 Проведение анализа системы в состоянии, когда отказы оборудования отсутствуют, сводится к оценке риска N_0. Для рассматриваемого случая N_0, согласно расчетам, получается равным $2{,}7 \times 10^{-8}$ (катастроф на час полета), что указывает на неудовлетворительный уровень безопасности воздушного движения и на необходимость изменения рабочих параметров системы.

4.7 Снижение риска можно обеспечить за счет изменения нескольких параметров системы. В данном примере было решено изменить параметры $\lambda_{пкс}$, $P_{эр.1}$, и $P_{эр.2}$. Приемлемую величину риска N_0 (то есть, $\leq 1{,}4 \times 10^{-8}$) можно получить при следующих значениях:

$\lambda_{пкс} = 0{,}23$;

$P_{эр.1} = P_{эр.2} = 4{,}43 \times 10^{-3}$, при условии, что $P_{эр.1} = P_{эр.2}$ и их изменение производится одновременно;

$P_{эр.1} = 3{,}06 \times 10^{-3}$ при изменении только $P_{эр.1}$;

$P_{эр.2} = 4{,}24 \times 10^{-3}$ при изменении только $P_{эр.2}$;

Значения остальных параметров остаются неизменными, то есть, равными вышеприведенным.

4.8 Чтобы показать, какие требования предъявляются к надежности функциональных каналов, необходимо выбрать конкретный способ обеспечения приемлемого риска системы при отсутствии отказов оборудования. Будем считать, что планирование системы осуществляется за счет одновременного изменения параметров $P_{эр.1} = P_{эр.2}$.

4.9 Тогда, принимая во внимание, что значения параметров q_i и C_j уже заданы (см. выше), приемлемая система получается при следующих значениях параметров:

$P_{эр.1} = P_{эр.2} = 1{,}11 \times 10^{-3}$;

$N_1 = 2{,}60 \times 10^{-4}$ (катастроф на час полета);

$N_2 = 2{,}60 \times 10^{-5}$ (катастроф на час полета);

$N_3 = 5{,}42 \times 10^{-8}$ (катастроф на час полета);

$P_1 = 7{,}70 \times 10^{-6}$;

$P_2 = 7{,}68 \times 10^{-5}$;

$P_3 = 3{,}69 \times 10^{-2}$;

$P_1^{КН} = 0{,}9999974$;

$P_2^{КН} = 0{,}9999808$;

$P_3^{КН} = 0{,}9926193$.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Математические основы методики анализа и планирования аэронавигационных систем, RGSCP 9 WP/5, май 1996 г. (на русском языке).

Добавление 12

МЕТОДИКА РЕГИОНАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Основной задачей при региональном планировании воздушного пространства является рациональное использование имеющихся материальных ресурсов и оборудования с целью повышения безопасности и эффективности воздушного движения. Решение этой задачи непосредственно связано со снижением действующих норм эшелонирования воздушных судов, в результате чего проблема обеспечения безопасности воздушного движения в том или ином регионе приобретает первоочередное значение.

1.2 Различие между региональным планированием воздушного пространства и планированием развития системы ОВД в том или ином конкретном регионе состоит в следующем:

— при региональном планировании возникает проблема ограниченных материальных ресурсов и оборудования, из-за которой система не может быть внедрена в полном объеме в конкретных районах;

— при решении проблем на местном уровне задача заключается в определении требуемых характеристик системы, а на региональном уровне — в оптимизации стратегии оснащения региона конкретными системами. В первом случае используется методика оптимизации структуры и характеристик системы, а во втором — методика оптимизации размещения системы в регионе в условиях ограниченности ресурсов.

1.3 В настоящем добавлении представлена методика регионального планирования воздушного пространства, имеющая своей целью обеспечение безопасности и эффективности воздушного движения путем выработки рациональной стратегии оснащения системы ОВД наземными средствами и системами обеспечения полетов. Эта методика используется на протяжении ряда лет при планировании развития системы ОВД в Российской Федерации.

2. ЭТАПЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

2.1 Планирование воздушного пространства в связи с развитием технического оснащения наземных средств и систем обеспечения полетов рекомендуется осуществлять в три этапа.

2.2 ***Этап I.*** Разработка долгосрочного прогноза на 10—15 лет.

Цели:

1. Изучить возможности выполнения будущих требований к техническому оснащению наряду с дальнейшим совершенствованием оборудования в соответствии с возникающими тенденциями (прогноз-исследование).

2. Определить возможные проблемы и сформулировать долгосрочные цели.

3. Определить возможные варианты и выбрать наиболее предпочтительный вариант развития технического оснащения с целью выполнения будущих требований, если традиционные направления его развития не удовлетворяют этим требованиям (нормативный прогноз).

Основные проблемы, подлежащие решению:

1. Определение предполагаемых условий эксплуатации системы ОВД.

   — предполагаемые требования к ОВД;

   — будущие требования в отношении обеспечения безопасности и эффективности воздушного движения;

   — тенденции совершенствования наземного и бортового оборудования воздушных судов; и

— предполагаемые источники и объемы финансирования.

2. Оценка возможности выполнения будущих требований к безопасности и эффективности воздушного движения в предполагаемых условиях эксплуатации системы ОВД наряду с дальнейшим совершенствованием системы в соответствии с возникающими тенденциями.

3. Разработка возможных вариантов развития технической оснащенности системы ОВД:

   — разработка концепции обеспечения техническим оборудованием; и

   — разработка возможных вариантов внедрения этой концепции.

4. Анализ разработанных вариантов с точки зрения затрат—выгод:

   — определение значения показателей эффективности вариантов;

   — определение ресурсов, необходимых для внедрения вариантов;

   — оценка риска при внедрении вариантов; и

   — определение наиболее предпочтительного варианта.

2.3 ***Этап II.*** Разработка программы развития на 5—10 лет.

Цели:

1. Определить наиболее эффективный способ внедрения предпочтительного варианта развития технической оснащенности.

2. Разработать стратегию обеспечения оборудованием.

Основные проблемы, подлежащие решению:

1. Разработка целевых показателей.

2. Разработка возможных способов внедрения предпочтительного варианта развития технической оснащенности на местах (зоны и районы УВД) в регионе.

3. Расчет показателей эффективности и затрат применительно к выбранным способам внедрения предпочтительного варианта развития технической оснащенности на местах в регионе.

4. Определение комплекса мер (по срокам и территориям) по внедрению предпочтительного варианта для достижения целевых показателей при минимальном объеме финансирования.

2.4 ***Этап III.*** Разработка плана технического оснащения на 3—5 лет.

Цель:

Разработать комплекс мер по оснащению конкретных районов и зон УВД средствами обеспечения полетов с учетом имеющегося у них в настоящее время оборудования, мер, предусмотренных программой развития, и возможностей обеспечения ресурсами на рассматриваемый период.

Основные проблемы, подлежащие решению:

1. Определение требований к обслуживанию воздушного движения.

2. Определение мест размещения системы УВД, в которых необходимо улучшить техническую оснащенность в рассматриваемый период, на основе:

   — анализа оборудования, имеющегося на местах в настоящее время;

   — выявленных требований к воздушному движению;

   — мер, указанных в программе развития; и

   — других причин.

3. Уточнение объемов финансирования.

4. Определение состава технических средств, необходимых для каждого объекта, который нуждается в улучшении технической оснащенности.

5. Расчет показателей эффективности, которые должны быть достигнуты.

3. КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ И ПРОЦЕДУРЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВНЕДРЕНИИ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

3.1 Основные факторы, характеризующие развитие системы ОВД, и их взаимосвязь представлены на рис. А-12-1.

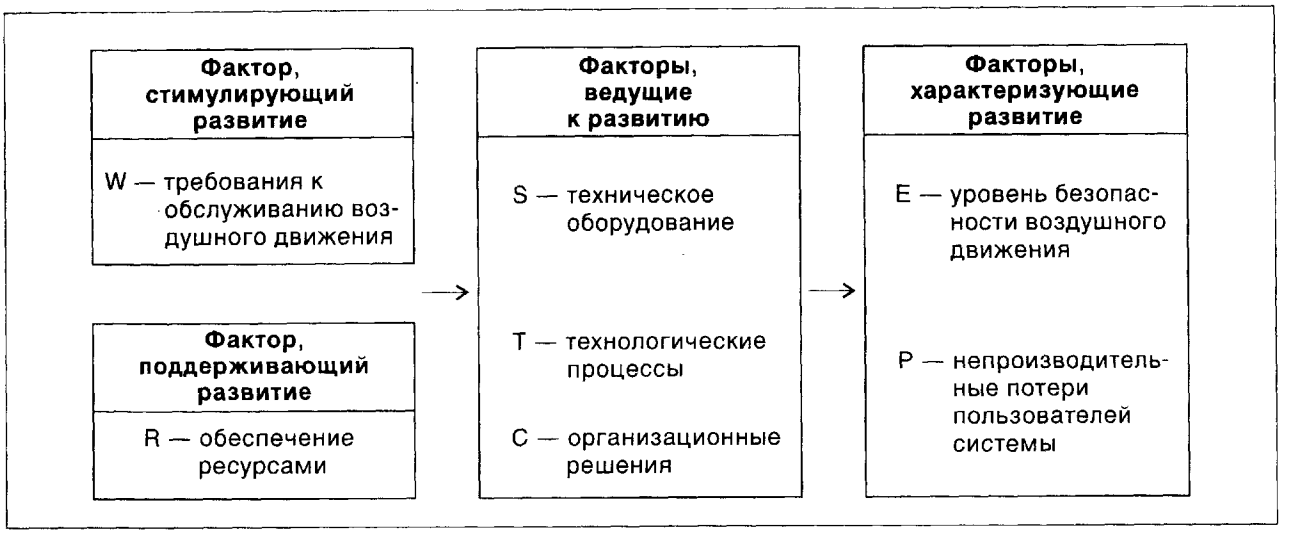


Рисунок А-12-1

3.1.1 Для формального описания процессов при планировании воздушного пространства наиболее подходят факторы *W*, *R*, *S*, *E* и *P* (с точки зрения возможности их формализации).

Формально влияние каждого фактора может быть описано следующими показателями:

$W_{ij}(t)$ — показатели, характеризующие плотность воздушного движения,

i — номер (наименование) показателя,

j — номер ("название") объекта, характеризуемого i-м показателем,

t — рассматриваемый момент времени;

$R_{ij}(t)$ — показатели, характеризующие обеспечение ресурсами;

$S_{ij}(t)$ — показатели технической оснащенности — число технических средств (систем) i-го наименования на j-м объекте в момент t.

$E_{ij}(t)$ — показатели, характеризующие уровень безопасности воздушного движения,

$P_{ij}(t)$ — показатели, характеризующие непроизводительные потери пользователей системы.

3.2 Основными методами решения формальных проблем, предусмотренными методикой планирования воздушного пространства, являются:

a) методы прикладного статистического анализа (ASAM), которые используются при построении стандартных экономико-математических моделей, состоящих из наборов совместных эконометрических уравнений или производственных функций; и

b) методы оптимизации (ОМ), основанные на математических (линейных и нелинейных) моделях программирования, которые используются для нахождения лучших решений на основе того или иного данного критерия в условиях, связанных с рядом ограничений.

3.3 ASAM используются в основном на этапе I планирования воздушного пространства при разработке долгосрочного прогноза.

3.3.1 Использование ASAM позволяет построить базовую модель (набор моделей), описывающую взаимосвязь между факторами системы в иллюстративной форме:

$$f(W,R,S,E,P,t)=0.$$

3.3.2 Решение задачи 1 этапа I позволяет определить предполагаемые требования к обслуживанию воздушного движения W^O, требования к уровню безопасности воздушного движения E^O и эффективность (непроизводительные потери пользователей системы) P^O системы. Затем с помощью базовой модели рассчитывается необходимое финансовое обеспечение.

$$R^T=R^T(W^O,E^O,P^O|S=S^O)$$

при традиционных направлениях развития технической оснащенности.

3.3.3 Если R^T значительно превышает финансовые возможности R^O, необходимо решить задачу 3 этапа I, в результате чего разрабатываются некоторые всзможные нетрадиционные варианты технической оснащенности S_j с использованием, в частности, неформальных методов.

3.3.4 Затем может быть решена задача 4 этапа I, то есть определен вариант S^{opt}, на основе условий

$$E=E(W^O,R^O,P^O|S=S^{opt})\geq E^O$$
$$P=P(W^O,R^O,E^O|S=S^{opt})\leq P^O.$$

3.3.5 Если вышеуказанные условия не удается удовлетворять одновременно и невозможно увеличить общее число рассматриваемых вариантов S_{ij}, то требования к показателю эффективности P^O и/или ограничению ресурсов R^T могут быть снижены.

3.4 Использование методов оптимизации позволяет решить основную задачу 4 этапа II. Для ее решения в качестве исходных данных используются результаты решения задач 1-3 этапа II:

a) целевые значения показателей эффективности E^* и P^*;

b) возможные средства S_{ij}^{opt} внедрения предпочтительного варианта S^{opt} развития технической оснащенности объектов региона (i — номер варианта, j — название объекта); и

c) показатели эффективности E_{ij}^{opt}, P_{ij}^{opt} и затрат R_{ij}^{opt} i-го способа внедрения S^{opt} на j-м объекте.

В этом случае задачу 4 можно сформулировать следующим образом:

определить $\overline{S_{ij}^{opt}}$ при условии:

$$\sum_{ij} R_{ij}^{opt} S_{ij}^{opt} \rightarrow \min$$

с учетом ограничений:

$\sum_{ij} \alpha_j E_{ij}^{opt} \geq E^*$; α_j = весовой коэффициент, представляющий долю суммарного количества часов полета в системе, приходящихся на сектор j,

$$\sum P_{ij}^{opt} \leq P*$$
$$\sum_i S_{ij}^{opt} = 1; \quad S_{ij}^{opt} \in \{0, 1\}$$

3.4.1 Методы оптимизации используются аналогичным образом при решении задачи 4 этапа III. Однако в этом случае в качестве целевой функции используются суммарная величина затрат на внедрение и значение одного из показателей эффективности (или линейная комбинация обоих показателей), которое должно достичь максимальной величины при оптимальном выборе состава технических средств для каждого объекта системы.

3.4.2 Одним из существенных ограничений является ограничение по объему финансирования, который в полном объеме определяется на этапе разработки плана технической оснащенности.

Добавление 13

АНАЛИЗ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К БОКОВЫМ НАВИГАЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ В СИСТЕМЕ МАРШРУТОВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА (NOPAC) ПРИ ИНТЕРВАЛЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МАРШРУТОВ 50 М. МИЛЬ

1. При оценке навигационных характеристик, требуемых для обеспечения бокового разделения между соседними маршрутами северной части Тихого океана (NOPAC), Федеральное авиационное управление США (ФАУ) использовало хорошо знакомую модель риска столкновения Райха, описанную в *Руководстве по планированию обслуживания воздушного движения* (Doc 9426), часть II, раздел 2. Математические выкладки данного добавления соответствуют этому руководству.

2. Начальным шагом применения модели было определение соответствующих значений занятости. Оценки данных по NOPAC для 1985 года дали следующий результат: $P_x(same) = 7{,}73 \times 10^{-6}$ и $P_x(opp) = 9{,}59 \times 10^{-6}$. Используя соотношение $P_x = \frac{\lambda_x}{2S_x} E_y$, при продольном интервале S_x = 120 м. миль и длине самолета λ_x = 0,0382 м. мили, получим $E_y(same) = 0{,}049$ и $E_y(opp) = 0{,}060$. Соответствующие параметры скорости (все измерено в узлах) имеют следующие значения:

$$\left|\overline{\Delta V}\right| = 29;\ \left|\overline{\dot{y}(S)}\right| = 42{,}22;\ \left|\overline{\dot{z}(0)}\right| = 1{,}5 \text{ и } V = 480.$$

При этом средний размах крыла воздушного судна, λ_y, составлял 0,0351 м. мили, средняя высота, λ_z, – 0,0105 м. мили. В этом случае результирующее значение K_{same} получается 1 052,43 и K_{opp} = 13 238,3. Соотношение

$$\frac{E_y(same) \cdot K_{same} + E_y(opp) \cdot K_{opp}}{K_{same}} = E_y(same)_{equivalent}$$

приводит к величине $E_y(same)_{equivalent}$ = 0,806. Для учета имевшего место с 1985 по 1995 год роста интенсивности полетов аналитики приняли в качестве ежегодного прироста величину 6%. За десятилетний период такой ежегодный прирост приводит к общему росту в $(1{,}06)^{10}$ = 1,79. Поскольку в 1990 и 1991 годах наблюдался спад в росте движения, а также учитывая, что рост занятости идет с некоторым отставанием от роста движения, величина общего роста, вероятно, превысит ожидаемый на 1995 год уровень занятости эшелонов и, таким образом, это приведет к консервативной оценке риска в течение последующих нескольких лет полетов в NOPAC. Умножая значение $E_y(same)_{equivalent}$ 1985 года на повышающий коэффициент, получаем величину 1,44 для значения $E_y(same)_{equivalent}$ 1995 года. Чтобы

учесть небольшое количество встречного движения, в качестве $E_y(opp)_{equivalent}$ было взято значение, равное 1% от $E_y(same)_{equivalent}$, то есть 0, 014.

3. Как записано в *Руководстве по планированию ОВД* (часть II, раздел 2, глава 4, добавление C), число катастроф по причине потери планового бокового эшелонирования за 10 млн. часов налета определяется как

$$N_{ay} = 10^7 P_y(S) P_z(0) \frac{\lambda_x}{S_x} \left[E_y(same) \cdot K(same) + E_y(opp) \cdot K(opp) \right].$$

Для представления в этом основном уравнении $E_y(same)_{equivalent}$ и $E_y(opp)_{equivalent}$ аналитики ФАУ использовали значения $E_y(same)$ и $E_y(opp)$ 1995 года. Для $P_z(0)$ они выбрали значение 0,38, для остальных параметров правой части уравнения, за исключением $P_y(S)$, выбирались значения, приведенные выше. Выбирая для N_{ay} максимально приемлемое значение 0,2, они затем получали максимально приемлемое значение вероятности бокового перекрытия $P_y(S) = 9{,}66 \times 10^{-8}$.

4. В течение многих лет боковые ошибки самолетов моделировались как случайные переменные, распределенные по двойному двустороннему экспоненциальному (DDE) закону. Функция плотности вероятностей случайной переменной DDE имеет следующий вид:

$$f(y) = \frac{1-\alpha}{2\lambda_1} e^{\frac{-|y|}{\lambda_1}} + \frac{\alpha}{2\lambda_2} e^{\frac{-|y|}{\lambda_2}},$$

при этом параметры α, λ_1 и λ_2 удовлетворяют условиям $0 < \alpha < 1$ и $0 < \lambda_1 < \lambda_2$. Если два параллельных маршрута разделены расстоянием S, то вероятность того, что самолеты, которым назначены разные маршруты, имеют боковое перекрытие, составляет

$$P_y(S) = 2\lambda_y \left[\left(\frac{1-\alpha}{2\lambda_1} \right)^2 (\lambda_1 + S) e^{-\frac{S}{\lambda_1}} + \left(\frac{\alpha}{2\lambda_2} \right)^2 (\lambda_2 + S) e^{-\frac{S}{\lambda_2}} + \right.$$

$$\left. + \frac{\alpha(1-\alpha)}{2} \left(\frac{e^{-\frac{S}{\lambda_1}} + e^{-\frac{S}{\lambda_2}}}{\lambda_1 + \lambda_2} + \frac{e^{-\frac{S}{\lambda_2}} - e^{-\frac{S}{\lambda_1}}}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) \right].$$

Сумма, заключенная в квадратные скобки в правой части данного уравнения, состоит из трех членов, второй из которых, $\left(\frac{\alpha}{2\lambda_2} \right)^2 (\lambda_2 + S) e^{-\frac{S}{\lambda_2}}$, вносит очень малый вклад в общую величину. Первый член, $\left(\frac{1-\alpha}{2\lambda_1} \right) (\lambda_1 + S) e^{-\frac{S}{\lambda_1}}$, доминирует в сумме, если λ_1 больше, чем (приблизительно) $S/15$. Однако в сентябре 1992 года Рабочая группа A Группы экспертов по рассмотрению общей концепции эшелонирования (RGCSP) определила, что требуемые навигационные характеристики (RNP) для

океанических полетов должны быть установлены достаточно малыми, чтобы λ_1 была намного меньше, чем установленное значение (предпочтительно не более, чем *S*/18), и, таким образом, влияние первого члена стало бы пренебрежимо малым. То есть, если RNP меньше *S*/6, упомянутая сумма в скобках определяется почти исключительно членом $\frac{\alpha(1-\alpha)}{2}\left(\frac{e^{-\frac{S}{\lambda_1}}+e^{-\frac{S}{\lambda_2}}}{\lambda_1+\lambda_2}+\frac{e^{-\frac{S}{\lambda_2}}-e^{-\frac{S}{\lambda_1}}}{\lambda_2-\lambda_1}\right)$. Далее, поскольку α обычно довольно мало при малом λ_1, третий член может быть довольно точно аппроксимирован более простым выражением $\frac{\alpha}{\lambda_2}e^{-\frac{S}{\lambda_2}}$. В этом случае $P_y(S) \approx 2\lambda_y\frac{\alpha}{\lambda_2}e^{-\frac{S}{\lambda_2}}$. Выражение $\frac{e^{-\frac{S}{\lambda_2}}}{\lambda_2}$, являясь функцией λ_2, имеет один локальный максимум при $\lambda_2 = S$. Его значение составляет величину $\frac{1}{e\cdot S}$. При выборе $\lambda_2 = S$, α может быть консервативно выбрана таким образом, чтобы $\frac{P_y(S)\cdot e\cdot S}{2\lambda_y} = 0{,}000187$.

5. Как было отмечено выше, воздушные суда, использующие параллельные маршруты, разделенные на 50 м. миль, должны отвечать требованиям RNP 50/6 м. миль. Поскольку RGCSP предпочла выбор целых значений для RNP, аналитики ФАУ приняли для RNP этой системы маршрутов ближайшее меньшее целое, то есть 8 м. миль. Соответствующее значение λ_1 составит $\frac{8}{-\ln(0{,}05)} = 2{,}6705$. Таким образом, если боковые ошибки парка воздушных судов при полетах в данной системе маршрутов описываются плотностью DDE, ее параметры должны быть не хуже, чем $\alpha = 0{,}000187$, $\lambda_1 = 2{,}6705$ и $\lambda_2 = 50$.

6. Навигационные характеристики, требуемые для полетов в запланированной системе маршрутов, можно выразить в более простых терминах. Значение λ_1 соответствует стандартному отклонению обычных боковых ошибок, равному $\sqrt{2}\lambda_1$, или 3,78 м. мили. Характеристики больших ошибок также могут быть описаны проще. Например, в Североатлантическом воздушном пространстве минимальных навигационных характеристик (MNPS) воздушные суда могут находиться за пределами половины нормы эшелонирования (*S*/2) от центральной линии их маршрута только небольшую долю, η, от общего полетного времени, а в пределах некоторого заданного расстояния (например, 10 м. миль) от центральной линии соседнего маршрута – долю ζ полетного времени. Интегрируя определенную выше функцию плотности DDE между соответствующими пределами (то есть, оценивая функцию распределения DDE в соответствующих точках), аналитики ФАУ нашли значения η и ζ, а именно: $\eta = 1{,}994\cdot10^{-4} \approx 2{,}0\cdot10^{-4}$ и $\zeta = 2{,}802\cdot10^{-5} \approx 2{,}8\cdot10^{-5}$. В таблице А-13-1 суммированы два (эквивалентных) способа описания требований к навигационным характеристикам, предъявляемым к воздушным судам, совершающим полеты в NOPAC, при том условии, чтобы N_{ay}, то есть ожидаемое в этом регионе число летных происшествий за 10 млн. часов налета оставалось меньше, чем максимально приемлемое значение 0,2.

Таблица А-13-1. Два (эквивалентных) способа описания навигационных характеристик, требуемых для полетов в NOPAC

Распределение DDE	$\alpha = 0{,}000187$	$\lambda_1 = 2{,}67$ м. мили	$\lambda_2 = 50$ м. миль
Навигационные ограничения	RNP = 8 м. миль	$\eta = 2{,}0 \times 10^{-4}$	$\zeta = 2{,}8 \times 10^{-5}$

Добавление 14

ОЦЕНКА ЗАНЯТОСТИ И ЧАСТОТЫ ЛЕТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ВСЛЕДСТВИЕ НАРУШЕНИЯ ПЛАНОВОГО БОКОВОГО ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МАРШРУТОВ

1. ВВЕДЕНИЕ

Организованная система маршрутов региона Северной Атлантики (NAT OTS) включает в себя две группы однонаправленных маршрутов, формируемых на ежедневной основе с тем, чтобы поток воздушного движения, перемещающийся в восточном направлении, использовал преимущества струйного течения, а поток воздушного движения, перемещающийся в западном направлении, избегал встречи с ним. На практике NAT OTS функционирует как две системы, каждая из которых включает в себя порядка полудюжины параллельных маршрутов. При расчете занятости для каждой группы маршрутов специалисты проводят анализ информации о ходе полетов, в частности для четвертого и пятнадцатого дней каждого месяца. Они фиксируют число полетов, которые проходят через конкретную выбранную долготу (например, 30 или 40° з. д.), и время прохождения каждого полета через данную долготу. Если два воздушных судна, находящихся на одном эшелоне на соседних маршрутах, проходят выбранную долготу в пределах 15-минутного интервала друг от друга, то такие воздушные суда образуют "сближающуюся" пару. Без учета "произвольного" воздушного движения, которое не входит в круг вопросов, рассматриваемых в данном документе, занятость системы маршрутов определяется как удвоенное число сближающихся пар, деленное на число полетов, которые прошли через выбранную долготу. Следует особо подчеркнуть, что занятость определяется для полностью однонаправленной системы маршрутов. Несмотря на то что сортировка данных для определения занятости *конкретных пар соседних траекторий полета*, вероятно, не сопряжена с особыми трудностями, данные вычисления, как правило, не выполняются службами воздушного движения, которые готовят статистические данные по занятости. В данном добавлении впервые предлагается метод оценки занятости пар траекторий на основе значений занятости всей системы и относительного распределения воздушного движения по траекториям полета системы. Полученные оценки занятости пар траекторий используются затем для получения выражений, определяющих частоту летных происшествий для пар траекторий, а также для отдельных траекторий полета, эшелонов полета и маршрутов. В данном добавлении приведены весовые коэффициенты, которые необходимо использовать при суммировании числа летных происшествий на час полета, а также показано, что значения частоты летных происшествий, полученные для отдельных траекторий, пар траекторий, эшелонов полета и маршрутов, соответствуют значениям частоты летных происшествий, вычисленным (по модели Райха) для всей системы.

2. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ

2.1 Примем, что однонаправленная система параллельных океанических маршрутов включает n маршрутов, $R_1 \ldots R_n$, расположенных на одних и тех же m эшелонах полета, $L_1 \ldots L_m$. Обозначим через

$P_{i,j}$ траекторию полета, принадлежащую маршруту R_j на эшелоне полета L_i. Примем, что среднее время, необходимое воздушному судну для пересечения океанического воздушного пространства, не меняется в зависимости от заданного маршрута полета воздушного судна, и обозначим это время как T (часы).

2.2 Обозначим через O занятость всей системы, через f – число полетов, проходящих через выбранную долготу, а через p – число сближающихся пар. Тогда для вычисления занятости (без учета произвольного воздушного движения) используется уравнение $O = \frac{2p}{f}$. Данные расчета занятости, как правило, показывают фактические значения f и p, а также величину O, вычисленную на основе этих значений.

2.3 Следует отметить, что в добавлении 13 рассмотрен другой метод расчета занятости, а именно метод, изложенный в *Руководстве по обслуживанию воздушного движения* (Doc 9426). В документе Doc 9426 занятость определяется как удвоенное отношение времени сближения в системе маршрутов к полетному времени в системе маршрутов, однако нетрудно заметить, что данное определение практически идентично определению, приведенному в пунктах 1.1 и 2.2. Согласно принципу "моментального кадра обстановки" (допущение однородности, которое положено в основу теории риска столкновения для систем параллельных маршрутов) число наблюдаемых пар воздушных судов, p, одно и то же в любой точке наблюдения в системе маршрутов (однако конкретные пары, наблюдаемые в одной точке, необязательно являются парами, наблюдаемыми в другой точке). Так как T обозначает количество часов, необходимое для пересечения океанического воздушного пространства по любому из маршрутов системы, то для периода наблюдения время сближения составляет pT часов, а время полета в системе – fT часов. Таким образом, удвоенное отношение времени сближения к летному времени имеет вид: $\frac{2pT}{fT}$, или $\frac{2p}{f}$ (что и требовалось доказать).

2.4 Для случая находящейся на одной высоте пары соседних линий пути $P_{i,j}$ and $P_{i,j+1}$ ($1 \le i \le m$, $1 \le j \le n-1$) обозначим их занятость как $O_{i,j}$. Нам неизвестно количество полетов по каждой траектории полета, однако, несмотря на это, мы можем присвоить буквенное обозначение этой величине. Примем, что $f_{i,j}$ обозначает число полетов, проходящих через выбранную долготу и принадлежащих траектории $P_{i,j}$ ($1 \le i \le m$, $1 \le j \le n$), а через $p_{i,j}$ обозначим число сближающихся пар, включающих одно воздушное судно с траектории $P_{i,j}$ и одно воздушное судно с траектории $P_{i,j+1}$ ($1 \le i \le m$, $1 \le j \le n-1$). Несмотря на то что нам неизвестны численные значения $f_{i,j}$ и $p_{i,j}$, мы знаем, что каждый полет привязан точно к одной траектории, так что $f = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} f_{i,j}$, и что каждая сближающаяся пара точно принадлежит одной паре соседних траекторий, так что $p = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} p_{i,j}$.

3. ОЦЕНКА ЗАНЯТОСТИ КОНКРЕТНОЙ ПАРЫ ТРАЕКТОРИЙ ПОЛЕТА

3.1 Ограничив расчеты конкретной парой соседних траекторий, находящихся на одном эшелоне полета, $P_{k,l}$ и $P_{k,l+1}$, вычисляем занятость пары как удвоенное число сближающихся пар (воздушных

судов), включающих по одному воздушному судну с каждой траектории полета, деленное на общее количество полетов, выполняемых по данным двум траекториям. То есть:

$$O_{k,l} = \frac{2p_{k,l}}{f_{k,l} + f_{k,l+1}} = \frac{2p_{k,l}}{f} \cdot \frac{f}{f_{k,l} + f_{k,l+1}},$$

при условии, что ни $f_{k,l}$, ни $f_{k,l+1}$ не равно нулю. Если обе эти величины равны нулю, то берем значение $O_{k,l}$ равное нулю, так как бессмысленно принимать ненулевую занятость для пары траекторий полета, на которых отсутствует воздушное движение.

3.2 Несмотря на отсутствие эмпирических данных по $p_{i,j}$, мы можем, однако, сделать обоснованное допущение, касающееся их распределения. Предполагается, что $p_{k,l}$, число сближающихся пар воздушных судов, принадлежащих траекториям $P_{k,l}$ и $P_{k,l+1}$, должно быть пропорционально $f_{k,l} \cdot f_{k,l+1}$, произведению уровней интенсивности воздушного движения на данных двух траекториях. В частности, принимаем, что $p_{k,l} = \frac{f_{k,l} \cdot f_{k,l+1}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} f_{i,j} \cdot f_{i,j+1}} \cdot p$. Если $f_{k,l} = 0$ или $f_{k,l+1} = 0$, тогда и $p_{k,l}$ должно быть равно 0, и в этом случае $O_{k,l}$ также должно быть равно 0, что соответствует нашему интуитивному предположению о том, что пара траекторий имеет нулевую занятость, если на любой из этих траекторий отсутствует воздушное движение. Далее в рамках данного добавления принимаем, что ни $f_{k,l}$, ни $f_{k,l+1}$ не равно нулю.

3.3 Допущение относительно пропорциональности, принятое в последнем пункте, представляет собой приближение, точность которого должна быть определена с помощью эмпирических исследований. В частности, следует отметить, что в любой подборке данных число сближающихся пар, $p_{i,j}$, будет целым числом, однако нет гарантии, что формула для $p_{k,l}$ даст целое число. Однако данная формула удовлетворяет консервативному критерию, представленному в виде последнего уравнения в предыдущем разделе:

$$\sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{n-1} p_{k,l} = \sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{n-1}\left(\frac{f_{k,l} \cdot f_{k,l+1}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} f_{i,j} \cdot f_{i,j+1}} \cdot p\right) = p \cdot \left(\frac{\sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{n=1} f_{k,l} \cdot f_{k,l+1}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} f_{i,j} \cdot f_{i,j+1}}\right) = p \cdot 1 = p.$$

3.4 Для определения выражения для $O_{k,l}$ через O вводим упрощенную систему обозначений. Для каждой пары $P_{i,j}$ принимаем, что $r_{i,j}$ обозначает отношение $\frac{f_{i,j}}{f}$. В этом случае каждое значение $r_{i,j}$ представляет собой долю воздушного движения в системе маршрутов, приходящуюся на траекторию $P_{i,j}$, тогда:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} r_{i,j} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} \frac{f_{i,j}}{f} = \frac{1}{f}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} f_{i,j} = \frac{f}{f} = 1.$$

С учетом выражения для $O_{k,l}$, приведенного в пункте 3.1, и используя новую систему обозначений, представим коэффициент $\frac{f}{f_{k,l}+f_{k,l+1}}$ в следующем виде: $\frac{1}{\frac{f_{k,l}}{f}+\frac{f_{k,l+1}}{f}}=\frac{1}{r_{k,l}+r_{k,l+1}}$. Воспользуемся также преимуществами данной системы обозначений, чтобы представить число сближающихся пар, принадлежащих каждой паре траекторий, следующим образом:

$$p_{k,l}=\frac{f_{k,l}\cdot f_{k,l+1}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} f_{i,j}\cdot f_{i,j+1}}\cdot p=\frac{\frac{f_{k,l}}{f}\cdot\frac{f_{k,l+1}}{f}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1}\frac{f_{i,j}}{f}\cdot\frac{f_{i,j+1}}{f}}\cdot p=\frac{r_{k,l}\cdot r_{k,l+1}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j}\cdot r_{i,j+1}}\cdot p.$$

По меньшей мере одна пара соседних траекторий должна иметь воздушное движение на обеих входящих в нее траекториях (в противном случае отсутствует параметр занятости для вычисления), поэтому в знаменателе, хотя бы один член $r_{i,j}\cdot r_{i,j+1}$ должен быть положительным и должна быть уверенность, что знаменатель не равен нулю.

3.5 Теперь можно подставить выражения, выведенные в последних трех пунктах, в выражение для $O_{k,l}$, приведенное в пункте 3.1. Находим, что:

$$O_{k,l}=2\cdot\frac{r_{k,l}\cdot r_{k,l+1}p}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j}\cdot r_{i,j+1}}\cdot\frac{1}{f}\cdot\frac{1}{r_{k,l}+r_{k,l+1}}=\frac{r_{k,l}\cdot r_{k,l+1}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j}\cdot r_{i,j+1}}\cdot\frac{1}{r_{k,l}+r_{k,l+1}}\cdot\frac{2p}{f}.$$

3.6 И наконец, с учетом того, что согласно пункту 2.2 выражение $\frac{2p}{f}$ представляет собой занятость O, вычисленную для всей системы маршрутов, записываем следующее выражение:

$$O_{k,l}=\frac{r_{k,l}\cdot r_{k,l+1}}{\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j}\cdot r_{i,j+1}\right)\cdot\left(r_{k,l}+r_{k,l+1}\right)}\cdot O.$$

3.7 Для упрощения системы обозначений принимаем, что:

$$M_{k,l}=\frac{r_{k,l}\cdot r_{k,l+1}}{\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j}\cdot r_{i,j+1}\right)\cdot\left(r_{k,l}+r_{k,l+1}\right)}$$

для случая, когда ни $r_{k,l}$, ни $r_{k,l+1}$ не равно нулю. Назовем $M_{k,l}$ показателем занятости пары траекторий, $P_{k,l}$ и $P_{k,l+1}$, и, используя данное обозначение, запишем $O_{k,l}=M_{k,l}\cdot O$. Таким образом, $M_{k,l}$ представляет собой отношение занятости пары траекторий ($P_{k,l}$, $P_{k,l+1}$) к занятости всей системы маршрутов.

3.8 Представление $O_{k,l}$ в виде $M_{k,l} \cdot O$ может быть целесообразным, так как определив O, занятость всей системы маршрутов, можно затем оценить занятость любой пары соседних маршрутов, даже не зная соответствующего числа сближающихся пар или количества полетов, выполняемых по каждой траектории. Для этого нам необходимо иметь лишь оценку доли воздушного движения, $r_{i,j}$, приходящегося на каждую траекторию. В одном случае значения этих долей могут быть получены на основе данных полетных планов; в другом – достаточно гипотетических данных.

4. ЧИСЛЕННЫЕ ПРИМЕРЫ

4.1 Если mn, количество траекторий, не является относительно малым числом, то расчет показателя $M_{k,l}$ может быть достаточно трудоемким, по крайней мере, если для расчетов не используются вычислительные средства. Есть, однако, пара вариантов, для которых результаты могут быть быстро получены даже без использования вычислительных средств.

4.2 Предположим, например, что все воздушное движение сконцентрировано только на двух соседних траекториях, $P_{k,l}$ and $P_{k,l+1}$. В этом случае единственными не равными нулю значениями $r_{i,j}$ являются значения $r_{k,l}$, $r_{k,l+1}$ и $r_{k,l} + r_{k,l+1} = 1$. Для любой пары (i,j), отличной от (k,l), $Oi,j = 0$. Сумма $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}$ имеет только один не равный нулю член, а именно: $r_{k,l} \cdot r_{k,l+1}$, и, таким образом, $M_{k,l} = \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+1}}{\left(r_{k,l} \cdot r_{k,l+1}\right) \cdot 1} = 1$, что согласуется с нашим интуитивным выводом о том, что когда все воздушное движение приходится только на одну пару соседних маршрутов, то занятость для данной пары маршрутов представляет собой общую занятость O.

4.3 В таблице А-14-1 представлена электронная таблица для вычисления показателей $M_{k,l}$ для системы маршрутов, состоящей из четырех маршрутов на каждом из трех эшелонов полета. Не считая двух исключений, все значения, приведенные в колонке "r(i,j)", показывающие долю воздушного движения на каждой траектории, равны нулю. Исключение составляют маршруты R_2 и R_3 на эшелоне полета L_2. На траекторию $P_{2,2}$ приходится 30% воздушного движения в системе, тогда как на траекторию $P_{2,3}$ приходятся остальные 70%. Электронная таблица выдает показатель занятости, равный 1, для этой пары траекторий полета, а для всех других коэффициентов выдает код "NA" ("не применимо").

4.4 Гораздо более интересный случай имеет место при предположении, что воздушное движение равномерно распределено по всем mn траекториям полета. В этом случае каждое значение $r_{i,j} = \frac{1}{mn}$ и, таким образом,

$$M_{k,l} = \frac{\frac{1}{mn} \cdot \frac{1}{mn}}{\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} \frac{1}{mn} \cdot \frac{1}{mn}\right) \cdot \left(\frac{1}{mn} + \frac{1}{mn}\right)} = \frac{\left(\frac{1}{mn}\right)^2}{m(n-1) \cdot \left(\frac{1}{mn}\right)^2 \cdot \frac{2}{mn}} = \frac{1}{m(n-1) \cdot \frac{2}{mn}} = \frac{n}{2(n-1)}$$

для каждой пары траекторий $P_{k,l}$ и $P_{k,l+1}$, то есть для каждой пары соседних траекторий полета на одном эшелоне полета. Следует отметить, что данное выражение для $M_{k,l}$ не зависит от количества эшелонов полета m в системе и что по мере увеличения n $M_{k,l}$ достигает 1/2 приведенного выше значения.

4.5 В таблице А-14-2 представлена электронная таблица, аналогичная приведенной в таблице А-14-1, однако все значения в колонке "r(i,j)" имеют величину 1/12 = 0,0833, соответствующую доле воздушного движения, приходящегося на каждую траекторию полета при равномерном распределении воздушного движения по всем 12 траекториям полета. Так как n, число маршрутов, равно 4, то согласно выражению, полученному в последнем пункте, все коэффициенты должны быть равны $\frac{4}{2(4-1)} = \frac{2}{3}$; и действительно, таблица А-14-2 показывает, что все вычисленные по электронной таблице показатели занятости составляют 0,6667.

4.6 Эмпирические исследования в конечном итоге могут показать, что для определенных распределений воздушного движения приведенное (в пункте 3.2) допущение относительно пропорциональности не обеспечит точного описания распределения сближающихся пар. Однако данное допущение *должно* обеспечивать точность для случая равномерного распределения воздушного движения. Если на все траектории полета приходится одна и та же нагрузка, то согласно данному допущению каждая пара соседних траекторий создает одно и то же число сближающихся пар воздушных судов. И это неудивительно. Ввиду того что теоретические исследования рассматривают число сближающихся пар, создаваемых парой траекторий полета, исключительно как функцию нагрузки по воздушному движению на данные траектории, то отсюда следует, что во всех случаях, когда на все траектории приходится одинаковая нагрузка, каждая пара траекторий должна создавать одно и то же число сближающихся пар воздушных судов, независимо от конкретной формы функции. А именно, если g обозначает функцию, то $p_{i,j} = g(f_{i,j}, f_{i,j+1})$ для $1 \le i \le m$, $1 \le j \le n-1$. Если воздушное движение распределено равномерно, то все $f_{i,j}$ and $f_{i,j+1}$ имеют одну и ту же величину, а именно $\frac{f}{mn}$, и поэтому все значения $p_{i,j} = g\left(\frac{f}{mn}, \frac{f}{mn}\right)$. Поэтому $p = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} p_{i,j} = m(n-1)\cdot g\left(\frac{f}{mn}, \frac{f}{mn}\right)$, и, таким образом, получаем выражение: $p_{i,j} = g\left(\frac{f}{mn}, \frac{f}{mn}\right) = \frac{p}{m(n-1)}$, которое не зависит ни от i, ни от j.

4.7 В таблице А-14-3 приведена электронная таблица, аналогичная электронным таблицам, приведенным в таблицах А-14-1 и А-14-2, но для типового распределения воздушного движения. На эшелон полета L_1 приходится 1/4 воздушного движения, на эшелон полета L_2 приходится 5/12, а на эшелон полета L_3 приходится оставшаяся 1/3 воздушного движения. На каждом эшелоне полета на маршрут R_1 приходится 1/12 воздушного движения, на маршрут R_2 – 1/3 воздушного движения, на маршрут R_3 – 5/12, а на маршрут R_4 – оставшаяся 1/6 воздушного движения. Коэффициенты занятости, вычисленные с помощью электронных таблиц, включают значения от минимального 0,2033 для пары траекторий ($P_{1,1}$, $P_{1,2}$) до максимального 0,9412 для пары траекторий ($P_{2,2}$, $P_{2,3}$).

4.8 В рассмотренных примерах значение $M_{k,l}$ было меньше или равно 1, однако для общего случая данное положение не работает. В действительности согласно определению, приведенному в пункте 3.7,

Таблица А-14-1. Вычисление коэффициентов занятости для системы из четырех маршрутов на трех эшелонах полета для распределения воздушного движения согласно колонке "r(i,j)"

Эшелон полета i	Маршрут j	r(i,j)	r(i,j)* r(i,j+1)	M(i,j)	Пара траекторий
1	1	0,0000	0,0000	NA	L1, R1 & R2
1	2	0,0000	0,0000	NA	L1, R2 & R3
1	3	0,0000	0,0000	NA	L1, R3 & R4
1	4	0,0000			
2	1	0,0000	0,0000	NA	L2, R1 & R2
2	2	0,3000	0,2100	1,0000	L2, R2 & R3
2	3	0,7000	0,0000	NA	L2, R3 & R4
2	4	0,0000			
3	1	0,0000	0,0000	NA	L3, R1 & R2
3	2	0,0000	0,0000	NA	L3, R2 & R3
3	3	0,0000	0,0000	NA	L3, R3 & R4
3	4	0,0000			
	Сумма:	1,0000	0,2100		

Таблица А-14-2. Вычисление коэффициентов занятости для системы из четырех маршрутов на трех эшелонах полета для распределения воздушного движения согласно колонке "r(i,j)"

Эшелон полета i	Маршрут j	r(i,j)	r(i,j)* r(i,j+1)	M(i,j)	Пара траекторий
1	1	0,0833	0,0069	0,6667	L1, R1 & R2
1	2	0,0833	0,0069	0,6667	L1, R2 & R3
1	3	0,0833	0,0069	0,6667	L1, R3 & R4
1	4	0,0833			
2	1	0,0833	0,0069	0,6667	L2, R1 & R2
2	2	0,0833	0,0069	0,6667	L2, R2 & R3
2	3	0,0833	0,0069	0,6667	L2, R3 & R4
2	4	0,0833			
3	1	0,0833	0,0069	0,6667	L3, R1 & R2
3	2	0,0833	0,0069	0,6667	L3, R2 & R3
3	3	0,0833	0,0069	0,6667	L3, R3 & R4
3	4	0,0833			
	Сумма:	1,0000	0,0625		

$M_{k,l} \geq 1$ тогда и только тогда, когда $\frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+1}}{r_{k,l} + r_{k,l+1}} \geq \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}$. В таблице А-14-4 показано распределение воздушного движения, полученное на основе данных таблицы А-14-3 путем перемещения воздушного движения с одной траектории полета на другую. В частности, воздушное движение, следующее по траекториям $P_{1,2}$, $P_{1,4}$, $P_{3,1}$ и $P_{3,3}$, было соответственно перемещено на траектории $P_{1,1}$, $P_{1,3}$,

$P_{3,2}$ и $P_{3,4}$ так, чтобы все шесть пар соседних траекторий полета на эшелонах полета L_1 и L_3 имели нулевую занятость. Как видно из колонки "r(i,j)*r(i,j+1)", все три произведения $r_{1,j} \cdot r_{1,j+1}$ равны нулю, так же, как и три произведения $r_{3,j} \cdot r_{3,j+1}$. Сумма $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}$ меньше, чем $\frac{r_{2,2} \cdot r_{2,3}}{r_{2,2} + r_{2,3}}$ и $\frac{r_{2,3} \cdot r_{2,4}}{r_{2,3} + r_{2,4}}$, и, таким образом, $M_{2,2}$ = 1,8824, а $M_{2,3}$ = 1,2101 и оба этих значения больше 1.

5. ЧАСТОТА ЛЕТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ДЛЯ ПАР СОСЕДНИХ ТРАЕКТОРИЙ ПОЛЕТА

5.1 Принимаем, что $a_{k,l}$ обозначает ожидаемую частоту летных происшествий для пары траекторий полета $P_{k,l}$ и $P_{k,l+1}$. В модели Райха для риска столкновения вследствие нарушения планового бокового эшелонирования представляем $a_{k,l}$ как произведение 5 факторов: 1) вероятность того, что два воздушных судна, которым заданы соседние траектории полета, фактически имеют перекрытие в боковом измерении; 2) вероятность того, что два воздушных судна, которым задан один и тот же эшелон полета, имеют перекрытие в вертикальном измерении; 3) вероятность того, что два сближающихся (согласно пункту 1.1) воздушных судна имеют перекрытие в продольном измерении; 4) суммарное время, необходимое воздушным судам, чтобы пройти мимо друг друга по всем трем физическим измерениям; 5) занятость, $O_{k,l}$, пары траекторий $P_{k,l}$ и $P_{k,l+1}$. Частота летных происшествий $a_{k,l}$ выражается как число летных происшествий на час полета.

5.2 В рамках данной дискуссии не рассматриваются изменения, относящиеся к первым четырем факторам, приведенным в пункте 5.1, и поэтому принимается, что все пары траекторий полета инвариантны к указанным изменениям. Поэтому в данном разделе можно использовать упрощенную систему обозначений и представить произведение первых четырех факторов в виде постоянной C. Таким образом, для каждой пары траекторий $P_{k,l}$ и $P_{k,l+1}$ $a_{k,l} = C \cdot O_{k,l}$. На основе результатов, приведенных в разделе 3, представим данное выражение в виде:

$$a_{k,l} = C \cdot O \cdot M_{k,l} = C \cdot O \cdot \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+1}}{\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}\right) \cdot (r_{k,l} + r_{k,l+1})}.$$

Так как $C \cdot O$ представляет собой частоту летных происшествий для всей системы (выраженную через число летных происшествий на летный час), то $M_{k,l}$ также представляет собой отношение частоты летных происшествий для пары траекторий ($P_{k,l}$, $P_{k,l+1}$) к аналогичному отношению для всей системы. Представляется также целесообразным представить выражение для $a_{k,l}$ еще в одной форме, а именно как:

$$ak,l \cdot (rk,l + rk,l+1) = C \cdot O \cdot \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+1}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}}.$$

5.3 Обозначим время, необходимое типичному воздушному судну, чтобы пересечь океаническое воздушное пространство в системе маршрутов, через T. В течение 24-часового периода, принятого для определения занятости, $f_{k,l}$ воздушных судов, следующих по траектории $P_{k,l}$, формируют $T \cdot f_{k,l}$ летных часов. Таким образом, траектория $P_{k,l}$ испытывает нагрузку по воздушному движению, составляющую

Таблица А-14-3. Вычисление коэффициентов занятости для системы из четырех маршрутов на трех эшелонах полета для распределения воздушного движения согласно колонке "r(i,j)"

Эшелон полета i	Маршрут j	r(i,j)	r(i,j)* r(i,j+1)	M(i,j)	Пара траекторий
1	1	0,0208	0,0017	0,2033	L1, R1 & R2
1	2	0,0833	0,0087	0,5647	L1, R2 & R3
1	3	0,1042	0,0043	0,3630	L1, R3 & R4
1	4	0,0417			
2	1	0,0347	0,0048	0,3388	L2, R1 & R2
2	2	0,1389	0,0241	0,9412	L2, R2 & R3
2	3	0,1736	0,0121	0,6050	L2, R3 & R4
2	4	0,0694			
3	1	0,0278	0,0031	0,2711	L3, R1 & R2
3	2	0,1111	0,0154	0,7529	L3, R2 & R3
3	3	0,1389	0,0077	0,4840	L3, R3 & R4
3	4	0,0556			
	Сумма:	1,0000	0,0820		

Таблица А-14-4. Вычисление коэффициентов занятости для системы из четырех маршрутов на трех эшелонах полета для распределения воздушного движения согласно колонке "r(i,j)"

Эшелон полета i	Маршрут j	r(i,j)	r(i,j)* r(i,j+1)	M(i,j)	Пара траекторий
1	1	0,1042	0,0000	NA	L1, R1 & R2
1	2	0,0000	0,0000	NA	L1, R2 & R3
1	3	0,1458	0,0000	NA	L1, R3 & R4
1	4	0,0000			
2	1	0,0347	0,0048	0,6776	L2, R1 & R2
2	2	0,1389	0,0241	1,8824	L2, R2 & R3
2	3	0,1736	0,0121	1,2101	L2, R3 & R4
2	4	0,0694			
3	1	0,0000	0,0000	NA	L3, R1 & R2
3	2	0,1389	0,0000	NA	L3, R2 & R3
3	3	0,0000	0,0000	NA	L3, R3 & R4
3	4	0,1944			
	Сумма:	1,0000	0,0410		

$\frac{T \cdot f_{k,l}}{24}$ летных часов на час. Аналогично траектория $P_{k,l+1}$ испытывает нагрузку по воздушному движению, составляющую $\frac{T \cdot f_{k,l+1}}{24}$ летных часов на час, и поэтому (общая) нагрузка двух траекторий по воздушному движению составляет $\frac{T}{24} \cdot (f_{k,l} + f_{k,l+1}) \frac{\text{летные часы}}{\text{час}}$. В результате частоту летных происшествий для пары траекторий $P_{k,l}$ и $P_{k,l+1}$ можно представить как:

$$a_{k,l} \frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}} \cdot \frac{T}{24} \cdot (f_{k,l} + f_{k,l+1}) \frac{\text{летные часы}}{\text{час}} = \frac{T}{24} \cdot a_{k,l} \cdot (f_{k,l} + f_{k,l+1}) \frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}.$$

5.4 При представлении частоты летных происшествий через число летных происшествий на час можно суммировать значения частоты летных происшествий для любых двух пар траекторий для получения общей частоты летных происшествий (также через число летных происшествия на час) для этих двух пар. Таким образом, например, находим, что общая частота летных происшествий для пар траекторий ($P_{1,2}$, $P_{1,3}$) и ($P_{3,3}$, $P_{3,4}$) составляет:

$$\frac{T}{24} \cdot a_{1,2} \cdot (f_{1,2} + f_{1,3}) \frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}} + \frac{T}{24} \cdot a_{3,3} \cdot (f_{3,3} + f_{3,4}) \frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}} =$$

$$= \frac{T}{24} \left[a_{1,2}(f_{1,2} + f_{1,3}) + a_{3,3}(f_{3,3} + f_{3,4}) \right] \frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}.$$

В более общей форме можно сказать, что суммарную частоту летных происшествий для всех пар в группе пар траекторий полета можно определить простым суммированием значений частоты летных происшествий (выраженных как число летных происшествий на час) для пар траекторий, входящих в данную группу траекторий.

5.5 Затем общую частоту летных происшествий, выраженную через число летных происшествий на час, можно представить через число летных происшествий на летный час. В примере, приведенном в последнем пункте, пары траекторий ($P_{1,2}$, $P_{1,3}$) и ($P_{3,3}$, $P_{3,4}$) были задействованы на протяжении $T(f_{1,2} + f_{1,3} + f_{3,3} + f_{3,4})$ летных часов в течение 24-часового периода, используемого для определения занятости, поэтому их нагрузка по воздушному движению составляет: $\frac{T}{24}(f_{1,2} + f_{1,3} + f_{3,3} + f_{3,4}) \frac{\text{летные часы}}{\text{час}}$. При представлении в традиционных единицах общая частота летных происшествий для двух пар траекторий составляет:

$$\frac{\frac{T}{24} \left[a_{1,2}(f_{1,2} + f_{1,3}) + a_{3,3}(f_{3,3} + f_{3,4}) \right] \frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}}{\frac{T}{24}(f_{1,2} + f_{1,3} + f_{3,3} + f_{3,4}) \frac{\text{летные часы}}{\text{час}}} =$$

$$= \frac{a_{1,2}(f_{1,2} + f_{1,3}) + a_{3,3}(f_{3,3} + f_{3,4})}{f_{1,2} + f_{1,3} + f_{3,3} + f_{3,4}} \frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}},$$

и, разделив числитель и знаменатель данного выражения на f, частоту летных происшествий можно представить в виде:

$$\frac{a_{1,2}(r_{1,2}+r_{1,3})+a_{3,3}(r_{3,3}+r_{3,4})}{r_{1,2}+r_{1,3}+r_{3,3}+r_{3,4}} \frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}.$$

5.6 Аналогично частота летных происшествий для всех эшелонов полета L_k составляет:

$$\frac{\sum_{j=1}^{n-1} a_{k,j}(r_{k,j}+r_{k,j+1})}{\sum_{j=1}^{n} r_{k,j}} \frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}},$$

а частота летных происшествий для пары маршрутов (R_l, R_{l+1}) составляет:

$$\frac{\sum_{i=1}^{m} a_{i,l}(r_{i,l}+r_{i,l+1})}{\sum_{i=1}^{m}(r_{i,l}+r_{i,l+1})} \frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}.$$

Следует отметить, что в данном выражении для L_k знаменатель показывает поток воздушного движения по каждой траектории как учтенный только один раз, даже если все траектории, кроме самых крайних, принадлежат двум парам траекторий.

5.7 И наконец, представляем частоту летных происшествий всей системы как число летных происшествий на час в виде:

$$\frac{T}{24}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} a_{i,j}(f_{i,j}+f_{i,j+1}) \frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}.$$

В течение 24-часового периода, используемого для определения занятости, система нарабатывает Tf летных часов, что соответствует интенсивности воздушного движения $\frac{T}{24}\frac{\text{летные часы}}{\text{час}}$. При представлении в традиционных единицах измерения частота летных происшествий для всей системы маршрутов составляет:

$$\frac{\frac{T}{24}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1}a_{i,j}(f_{i,j}+f_{i,j+1})\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}}{\frac{Tf}{24}\frac{\text{летные часы}}{\text{час}}}=\frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1}a_{i,j}(f_{i,j}+f_{i,j+1})}{f}\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}=$$

$$=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1}a_{i,j}\left(\frac{f_{i,j}}{f}+\frac{f_{i,j+1}}{f}\right)\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1}a_{i,j}(r_{i,j}+r_{i,j+1})\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}=$$

$$=\sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{n-1}a_{k,l}(r_{k,l}+r_{k,l+1})\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}.$$

Однако из пункта 5.2 известно, что каждый член $a_{k,l}\cdot(r_{k,l}+r_{k,l+1})=C\cdot O\cdot\dfrac{r_{k,l}\cdot r_{k,l+1}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1}r_{i,j}\cdot r_{i,j+1}}$.

Подставляя данное выражение в сумму, находим, что частота летных происшествий для всей системы маршрутов составляет:

$$\sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{n-1}C\cdot O\cdot\frac{r_{k,l}\cdot r_{k,l+1}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1}r_{i,j}\cdot r_{i,j+1}}=C\cdot O\cdot\frac{\sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{n-1}r_{k,l}\cdot r_{k,l+1}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1}r_{i,j}\cdot r_{i,j+1}}=C\cdot O\cdot 1=C\cdot O,$$

что точно соответствует результату, ожидаемому при использовании модели Райха. Таким образом, мы находим, что формулы, выведенные выше для определения частоты летных происшествий для пар траекторий полета или групп пар траекторий полета, соответствуют принятой модели.

6. ЧАСТОТА ЛЕТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ПОЛЕТА

6.1 Траектории полета $P_{k,1}$ и $P_{k,n}$ являются крайними на эшелоне полета L_k, поэтому каждая из них имеет только одну смежную траекторию полета на данном эшелоне полета. Воздушные суда, следующие по траектории $P_{k,1}$, подвержены риску столкновения с воздушными судами, следующими по траектории $P_{k,2}$, тогда как воздушные суда, следующие по траектории $P_{k,n}$, подвержены риску столкновения с воздушными судами, следующими по траектории $P_{k,n-1}$. Если $2 \le l \le n-1$, то воздушные суда, следующие по траектории $P_{k,l}$, подвержены риску столкновения с воздушными судами, находящимися на двух соседних траекториях полета $P_{k,l-1}$ и $P_{k,l+1}$.

6.2 Частота летных происшествий для пары траекторий ($P_{k,1}$, $P_{k,2}$) составляет: $a_{k,1}\dfrac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}$. Как было показано в пункте 5.3, данная частота летных происшествий может быть представлена в виде: $\dfrac{T}{24}\cdot a_{k,1}\cdot(f_{k,1}+f_{k,2})\dfrac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}$. Каждое столкновение вследствие нарушения планового бокового эшелонирования рассматривается как два летных происшествия, каждое из которых включает воздушное судно, которому задана одна из соответствующих

траекторий. Поэтому частота летных происшествий для траектории $P_{k,1}$ составляет $\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\cdot a_{k,1}\cdot(f_{k,1}+f_{k,2})\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}$. На траекторию $P_{k,1}$ в течение 24-часового периода приходится $T\cdot f_{k,1}$ летных часов, или $\frac{T\cdot f_{k,1}}{24}\frac{\text{летные часы}}{\text{час}}$, и, таким образом, частота летных происшествий для данной траектории, представленная в традиционных единицах, составляет:

$$\frac{\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\cdot a_{k,1}\cdot(f_{k,1}+f_{k,2})\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}}{\frac{T}{24}\cdot f_{k,1}\frac{\text{летные часы}}{\text{час}}}=\frac{a_{k,1}\cdot(f_{k,1}+f_{k,2})}{2f_{k,1}}\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}.$$

Разделив числитель и знаменатель на f, записываем частоту летных происшествий для траектории $P_{k,1}$ как:

$$\frac{a_{k,1}\cdot(r_{k,1}+r_{k,2})}{2r_{k,1}}\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}.$$

Используя аналогичную систему рассуждений, находим, что часовая частота летных происшествий для траектории $P_{k,n}$ составляет

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\cdot a_{k,n-1}\cdot(f_{k,n-1}+f_{k,n})\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}},$$

тогда как в традиционных единицах значение частоты летных происшествий (на летный час) составляет:

$$\frac{a_{k,n-1}\cdot(r_{k,n-1}+r_{k,n})}{2r_{k,n}}\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}.$$

6.3 Если $2 \le l \le n-1$, то летные происшествия на траектории $P_{k,l}$ (вследствие нарушения планового бокового эшелонирования) обусловлены столкновениями следующих по этой траектории полета воздушных судов с воздушными судами, которым заданы соседние траектории $P_{k,l-1}$ и $P_{k,l+1}$. Пары траекторий ($P_{k,l-1}$, $P_{k,l}$) и ($P_{k,l}$, $P_{k,l+1}$) имеют соответствующую часовую частоту летных происшествий $a_{k,l-1}$ и $a_{k,l}$, которая может быть преобразована (как в пункте 5.3) в соответствующую часовую частоту летных происшествий $\frac{T}{24}\cdot a_{k,l-1}(f_{k,l-1}+f_{k,l})\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}$ и $\frac{T}{24}\cdot a_{k,l}(f_{k,l}+f_{k,l+1})\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}$. Каждое столкновение, включающее воздушные суда, которым задана любая из этих пар траекторий, приводит к летному происшествию, в котором участвует воздушное судно, которому задана траектория $P_{k,l}$, и, таким образом, часовая частота летных происшествий для траектории $P_{k,l}$ составляет:

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\cdot a_{k,l-1}(f_{k,l-1}+f_{k,l})\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}+\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\cdot a_{k,l}(f_{k,l}+f_{k,l+1})\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}=$$

$$=\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\left[a_{k,l-1}(f_{k,l-1}+f_{k,l})+a_{k,l}(f_{k,l}+f_{k,l+1})\right]\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}.$$

Так как на траекторию $P_{k,l}$ приходится $\frac{Tf_{k,l}}{24}$ летных часов на час, то частота летных происшествий для данной траектории, представленная как число летных происшествий на летный час, может быть представлена выражением:

$$\frac{\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\left[a_{k,l-1}(f_{k,l-1}+f_{k,l})+a_{k,l}(f_{k,l}+f_{k,l+1})\right]\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}}{\frac{Tf_{k,l}}{24}\frac{\text{летные часы}}{\text{час}}},$$

которое сразу упрощается к виду:

$$\frac{\left[a_{k,l-1}(f_{k,l-1}+f_{k,l})+a_{k,l}(f_{k,l}+f_{k,l+1})\right]}{2f_{k,l}}\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}.$$

Разделив числитель и знаменатель на общее число полетов f, получаем окончательное выражение для частоты летных происшествий по траектории полета $P_{k,l}$:

$$\frac{\left[a_{k,l-1}(r_{k,l-1}+r_{k,l})+a_{k,l}(r_{k,l}+r_{k,l+1})\right]}{2r_{k,l}}\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}.$$

6.4 В пункте 5.6 определяем частоту летных происшествий для эшелона полета L_k путем суммирования соответственно взвешенных значений частоты летных происшествий для пар соседних траекторий на данном эшелоне полета. Ожидается, что тот же результат будет получен путем суммирования соответственно взвешенных значений частоты летных происшествий для отдельных траекторий.

6.5 Для суммирования взвешенных значений частоты летных происшествий для отдельных пар представляем эти значения как число летных происшествий на час. Согласно пунктам 6.2 и 6.3 на траекторию полета $P_{k,1}$ на эшелоне полета L_k приходится $\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\cdot a_{k,1}\cdot(f_{k,1}+f_{k,2})$ летных происшествий на час, тогда как на траекторию полета $P_{k,l}$ (для $2 \le l \le n-1$) приходится $\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\left[a_{k,l-1}(f_{k,l-1}+f_{k,l})+a_{k,l}(f_{k,l}+f_{k,l+1})\right]$ летных происшествий на час, а на траекторию $P_{k,n}$ приходится $\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\cdot a_{k,n-1}\cdot(f_{k,n-1}+f_{k,n})$ летных происшествий на час. Таким образом, в течение каждого часа число летных происшествий, возникающих на эшелоне полета, определяется выражением:

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\left(a_{k,1}\cdot(f_{k,1}+f_{k,2})+\sum_{l=2}^{n-1}\left[a_{k,l-1}(f_{k,l-1}+f_{k,l})+a_{k,l}(f_{k,l}+f_{k,l+1})\right]+a_{k,n-1}\cdot(f_{k,n-1}+f_{k,n})\right).$$

Перегруппировав выражение под знаком суммы в больших скобках, получаем:

$$a_{k,1}(f_{k,1}+f_{k,2})+\sum_{l=2}^{n-1}\left[a_{k,l-1}(f_{k,l-1}+f_{k,l})+a_{k,l}(f_{k,l}+f_{k,l+1})\right]+a_{k,n-1}(f_{k,n-1}+f_{k,n})=$$

$$=a_{k,1}(f_{k,1}+f_{k,2})+\left[a_{k,1}(f_{k,1}+f_{k,2})+a_{k,2}(f_{k,2}+f_{k,3})\right]+\left[a_{k,2}(f_{k,2}+f_{k,3})+a_{k,3}(f_{k,3}+f_{k,4})\right]+\ldots$$

$$+\left[a_{k,n-3}(f_{k,n-3}+f_{k,n-2})+a_{k,n-2}(f_{k,n-2}+f_{k,n-1})\right]+\left[a_{k,n-2}(f_{k,n-2}+f_{k,n-1})+a_{k,n-1}(f_{k,n-1}+f_{k,n})\right]+$$

$$+a_{k,n-1}(f_{k,n-1}+f_{k,n})=\left[a_{k,1}(f_{k,1}+f_{k,2})+a_{k,1}(f_{k,1}+f_{k,2})\right]+\left[a_{k,2}(f_{k,2}+f_{k,3})+a_{k,2}(f_{k,2}+f_{k,3})\right]+\ldots$$

$$+\left[a_{k,n-2}(f_{k,n-2}+f_{k,n-1})+a_{k,n-2}(f_{k,n-2}+f_{k,n-1})\right]+\left[a_{k,n-1}(f_{k,n-1}+f_{k,n})+a_{k,n-1}(f_{k,n-1}+f_{k,n})\right]=$$

$$=\sum_{l=1}^{n-1}2\cdot a_{k,l}(f_{k,l}+f_{k,l+1}).$$

Таким образом, часовая частота летных происшествий на эшелоне полета L_k определяется выражением:

$$\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\cdot\sum_{l=1}^{n-1}2\cdot a_{k,l}(f_{k,l}+f_{k,l+1})\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}=\frac{T}{24}\cdot\sum_{l=1}^{n-1}a_{k,l}(f_{k,l}+f_{k,l+1})\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}.$$

На эшелон полета приходится $\dfrac{T(f_{k,1}+f_{k,2}+\ldots+f_{k,n})}{24}$ летных часов на час, и, таким образом, частота летных происшествий на нем, выраженная в традиционных единицах, определяется выражением:

$$\frac{\dfrac{T}{24}\sum_{l=1}^{n-1}a_{k,l}(f_{k,l}+f_{k,l+1})\dfrac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}}{\dfrac{T}{24}\sum_{l=1}^{n}f_{k,l}\dfrac{\text{летные часы}}{\text{час}}}=\frac{\dfrac{1}{f}\cdot\sum_{l=1}^{n-1}a_{k,l}(f_{k,l}+f_{k,l+1})}{\dfrac{1}{f}\sum_{l=1}^{n}f_{k,l}}\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}=$$

$$=\frac{\sum_{l=1}^{n-1}a_{k,l}(r_{k,l}+r_{k,l+1})}{\sum_{l=1}^{n}r_{k,l}}\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}},$$

что согласуется с результатами, указанными в начале пункта 5.6.

6.6 Аналогичный подход применяется для определения частоты летных происшествий для любого из n маршрутов в системе. Маршрут R_1 включает $P_{i,1}$ траектории полета, где i = 1, 2... m, а в пункте 6.2 отмечалось, что на $P_{i,1}$ возникает $\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\cdot a_{i,1}\cdot(f_{i,1}+f_{i,2})$ летных происшествий на час. Суммируя часовые значения частоты летных происшествий, находим, что на R_1 приходится $\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\cdot\sum_{i=1}^{m} a_{i,1}(f_{i,1}+f_{i,2})$ летных происшествий на час. Ввиду того что на него приходится $T\cdot\sum_{i=1}^{m} f_{i,1}$ часов налета воздушного транспорта в течение 24-часового периода, частота летных происшествий для данного маршрута, выраженная в традиционных единицах, определяется выражением:

$$\frac{\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\cdot\sum_{i=1}^{m} a_{i,1}(f_{i,1}+f_{i,2})\,\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}}{\frac{T}{24}\sum_{i=1}^{m} f_{i,1}\,\frac{\text{летные часы}}{\text{час}}}=\frac{\frac{1}{f}}{\frac{1}{f}}\cdot\frac{\sum_{i=1}^{m} a_{i,1}(f_{i,1}+f_{i,2})}{2\cdot\sum_{i=1}^{m} f_{i,1}}\,\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}=$$

$$=\frac{\sum_{i=1}^{m} a_{i,1}(r_{i,1}+r_{i,2})}{2\cdot\sum_{i=1}^{m} r_{i,1}}\,\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}.$$

Используя аналогичную систему рассуждений, можно показать, что частота летных происшествий для R_n определяется выражением: $\frac{\sum_{i=1}^{m} a_{i,n-1}(r_{i,n-1}+r_{i,n})}{2\cdot\sum_{i=1}^{m} r_{i,n}}\,\frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}$.

6.7 Если $2 \le j \le n-1$, то (как указано в пункте 6.3) на каждой траектории $P_{i,j}$ возникает $\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\left[a_{i,j-1}(f_{i,j-1}+f_{i,j})+a_{i,j}(f_{i,j}+f_{i,j+1})\right]$ летных происшествий на час и, таким образом, на маршруте R_j возникает $\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\sum_{i=1}^{m}\left[a_{i,j-1}(f_{i,j-1}+f_{i,j})+a_{i,j}(f_{i,j}+f_{i,j+1})\right]\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}$. Так как на маршрут R_j приходится $\frac{T}{24}\sum_{i=1}^{m} f_{i,j}$ летных часов на час, то частота летных происшествий на данном маршруте, выраженная в традиционных единицах, определяется выражением:

$$\frac{\frac{1}{2}\cdot\frac{T}{24}\sum_{i=1}^{m}\left[a_{i,j-1}(f_{i,j-1}+f_{i,j})+a_{i,j}(f_{i,j}+f_{i,j+1})\right]\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}}{\frac{T}{24}\sum_{i=1}^{m} f_{i,j}\,\frac{\text{летные часы}}{\text{час}}},$$

которое сразу же упрощается к виду:

$$\frac{\sum_{i=1}^{m} a_{i,j-1}(f_{i,j-1}+f_{i,j})+a_{i,j}(f_{i,j}+f_{i,j+1})}{2\sum_{i=1}^{m} f_{i,j}} \frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}.$$

Разделив числитель и знаменатель на f, представляем частоту летных происшествий для маршрута R_j как:

$$\frac{\sum_{i=1}^{m} [a_{i,j-1}(r_{i,j-1}+r_{i,j})+a_{i,j}(r_{i,j}+r_{i,j+1})]}{2\sum_{i=1}^{m} r_{i,j}} \frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}.$$

6.8 В пункте 6.5 было показано, что на эшелон полета L_i приходится $\frac{T}{24}\cdot\sum_{j=1}^{n-1} a_{i,j}(f_{i,j}+f_{i,j+1})$ летных происшествий на час. Суммируя часовые значения частоты летных происшествий по всем эшелонам полета, получаем выражение, определяющее частоту летных происшествий для всей системы маршрутов: $\frac{T}{24}\cdot\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} a_{i,j}(f_{i,j}+f_{i,j+1})\frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}$. Данное выражение для часовой частоты имеет то же значение, что и указанное в начале пункта 5.7, где выражение для суммы получено на основе часовой частоты летных происшествий для пар траекторий, а не на основе значений для отдельных пар траекторий полета. Не повторяя выполненных выше вычислений, мы видим, что частота летных происшествий на летный час для всей системы маршрутов, определенная на основе значений частоты летных происшествий для отдельных траекторий, продолжает соответствовать значениям частоты летных происшествий, полученным с использованием модели Райха.

7. ОЦЕНКА ЗАНЯТОСТИ ДЛЯ ПАР НЕСМЕЖНЫХ МАРШРУТОВ ПОЛЕТА

7.1 Традиционное определение боковой занятости применимо только к смежным маршрутам, и поэтому в расчетах занятости, как правило, два воздушных судна рассматриваются как сближающиеся только в том случае, если им заданы соседние траектории полета, находящиеся на одной высоте. Ввиду того что риск столкновения (вследствие нарушения планового бокового эшелонирования) между воздушными судами, которым заданы соседние маршруты, намного выше, чем риск столкновения между воздушными судами, которым заданы несмежные маршруты полета, традиционные оценки занятости, как правило, рассчитаны на максимальную вероятность риска столкновения. Однако ввиду того что органы, занимающиеся организацией воздушного пространства, вводят сокращенные минимумы разделения маршрутов, обоснованно ожидать увеличения риска столкновения между воздушными судами, которым заданы несмежные маршруты. Несмотря на то что риск столкновения в данном случае, вероятно, продолжает оставаться намного меньше, чем риск столкновения для воздушных судов, которым заданы соседние маршруты полета, он может в конечном итоге составлять существенную часть общего риска

столкновения. В данном разделе выводятся формулы, которые могут быть использованы для определения боковой занятости пар несмежных траекторий полета. Данные расчетные значения могут применяться для определения частоты столкновений между воздушными судами, которым заданы несмежные траектории полета, с использованием формул, аналогичных приведенным в пунктах 5.1 и 5.2.

7.2 Начинаем с определения значений занятости для траекторий, боковое разделение которых равно двум минимальным расстояниям. Таким образом, мы рассматриваем пары траекторий ($P_{i,j}$, $P_{i,j+2}$) для $1 \le i \le m$ и $1 \le j \le n-2$. Так же, как и прежде, принимаем, что на каждой траектории $P_{i,j}$ в течение 24-часового периода находится $f_{i,j}$ воздушных судов и, таким образом, в течение этого времени в рамках системы маршрутов в общей сумме находится: $f = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} f_{i,j}$ воздушных судов. Так же, как и в предшествующих расчетах, принимаем, что $r_{i,j}$ обозначает $\frac{f_{i,j}}{f}$, долю воздушных судов в системе маршрутов, которые следуют по траектории $P_{i,j}$. С другой стороны, необходимо расширить значение некоторых из обозначений, принятых в разделах 1–6. Обозначим как $p_{i,j}^{(2)}$ число сближающихся пар, состоящих из воздушных судов, которым задана траектория $P_{i,j}$, и воздушных судов, которым задана траектория $P_{i,j+2}$, и, так же, как в разделах 1–6, рассматриваем пару воздушных судов как сближающуюся, если входящие в нее воздушные суда проходят через выбранную долготу (или через какую-[illegible] линию, имеющую аналогичную функцию) в пределах 15-минутного интервала между ними. Принимаем, что $p^{(2)} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-2} p_{i,j}^{(2)}$ обозначает общее число сближающихся пар, полученное с маршрутов имеющих двойную норму бокового разделения. В разделе 2 мы могли использовать полученное [illegible] значение для определения p, однако в данном разделе мы не располагаем данными для [illegible] значения его аналога $p^{(2)}$, и поэтому должен быть найден другой метод расчета данной величины. Следует отметить, что нет особых оснований ожидать, что p and $p^{(2)}$ будут иметь одинаковую [illegible] и действительно, ввиду того что меньшее число пар траекторий полета m имеют двойное разделение по сравнению с числом пар, имеющих одинарное разделение (то есть, $m(n-2)$ пар, а не $m(n-1)$ пар), то при равномерном распределении воздушных судов по всем траекториям системы ожидается, что $p^{(2)}$ должно быть меньше, чем p. И наконец, обозначим как $O^{(2)}$ занятость, определяемую при условии, что учитываются только сближающиеся пары воздушных судов, следующих по находящимся на одной высоте траекториям полета, разделение которых равно двум минимумам эшелонирования. Ввиду того что так же, как и в приведенных выше расчетах, общее число воздушных судов, находящихся в системе маршрутов, равно f, вычисляем $O^{(2)}$ по формуле, аналогичной использовавшейся для расчета O, то есть: $O^{(2)} = \frac{[illegible]}{f}$.

(В системе, состоящей строго из трех маршрутов, только воздушные суда, которым заданы [illegible] маршруты, могут входить в состав сближающихся пар, учитываемых в $p^{(2)}$. Таким образом, [illegible] при определении $O^{(2)}$ для такой системы знаменатель должен представлять собой [illegible] наружным маршрутам полета, то есть $\sum_{i=1}^{m}(f_{i,1}+f_{i,3})$, а не f, общее число полетов в системе. Такое определение может быть целесообразным только в случае, если сама частота столкновений между воздушными судами, которым заданы несмежные маршруты, представляет интерес. Однако частота столкновений воздушных судов, которым заданы несмежные маршруты, представляет интерес только как составляющая суммарной частоты столкновений, и поэтому знаменатель должен учитывать все полеты в системе).

7.3 В разделе 1 мы видели, что статистические данные по занятости, как правило, по отдельным парам смежных траекторий полета не собираются. В разделе 3 данная трудность была преодолена путем предположения о том, что число сближающихся пар воздушных судов для заданной пары соседних траекторий, находящихся на одной высоте, пропорционально произведению интенсивности воздушного движения на данных траекториях. Что касается данного раздела, то следует отметить, что ввиду того что диспетчеры УВД не пытаются координировать продольные положения воздушных судов, которым заданы разные траектории полетов, допущение относительно пропорциональности применимо как к парам несмежных траекторий полета, так и к парам смежных траекторий полета. Таким образом, если $1 \le k \le m$ и $1 \le l \le n-2$, то ожидается, что $\dfrac{p^{(2)}_{k,l}}{p_{k,l}}$ равно выражению $\dfrac{f_{k,l} \cdot f_{k,l+2}}{f_{k,l} \cdot f_{k,l+1}}$, которое упрощается к виду $\dfrac{f_{k,l+2}}{f_{k,l+1}}$, и отсюда следует, что $p^{(2)}_{k,l} = \dfrac{f_{k,l+2}}{f_{k,l+1}} \cdot p_{k,l}$.

Подставляя выражение для определения $p_{k,l}$ из пункта 3.1, находим, что

$$p^{(2)}_{k,l} = \frac{f_{k,l+2}}{f_{k,l+1}} \cdot \frac{f_{k,l} \cdot f_{k,l+1}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} f_{i,j} \cdot f_{i,j+1}} \cdot p = \frac{f_{k,l} \cdot f_{k,l+2}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} f_{i,j} \cdot f_{i,j+1}} \cdot p,$$

и, разделив числитель и знаменатель выражения на f^2, можем представить данное уравнение в следующем виде:

$$p^{(2)}_{k,l} = \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+2}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}} \cdot p.$$

7.4 Суммируя число сближающихся пар (воздушных судов), принадлежащих каждой паре находящихся на одинаковой высоте траекторий полета с разделением, равным двум минимумам эшелонирования, находим, что:

$$p^{(2)}_{k,l} = \sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{n-2} p^{(2)}_{k,l} = \frac{\sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{n-2} r_{k,l} \cdot r_{k,l+2}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}} \cdot p.$$

Для упрощения системы обозначений принимаем, что

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{n-2} r_{k,l} \cdot r_{k,l+2}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}},$$

и, таким образом, $p^{(2)} = R^{(2)}p$. Так как выражение $O^2 = \frac{2p^{(2)}}{f}$ можно записать как $O^2 = \frac{2R^{(2)}p}{f}$ и с учетом того, что $O = \frac{2p}{f}$, окончательное выражение имеет вид: $O^{(2)} = R^{(2)}O$. Таким образом, $R^{(2)}$ представляет собой отношение занятости для траекторий с разделением, равным двум минимумам эшелонирования, к занятости для траекторий с разделением, равным одному минимуму эшелонирования.

7.5 В разделе 3 было выведено выражение для определения занятости $O_{k,l}$ соседних (находящихся на одинаковой высоте) траекторий полета $P_{k,l}$ и $P_{k,l+1}$. Теперь аналогично выводим выражение для определения занятости $O_{k,l}^{(2)}$ для пар траекторий полета $P_{k,l}$ и $P_{k,l+2}$ с разделением, равным двум минимумам эшелонирования. Так же, как в разделе 3, принимаем, что значение $O_{k,l}^{(2)}$ равно 0, если либо $f_{k,l}$, либо $f_{k,l+2}$ равно 0, а если ни одно из них не равно нулю, то принимаем, что $O_{k,l}^{(2)} = \frac{2p_{k,l}^{(2)}}{f_{k,l} + f_{k,l+2}}$, то есть удвоенному числу сближающихся пар на траекториях, деленному на число полетов по данным траекториям. С помощью формулы для определения $p_{k,l}^{(2)}$, выведенной в пункте 7.3, выражение для определения занятости представляем в следующем виде:

$$O_{k,l}^{(2)} = \frac{2p_{k,l}^{(2)}}{f_{k,l} + f_{k,l+2}} = \frac{2}{f} \cdot p_{k,l}^{(2)} \cdot \frac{f}{f_{k,l} + f_{k,l+2}} = \frac{2}{f} \cdot \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+2}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}} \cdot p \cdot \frac{f}{f_{k,l} + f_{k,l+2}} =$$

$$= \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+2}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}} \cdot \frac{1}{r_{k,l} + r_{k,l+2}} \cdot \frac{2p}{f} = \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+2}}{\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}\right)(r_{k,l} + r_{k,l+2})} \cdot O.$$

Для упрощения системы обозначений принимаем, что

$M_{k,l}^{(2)} = \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+2}}{\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}\right)(r_{k,l} + r_{k,l+2})}$, таким образом, $O_{k,l}^{(2)} = M_{k,l}^{(2)} \cdot O$.

7.6 Аналогично тому, как в разделе 5 мы определяли частоту летных происшествий для пар соседних траекторий, можно определить частоту летных происшествий для пар траекторий с разделением, равным двум минимумам эшелонирования. В связи с увеличением эшелонирования в формуле из пункта 5.1 меняется только одна из постоянных, а именно вероятность бокового перекрытия. Для выделения данного изменения обозначим через $C^{(2)}$ произведение (новой) вероятности бокового перекрытия, вероятности вертикального перекрытия, вероятности продольного перекрытия для сближающихся воздушных судов и суммы соответствующих значений времени пролета. Принимаем, что $a_{k,l}^{(2)}$ обозначает частоту летных происшествий для траекторий $P_{k,l}$ и $P_{k,l+2}$, и вычисляем ее с помощью модели Райха: $a_{k,l}^{(2)} = C^{(2)}O_{k,l}^{(2)} = C^{(2)}M_{k,l}^{(2)}O$. Частоту летных происшествий $a_{k,l}^{(2)}$ представляем как число летных происшествий на час полета.

7.7 Частоту летных происшествий между воздушными судами, следующими по траекториям $P_{k,l}$ и $P_{k,l+2}$, можно также представить как частоту летных происшествий на час. Тогда нагрузка на траектории по воздушному движению определяется выражением:

$$(Tf_{k,l} + Tf_{k,l+2}) \frac{\text{летные часы}}{\text{24 часа}}, \text{ или } \frac{T}{24}(f_{k,l} + f_{k,l+2}) \frac{\text{летные часы}}{\text{час}},$$

и отсюда следует, что частота летных происшествий на час составляет:

$$a_{k,l}^{(2)} \frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}} \cdot \frac{T}{24}(f_{k,l} + f_{k,l+2}) \frac{\text{летные часы}}{\text{час}} = \frac{T}{24} a_{k,l}^{(2)} (f_{k,l} + f_{k,l+2}) \frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}.$$

Значения частоты летных происшествий на час могут быть суммированы друг с другом, и в результате получаем, что суммарная часовая частота летных происшествий в системе маршрутов для летных происшествий вследствие нарушения планового эшелонирования, равного двум минимумам эшелонирования, составляет

$$\frac{T}{24} \sum_{k=1}^{m} \sum_{l=1}^{n-2} a_{k,l}^{(2)} (f_{k,l} + f_{k,l+2}) \frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}.$$

7.8 Так как на всю систему маршрутов приходится $\frac{Tf}{24} \frac{\text{летные часы}}{\text{час}}$, то выражение для определения частоты летных происшествий (вследствие нарушения планового бокового эшелонирования, равного двум минимумам эшелонирования) для всей системы, представленное в традиционных единицах, имеет вид:

$$\frac{\frac{T}{24} \sum_{k=1}^{m} \sum_{l=1}^{n-2} a_{k,l}^{(2)} (f_{k,l} + f_{k,l+2}) \frac{\text{летные происшествия}}{\text{час}}}{\frac{Tf}{24} \frac{\text{летные часы}}{\text{час}}} = \sum_{k=1}^{m} \sum_{l=1}^{n-2} a_{k,l}^{(2)} (r_{k,l} + r_{k,l+2}) \frac{\text{летные происшествия}}{\text{летный час}}.$$

Из пунктов 7.5 и 7.6 известно, что каждое значение $a_{k,l}^{(2)} = C^{(2)} M_{k,l}^{(2)} O$, а каждое значение $M_{k,l}^{(2)} = \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+2}}{\left(\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1} \right) (r_{k,l} + r_{k,l+2})}$, и, таким образом:

$$\text{каждое значение } a_{k,l}^{(2)} = C^{(2)} \cdot \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+2}}{\left(\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1} \right) (r_{k,l} + r_{k,l+2})} \cdot O,$$

а каждое значение $a_{k,l}^{(2)}(r_{k,l}+r_{k,l+2}) = C^{(2)} \cdot \dfrac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+2}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}} \cdot O$.

Подставляя данные выражения в приведенную выше сумму, представляем суммарную частоту летных происшествий как число летных происшествий на летный час и получаем:

$$\sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{n-2}\left[C^{(2)} \cdot \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+2}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}} \cdot O\right] = C^{(2)} \cdot \left[\frac{\sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{n-2} r_{k,l} \cdot r_{k,l+2}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}}\right] \cdot O = C^{(2)} \cdot R^{(2)} \cdot O = C^{(2)} \cdot O^{(2)},$$

что точно соответствует результату, ожидаемому по модели Райха.

7.9 В пунктах 7.2–7.8 выведены аналоги наиболее важных формул, приведенных в разделах 3 и 5, для случая, когда расположенные на одинаковой высоте траектории полета имеют разделение, равное принятым в системе маршрутов двум нормам бокового эшелонирования. Та же самая система рассуждений может быть использована для выведения аналогичных формул для случая, когда расположенные на одинаковой высоте траектории полета имеют разделение, равное некоторым кратным значениям принятых в системе минимальных норм бокового эшелонирования. Не повторяя вычислений, просто приведем толкование принятых обозначений и основные результаты для случая, когда траектории полета имеют разделение, равное некоторым кратным значениям s минимальной нормы бокового разделения, для любых целых значений s, находящихся в диапазоне от 1 до n–1:

$p_{i,j}^{(s)} \equiv$ число сближающихся пар, состоящих из воздушных судов, которым задана траектория полета $P_{i,j}$, и воздушных судов, которым задана траектория полета $P_{i,j+s}$;

$p^{(s)} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-s} p_{i,j}^{(s)} \equiv$ суммарное число сближающихся пар, образованных на маршрутах, имеющих разделение, равное кратным значениям s нормы бокового эшелонирования;

$O(s) \equiv$ занятость, определяемая при учете только сближающихся пар (воздушных судов), следующих по находящимся на одной высоте траекториям полета с разделением, равным s нормам эшелонирования;

$$O(s) \equiv \frac{2p^{(s)}}{f};$$

$$p_{k,l}^{(s)} = \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+s}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}} \cdot p;$$

$$p^{(s)} = \sum_{k=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-s} p_{k,j}^{(s)} = \frac{\sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{n-s} r_{k,l} \cdot r_{k,l+s}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}} \cdot p;$$

$$R^{(s)} = \frac{\sum_{k=1}^{m}\sum_{l=1}^{n-s} r_{k,l} \cdot r_{k,l+s}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}};$$

$$O^{(s)} = R^{(s)} O;$$

$$O_{k,l}^{(s)} = \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+s}}{\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}\right)(r_{k,l} + r_{k,l+s})} \cdot O;$$

$$M_{k,l}^{(s)} \equiv \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+s}}{\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}\right)(r_{k,l} + r_{k,l+s})};$$

$$O_{k,l}^{(s)} = M_{k,l}^{(s)} \cdot O;$$

$C^{(s)} \equiv$ произведение вероятности бокового перекрытия для маршрутов полета, имеющих разделение, равное кратным значениям s нормы бокового эшелонирования, вероятности вертикального перекрытия, вероятности продольного перекрытия для сближающихся воздушных судов и суммарное время, необходимое воздушным судам для пролета мимо друг друга;

$a_{k,l}^{(s)} \equiv$ частота летных происшествий для траекторий $P_{k,l}$ и $P_{k,l+s}$, выраженная через число летных происшествий на летный час;

$$a_{k,l}^{(s)} = C^{(s)} O_{k,l}^{(s)} = C^{(s)} M_{k,l}^{(s)} O.$$

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

8.1 Формулы, выведенные в разделах 3, 5, и 6, обеспечивают специалисту-аналитику инструмент, необходимый для расчета частоты летных происшествий для отдельных элементов океанической системы маршрутов. Известно, что распределение воздушного движения в некоторых наиболее загруженных системах маршрутов имеет явно неравномерный характер. Поэтому результаты, полученные при применении выведенных в данных разделах формул, позволяют специалистам, принимающим решение

анализировать не только частоту летных происшествий для всей системы маршрутов, но также частоту летных происшествий для наиболее интенсивно используемых траекторий, маршрутов и эшелонов полета.

8.2 Далее формулы, выведенные в разделе 7, позволяют специалистам-аналитикам учитывать риск вследствие нарушения плановых норм бокового разделения, равных всем целым кратным значениям минимумов эшелонирования, и в результате более точно определять суммарный риск в боковом измерении для системы маршрутов.

— — — — — — — — —

Дополнение А к добавлению 14

СООТВЕТСТВИЕ РУКОВОДЯЩЕМУ МАТЕРИАЛУ ИКАО

А.1 В *Руководстве по обслуживанию воздушного движения* (Doc 9426) (часть II, раздел 2, глава 4, добавление С) для определения занятости принимается "модель стационарного потока воздушного движения". Данное дополнение А к добавлению 14 показывает, что "модель стационарного потока воздушного движения" дает показатель занятости, аналогичный полученному в разделе 3 добавления 14. Система обозначений, принятая в Doc 9426, отличается от системы обозначений, используемой в добавлении 14, и читатель не должен воспринимать обозначения, используемые в дополнении А добавления 14, как имеющие то же значение, что и в Doc 9426, если это специально не указано. В частности, индексы в Doc 9426 и в первой части дополнения А, используемые для обозначения маршрутов и эшелонов полета, являются прямо противоположными. Более того, в Doc 9426 используются обозначения *"T"* и *"f"*, значения которых полностью отличаются от значения этих обозначений, принятых в добавлении 14.

А.2 В Doc 9426 принимается система из t параллельных маршрутов, расположенных на f эшелонах полета. Поток воздушного движения по линии пути на маршруте i и эшелоне полета j составляет $m_{i,j}$ воздушных судов на час. Длина каждого маршрута составляет L м. миль, а средняя скорость воздушных судов на каждом маршруте – V узлов. Время наблюдения за системой равно T часам. Воздушные суда на соседних линиях пути и на одном и том же эшелоне полета рассматриваются как сближающиеся, если в продольном измерении они находятся в пределах удаления S_x м. миль друг от друга. Для интервала, равного T часам, в течение которого ведется наблюдение за системой, за T_y принимается суммарное время сближения пар воздушных судов, за H – суммарное количество летных часов, а $E_y = \frac{2T_y}{H}$ обозначает занятость системы. В таблице А-14-5 показано соответствие между обозначениями, используемыми в документе Doc 9426 и в добавлении 14.

Таблица А-14-5. Используемые обозначения

Обозначения, используемые в Doc 9426	Обозначения, используемые в добавлении 14	Значение обозначений
t	n	Число маршрутов
f	m	Число эшелонов полета
$m_{i,j}$	$\frac{f_{j,i}}{24}$	Поток воздушного движения, т. е. число ВС на час, на маршруте i, на эшелоне полета j
$\frac{L}{V}$	T	Среднее время, в часах, необходимое для пролета по океаническому маршруту
T	24	Время, в часах, в течение которого ведется наблюдение за системой
$\frac{S_x}{V}$	$\frac{15}{60}$	Летное время, в часах, соответствующее интервалу сближения
E_y	O	Занятость

А.3. В среднем воздушному судну необходимо $\frac{L}{V}$ часов для пролета через систему. Поэтому на линию пути на маршруте i и эшелоне полета j приходится $\frac{L}{V}m_{i,j}$ летных часов на час, а суммарное количество летных часов в течение T часов наблюдения за системой составляет $\frac{LT}{V}m_{i,j}$ летных часов. Суммируя вклады по всем линиям пути, находим, что на всю систему в течение T часов наблюдения приходится $H = \frac{LT}{V}\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i,j}$ летных часов.

А.4 Если $2 \le i \le t$, то для линии пути на маршруте i и эшелоне полета j соседней является линия пути на маршруте i–1 и эшелоне полета j, поток воздушного движения по которой составляет $m_{i-1,j}$ воздушных судов на час, что в среднем составляет $\frac{L}{V}m_{i-1,j}$ воздушных судов. Средний интервал между воздушными судами на соседней линии пути составляет: $\frac{L \text{ м. миль}}{\frac{L}{V}m_{i-1,j} \text{ ВС}} = \frac{V}{m_{i-1,j}}\frac{\text{м. миль}}{\text{ВС}}$. В пределах продольного расстояния S_x для воздушного судна, следующего по линии пути на маршруте i и эшелоне полета j, число воздушных судов на соседней линии пути ожидается равным $\frac{2S_x \text{ м. мили}}{\frac{V}{m_{i-1,j}}\frac{\text{м. мили}}{\text{ВС}}} = \frac{2S_x}{V}m_{i-1,j}$. На протяжении $\frac{L}{V}$ часов, в течение которых воздушное судно, находящееся на маршруте i и эшелоне полета j, пролетает через систему, оно подвержено (в среднем) $\frac{2S_x}{V}m_{i-1,j}\frac{L}{V}$ часам сближения. Так как на протяжении периода наблюдения $m_{i,j}T$ воздушных судов используют линию пути на маршруте i и эшелоне полета j, то для данной линии пути время сближения с соседней меньшей по номеру линией пути составляет $\frac{2S_x}{V}m_{i-1,j}\frac{L}{V}m_{i,j}T$ часов (в течение этого периода). Суммируя время сближения по всем линиям пути, находим, что за период наблюдения во всей системе происходит $T_y = \frac{2S_xLT}{V^2}\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j}\,m_{i,j}$ часов сближения.

А.5 Затем с помощью приведенного ниже уравнения в документе Doc 9426 вычисляется занятость всей системы, E_y:

$$E_y = \frac{2T_y}{H} = \frac{2\cdot\frac{2S_xLT}{V^2}\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j}\,m_{i,j}}{\frac{LT}{V}\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i,j}} = \frac{4S_x}{V}\cdot\frac{\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j}\,m_{i,j}}{\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i,j}}.$$

А.6 Рассмотрим одну пару соседних линий пути на одном эшелоне полета, а именно линии пути на маршрутах *l* и *l*+1, на эшелоне полета *k*. Как было показано в пункте А.3, налет на этих линиях пути за период наблюдения составляет соответственно $\frac{LT}{V} m_{l,k}$ летных часов и $\frac{LT}{V} m_{l+1,k}$ летных часов, а суммарное время составляет $\frac{LT}{V}(m_{l,k} + m_{l+1,k})$ летных часов. Как показано в пункте А.4, за период наблюдения на данные линии пути приходится $\frac{2S_x}{V} m_{l,k} \frac{L}{V} m_{l+1,k} T$ часов сближения $= \frac{2S_x LT}{V^2} m_{l,k} m_{l+1,k}$ часов сближения. Разделив удвоенное время сближения на суммарное число летных часов, получаем выражение, определяющее занятость для пары:

$$\frac{2 \cdot \frac{2S_x LT}{V^2} m_{l,k}\, m_{l+1,k}}{\frac{LT}{V}(m_{l,k} + m_{l+1,k})} = \frac{4S_x}{V} \frac{m_{l,k}\, m_{l+1,k}}{m_{l,k} + m_{l+1,k}}.$$

А.7 Используя результаты, полученные в пунктах А.5 и А.6, отношение занятости пары траекторий к занятости всей системы можно представить в следующем виде:

$$\frac{\frac{4S_x}{V} \frac{m_{l,k}\, m_{l+1,k}}{m_{l,k} + m_{l+1,k}}}{\frac{\frac{4S_x}{V} \sum_{i=2}^{t} \sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j}\, m_{i,j}}{\sum_{i=1}^{t} \sum_{j=1}^{f} m_{i,j}}} = \frac{m_{l,k}\, m_{l+1,k}}{\left(\sum_{i=2}^{t} \sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j}\, m_{i,j} \right) \cdot \frac{m_{l,k} + m_{l+1,k}}{\sum_{i=1}^{t} \sum_{j=1}^{f} m_{i,j}}} = \frac{m_{l,k} T \cdot m_{l+1,k} T}{\left(\sum_{i=2}^{t} \sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j} T \cdot m_{i,j} T \right) \cdot \frac{m_{l,k} T + m_{l+1,k} T}{\sum_{i=1}^{t} \sum_{j=1}^{f} m_{i,j} T}}.$$

А.8 Каждое значение $m_{i,j}T$ в документе Doc 9426 в системе обозначений, принятой в данном добавлении, эквивалентно $f_{j,i}$. Число маршрутов в документе Doc 9426 обозначается как "*t*", а в данном добавлении как "*n*", а число эшелонов полета в документе Doc 9426 обозначается как "*f*", а в данном добавлении как "*m*". В принятой в настоящем добавлении системе обозначений приведенное выше выражение для отношения занятостей имеет вид:

$$\frac{f_{k,l} f_{k,l+1}}{\left(\sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{m} f_{j,i-1} f_{j,i} \right) \cdot \frac{f_{k,l} + f_{k,l+1}}{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} f_{j,i}}}.$$

А.9 Далее сумму произведений в знаменателе можно представить в виде:

$$\sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{m} f_{j,i-1} f_{j,i} = \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=2}^{n} f_{j,i-1} f_{j,i} = \sum_{j=1}^{m} \sum_{i-1=1}^{n-1} f_{j,i-1} f_{j,i} = \sum_{x=1}^{m} \sum_{y=1}^{n-1} f_{x,y} f_{x,y+1} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n-1} f_{i,j} f_{i,j+1},$$

а общее число полетов в системе в течение периода наблюдения можно представить как

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} f_{j,i} = \sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} f_{j,i} = \sum_{x=1}^{m}\sum_{y=1}^{n} f_{x,y} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} f_{i,j}.$$

Подставив эти выражения в выражение для отношения занятостей, получаем следующее выражение для данного отношения:

$$\frac{f_{k,l} f_{k,l+1}}{\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} f_{i,j} f_{i,j+1}\right) \cdot \frac{f_{k,l} + f_{k,l+1}}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} f_{i,j}}}.$$

Далее с учетом того, что в системе обозначений, принятой в данном добавлении, $f \equiv \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} f_{i,j}$, отношение занятостей можно представить в виде:

$$\frac{f_{k,l} f_{k,l+1}}{\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} f_{i,j} f_{i,j+1}\right) \cdot \frac{f_{k,l} + f_{k,l+1}}{f}}.$$

Разделив числитель и знаменатель на f^2 и с учетом того, что $r_{i,j} \equiv \frac{f_{i,j}}{f}$, получаем окончательное выражение для определения отношения занятостей:

$$\frac{\frac{f_{k,l}}{f} \cdot \frac{f_{k,l+1}}{f}}{\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} \frac{f_{i,j}}{f} \cdot \frac{f_{i,j+1}}{f}\right) \cdot \left(\frac{f_{k,l}}{f} + \frac{f_{k,l+1}}{f}\right)} = \frac{r_{k,l} \cdot r_{k,l+1}}{\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n-1} r_{i,j} \cdot r_{i,j+1}\right) \cdot (r_{k,l} + r_{k,l+1})},$$

которое точно соответствует выражению для определения $M_{k,l}$ в пункте 3.7 (что и требовалось доказать).

— — — — — — — —

Дополнение B к добавлению 14

ВЕРХНИЕ ГРАНИЦЫ ЗНАЧЕНИЙ ЗАНЯТОСТИ

B.1 В данном дополнении используется система обозначений, принятая в *Руководстве по обслуживанию воздушного движения* и рассмотренная в пунктах A.1 и A.2.

B.2 При расчетах занятости за расстояние S_x в морских милях часто принимается расстояние, которое должно пролететь воздушное судно, перемещающееся со скоростью V узлов, в течение периода времени, равного минимуму продольного эшелонирования. То есть величина $\frac{S_x}{V}$ часов принимается в качестве стандарта продольного эшелонирования. Тогда максимальный поток воздушного движения на каждой траектории является обратной величиной минимума эшелонирования, то есть $\frac{V}{S_x}$ (полетов) на час.

B.3 В пункте A.5 занятость системы маршрутов, E_y, определяется выражением:

$$\frac{4S_x}{V} \cdot \frac{\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j}m_{i,j}}{\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i,j}},$$

которое может быть представлено как:

$$4 \cdot \frac{\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j}m_{i,j}}{\frac{V}{S_x}\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i,j}}, \text{ или как } 4 \cdot \frac{\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j}m_{i,j}}{\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{f} \frac{V}{S_x} m_{i,j}}, \text{ или как } 4 \cdot \frac{\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j}m_{i,j}}{\sum_{j=1}^{f} \frac{V}{S_x} m_{1,j} + \sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} \frac{V}{S_x} m_{i,j}}.$$

B.4 Так как все потоки воздушного движения являются неотрицательными величинами и максимальная интенсивность потока $\frac{V}{S_x}$ величина положительная, значит, и все три суммы в последнем выражении для определения занятости E_y содержат только неотрицательные члены. Поэтому и сами суммы являются неотрицательными. Так как $\frac{V}{S_x} \geq m_{i-1,j}$ для всех $i = 2 \ldots t$ и для всех $j = 1 \ldots f$, то вторая сумма в знаменателе $\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} \frac{V}{S_x} m_{i,j}$ больше или равна числителю $\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j}m_{i,j}$. Следовательно, весь знаменатель больше или равен числителю и частное меньше или равно 1. В результате $E_y \leq 4$.

B.5 На рис. A-14-1 показан один эшелон полета в системе из семи максимально загруженных параллельных маршрутов полета. Горизонтальные линии на рисунке показывают траектории полета, а небольшие прямоугольники обозначают воздушные суда, следующие по этим траекториям. Все воздушные суда перемещаются с одной и той же скоростью 480 узлов (8 м. миль в мин), а минимальное продольное разделение между ними составляет 15 мин, что соответствует расстоянию в 120 м. миль. Воздушные суда на каждой траектории полета имеют разделение, немного превышающее данное расстояние, а именно 123 м. мили. Как показано в пункте 1.1, воздушные суда на соседних траекториях (на одном эшелоне полета) считаются сближающимися, если их разделение (в продольном измерении) не превышает 15 мин полетного времени. Таким образом, на данном рисунке два воздушных судна считаются сближающимися до тех пор, пока их соответствующие координаты в горизонтальном измерении находятся в пределах 120 м. миль друг от друга. Каждый из интервалов, показанных на маршруте 1, соответствует 41 м. миле, поэтому два воздушных судна считаются сближающимися до тех пор, пока их горизонтальные координаты отличаются на один или два интервала. Диагональные линейные участки на рисунке соединяют сближающиеся воздушные суда, и очевидно, что каждое воздушное судно, находящееся на внутреннем маршруте (за исключением воздушных судов, находящихся на левой и правой границах рисунка), является сближающимся для четырех других воздушных судов, тогда как каждое воздушное судно, находящееся на самом крайнем маршруте, является сближающимся для двух других воздушных судов. Каждый диагональный линейный участок представляет собой отдельную сближающуюся пару. Так как каждое воздушное судно, находящееся на внутреннем маршруте, входит в состав четырех конкретных пар, а в состав каждой пары входит два воздушных судна, то ожидается, что внутренние маршруты будут давать в два раза больше пар, чем полетов. Только за счет самых крайних маршрутов отношение числа пар к числу полетов во всей системе не достигает значения 2, а степень занятости (которая равна удвоенному значению данного отношения) не достигает значения 4. Если бы система состояла из бесконечно большого числа параллельных маршрутов и все эти маршруты были бы внутренними, то тогда значение занятости, вычисленное для полностью загруженной системы, достигло бы верхнего предельного значения 4 (вывод в пункте B.4).

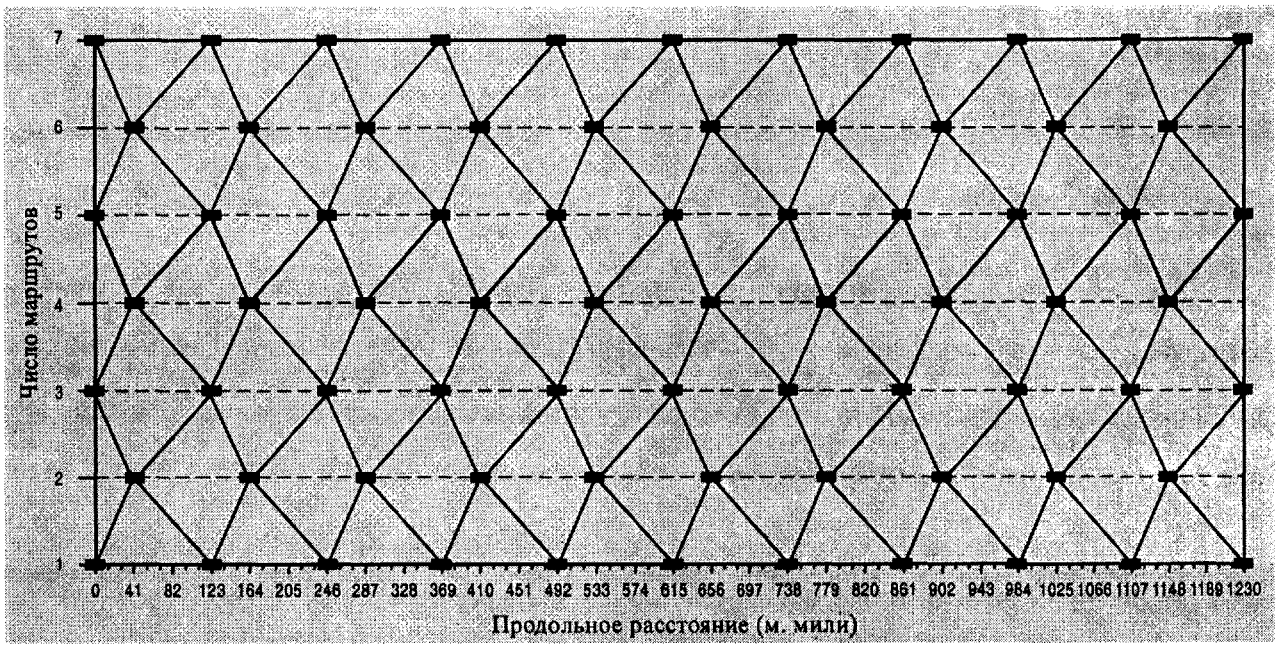


Рисунок A-14-1. Сближающиеся пары для семи маршрутов, причем время сближения равно минимуму продольного эшелонирования

B.6 С целью подтверждения данного вывода покажем, что в полностью загруженной системе маршрутов поток воздушного движения по каждой траектории составляет $\frac{V}{S_x}$ полетов на час и, таким образом, в течение T часов на каждую траекторию приходится $\frac{V}{S_x}T$ полетов и $\frac{V}{S_x}T \cdot \frac{L}{V} = \frac{LT}{S_x}$ летных часов, на каждый маршрут приходится $f\frac{LT}{S_x}$ летных часов, а на всю систему маршрутов приходится $tf\frac{LT}{S_x}$ летных часов. В состав системы входят 2 крайних маршрута, каждый из которых вносит в систему количество часов сближения, равное количеству летных часов, а также входит t–2 внутренних маршрутов, каждый из которых вносит в систему количество часов сближения, равное удвоенному количеству летных часов. Поэтому совокупное количество часов сближения для системы составляет:

$$2f\frac{LT}{S_x} + (t-2)\cdot 2f\frac{LT}{S_x},$$

а занятость составляет:

$$2\cdot\frac{2f\frac{LT}{S_x} + (t-2)\cdot 2f\frac{LT}{S_x}}{tf\frac{LT}{S_x}} = 2\cdot\frac{2+(t-2)\cdot 2}{t} = 2\cdot\frac{2t-2}{t} = 4-\frac{4}{t}.$$

По мере увеличения параметра t (число маршрутов) занятость от своего нижнего значения приближается к значению 4.

B.7 В пункте B.3 было найдено, что занятость, E_y, для системы маршрутов определяется выражением:

$$4\cdot\frac{\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j}m_{i,j}}{\sum_{j=1}^{f}\frac{V}{S_x}m_{1,j} + \sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f}\frac{V}{S_x}m_{i,j}}.$$

Если система состоит только из двух маршрутов, то есть если t = 2, то выражение для определения занятости может быть представлено в виде:

$$4\cdot\frac{\sum_{j=1}^{f} m_{1,j}m_{2,j}}{\sum_{j=1}^{f}\frac{V}{S_x}m_{1,j} + \sum_{j=1}^{f}\frac{V}{S_x}m_{2j}}.$$

Для каждого эшелона полета, j, значение $\frac{V}{S_x}$ больше или равно каждому из потоков $m_{1,j}$ и $m_{2,j}$, и поэтому $\frac{V}{S_x} m_{1,j} \geq m_{1,j} m_{2,j}$ и $\frac{V}{S_x} m_{2,j} \geq m_{1,j} m_{2,j}$. Поэтому каждая из сумм в знаменателе больше или равна числителю и, следовательно, частное меньше или равно 1/2, а E_y меньше или равно $4 \cdot (1/2) = 2$.

B.8 Рис. A-14-2 является аналогичным рис. A-14-1, с той лишь разницей, что на нем представлены только два максимально загруженных маршрута полета. Так же, как на рис. A-14-1, каждый диагональный линейный участок представляет собой одну сближающуюся пару воздушных судов. Из рисунка видно, что каждое воздушное судно принадлежит двум парам, при этом каждая пара состоит из двух воздушных судов, таким образом, за исключением воздушных судов, показанных на обеих границах, число пар равно числу полетов. Таким образом, для максимально загруженной системы из двух маршрутов отношение числа пар к числу полетов ожидается равным 1, а занятость, E_y, ожидается равной 2. Следует отметить, что формула, выведенная в конце пункта B.6, остается верной при $t = 2$, так как она дает $E_y = 4 - (4/2) = 4 - 2 = 2$.

B.9 Критерий сближения, соответствующий 15 мин, для системы NAT OTS, был, вероятно, выбран до 1981 года, когда интервал в 15 мин в данной системе маршрутов действовал в качестве продольного минимума эшелонирования. Однако с 1981 года в системе NAT OTS в качестве минимума продольного эшелонирования установлен интервал в 10 мин, и в результате максимально возможный поток воздушного движения по любой из ее траекторий возрос с 4 воздушных судов в час до 6 воздушных судов в час. В приведенной выше системе обозначений $\frac{S_x}{V}$ часов соответствует 15-минутному стандарту эшелонирования, и поэтому 10-минутный минимум может быть представлен как $\frac{2}{3}\frac{S_x}{V}$ часов, и в результате соответствующая максимальная интенсивность воздушного движения как обратная величина составляет $\frac{3V}{2S_x}$ (полетов) на час. Пользуясь методом, рассмотренным в пунктах B.3 и B.4, и проведя преобразования, получаем:

$$E_y = 4 \cdot \frac{\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j} m_{i,j}}{\sum_{j=1}^{f} \frac{V}{S_x} m_{1,j} + \sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} \frac{V}{S_x} m_{i,j}} = 4 \cdot \frac{3/2}{3/2} \cdot \frac{\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j} m_{i,j}}{\sum_{j=1}^{f} \frac{V}{S_x} m_{1,j} + \sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} \frac{V}{S_x} m_{i,j}} =$$

$$= 6 \cdot \frac{\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j} m_{i,j}}{\sum_{j=1}^{f} \frac{3V}{2S_x} m_{1,j} + \sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} \frac{3V}{2S_x} m_{i,j}}.$$

Далее отмечаем, что $\frac{3V}{2S_x} \geq m_{i-1,j}$ для всех $i = 2 \ldots t$ и всех $j = 1 \ldots f$, и, таким образом, вторая сумма в знаменателе $\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f}\frac{3V}{2S_x}m_{i,j}$ больше или равна числителю $\sum_{i=2}^{t}\sum_{j=1}^{f} m_{i-1,j}\, m_{i,j}$. Следовательно, весь знаменатель больше или равен числителю, и в результате частное меньше или равно 1, а $E_y \leq 6$.

В.10 На рис. А-14-3 показан один эшелон полета в системе из трех максимально загруженных параллельных маршрутов. (При наличии соответствующего программного обеспечения для подготовки рисунков можно было бы показать большее число маршрутов). В этом случае каждый интервал, отмеченный вдоль маршрута 1, соответствует 27 м. милям, и последовательные воздушные суда на каждой из траекторий полета имеют продольное разделение, равное трем таким интервалам, то есть 81 м. милю, что немного превышает расстояние (80 м. миль), соответствующее стандарту эшелонирования в 10 мин. Ввиду того что критерий сближения остается равным 15 мин полетного времени (что соответствует 120 м. милям), воздушные суда на соседних маршрутах считаются сближающимися, если их продольное разделение равно одному, двум, трем или четырем интервалам, то есть составляет 27, 54, 81 или 108 м. миль. Так же, как на рис. А-14-1 и А-14-2, диагональные линейные участки соединяют сближающиеся пары, и из рисунка видно, что каждое воздушное судно на внутреннем маршруте сближается с шестью другими воздушными судами, тогда как каждое воздушное судно на наружном маршруте сближается с тремя другими воздушными судами. Так как каждый внутренний маршрут формирует шесть пар на воздушное судно, а каждая пара состоит из двух воздушных судов, то на внутренних маршрутах формируется в три раза больше пар, чем полетов. И в данном случае только за счет самых крайних маршрутов значение занятости не достигает своего теоретического максимума 2 · 3 = 6.

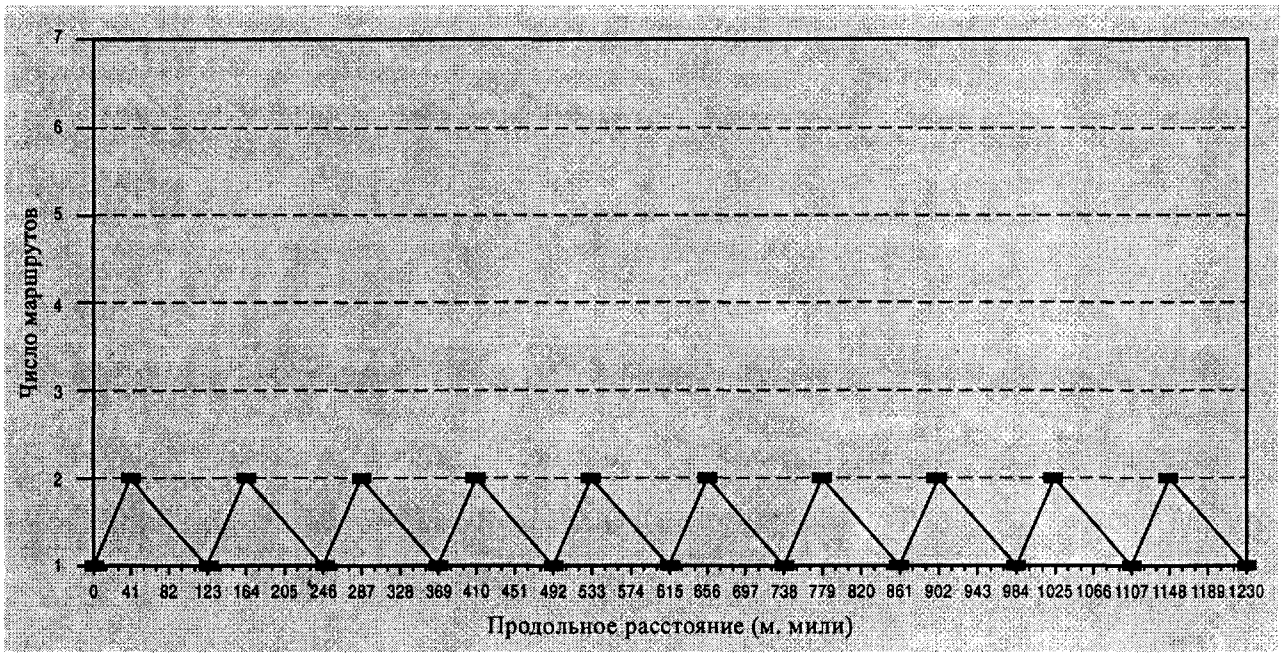


Рисунок А-14-2. Сближающиеся пары для двух маршрутов, причем время сближения равно норме продольного эшелонирования

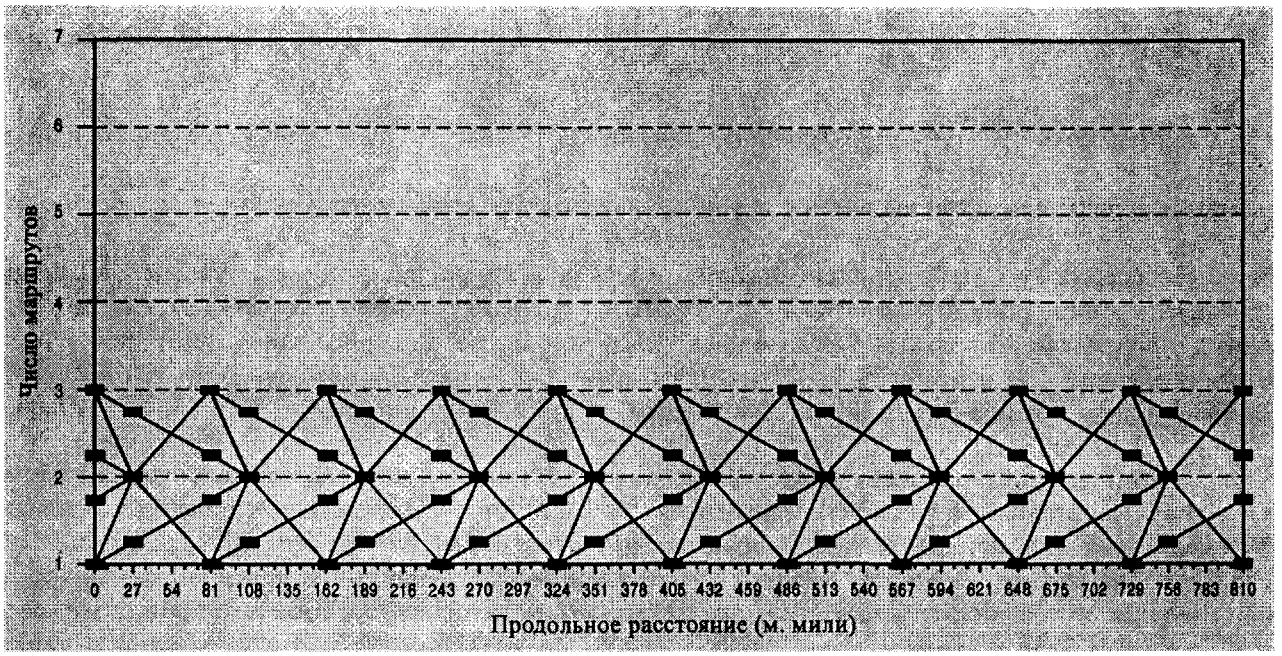


Рисунок А-14-3. Сближающиеся пары для трех маршрутов, причем время сближения равно 1,5 нормы продольного эшелонирования

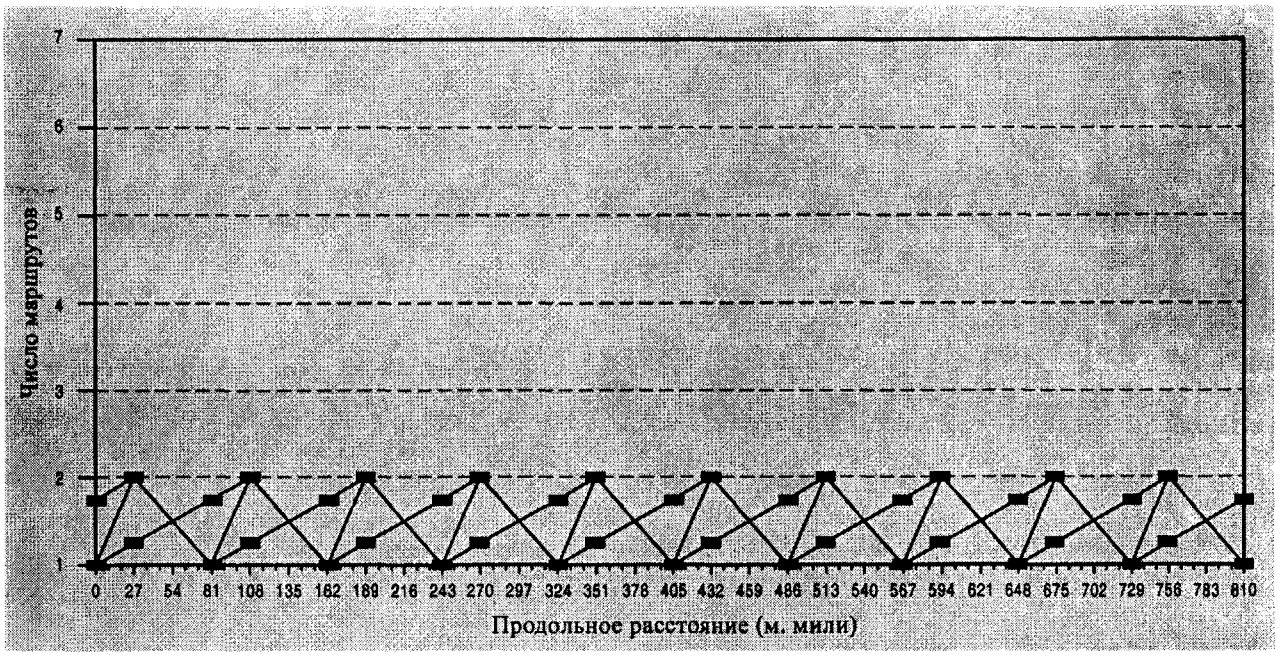


Рисунок А-14-4. Сближающиеся пары для двух маршрутов, причем время сближения равно 1,5 нормы продольного эшелонирования

B.11 Если система состоит только из двух маршрутов (то есть, если t = 2), то выражение для занятости, полученное в пункте B.9, может быть представлено в виде:

$$E_y = 6 \cdot \frac{\sum_{j=1}^{f} m_{1,j}\, m_{2j}}{\sum_{j=1}^{f} \frac{3V}{2S_x} m_{1,j} + \sum_{j=1}^{f} \frac{3V}{2S_x} m_{2,j}}.$$

Для каждого эшелона полета, j, $\frac{3V}{2S_x}$ больше или равно каждому из потоков $m_{1,j}$ и $m_{2,j}$, и, таким образом, $\frac{3V}{2S_x} m_{1,j} \geq m_{1,j} m_{2,j}$ и $\frac{3V}{2S_x} m_{2,j} \geq m_{1,j} m_{2,j}$. Поэтому каждая из сумм в знаменателе больше или равна числителю, следовательно, все частное меньше или равно 1/2, а E_y меньше или равно 6 · (1/2) = 3.

B.12 Рис. A-14-4 является аналогичным рис. A-14-3 с той лишь разницей, что на нем представлена система, состоящая только из двух маршрутов. Из рисунка видно, что каждое воздушное судно принадлежит трем парам, при этом каждая пара состоит из двух воздушных судов, таким образом, за исключением воздушных судов, показанных на одной или другой границе, число пар равно 3/2 от числа полетов. Таким образом, для максимально загруженной системы из двух маршрутов, в которой за критерий сближения принята величина, равная 3/2 минимума продольного эшелонирования, отношение времени сближения к летному времени ожидается равным 3/2, а занятость, E_y, ожидается равной 3.

B.13 В пунктах B.9–B.12 показаны результаты применения критерия занятости, $\frac{S_x}{V}$, а именно величины, равной 3/2 нормы продольного эшелонирования. Очевидно, что вместо величины 3/2 может быть взято другое отношение, и тогда при использовании системы рассуждений, изложенной в пунктах B.9 и B.11, получим максимальные значения занятости, соответствующие конкретному выбранному отношению. Принимаем, что q обозначает отношение критерия сближения к норме продольного эшелонирования. Заменив в пунктах B.9 и B.11 показатель 3/2 на q и используя систему рассуждений, изложенную в этих пунктах, находим, что $4q$ представляет собой верхнюю границу значения занятости для всех многомаршрутных систем, а $2q$ представляет собой верхнюю границу значения занятости для систем, состоящих только из двух маршрутов.

B.14 Представим (как и в пункте B.6) максимально загруженную систему маршрутов, в которой время сближения, $\frac{S_x}{V}$, деленное на норму эшелонирования, равно q. Тогда минимум эшелонирования составляет $\frac{S_x}{qV}$ часов, а поток воздушного движения по каждой траектории представляет собой обратную величину, то есть $\frac{qV}{S_x}$ (полетов) на час. Таким образом, в течение T часов на каждую траекторию приходится $\frac{qV}{S_x} T$ полетов и $\frac{qV}{S_x} T \cdot \frac{L}{V} = \frac{qLT}{S_x}$ летных часов, на каждый маршрут приходится $f \frac{qLT}{S_x}$ летных часов, а

на всю систему маршрутов приходится $tf\frac{qLT}{S_x}$ летных часов. Ввиду того что на интервал сближения приходится q интервалов эшелонирования, каждое воздушное судно в системе является (в среднем) сближающимся с q воздушными судами на каждом из маршрутов, проходящих по соседству с его собственным маршрутом. Таким образом, каждое воздушное судно на внутреннем маршруте является сближающимся с $2q$ другими воздушными судами, а каждое воздушное судно на двух самых крайних маршрутах является сближающимся с q другими воздушными судами. Поэтому каждый из $t-2$ внутренних маршрутов создает $2q$ часов сближения на летный час, тогда как два крайних маршрута создают q часов сближения на летный час. Таким образом, совокупное число часов сближения для системы составляет:

$$2\cdot q\cdot f\frac{qLT}{S_x}+(t-2)\cdot 2q\cdot f\frac{qLT}{S_x}\text{ часов сближения,}$$

а занятость составляет:

$$2\cdot\frac{2\cdot q\cdot f\frac{qLT}{S_x}+(t-2)\cdot 2q\cdot f\frac{qLT}{S_x}}{tf\frac{qLT}{S_x}}=2\cdot\frac{2q+(t-2)\cdot 2q}{t}=2\cdot\frac{2qt-2q}{t}=4q-\frac{4q}{t}.$$

По мере увеличения t данное выражение, начиная от своего нижнего значения, достигает значения $4q$, и при $t = 2$ выражение упрощается к виду $2q$. Таким образом, в общем виде верхняя граница значения занятости для системы, состоящей из t маршрутов, определяется выражением $4q-\frac{4q}{t}$.

Добавление 15

ТРЕБОВАНИЯ К НАВИГАЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ДЛЯ ВВЕДЕНИЯ В ОКЕАНИЧЕСКОМ И УДАЛЕННОМ ВОЗДУШНОМ ПРОСТРАНСТВЕ БОКОВОГО ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ 30 М. МИЛЬ

1. ВВЕДЕНИЕ

В данном добавлении представлен метод оценки риска столкновения вследствие потери планового бокового эшелонирования в системе параллельных маршрутов, имеющих эшелонирование между смежными маршрутами 30 м. миль. Рассмотрено несколько различных систем параллельных маршрутов и для каждой определены требования к навигационным характеристикам, которым должна отвечать система, чтобы не был превышен принятый на международной основе установленный уровень безопасности (TLS) 5×10^{-5} катастроф на час полета. В данном добавлении для исключения неоправданных повторов подразумевается, что упомянутые катастрофы происходят вследствие потери планового бокового эшелонирования. Если в тексте специально не оговаривается потеря эшелонирования другого вида, то все упоминания об авиационных происшествиях, частотах авиационных происшествий и столкновений относятся к потере планового бокового эшелонирования.

2. ОГРАНИЧЕНИЯ НА ТИПИЧНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ ОШИБКИ

2.1 При установлении стандартных значений требуемых навигационных характеристик (RNP) для воздушных судов, использующих океанические системы маршрутов, Группа экспертов по рассмотрению общей концепции эшелонирования (RGCSP) рассмотрела вероятность перекрытия в боковом измерении воздушных судов, назначенных на смежные параллельные маршруты. Указанная вероятность бокового перекрытия, которая главным образом определяет частоту авиационных происшествий в системе маршрутов, меняется с изменением навигационной точности парка воздушных судов, использующих систему маршрутов, при этом навигационная точность может быть охарактеризована пределом, налагаемым на 95% случаев типичных боковых отклонений, совершаемых парком воздушных судов. При исследовании функциональной зависимости вероятности бокового перекрытия от "95%-ного предела удерживания" RGCSP выявила, что в довольно большом диапазоне значений снижение значения предела удерживания ведет к существенному уменьшению вероятности перекрытия. Однако как только предел удерживания уменьшается приблизительно до одной шестой величины эшелонирования между маршрутами, дальнейшее его уменьшение дает лишь пренебрежимо малое уменьшение вероятности перекрытия. Таким образом, если администрация по организации воздушного пространства желает установить RNP для парка воздушных судов, использующих систему параллельных маршрутов, ей не следует настаивать на том, чтобы операторы демонстрировали характеристики в боковом измерении лучше, чем те, которые соответствуют 95%-ному пределу удерживания, равному одной шестой от величины эшелонирования.

2.2 Для того чтобы избежать быстрого увеличения числа стандартов RNP, Группа экспертов RGCSP первоначально установила только два таких стандарта для океанических полетов, RNP 20 и RNP 12,6. Позже был добавлен RNP 10. Для полетов по маршруту в континентальном воздушном пространстве RGCSP приняла RNP 1 и RNP 4, а для части европейского воздушного пространства RNP 5.

2.3 В последние годы некоторые администрации по организации воздушного пространства проявили интерес к организации систем океанических маршрутов с эшелонированием между смежными параллельными маршрутами 30 м. миль. Для безопасной работы в такой системе парк воздушных судов должен демонстрировать характеристики в боковом измерении, эквивалентные (или лучшие, чем) RNP 5. Однако важно помнить, что большое число воздушных судов, сертифицированных для полетов по RNP 5 в континентальном воздушном пространстве, не смогут совершать операции с той же точностью в океаническом воздушном пространстве, потому что их характеристики RNP 5 могут зависеть от использования наземных навигационных средств (NAVAIDS). В последние годы большому числу новых дальнемагистральных воздушных судов (типа тех, на которых было установлено оборудование "FANS-1" фирмы "Боинг") было дано одобрение для полетов по RNP 4, и, вероятно, эти воздушные суда должны быть первыми, летающими в системах океанических маршрутов с эшелонированием между смежными параллельными маршрутами 30 м. миль.

3. ОГРАНИЧЕНИЯ НА ЧАСТОТУ НЕТИПИЧНЫХ ОШИБОК В БОКОВОМ ИЗМЕРЕНИИ

3.1 В данном разделе исследованы несколько возможных конфигураций параллельных маршрутов. Для каждой конфигурации рассматривается представительный набор значений занятости (занятость является мерой подверженности риску) в пределах от 0 до 2. Для каждого значения занятости рассчитана максимальная приемлемая частота нетипичных боковых отклонений, соответствующих уровню TLS 5×10^{-9} катастроф на час полета. Частота катастроф оценивается по известной модели Райха для параллельных маршрутов, при этом используется традиционная система обозначений модели. Значения параметров модели, показанные в таблице A-15-1, являются типичными для конкретного океанического воздушного пространства второй половины 1990-х годов. Важно помнить, что характеристики парка воздушных судов изменяются при переходе от одного воздушного пространства к другому, а также меняются со временем. При проведении подобных вычислений для другого воздушного пространства должны использоваться те значения параметров, которые, как ожидается, будут преобладать в нем в течение того периода времени, когда будет использовано соответствующее эшелонирование.

В самых простых случаях, включая две траектории полета на одной и той же высоте, модель Райха определяет частоту катастроф как $P_y(S_y)P_z(0)\frac{\lambda_x}{S_x}E_y(same)K_{same}$ катастроф на час полета, если движение по маршрутам осуществляется в одном направлении и $P_y(S_y)P_z(0)\frac{\lambda_x}{S_x}E_y(opp)K_{opp}$ катастроф на час полета, если движение по маршрутам осуществляется в противоположных направлениях.

3.2 Как было отмечено выше, вероятность перекрытия в боковом измерении, $P_y(S_y)$, значительно изменяется при изменении типичной навигационной точности, если 95%-ный предел удерживания превышает одну шестую от эшелонирования между рассматриваемыми маршрутами. Когда предел удерживания меньше, чем одна шестая S_y, то вероятность перекрытия в боковом измерении становится

почти постоянной относительно типичной навигационной точности, но изменяется (почти) линейно при изменении α – частоты нетипичных боковых ошибок парка воздушных судов.

3.3 Для того чтобы иметь возможность охарактеризовать как типичные, так и нетипичные боковые ошибки парка воздушных судов, аналитики обычно используют двойную двустороннюю экспоненциальную функцию плотности распределения (DDE). Функция DDE часто записывается в форме

$$f(x)=\frac{1-\alpha}{2\lambda_1}e^{-\frac{|x|}{\lambda_1}}+\frac{\alpha}{2\lambda_2}e^{-\frac{|x|}{\lambda_2}}.$$

Таким образом, она представляет собой взвешенную сумму двух двусторонних экспоненциальных плотностей (также называемых DE или "первые плотности Лапласа"), первая из которых описывает типичные ошибки, а вторая – нетипичные ошибки. Каждый из параметров λ_1 и λ_2 представляет собой стандартное отклонение соответствующей плотности DE, умноженное на $\frac{\sqrt{2}}{2}$. Весовой параметр α пропорционален времени, в течение которого "среднее" воздушное судно совершает нетипичную ошибку.

3.4 Рассмотрим пару параллельных маршрутов, имеющих разделение S_y м. миль, и предположим, что боковые ошибки воздушных судов, использующих оба маршрута, могут быть охарактеризованы одной и той же DDE с плотностью распределения f. Если мы выберем случайным образом два воздушных судна из тех, которые назначены на каждый маршрут, то вероятность $P_y(S_y)$ того, что два выбранных воздушных судна перекрываются в боковом измерении, приблизительно будет равна:

$$2\lambda_y\left[\left(\frac{1-\alpha}{2\lambda_1}\right)^2(\lambda_1+S_y)e^{-\frac{S_y}{\lambda_1}}+\left(\frac{\alpha}{2\lambda_2}\right)^2(\lambda_2+S_y)e^{-\frac{S_y}{\lambda_2}}+\frac{\alpha(1-\alpha)}{2}\left(\frac{e^{-\frac{S_y}{\lambda_1}}+e^{-\frac{S_y}{\lambda_2}}}{\lambda_1+\lambda_2}+\frac{e^{-\frac{S_y}{\lambda_2}}-e^{-\frac{S_y}{\lambda_1}}}{\lambda_2-\lambda_1}\right)\right].$$

В этом выражении для $P_y(S_y)$ первый из трех членов в прямоугольных скобках (описывающий взаимодействие "центральной и центральной" частей распределений боковых ошибок двух воздушных судов) доминирует, когда 95%-ный предел удерживания для типичных ошибок парка воздушных судов превышает $S_y/5$. Если 95%-ный предел удерживания меньше, чем $S_y/6$, то доминирует третий член (описывающий взаимодействие "центральной и хвостовой" частей распределений боковых ошибок двух воздушных судов), дающий общий вклад более чем 99% значения $P_y(S_y)$.

3.5 После выбора значения занятости для движения в одном или встречном направлениях применим соответствующую формулу из приведенных в конце пункта 3.1, чтобы получить значение α, при котором $P_y(S_y)$ будет достаточно малым, чтобы частота катастроф равнялась TLS. Другими словами, если движение по маршрутам происходит в одном и том же направлении, то находим значение α, при котором

$$P_y(S_y)=\frac{5\cdot10^{-9}}{P_z(0)\left(\frac{\lambda_x}{S_x}\right)E_y(same)K_{same}},$$

а для случая движения в противоположных направлениях находим значение α, при котором

$$P_y(S_y) = \frac{5 \cdot 10^{-9}}{P_z(0)\left(\frac{\lambda_x}{S_x}\right)E_y(opp)K_{opp}}.$$

Используя постоянные, приведенные в таблице А-15-1, определяем, что при движении по маршрутам в одном и том же направлении мы ищем значение α, для которого $P_y(S_y) = \frac{2{,}33\times10^{-8}}{E_y(same)}$, а если движение происходит в противоположных направлениях, то мы ищем значение α, для которого $P_y(S_y) = \frac{2{,}29\times10^{-9}}{E_y(opp)}$.

Таблица А-15-1. Значения параметров модели Райха

Обозначение	Значение	Величина
λ_x	Средняя длина воздушного судна	0,0348 м. мили
λ_y	Средняя ширина воздушного судна	0,031 м. мили
λ_z	Средняя высота воздушного судна	0,0089 м. мили
S_x	Предполагаемое ближайшее расстояние в продольном измерении, в пределах которого должны находиться воздушные суда, назначенные на разные маршруты	120 м. миль
$\overline{V}$	Средняя скорость воздушного судна	480 узлов
$\overline{\lvert\Delta V\rvert}$	Средняя относительная скорость в продольном измерении воздушных судов, назначенных на разные маршруты в одном направлении	13 узлов
$\overline{\dot{y}}$	Средняя относительная скорость в боковом измерении воздушных судов, назначенных на разные маршруты	75 узлов
$\overline{\dot{z}(0)}$	Средняя относительная скорость воздушных судов, назначенных на один и тот же эшелон	1,5 узла
$P_z(0)$	Вероятность перекрытия в вертикальном измерении двух воздушных судов, назначенных на один и тот же эшелон полета	0,5
$P_y(S_y)$	Вероятность перекрытия в боковом измерении двух воздушных судов, назначенных на маршруты с эшелонированием S_y	

Обозначение	Значение	Величина
$E_y(same)$	Занятость в боковом измерении при движении в одном направлении	
$E_y(opp)$	Занятость в боковом измерении при встречном движении	
K_{same}	$\frac{\overline{\lvert\Delta V\rvert}}{2\lambda_x}+\frac{\bar{\dot{y}}}{2\lambda_y}+\frac{\overline{\dot{z}(0)}}{2\lambda z}$	1480,73
K_{opp}	$\frac{\bar{V}}{\lambda_x}+\frac{\bar{\dot{y}}}{2\lambda_y}+\frac{\overline{\dot{z}(0)}}{2\lambda z}$	15 087,05

3.6 На рис. A-15-1a показаны два параллельных маршрута с эшелонированием 30 м. миль, движение по которым происходит в одном направлении. Рис. A-15-1b показывает, как изменяется максимальное приемлемое значение α в зависимости от однонаправленной занятости пары маршрутов.

3.7 На рис. A-15-2a также показана пара параллельных маршрутов с эшелонированием 30 м. миль, но движение происходит в противоположных направлениях. Рис. A-15-2b показывает, как изменяется максимальное приемлемое значение α в зависимости от встречной занятости пары маршрутов. Хотя кривые на рис. A-15-1b и A-15-2b кажутся одинаковыми, важно помнить, что числитель $2{,}29 \times 10^{-9}$, использованный в примере встречного движения, на порядок величины меньше, чем числитель $2{,}33 \times 10^{-8}$, используемый для случая однонаправленного движения, и поэтому максимальные приемлемые значения α, показанные на рис. A-15-2b, на порядок величины меньше, чем соответствующие значения, показанные на рис. A-15-1b. Отметим, в частности, что масштабы вертикальных осей на этих двух рисунках отличаются на порядок величины. (Если парк воздушных судов, использующих данную систему маршрутов, демонстрирует типичные боковые отклонения, имеющие значения удерживания для 95% меньшие, чем $S_y/6$, то $P_y(S_y)$ изменяется (почти) так же, как α. В пункте 3.5 показано, что $P_y(S_y)$ изменяется обратно пропорционально занятости. Таким образом, можно ожидать, что изменение α также обратно пропорционально занятости, и действительно, рис. A-15-1b и A-15-2b напоминают гиперболы вида *постоянная/x*.)

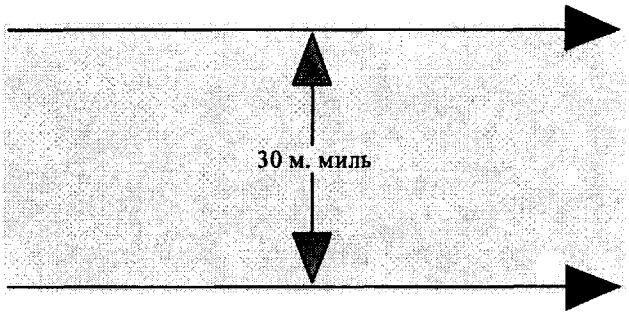


Рисунок A-15-1a. Пара параллельных маршрутов: движение осуществляется в одном и том же направлении

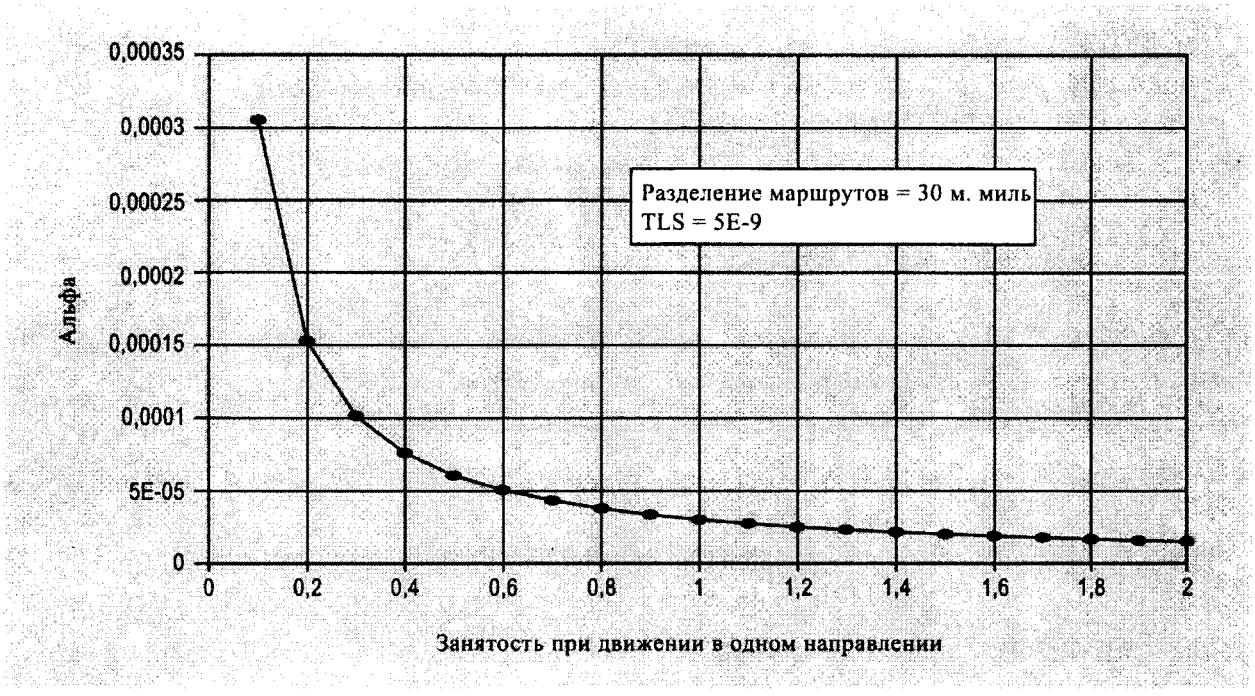


Рисунок А-15-1b. Максимальное приемлемое значение альфа

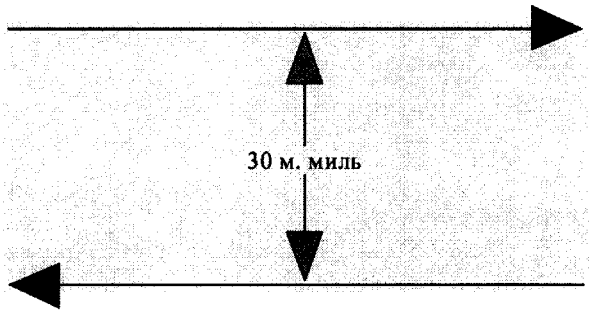


Рисунок А-15-2а. Пара параллельных маршрутов: движение осуществляется в противоположных направлениях

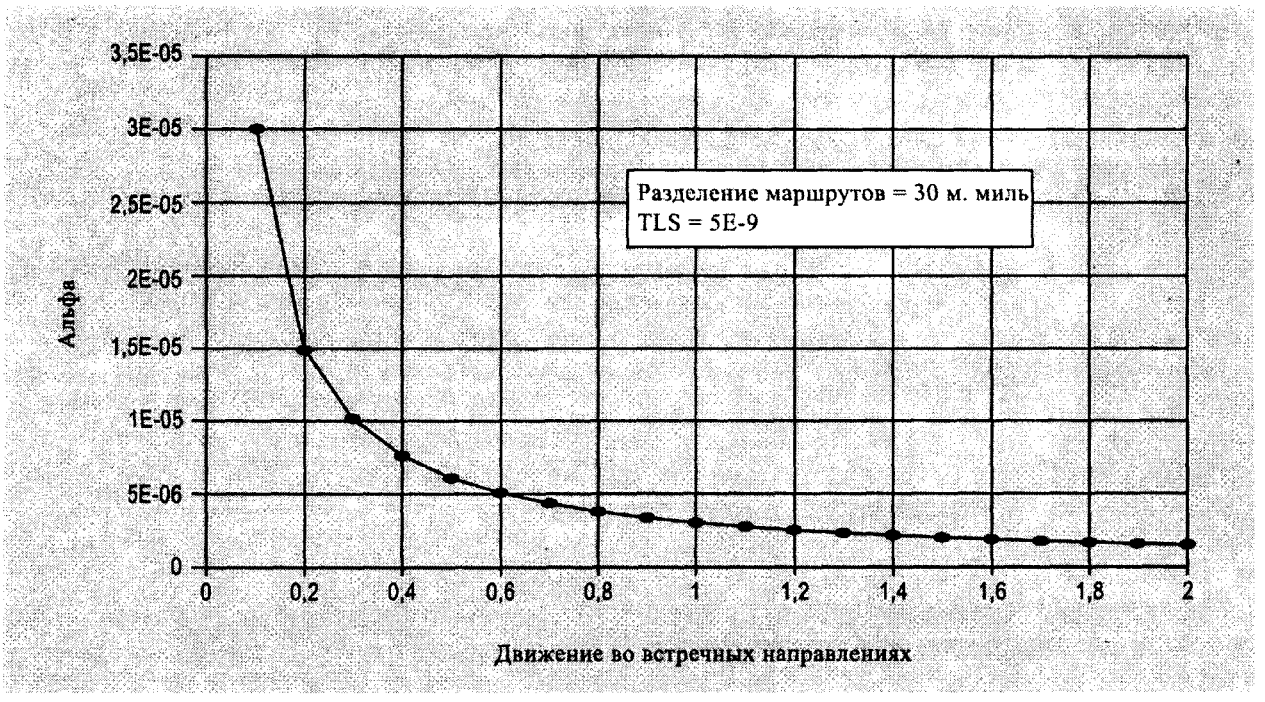


Рисунок A-15-2b. Максимальное приемлемое значение альфа

3.8 Вычисление максимальных приемлемых значений α предполагает, что типичные характеристики парка воздушных судов просто удовлетворяют RNP 4. Таким образом, принимается, что 95% типичных боковых ошибок должны быть меньше чем 4 м. мили. Из этого следует, что параметр λ_1 имеет значение 4/[- ln (,05)] = 1,3352. Параметр λ_2 принят равным S_y – расстоянию между маршрутами, то есть 30 м. миль. Это консервативное значение, которое максимизирует вероятность перекрытия $P_y(S_y)$ в боковом измерении.

3.9 На рис. A-15-3a показаны четыре параллельных маршрута, имеющих одно и то же направление движения. Для упрощения ссылок маршруты последовательно обозначены как R1, R2, R3 и R4. В данном примере предполагаются три эшелона полета и принимается такое распределение трафика, при котором на нижнем эшелоне осуществляется 1/4 трафика, на среднем эшелоне – 5/12 и на верхнем эшелоне оставшаяся 1/3. Для каждого эшелона на R1 осуществляется 1/12 трафика эшелона, на R2 – 1/3, на R3 – 5/12 и на R4 – оставшаяся 1/6. Таким образом, данный пример отражает иногда наблюдавшееся на практике распределение трафика на центральных маршрутах системы.

3.10 В добавлении 14 получены формулы для занятости и частоты катастроф для всех пар траекторий полета в такой системе, а также для совокупностей пар траекторий. Рис. A-15-3b основан на анализе, при проведении которого формулы упомянутого добавления сначала применяются для вычисления частоты катастроф, а затем изменяется частота нетипичных ошибок α таким образом, чтобы найти значение, при котором частота катастроф будет равна TLS 5×10^{-9} катастроф на час полета. Рисунок показывает значения α, соответствующие (смежная траектория полета) занятостям, в диапазоне от 0,1 до 2,0. Анализ, поддерживающий рис. A-15-3b, отличается от большинства оценок частоты катастроф (типа тех, на которых основаны рис. A-15-1b и A-15-2b) тем, что он включает не только частоту катастроф вследствие

потери планового эшелонирования между воздушными судами, назначенными на смежные маршруты, но также и частоту катастроф воздушных судов, назначенных на несмежные маршруты. В примере, использованном при подготовке рис. A-15-3b, включение несмежных маршрутов увеличивает частоту катастроф почти на седьмую часть и уменьшает максимальное приемлемое α почти на 13%. Пример показывает, что хотя частота катастроф, полученная на несмежных маршрутах, вносит небольшой вклад в общую частоту, однако этот вклад не является незначительным или незначащим.

3.11 Анализ, упомянутый в 1.1, проводился для системы семи параллельных маршрутов на семи эшелонах полета. Было проведено моделирование системы организованных маршрутов Северной Атлантики (NAT OTS) после середины 1990-х годов, до введения сокращенного минимума вертикального эшелонирования (RVSM) 1000 футов. Более ранняя попытка оценить максимальные приемлемые значения α в такой системе была предпринята весной 1995 года на совещании Рабочей группы A RGCSP, которая даже попыталась объяснить концентрацию движения на центральных маршрутах системы и центральных эшелонах полета, но ее анализ эффекта концентрации был не верен. Можно ожидать, что применение результатов добавления 14 исправит ошибки более ранних исследований.

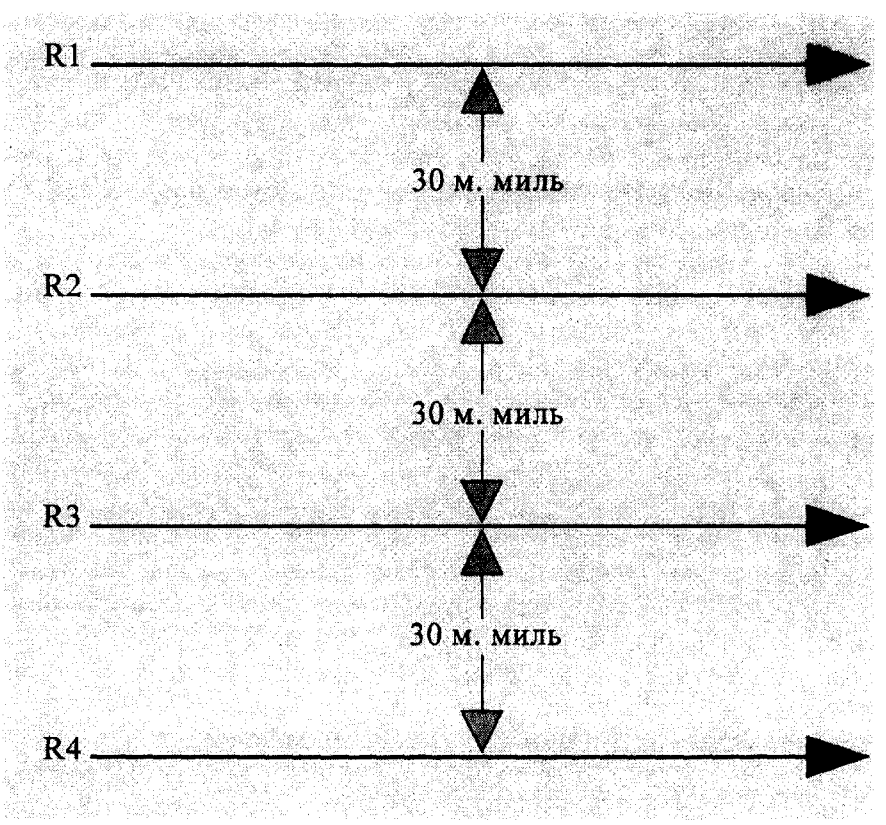


Рисунок A-15-3a. Четыре параллельных маршрута с одним направлением движения

3.12 На рис. A-15-4 изображены графики результатов, полученных при проведении анализа, подобного тому, который был выполнен при подготовке рис. A-15-3b. Мы рассматриваем систему семи

параллельных маршрутов на семи эшелонах полета и принимаем распределение трафика движения по отдельным траекториям таким же, как распределение, наблюдавшееся на восточной границе области NAT OTS 15 августа 1994 года (то же самое распределение использовалось в анализе, выполненном весной 1995 года). Максимальные приемлемые значения α, показанные на рис. A-15-4, имеют несколько меньшие величины, чем соответствующие значения, показанные на рис. A-15-3b, которые сами по себе являются несколько меньшими по сравнению со значениями, показанными на рис. A-15-1b. При проведении анализа, поддерживающего рис. A-15-4, мы находим, что частота катастроф вследствие столкновений между воздушными судами, назначенными на смежные траектории (на одной высоте), составляет несколько более 75% от всей частоты катастроф. Воздушные суда, назначенные на траектории, имеющие двойное минимальное боковое эшелонирование, привносят еще 20% от общего количества; ВС, назначенные на траектории, разделенные тремя минимальными расстояниями, вносят вклад более 4%; а те, которые были назначены на траектории, разделенные четырьмя минимальными расстояниями, определяют большую часть остающегося 1%. Таким образом, можно еще раз наблюдать, что воздушные суда, назначенные на несмежные траектории, вносят существенный вклад – почти 25% в рассматриваемом случае – в общую частоту катастроф для данной системы маршрутов.

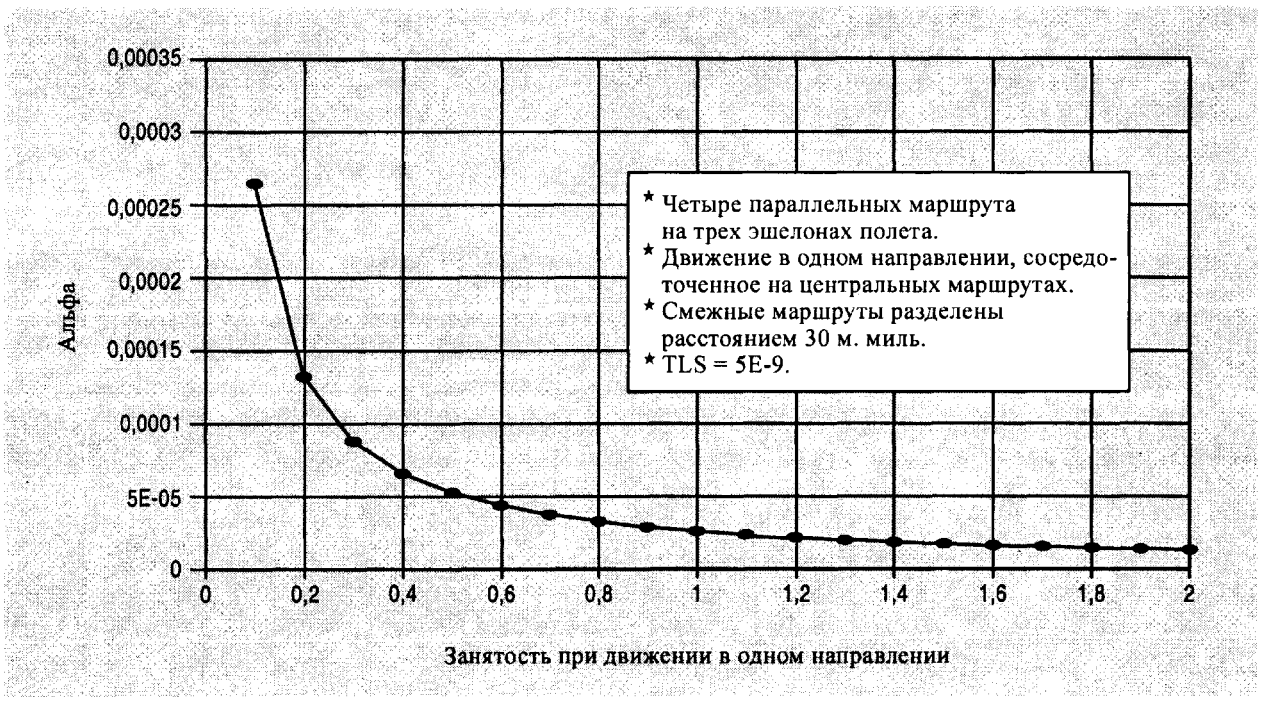


Рисунок A-15-3b. Максимальное приемлемое значение альфа

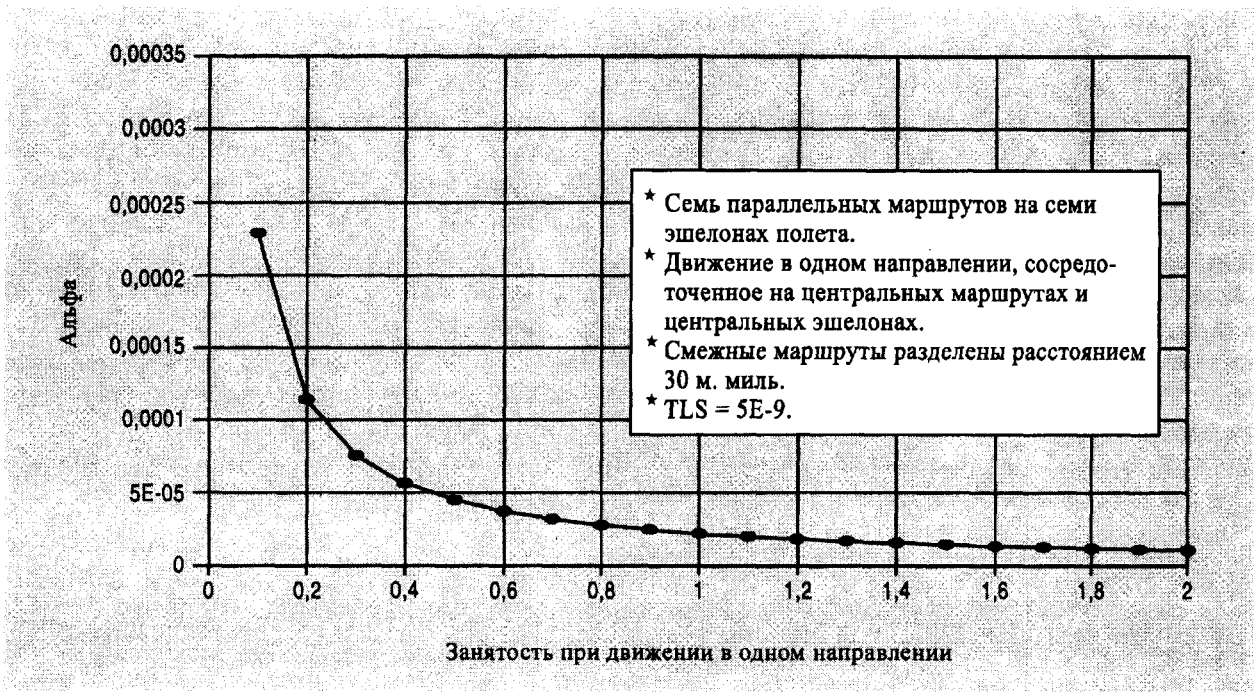


Рисунок А-15-4. Максимальное приемлемое значение альфа

3.13 Вспомним, что RNP воздушного пространства определяет параметр λ_1 плотности распределения DDE и что мы приняли наиболее консервативное значение параметра λ_2. Максимальные приемлемые значения частоты нетипичных боковых ошибок α, при которых данные системы маршрутов и занятости могут удовлетворять значению TLS 5×10^{-9} катастроф на час полета, получают при проведении расчетов, поддерживающих рис. А-15-1b, 2b, 3b, и 4. Эти три параметра, α, λ_1 и λ_2, полностью определяют функцию плотности распределения DDE, используемую для описания характеристик воздушного судна, удовлетворяющего TLS.

3.14 Технические требования к минимальным навигационным характеристикам (MNPS) для региона Северной Атлантики (NAT) также устанавливают требования к характеристикам воздушного судна в виде трех параметров. Первый из них – ограничение на среднеквадратическое отклонение боковых ошибок выдерживания линии пути. Второй параметр, обычно обозначаемый η, – ограничение на соотношение полного времени полета и времени, проведенного на расстоянии более чем половина стандарта эшелонирования от осевой линии маршрута, то есть ограничение на частоту грубых боковых ошибок. Третий, называемый ζ, представляет собой ограничение на долю полетного времени, проведенного в непосредственной близости от осевой линии смежного маршрута. В MNPS под "непосредственной близостью" понимается полоса шириной 20 м. миль, которая охватывает все точки в пределах 10 м. миль от осевой линии. В данном анализе, рассматривающем смежные маршруты с эшелонированием между осевыми линиями 30 м. миль, под "непосредственной близостью" понимается полоса шириной 12 м. миль, охватывающая все точки в пределах 6 м. миль от осевой линии смежного маршрута. К счастью, не составляет труда преобразовать значения α, λ_1 и λ_2 в значения трех параметров, используемых в NAT MNPS. Ограничение на среднеквадратическое отклонение боковых ошибок выдерживания линии пути логически эквивалентно RNP, а значения η и ζ могут быть получены посредством интегрирования плотности

распределения DDE по соответствующим интервалам или, аналогично, путем расчета разностей функции распределения DDE, вычисленных в соответствующих точках.

3.15 MNPS для NAT требуют типовой навигации, эквивалентной RNP 12,6, в то же время (как показано выше) система, имеющая минимум бокового эшелонирования 30 м. миль, будет, вероятно, эксплуатироваться с RNP 4. В таблице A-15-2 приведены значения α, которые графически изображены на рис. A-15-4 (то есть максимальные приемлемые частоты нетипичных ошибок для однонаправленной системы маршрутов, включающей семь маршрутов и семь эшелонов полета, имеющей минимальное боковое эшелонирование 30 м. миль и типичное распределение трафика, подобное распределению на восточной границе NAT OTS на 15 августа 1994 года). В таблице A-15-2 также приведены значения η и ζ, соответствующие каждому значению α. Даже при самой низкой занятости, показанной в таблице, то есть при 0,1, значения η и ζ являются значительно более строгими, чем значения, принятые в NAT MNPS, где $\eta = 5{,}3 \times 10^{-4}$, а $\zeta = 1{,}3 \times 10^{-4}$.

4. СРЕДСТВА УМЕНЬШЕНИЯ ЧАСТОТЫ ГРУБЫХ ОШИБОК В БОКОВОМ ИЗМЕРЕНИИ

Несколько усовершенствований в бортовом радиоэлектронном оборудовании, системах связи и системах управления воздушным движением, которые предполагалось осуществить в конце 1990-х годов, как ожидалось, должны были значительно снизить частоту грубых боковых ошибок и тем самым обеспечить возможность сокращения норм бокового эшелонирования. Чтобы определить, имели ли предложенные системы действительный потенциал для устранения грубых ошибок в океаническом воздушном пространстве, исследователи из службы летных норм Федерального авиационного управления Соединенных Штатов Америки тщательно исследовали каждую из ошибок таблицы A и таблицы B, введенных в базу данных Центрального агентства по контролю Северной Атлантики (NAT CMA) между 1986 и 1993 годами. Их исследование показало, что предложенные усовершенствования обладали потенциалом для устранения приблизительно 95% грубых ошибок, внесенных в перечень. Хотя этот результат подтвердил потенциальные преимущества реализации предложенных усовершенствований, однако, должен быть подтвержден тот факт, что различные подсистемы, которые предназначены для уменьшения ошибки, на самом деле работают так, как запланировано. Следует отметить, что любая новая система может стать источником непредусмотренных ошибок, и поскольку некоторые из новых систем являются очень сложными, определить причины таких ошибок может быть чрезвычайно трудно.

5. ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ

5.1 Каждому океаническому воздушному пространству присущи характеристики, такие, как количество и протяженность маршрутов, а также размеры, скорости и навигационные характеристики использующих его воздушных судов, которые отличают его от других. Количественные результаты, приведенные в разделе 3, получены при использовании типичных значений параметров, которые являются существенными при проведении исследований риска столкновения, но они не должны рассматриваться как применимые ко всему океаническому воздушному пространству. Тем не менее не составляет труда повторить эти расчеты со значениями, определенными для любой конкретной системы маршрутов.

Таблица А-15-2. Значения ета и дзета, вычисленные на основе двойной двусторонней экспоненциальной функции распределения (DDE)

Лямбда 1 = 1,3352
Лямбда 2 = 30

Половина лямбды 2 =
Половина нормы эшелонирования = 15

Внешний предел дзеты = 36

Внутренний предел дзеты = 24

Занятость	Максимальная альфа	Ета	Дзета
0,1	2,29E-04	1,52E-04	3,40E-05
0,2	1,15E-05	8,27E-05	1,70E-05
0,3	7,53E-05	5,95E-05	1,13E-05
0,4	5,72E-05	4,79E-05	8,50E-06
0,5	4,58E-05	4,10E-05	6,80-06
0,6	3,82E-05	3,64E-05	5,67-06
0,7	3,27E-05	3,30E-05	4,86-06
0,8	2,86E-05	3,06E-05	4,25-06
0,9	2,54E-05	2,86E-05	3,78-06
1,0	2,29E-05	2,71E-05	3,40-06
1,1	2,08E-05	2,58E-05	3,10-06
1,2	1,91E-05	2,48E-05	2,84-06
1,3	1,76E-05	2,39E-05	2,62-06
1,4	1,63E-05	2,31E-05	2,43-06
1,5	1,52E-05	2,25E-05	2,27-06
1,6	1,43E-05	2,19E-05	2,13-06
1,7	1,34E-05	2,14E-05	2,01-06
1,8	1,27E-05	2,09E-05	1,89-06
1,9	1,20E-05	2,05E-05	1,80-06
2,9	1,14E-05	2,01E-05	1,71-06

5.2 Соответствующие значения для некоторых параметров, используемых при расчетах риска столкновения, могут быть получены с помощью наблюдений операторов; другие могут быть получены на основе локационных данных о местоположении воздушных судов, а также посредством осторожной сортировки данных, зарегистрированных на лентах записи хода полета (стрипах). Хотя некоторые процедуры, включаемые в определение значений параметра, являются трудоемкими и могут потребовать усилий в течение недель или месяцев, большинство могут быть выполнены в течение разумных интервалов времени. Грубые ошибки, однако, происходят весьма редко, и поэтому администрация по организации воздушного пространства, которая желает определить, является ли частота грубых ошибок в ее системе маршрутов достаточно низкой, должна в течение нескольких лет проводить мониторинг системы и создавать такую базу данных, как NAT CMA. Конечно, если база данных не поддерживается на хорошем уровне, в частности если она не включает все грубые ошибки, которые происходят в воздушном пространстве, тогда администрация может сделать ошибочное заключение о том, что ее система маршрутов может работать безопасно с меньшими нормами эшелонирования, чем те, которые гарантируют существующую (но неизвестную) частоту грубых ошибок.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разделе 3 рассмотрены четыре различных примера систем маршрутов, имеющих эшелонирование 30 м. миль между смежными на одной высоте траекториями полета. Для каждой из этих систем получена максимальная частота нетипичных ошибок, которые могут быть допустимыми для каждого уровня занятости, если система должна удовлетворять уровню TLS 5×10^{-9} катастроф на час полета.

Добавление 16

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЗАВИСИМОГО НАБЛЮДЕНИЯ (ADS)

1. ВВЕДЕНИЕ

Администрация, отвечающая за организацию воздушного пространства и планирующая применение системы ADS, может пожелать установить стандартные технические характеристики для системы прежде, чем будет начата подготовка подробных спецификаций и других документов для осуществления поставки. В данном добавлении предлагается процедура для получения пяти существенных параметров стандартов:

p_w – минимальная приемлемая вероятность того, что система предотвращает ошибку ввода точки маршрута в боковом измерении;

p_n – минимальная приемлемая вероятность того, что система предотвращает предотвратимую боковую ошибку неввода точки маршрута;

P(A) – минимальная приемлемая вероятность завершения последовательности действий, обозначенных в данном добавлении как "цикл ADS";

t – максимальное приемлемое время для завершения цикла ADS; и

m – минимальная приемлемая вероятность того, что цикл ADS завершится за время t, при условии, что он завершится.

Данная процедура основана на двух важных особенностях систем ADS: использование ими функций соответствия маршруту и использование контрактов по событиям.

2. ПОЛУЧЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ p_w И p_n

2.1 Первый шаг процедуры предполагает, что администрация по организации воздушного пространства поддерживает систему мониторинга (или имеет к ней доступ), которая регистрирует грубые боковые ошибки парка воздушных судов, использующих маршруты в зоне ее ответственности. Например, Центральное агентство мониторинга (CMA) национальной службы воздушного движения Великобритании ведет статистику по характеристикам парка воздушных судов в регионе Северной Атлантики; реестр разрешений и организация контроля Азиатско-Тихоокеанского региона (APARMO) Федерального авиационного управления Соединенных Штатов Америки реализует подобную функцию для парка

воздушных судов Тихоокеанского региона; авиационная администрация Испании (Aena) использует агентство контроля Южной Атлантики (SATMA). Хотя система мониторинга может применяться для различных целей в процедуре, описанной здесь, в основном используется ее способность определения частоты грубых боковых ошибок r для системы трасс. Обычно ожидается, что r будет получен эмпирически и будет характеризовать преобладающую частоту, но в ряде случаев можно было бы указать ожидаемую будущую частоту при условии, что ее значение может быть аналитически разумно обосновано. Частота r может быть достаточно низкой для проведения безопасных операций при текущих условиях, но она может быть слишком высокой для безопасной работы в данной системе маршрутов после осуществления предполагаемого изменения, такого, как сокращение бокового эшелонирования между смежными параллельными трассами. Для сокращения частоты грубой ошибки до приемлемого уровня может потребоваться применение ADS.

2.2 В связи с этим администрации по организации воздушного пространства также необходимо выбрать максимально приемлемую частоту грубой ошибки η_R. η_R – максимально допустимая вероятность того, что *после* внедрения ADS случайно выбранный рейс совершает грубую ошибку.

2.3 Исследование данных грубой ошибки, типа тех, которые сохраняются CMA, может дать возможность прогнозировать частоту погрешностей, свойственных отказам навигационных систем. Есть основания ожидать, что всякий раз, когда авиадиспетчеры не информированы относительно такого отказа, экипаж самолета с отказавшим оборудованием также не знает об этом, поскольку в большинстве случаев, если бы экипаж знал о данном отказе, он бы уведомил обслуживающий его центр УВД. Если летный экипаж не был информирован относительно отказа, то сама навигационная система и все подсистемы воздушного судна, с которыми она связана, по всей вероятности, были не способны обнаружить отказ. CMA обычно заказывает исследование каждой грубой боковой ошибки в системе трасс Северной Атлантики (NAT), на которую оно обращает внимание и сохраняет запись причины ошибки. Если другие агентства контроля поступают аналогичным образом, то типовая служба организации воздушного пространства должна иметь доступ к данным, которые обеспечивают ей возможность оценить долю f_u всех грубых боковых ошибок в ее воздушном пространстве, вызванных не обнаруживаемыми отказами навигационных систем. Так как бортовое оборудование ADS не может выявить эти отказы, то система ADS будет не способна предотвратить соответствующие ошибки, и частота ошибок для парка воздушных судов после реализации ADS будет по крайней мере rf_u. Если $rf_u > \eta_R$, то применение ADS не будет само по себе способствовать сокращению частоты грубых ошибок системы до приемлемого уровня. В связи с этим в последующей части данного добавления рассматриваются только значения f_u меньше, чем $\frac{\eta_R}{r}$, то есть те значения, для которых $rf_u < \eta_R$.

2.4 В последние годы в отношении по крайней мере одного интенсивно используемого воздушного пространства отмечалось, что большая часть грубых боковых ошибок обусловлена ошибками ввода точки маршрута. Используя данные от соответствующего агентства контроля, администрация может также оценить долю всех грубых ошибок f_w, которые являются ошибками ввода точки маршрута. Доля обнаруживаемых и, возможно, предотвратимых грубых ошибок в системе трасс составляет $1 - f_u$. Поскольку все ошибки ввода точки маршрута можно рассматривать в качестве кандидатов для их предотвращения с помощью ADS, то ясно, что $f_w < 1 - f_u$ и что $\frac{f_w}{1 - f_u}$ представляет собой ту часть возможно предотвратимых ошибок, которые являются ошибками ввода точки маршрута. Поэтому

$1-\frac{f_w}{1-f_u}=\frac{1-f_u-f_w}{1-f_u}$ – это доля возможно предотвратимых грубых ошибок, которые являются погрешностями неввода точки маршрута. Основная частота (предотвратимых) грубых ошибок ввода точки маршрута будет rf_w, а основная частота предотвратимых грубых ошибок неввода точки маршрута записывается как $r(1-f_u-f_w)$. То есть, до применения ADS rf_w = P (случайно выбранный рейс совершает грубую ошибку ввода точки маршрута); аналогично $r(1-f_u-f_w)$ = P (случайно выбранный рейс совершает предотвратимую грубую ошибку неввода точки маршрута). С целью экономии места введем сокращения "WPIE" для обозначения грубой ошибки ввода точки маршрута и "NWPIE" для обозначения грубой ошибки неввода точки маршрута.

2.5 Функция соответствия маршруту, используемая в ADS (большая часть которой реализуется в наземной составляющей системы), устранит, как ожидается, большинство WPIE. Пусть p_w = P (ADS предотвращает WPIE), и пусть p_n = P (ADS предотвращает предотвратимую NWPIE). Тогда $1-p_w$ = P (ADS не может предотвратить WPIE) и $1-p_n$ = P (ADS не может предотвратить предотвратимую NWPIE). После того как функция ADS реализована в системе маршрутов, максимальная приемлемая частота грубых ошибок представляет собой η_R. Однако ADS не будет иметь никакого воздействия на ту долю частоты грубой ошибки, которая представлена частотой непредотвратимых грубых ошибок rf_u. Если после реализации ADS частота грубых ошибок в системе маршрутов соответствует максимальной приемлемой частоте η_R, то должно удовлетворяться условие:

$\eta_R \geq$ P (в случайно выбранном полете происходит предотвратимая грубая ошибка);

$=$ P (в случайно выбранном полете происходит WPIE);

$+$ P (в случайно выбранном полете происходит предотвратимая NWPIE);

$=$ P (ADS будет не в состоянии предотвратить WPIE)rf_w;

$+$ P (ADS будет не в состоянии предотвратить предотвратимую NWPIE)$r(1-f_u-f_w)$;

$= (1-p_w)rf_w+(1-p_n)r(1-f_u-f_w)$.

Или, что то же самое,

$$\frac{\eta_R}{r}-f_u \geq (1-p_w)f_w+(1-p_n)(1-f_u-f_w)=$$

$$= f_w-f_w\,p_w+1-f_u-f_w-(1-f_u-f_w)p_n=$$

$$= 1-f_u-f_w\,p_w-(1-f_u-f_w)p_n$$

и

$$\frac{\eta_R}{r} \geq 1-f_w\,p_w-(1-f_u-f_w)p_n\,.$$

Таким образом,

$$(1 - f_u - f_w)p_n \geq 1 - \frac{\eta_R}{r} - f_w\, p_w$$

или, что то же самое,

$$p_n \geq \frac{1 - \frac{\eta_R}{r}}{1 - f_u - f_w} - \frac{f_w}{1 - f_u - f_w} p_W \cdot \qquad (1)$$

Это неравенство показывает, что набор возможных значений вероятности p_n ограничен снизу линейной функцией вероятности p_w. Линия, которая образует нижнюю границу, имеет p_w-прерывание $\frac{1 - \frac{\eta_R}{r}}{f_w}$ и p_n-прерывание $\frac{1 - \frac{\eta_R}{r}}{1 - f_u - f_w}$. Однако поскольку p_w и p_n представляют собой вероятности, то их значения также должны находиться в интервале 0–1.

2.6 Таким образом, как только администрация выбрала значения параметров η_R, r, f_u и f_w, ее выбор вероятностей p_w и p_n ограничивается линией, задаваемой неравенством (1) и требованием, в соответствии с которым они остаются между 0 и 1. Область справа от наклонной линии на рис. A-16-1 определяет набор возможных значений p_n и p_w. В этом частном примере параметры имеют значения $\eta_R = 1{,}41 \cdot 10^{-5}$, $r = 6{,}4 \cdot 10^{-5}$, $f_u = 0{,}05$ и $f_w = 0{,}90$. Заметим, что если p_w больше или равна 0,8663, то p_n может принимать любое значение на интервале 0–1, потому что ADS-функция соответствия маршруту устраняет достаточно ошибок WPIE и при этом не будет необходимости устранения посредством ADS любой предотвратимой NWPIE с целью приведения общей величины ошибки к η_R. С другой стороны, даже если ADS полностью устраняет все другие предотвратимые ошибки, но при этом p_w меньше или равна 0,8107, то функция соответствия маршруту не способна предотвратить в достаточной степени ошибки, относящиеся к вводу точки маршрута, чтобы привести общую частоту ошибки к η_R. Конечно, различные начальные условия могут изменить график, но если он будет подобен графику на рис. A-16-1, то вполне возможно, что использование ADS-функции соответствия маршруту способно сократить общую частоту грубой ошибки до требуемого уровня потому, что показатель ее успешного действия прогнозируется лучше 86,63%.

2.7 Граничная линия на рис. A-16-1 является весьма крутой, потому что часть грубых ошибок f_w, которые представляют собой ошибки ввода точки маршрута, составляют большую долю (90%) от суммарной ошибки. Иными словами, общая частота грубых ошибок сокращается в требуемой степени, если и только если частота ошибок ввода точки маршрута сокращается почти в той же самой степени. Даже если будут устранены все другие грубые ошибки, останется еще необходимость уменьшить ошибки ввода точки маршрута на 81,07%, но если ADS устранит 86,63% ошибок ввода точки маршрута, то отпадет необходимость в устранении любых других ошибок.

2.8 На рис. A-16-2 показан пример, в котором $f_w = 0{,}5$, величина типичная для одного достаточно загруженного воздушного пространства в начале 1990-х годов. В данном случае правый нижний конец граничной линии показывает, что даже если $p_w = 1$ (то есть, если ADS предотвращает 100% ошибок ввода точки маршрута), то чтобы привести величину частоты ошибки к $\eta_R = 1{,}41 \cdot 10^{-5}$, все еще останется необходимость предотвращения по крайней мере 62,14% других предотвратимых ошибок. Аналогично

левый верхний конец граничной линии показывает, что если ADS сможет устранить 100% предотвратимых ошибок неввода точки маршрута, то чтобы достигнуть сокращения общей частоты до η_R, все еще останется необходимость предотвращения по крайней мере 65,93% ошибок ввода точки маршрута.

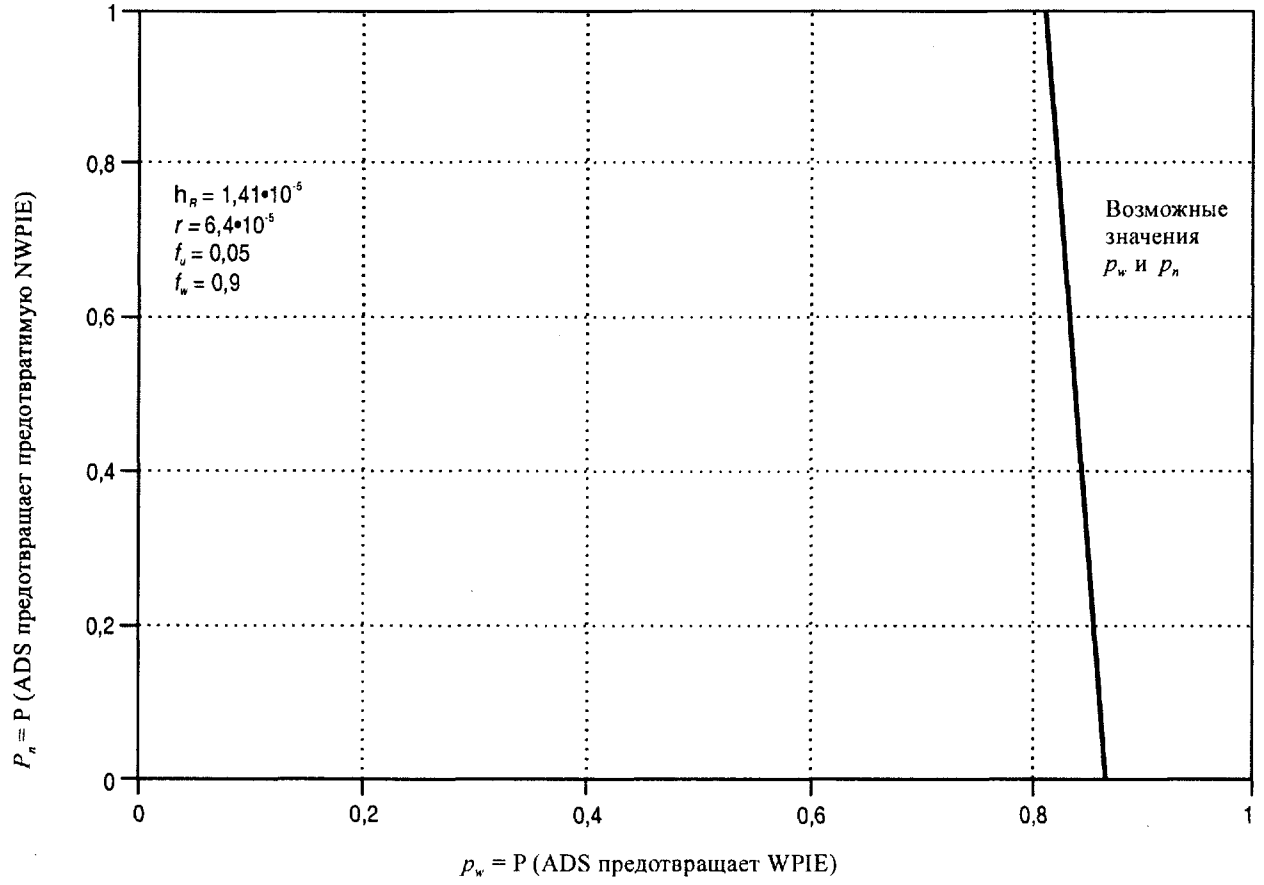


Рисунок А-16-1. Соотношения между требуемыми вероятностями

2.9 Таким образом, администрация по организации воздушного пространства может начать проведение процедуры спецификации эксплуатационных параметров ADS в следующем порядке:

a) получение оценки r, лежащей в основе частоты грубых ошибок в боковом измерении;

b) выбор максимальной приемлемой вероятности, η_R, того, что после реализации ADS при осуществлении типичного рейса будет допущена грубая ошибка в боковом измерении;

c) получение оценки доли грубых боковых ошибок f_u, которые, как ожидается, ADS не сможет предотвратить (имея в виду, что если $rf_u > \eta_R$, то применение ADS не будет само по себе способствовать снижению частоты грубой ошибки системы до приемлемого уровня);

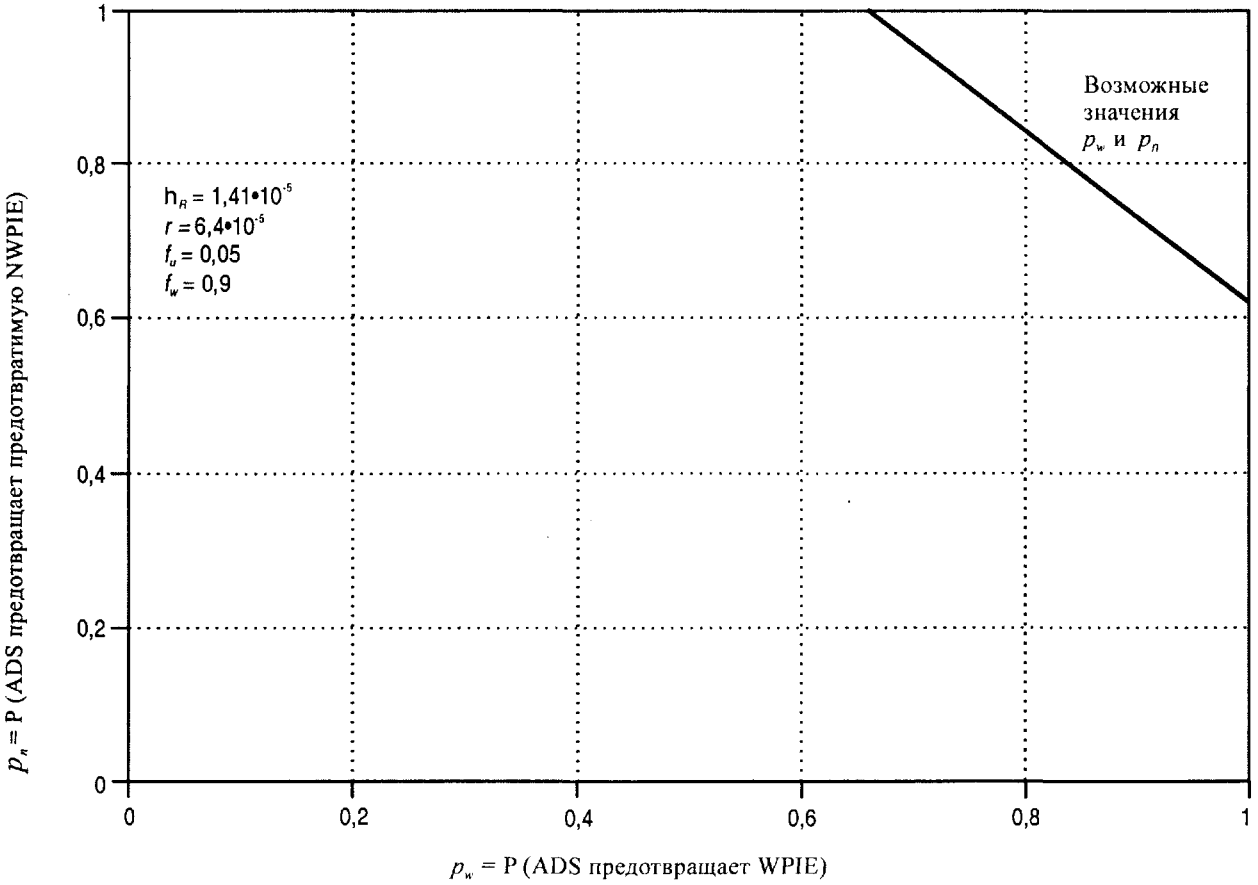


Рисунок A-16-2. Соотношения между требуемыми вероятностями

d) получение оценки доли грубых боковых ошибок f_w, которые являются ошибками ввода точки маршрута; и

e) использование неравенства (1) для выбора p_w, минимальной приемлемой вероятности того, что ошибка ввода точки маршрута будет предотвращена ADS, и p_n, минимальной приемлемой вероятности, что (предотвратимая) погрешность неввода точки маршрута будет предотвращена ADS.

2.10 Весьма существенная разница между рис. A-16-1 и A-16-2 (рисунки, которые отражают различные преобладающие условия в одном и том же воздушном пространстве в течение разных периодов времени) поясняет важное правило. Разные воздушные пространства, и даже одно и то же воздушное пространство в разные периоды времени, могут иметь различные характеристики, и, таким образом, анализ требований безопасности, сделанных для одного из них, не обязательно подходит для другого. Администрация по организации воздушного пространства должна внимательно отнестись к выбору значений параметра, которые отражают характеристики воздушного пространства и период времени, соответствующий его планированию.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ADS

3.1 Основной сценарий

3.1.1 Выбирая или определяя значения параметров, перечисленных в пункте 2.9, администрация по организации воздушного пространства может установить ограничение на максимально приемлемое время для передачи последовательности сообщений, используемых системой ADS и соответствующей линией связи, чтобы предотвратить появление грубой боковой ошибки. Последующая часть этого раздела объясняет использование данной модели для определения указанного ограничения.

3.1.2 Системы ADS передают авиадиспетчерам информацию о местоположении воздушного судна, когда воздушное судно находится вне зоны видимости обзорного радиолокатора. Система ADS состоит из наземной и бортовой составляющих и может также включать космическую линию связи. Наземная часть системы обычно упорядочивает "контракт" с бортовым оборудованием каждого воздушного судна, которое использует систему, и этот контракт определяет тип передаваемых данных, а также условия, при которых должна осуществляться передача сообщений.

3.1.3 Затраты на передачу в основном приходятся на сообщения, передаваемые бортовой частью системы, и для того чтобы поддерживать их на разумно низком уровне, в существующих системах ADS используется темп передачи информации приблизительно одно сообщение за 15 мин. Ясно, что столь низкие скорости обновления очень мало способствуют быстрому уведомлению системы управления воздушным движением (УВД) о неразрешенных или неумышленных отклонениях от запланированного маршрута полета воздушного судна, при этом существует лишь небольшая вероятность, что такое отклонение произойдет незадолго до того, как бортовое оборудование передаст плановое сообщение. Вместо этого система ADS полагается на бортовое оборудование, чтобы контролировать движение воздушного судна по разрешенному маршруту полета и автоматически сообщать системе УВД о любом отклонении воздушного судна от этого маршрута более, чем на некоторое заданное расстояние. В данной работе это расстояние обозначено B, потому что оно определяет буферную зону (шириной $2B$) относительно осевой линии маршрута. Угол, на который истинная траектория воздушного судна отклоняется от маршрута, обозначается θ_d.

3.1.4 Предположим, что воздушное судно начинает отклоняться от разрешенного маршрута полета. (В данной работе не рассматривается вопрос о том, является ли отклонение соответствующим или нет. Некоторые отклонения являются следствием человеческой ошибки или отказа оборудования. Другие вводятся намеренно, и некоторые из них, очевидно, необходимы, чтобы обеспечить безопасность полета.) Когда воздушное судно перемещается в поперечном направлении на расстояние B от осевой линии разрешенного маршрута, то бортовое оборудование ADS должно определить, что воздушное судно выходит за пределы буферной зоны, и сформировать сообщение для системы УВД. Однако есть вероятность, что бортовое оборудование ADS и наземная система УВД могут иметь различные описания разрешенного маршрута. Такая ошибка может быть обусловлена различными причинами, но в таком случае бортовой модуль полагает, что воздушное судно следует по разрешенному маршруту, даже если его путь фактически расходится с тем, который система УВД понимает как разрешенный маршрут, ожидая, что воздушное судно должно по нему следовать. Несомненно, что имеется ряд других причин, вследствие которых бортовой модуль может быть не в состоянии сформировать сообщение для системы УВД, таких, как отказ его электронных блоков либо ошибки в программном обеспечении. Независимо от причины, существование механизмов, которые препятствуют формированию или передаче таких сообщений, приводит к выводу, что хотя вероятность корректного формирования и передачи сообщения

может быть относительно высокой, она будет строго меньшей, чем 1. Обозначим эту вероятность через p_t. В том случае, если сообщение передано (высокая вероятность), пусть T_1 обозначает случайную величину, которая является временем между выходом воздушного судна за пределы буферной зоны и передачей сообщения.

3.1.5 Обычно сообщение проходит через сложную комплексную систему связи, состоящую из многих звеньев. Обозначим p_d вероятность того, что сообщение достигает системы УВД, и если это происходит, то пусть случайная величина D обозначает интервал времени, проходящий от момента передачи сообщения до приема.

3.1.6 Когда сообщение ADS достигло системы УВД, оно может быть обработано диспетчером (возможно, с помощью компьютера), и диспетчер может отреагировать посредством передачи сообщения, предлагающего пилоту возвратиться к разрешенному маршруту полета. Обозначим через p_c вероятность того, что система ОВД правильно формирует и передает такое сообщение, и если это произошло, то пусть случайная величина C обозначает интервал времени от получения сообщения ADS до передачи ответного сообщения.

3.1.7 Ответное сообщение должно также пройти через сложную систему связи, состоящую из многих звеньев. Обозначим через p_u вероятность того, что оно получено пилотом, и если это происходит, то пусть случайная величина U обозначает время, прошедшее между передачей сообщения системой УВД и получением его на борту.

3.1.8 После получения сообщения диспетчера пилот затрачивает некоторое время, чтобы осмыслить его и решить, выполнять ли его. Обозначим через p_i вероятность, что пилот решает выполнить рекомендацию службы УВД, и пусть I обозначает интервал времени между получением сообщения диспетчера и введением пилотом постоянного угла крена, возвращающего воздушное судно к разрешенному маршруту полета. Пусть случайная величина φ представляет собой угол крена.

3.1.9 Воздушное судно продолжает отклоняться от его назначенного маршрута до того момента, когда его курс будет изменен на угол θ_d и его траектория станет параллельной маршруту. (Затем воздушное судно продолжает разворот до тех пор, пока не достигает курса, посредством которого пилот хочет возвратиться к маршруту.) После этого воздушное судно двигается обратно к линии маршрута. Таким образом, воздушное судно достигает максимального удаления от осевой линии маршрута в тот момент, когда оно выполнило достаточный разворот, чтобы лететь параллельно маршруту. Пусть Y обозначает упомянутое максимальное расстояние и пусть T_2 обозначает интервал времени между инициированием крена воздушного судна и моментом, когда направление его полета изменилось на угол θ_d. Обозначим через V скорость воздушного судна, и пусть g ($\approx 9{,}8$ м/с^2) обозначает ускорение свободного падения. Как показано в дополнении к данному добавлению, $T_2 = \dfrac{V\theta_d}{g \tan \varphi}$.

3.1.10 При выполнении полетов в системе параллельных трасс, если отклонение ВС от осевой линии назначенной трассы превышает половину нормы эшелонирования между смежными трассами, то это рассматривается как совершение грубой боковой ошибки (иногда она также называется грубой навигационной ошибкой, или GNE). Пусть S обозначает упомянутую норму эшелонирования. Сделаем также консервативное предположение, что ВС продолжает отклоняться от своего маршрута и совершает грубую ошибку, если система ADS (и ее система связи) работают недостаточно хорошо, чтобы вернуть его назад к направлению движения по трассе прежде, чем его отклонение достигнет $S/2$ от осевой линии. Таким образом, ВС избежит совершения грубой ошибки, если и только если:

a) бортовое оборудование ADS передаст сообщение, указывающее, что воздушное судно пересекло границу буферной зоны;

b) данное сообщение будет успешно получено соответствующим центром УВД;

c) центр УВД передаст сообщение, предписывающее пилоту возвратить воздушное судно на разрешенный маршрут;

d) сообщение центра УВД будет корректно принято пилотом;

e) пилот выполнит соответствующие действия для осуществления разворота воздушного судна; и

f) разворот воздушного судна на заданный курс разрешенного маршрута будет осуществлен прежде, чем его боковое расстояние от осевой линии достигнет $S/2$.

События a)–e) в совокупности составляют "цикл ADS". Обозначим математическое пересечение этих событий, то есть появление события завершения цикла ADS, в том смысле, что все действия a)–e) осуществились, через A. Тогда $P(A) = p_t \cdot p_d \cdot p_c \cdot p_u \cdot p_i$. Полагая, что цикл завершен, вероятность осуществления события f) представляет собой (условную) вероятность того, что $Y < S/2$.

3.1.11 Скорость воздушного судна, V, является случайной величиной, которая принимает различные значения для разных воздушных судов, но для любого конкретного, летящего в крейсерском режиме воздушного судна она является по существу постоянной. В течение интервалов времени продолжительностью T_1, D, C, U и I воздушное судно летит по прямой и его боковая скорость будет $V \sin \theta_d$. Тогда перемещение ВС в поперечном направлении в течение упомянутых пяти периодов определяется выражением $V \sin \theta_d (T_1 + D + C + U + I)$.

3.1.12 В дополнении к данному добавлению показано, что боковое расстояние при перемещении воздушного судна в ходе разворота в течение периода времени продолжительностью T_2 будет составлять $\frac{V^2}{g \tan \varphi}(1 - \cos \theta_d)$. Тогда Y, наибольшее боковое расстояние от осевой линии разрешенного маршрута ВС, представляется выражением:

$$Y = B + V \sin \theta_d (T_1 + D + C + U + I) + \frac{V^2}{g \tan \varphi}(1 - \cos \theta_d). \qquad (2)$$

В этом случае вероятность того, что ВС возвратится к разрешенному маршруту полета, не совершив грубой боковой ошибки, будет:

$$P[A \text{ и } (Y < S/2)] = P(A) \cdot P(Y < S/2 \mid A) =$$

$$= p_t \cdot p_d \cdot p_c \cdot p_u \cdot p_i \cdot P\left(B = V \sin \theta_d (T_1 + D + C + U + I) + \frac{V^2}{g \tan \varphi}(1 - \cos \theta_d) < S/2 \mid A \right). \qquad (3)$$

3.2 Распределения случайных величин

3.2.1 Немногочисленные эмпирические данные, если они вообще существуют, могут быть использованы, чтобы охарактеризовать случайные величины T_1, D, C, U, I, V, θ_d и φ. Ясно, однако, что все эти величины строго положительны и их функции распределения должны отражать это свойство.

3.2.2 Временные интервалы D и U изменяются в зависимости от оборудования, используемого для выполнения функций линии передачи данных ADS. Можно предположить, что эти интервалы изменяются вследствие задержек, возникающих благодаря случайной конкуренции из-за недостаточных ресурсов для передачи. Ожидается, что вероятности того, что D и U очень близки к нулю, чрезвычайно малы, но их функции плотности вероятности могут возрастать с увеличением времени до некоторого локального максимума и затем постепенно уменьшаться. Для количественного описания подобных случайных величин наиболее подходящими могут быть функции плотности вероятности типа гамма.

3.2.3 T_1, задержка отправления сообщения воздушного судна системе УВД, вероятно, будет много меньше, чем D и U, но она также может быть хорошо описана соответствующей плотностью гамма-распределения.

3.2.4 Интервалы времени C и I зависят как от эксплуатационных характеристик оборудования, так и от человеческого фактора, но можно предполагать, что их плотности распределения должны иметь те же самые свойства, которые описаны в пункте 3.2.2, поэтому наиболее подходящими для их описания опять являются плотности типа гамма.

3.2.5 Распределение скоростей в данном воздушном пространстве зависит от типов использующих его воздушных судов. Однако скорости перемещения в одном конкретном направлении по одиночной трассе или в наборе параллельных трасс редко отличаются от друг друга больше, чем на 100 узлов, то есть приблизительно на 50 м/с. Поэтому для многих типов воздушного пространства, вероятно, возможно моделировать скорость воздушного судна V в виде случайной величины, равномерно распределенной на относительно малом интервале.

3.2.6 Угол крена φ отклонившегося воздушного судна после начала им обратного разворота в направлении разрешенного маршрута может изменяться его системой управления полетом в зависимости от угла отклонения θ_d и продольного расстояния до следующего контрольного пункта полета. В отсутствие эмпирических данных для описания угла крена может использоваться равномерное распределение в малом угловом диапазоне (возможно, 10 или 15°).

3.2.7 В сценарии, представленном выше, воздушное судно отклоняется в поперечном направлении от назначенного маршрута со скоростью $V \sin \theta_d$ в течение временных интервалов с длительностями T_1, D, C, U и I. Если сумма этих интервалов не превышает 2 или 3 мин, а угол отклонения θ_d относительно велик, то боковая скорость будет достаточно большой для возникновения грубой боковой ошибки до того, как воздушное судно начнет обратный разворот к назначенному маршруту. Понятно, что (sin) θ_d оказывает весьма существенное влияние на вероятность того, что отклоняющееся воздушное судно совершит грубую боковую ошибку. Большие углы отклонения ведут к очень большим боковым скоростям, и в таких случаях воздушное судно не совершит грубой ошибки только в том случае, если система ADS сработает настолько быстро, что позволит воздушному судну вернуться к его разрешенному маршруту в пределах очень короткого времени после выхода из буферной зоны. Например, если воздушное судно перемещается со скоростью 480 узлов и $\theta_d = 30°$, то боковая скорость будет 480 узлов · $\sin(30°) = 240$ узлов, или 4 м. мили в минуту. Если расстояние между маршрутами составляет 30 м. миль, а полуширина буферной

зоны 5 м. миль, то воздушное судно совершит грубую ошибку, если оно пролетит (30/2) – 5 м. миль = = 10 м. миль после пересечения границы буферной зоны, и поэтому (даже без учета бокового перемещения в ходе возвращения воздушного судна к его маршруту) воздушное судно совершит грубую ошибку, если интервал времени $T_1 + D + C + U + I$ превышает (10 м. миль)/(4 м. мили/мин) = $2^1/_2$ мин.

3.3 Определение параметра эффективности из основного сценария

3.3.1 После нескольких лет работы с системами ADS разработка требований для распределений T_1, D, C, U и I для администрации по организации воздушного пространства может стать несложным делом. Однако на момент подготовки этого добавления данные, необходимые для разработки упомянутых требований, не были легко доступны. Тем не менее, хотя определение распределений каждого из интервалов времени T_1, D, C, U и I может представлять собой непростую задачу, пример в последнем параграфе показывает, что их сумма является гораздо более важной, чем любой из отдельных интервалов. Поэтому имеет смысл вернуться к уравнению (3), которое выражает вероятность того, что ADS предотвратит переход отклонения в грубую ошибку следующим образом:

$$p_t \cdot p_d \cdot p_c \cdot p_u \cdot p_i \cdot \mathrm{P}\left(B + V \sin\theta_d \left(T_1 + D + C + C + U + I\right) + \frac{V^2}{g \tan\varphi}(1 - \cos\theta_d) < S/2 \,\middle|\, A \right).$$

Выбирая минимальную приемлемую вероятность p_n того, что ADS предотвращает предотвратимую NWPIE, администрация по организации воздушного пространства должна потребовать выполнения условия:

$$p_t \cdot p_d \cdot p_c \cdot p_u \cdot p_i \cdot \mathrm{P}\left(B + V \sin\theta_d \left(T_1 + D + C + C + U + I\right) + \frac{V^2}{g \tan\varphi}(1 - \cos\theta_d) < S/2 \,\middle|\, A \right) \geq p_n \qquad (4)$$

или, аналогично, чтобы $\mathrm{P}\left(Y < S/2 \,\middle|\, A\right) \geq \frac{p_n}{\mathrm{P}(A)}$. На рис. А-16-3 показаны значения $\frac{p_n}{\mathrm{P}(A)}$ для шести различных вероятностей P(A), соответствующих успешному завершению цикла ADS, а также для большого диапазона возможных значений p_n. Таким образом, рис. А-16-3 показывает минимальные приемлемые значения вероятности

$$\mathrm{P}\left(Y < S/2 \,\middle|\, A\right) = \mathrm{P}\left(B + V \sin\theta_d \left(T_1 + D + C + U + I\right) + \frac{V^2}{g \tan\varphi}(1 - \cos\theta_d) < S/2 \,\middle|\, A \right).$$

Консультируясь с изготовителями оборудования, администрация по организации воздушного пространства должна быть способна реально (или даже более консервативно) оценивать значение P(A). Разделив выбранное значение p_n на выбранное значение P(A), получим минимальную приемлемую вероятность m того, что цикл ADS завершается достаточно быстро, при условии, что он завершается. Если p_n/P(A) > 1, то должно быть принято большее значение P(A) (так как частное m представляет собой вероятность).

3.3.2 Вероятность $\mathrm{P}(Y < S/2 \,|\, A) \geq m$ может быть выражена следующим образом:

$$P\left(T_1 + D + C + U + I < \frac{S/2 - B - \dfrac{V^2}{g\tan\varphi}(1-\cos\theta_d)}{V\sin\theta_d} \right) \geq m. \qquad (5)$$

Выбирая консервативные (или самые плохие) значения скорости V воздушного судна, угла крена φ и угла отклонения θ_d, администрация может разработать график, такой, как на рис. А-16-4. (Наиболее консервативные значения V и θ_d представляют собой самые большие значения, которые было бы разумно ожидать; самым консервативным значением φ выбрано самое малое значение, которое можно ожидать.)

На рис. А-16-4 показаны значения $\dfrac{S/2 - B - \dfrac{V^2}{g\tan\varphi}(1-\cos\theta_d)}{V\sin\theta_d}$ для шести различных комбинаций V и φ, а также для расширенного диапазона углов отклонения θ_d от 15 до 90°. В этом частном примере расстояние S между смежными маршрутами принимается равным 30 м. миль, а полуширина буферной зоны B 5,66 м. мили, что представляет приблизительно три среднеквадратичных отклонения типичной боковой ошибки воздушного судна, которое отвечает требуемым навигационным характеристикам (RNP) уровня 4. Пусть t представляет собой значение, которое администрация по организации воздушного пространства определяет по графику, аналогичному приведенному на рис. А-16-4. Затем администрация, по существу, устанавливает требование, чтобы $P(T_1 + D + C + U + I < t \mid A) \geq m$ или, иными словами, чтобы

$$P(\text{продолжительность цикла ADS} < t \mid \text{цикл ADS закончен}) \geq m. \qquad (6)$$

3.3.3 Анализ, проведенный в предшествующих параграфах, не включает действие ветра. Однако, как показано в справочном материале 1[1], действие ветра при максимальной продолжительности цикла ADS может быть хорошо аппроксимировано в пределах 1 с почти во всех случаях, представляющих интерес, посредством использования максимальной путевой скорости вместо воздушной скорости, применяемой в данном анализе. Администрация по организации воздушного пространства может выбрать самые консервативные случаи, используя самую высокую воздушную скорость V_A и скорость ветра V_W, которые можно ожидать, и затем подставляя $V = V_A + V_W$ в уравнение (5). Например, случай, когда воздушное судно имеет максимальную воздушную скорость V_A= 500 узлов, а скорость ветра V_W = 200 узлов, может быть удовлетворительно аппроксимирован, если использовать в уравнении (5) значение V = 700 узлов.

4. РЕЗЮМЕ

Следуя процедуре, детализированной в разделах 2 и 3 данного добавления, администрация по организации воздушного пространства, планирующая реализацию системы ADS, может получить значения для пяти существенных эксплуатационных параметров ADS:

p_w – минимальная приемлемая вероятность того, что система предотвращает боковую ошибку ввода точки маршрута;

[1] Список справочных материалов приведен в конце данного добавления.

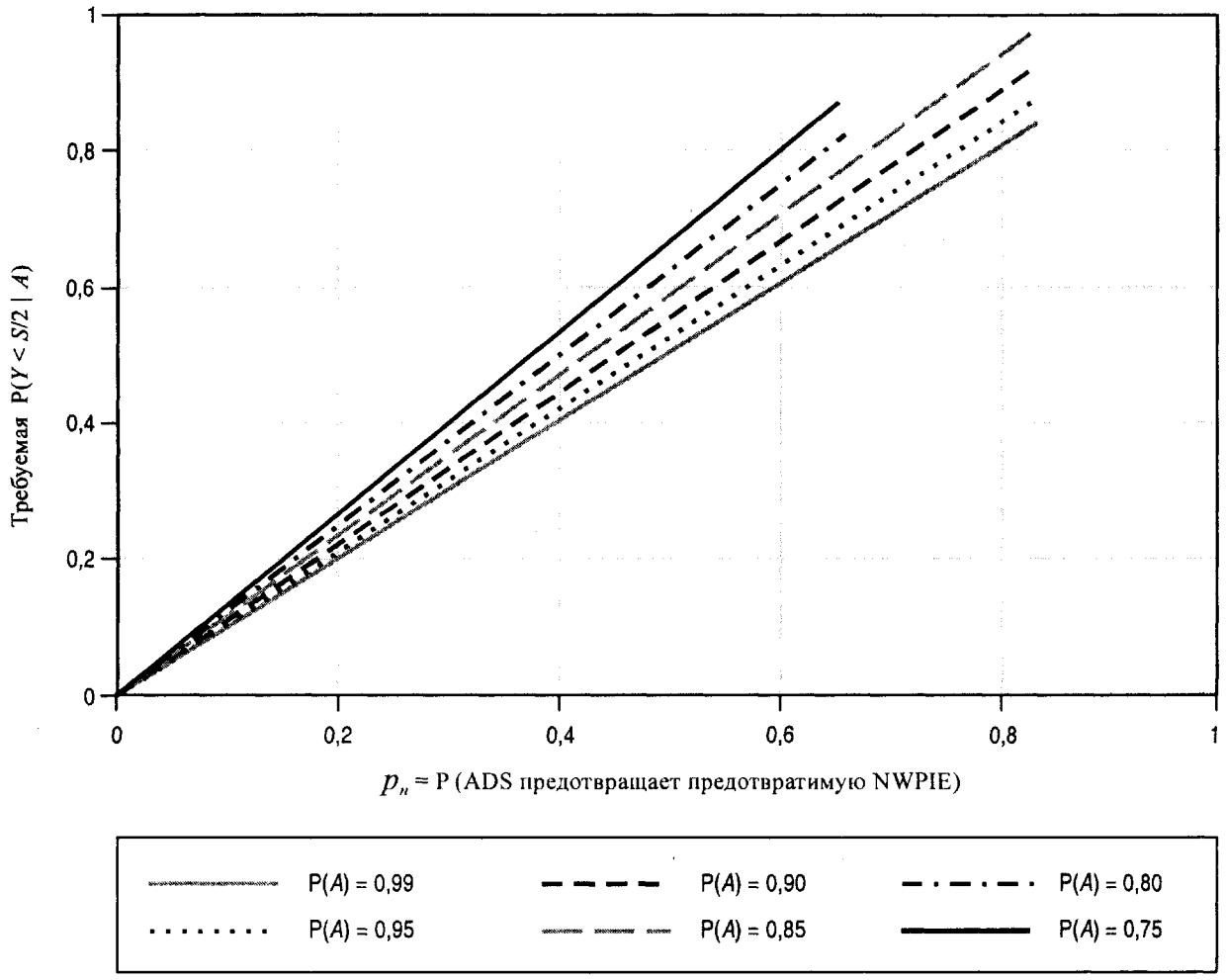


Рисунок А-16-3. Минимальная приемлемая вероятность, что ADS предотвращает предотвратимый NWPIE, при условии завершения цикла ADS

p_n – минимальная приемлемая вероятность того, что система предотвращает предотвратимую боковую ошибку неввода точки маршрута;

P *(A)* – минимальная приемлемая вероятность завершения последовательности действий, обозначенных в данном добавлении как "цикл ADS";

t – максимальное приемлемое время завершения цикла ADS; и

m – минимальная приемлемая вероятность, что цикл ADS завершится за время t, при условии, что он завершается.

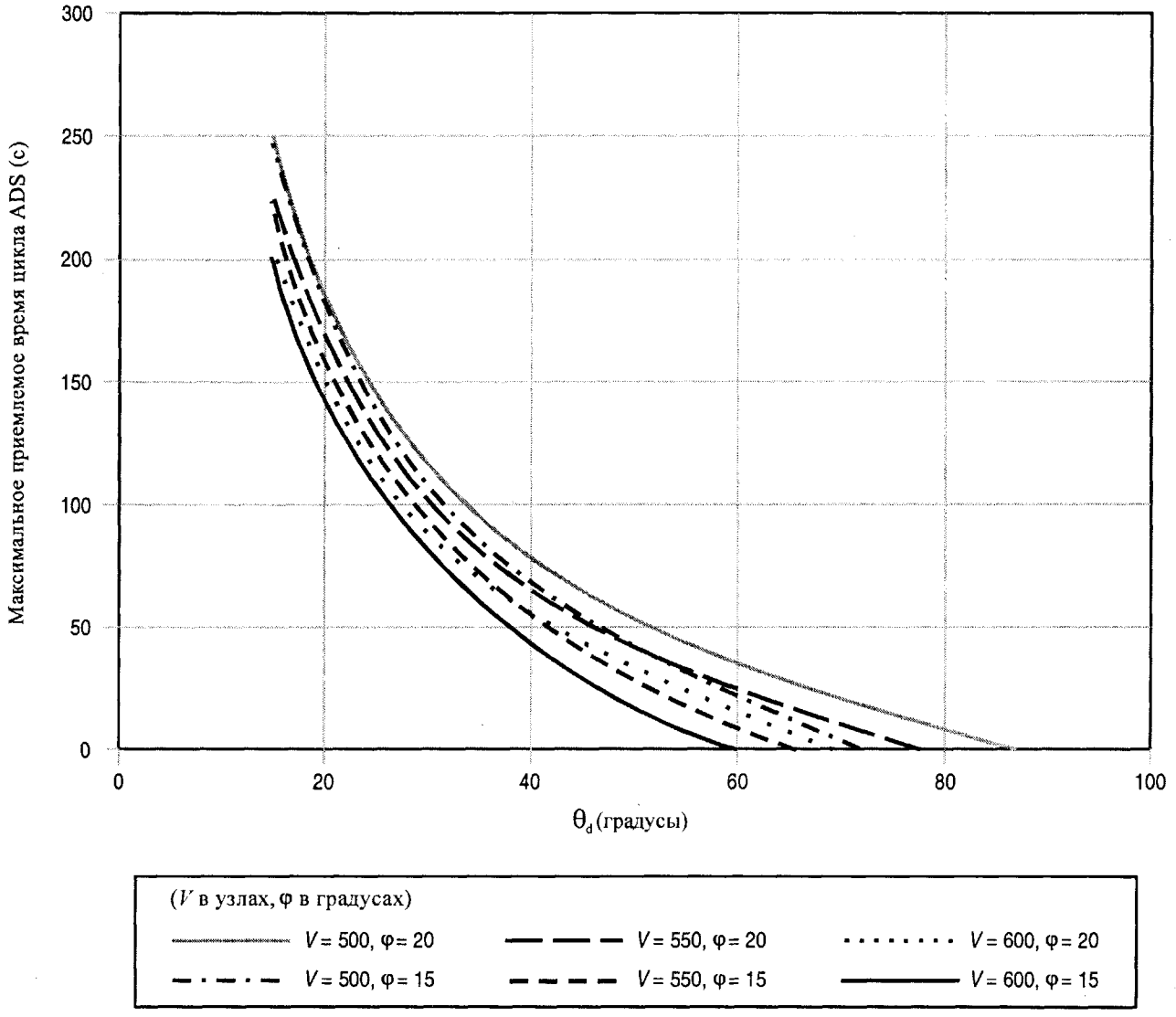


Рисунок А-16-4. Максимально приемлемая продолжительность цикла ADS

5. СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Silverman, B.H., *The Effect of Wind on Calculation of Maximum Allowable ADS Cycle Time*, SASP-WG/WHL/1-WP/3, 17 April 2002.

— — — — — — — — —

Дополнение к добавлению 16

ОПИСАНИЕ РАЗВОРОТА САМОЛЕТА

1. В представленной простой модели разворачивающегося самолета игнорируются эффект ветра, а также короткий период времени, в течение которого самолет вводится в крен. Пусть масса самолета обозначается M (кг), и пусть g (м/с^2) обозначает ускорение свободного падения. Пока самолет летит по прямой и на одной высоте, его крылья, перемещаясь сквозь воздух, создают подъемную силу, которая равна его весу, Mg. То есть, крылья создают силу Mg, направленную вверх. Если самолет входит в крен с постоянным углом φ, то для того чтобы сохранить высоту полета, необходимо увеличить подъемную силу, продолжая создавать вертикальную составляющую силы величиной Mg. Как показано на рис. А-16-5, перпендикулярная к плоскостям крыла сила – это $Mg \sec \varphi$, а горизонтальная сила, приложенная к самолету, – $Mg \tan \varphi$. Поэтому величина горизонтального ускорения воздушного судна будет $g \tan \varphi$.

2. На рис. А-16-6 показана прямоугольная система координат, определяемая таким образом, чтобы в момент 0, когда самолет начинает разворот, он находился в начале системы координат и направление его полета совпадало с положительным направлением оси X (горизонтальная ось). Пусть t обозначает время, прошедшее с начала разворота. Пусть *(x (t), y (t))* обозначают местоположение самолета при любом $t \geq 0$, обозначим его скорость через $\vec{v}(t) = \left(v_x(t), v_y(t)\right)$, а ускорение через $\vec{a}(t) = \left(a_x(t), a_y(t)\right)$. Предположим, что самолет в ходе выполнения разворота поддерживает постоянную скорость $V = \sqrt{v_x(t)^2 + v_y(t)^2}$ при всех $t \geq 0$.

3. В начале разворота скорость самолета будет $\vec{v}(0) = \left(v_x(0), v_y(0)\right) = (V,0)$. Горизонтальная составляющая силы, создаваемой крылом, всегда направлена под прямым углом к вектору скорости самолета. То есть, при выполнении разворота с постоянным креном вектор ускорения самолета остается перпендикулярен к его вектору скорости. Таким образом, начальное ускорение $\vec{a}(0)$ будет $(0, g \tan \varphi)$ или $(0, -g \tan \varphi)$, в зависимости от того, осуществляется левый или правый разворот. В произвольный момент времени t, когда вектор скорости направлен по линии, имеющей наклон $v_y(t)/v_x(t)$, вектор ускорения должен быть направлен по линии, наклон которой представляет собой отрицательную обратную величину по отношению к $v_y(t)/v_x(t)$, то есть $-v_x(t)/v_y(t)$. Два единичных вектора, направленных по данной линии, это $\frac{\left(-v_y(t), v_x(t)\right)}{V}$ и $\frac{\left(v_y(t), -v_x(t)\right)}{V}$, и поскольку величина ускорения во время разворота остается постоянной и равной $g \tan \varphi$, то $\vec{a}(t)$ должно быть либо $g \tan \varphi \frac{\left(-v_y(t), v_x(t)\right)}{V}$, либо $g \tan \varphi \frac{\left(v_y(t), -v_x(t)\right)}{V}$, в зависимости от направления разворота. Предположим, что осуществляется левый разворот, как показано на рис. А-16-6.

Тогда:

$$\vec{a}(t) = g \tan \varphi \frac{\left(-v_y(t), v_x(t)\right)}{V}.$$

Так как $\vec{a}(t)=\frac{d\vec{v}}{dt}(t)$, то из этого следует, что

$$\frac{dv_x}{dt}(t)=a_x(t)=\frac{-g\tan\varphi}{V}v_y(t), \text{ и } \frac{dv_y}{dt}(t)=a_y(t)=\frac{g\tan\varphi}{V}v_x(t).$$

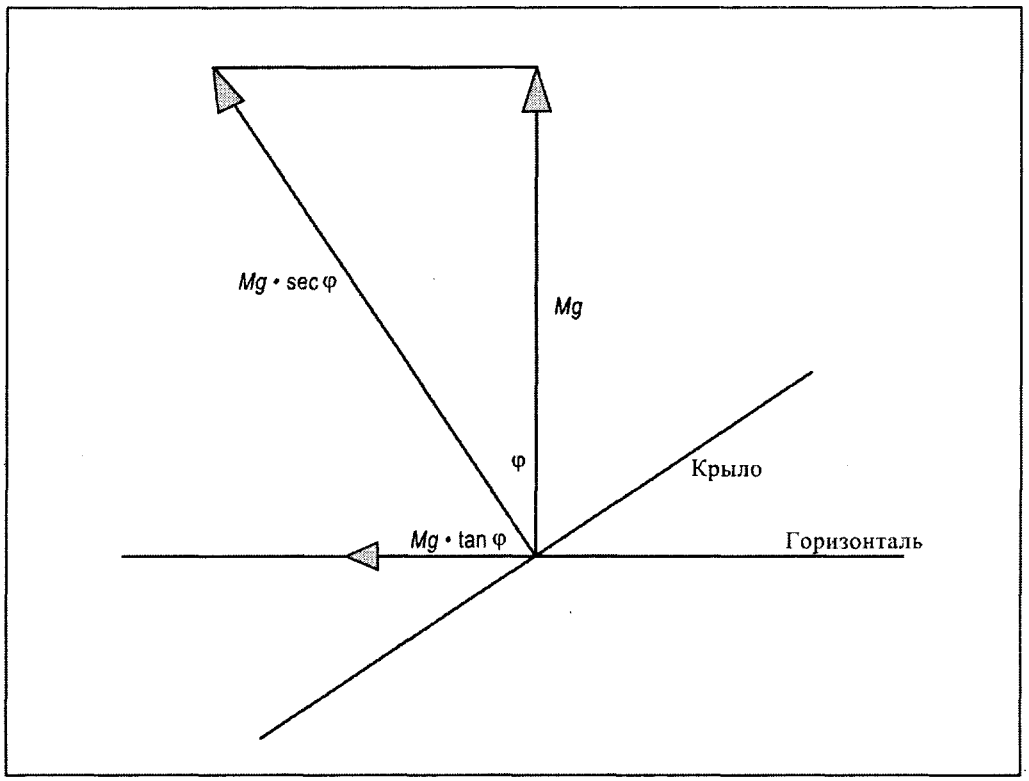


Рисунок А-16-5. Силы, действующие на самолет при крене

Эти дифференциально-разностные уравнения имеют решения

$$v_x(t)=V\cos\left(\frac{g\tan\varphi}{V}t\right)$$

и

$$v_y(t)=V\sin\left(\frac{g\tan\varphi}{V}t\right),$$

которым также соответствуют начальные условия $v_x(0)=V$ и $v_y(0)=0$.

4. Самолет начинает разворот в начале системы координат (0,0). На момент t его положение, $(x(t), y(t))$, удовлетворяет уравнениям $x(t) = \int_0^t v_x(x)du$ и $y(t) = \int_0^t v_y(u)du$. Подставляя выражения для v_x и v_y, полученные в последнем параграфе, и осуществляя два простых интегрирования, получаем:

$$x(t) = x(t) = \frac{V^2}{g\tan\varphi}\sin\left(\frac{g\tan\varphi}{V}t\right)$$

и

$$y(t) = \frac{V^2}{g\tan\varphi}\left(1-\cos\left(\frac{g\tan\varphi}{V}t\right)\right).$$

То есть, на момент t положение самолета будет:

$$(x(t), y(t)) = \frac{V^2}{g\tan\varphi}\left(\sin\left(\frac{g\tan\varphi}{V}t\right), 1-\cos\left(\frac{g\tan\varphi}{V}t\right)\right).$$

5. В момент t расстояние воздушного судна от точки $\left(0, \frac{V^2}{g\tan\varphi}\right)$ будет определяться выражением:

$$\sqrt{\left(\frac{V^2}{g\tan\varphi}\sin\left(\frac{g\tan\varphi}{V}t\right)\right)^2 + \left(\frac{V^2}{g\tan\varphi}\left(1-\cos\left(\frac{g\tan\varphi}{V}t\right)\right) - \frac{V^2}{g\tan\varphi}\right)^2},$$

которое легко упрощается до $\frac{V^2}{g\tan\varphi}$. Поскольку это расстояние не является функцией t, а представляет собой постоянную величину, то движение воздушного судна в течение его разворота должно происходить по кругу радиусом $\frac{V^2}{g\tan\varphi}$, описанному вокруг точки $\left(0, \frac{V^2}{g\tan\varphi}\right)$. На рис. А-16-6 путь воздушного судна показан как дуга OC, а центр круга $\left(0, \frac{V^2}{g\tan\varphi}\right)$ обозначен точкой A.

6. Когда воздушное судно начинает разворот, то оно направлено по оси X таким образом, что угол между его вектором скорости и осью X равен 0. По мере выполнения разворота вектор скорости поворачивается от оси X. Пока путь воздушного судна проходит по кругу, центральный угол $\theta(t)$, описываемый самолетом за время t, является также углом поворота вектора скорости относительно оси X. Тангенс этого угла будет $\frac{v_y(t)}{v_x(t)}$, а выражения, полученные выше для $v_x(t)$ и $v_y(t)$, позволяют сразу же

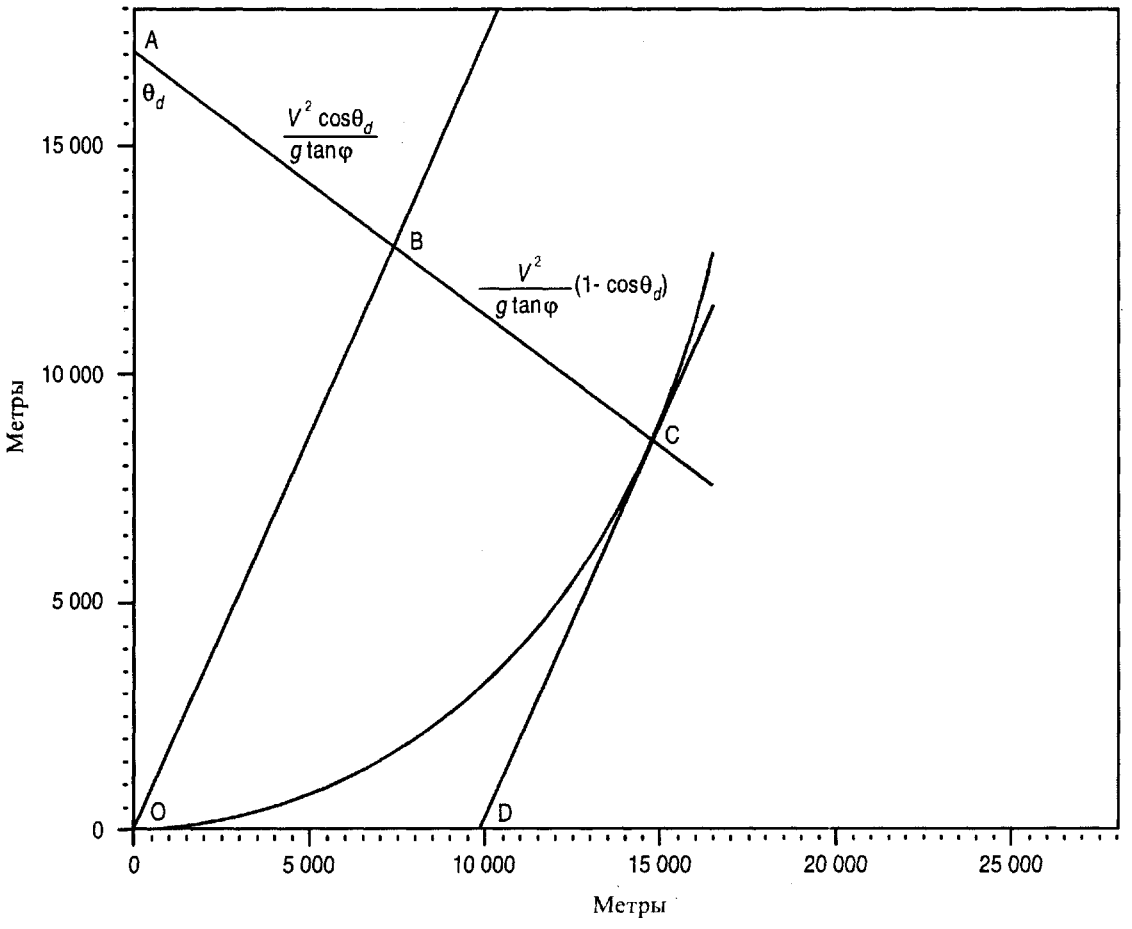


Рисунок А-16-6. Боковое перемещение самолета при возвращении его к назначенному маршруту

получить результат $\tan\theta = \tan\left(\frac{g\tan\varphi}{V}t\right)$, из которого следует (с учетом однозначности функции тангенса в пределах $\left[0, \frac{\pi}{2}\right)$ σ), что $\theta = \frac{g\tan\varphi}{V}t$ или $t = \frac{V\theta}{g\tan\varphi}$.

7. Пусть θ_d обозначает угол отклонения самолета от разрешенного маршрута перед началом разворота. Необходимо развернуть его назад на тот же угол прежде, чем он начнет возвращаться на трассу. Самолет достигает максимального удаления от трассы в тот момент, когда он развернется на указанный угол и (на мгновение) будет направлен параллельно маршруту. На рис. А-16-6 это происходит, когда самолет находится в точке *C*. Касательная к окружности в точке *C* пересекает ось X в точке *D*, при этом сегмент $\overline{CD}$ параллелен разрешенному маршруту. Сегмент линии $\overline{OB}$ проведен параллельно сегменту $\overline{CD}$ (и поэтому также параллелен разрешенному маршруту) и проходит через точку $O = (0,0)$, в которой самолет начал разворот.

8. Поскольку $\overline{CD}$ является касательной к окружности в точке C, то радиус $\overline{AC}$ будет перпендикулярен к $\overline{CD}$, $\overline{OB}$ и разрешенному маршруту полета, и поэтому длина сегмента $\overline{BC}$ – это расстояние, на которое самолет удаляется от разрешенного маршрута с момента начала разворота и до момента начала движения назад к маршруту. Треугольник ABO – правильный прямоугольный треугольник, гипотенуза $\overline{AO}$ которого имеет длину $\frac{V^2}{g\tan\varphi}$, а угол OAB равен θ_d. Таким образом, длина сегмента $\overline{AB}$ должна быть $\frac{V^2}{g\tan\varphi}\cos\theta_d$. Поскольку радиус $\overline{AC}$ имеет длину $\frac{V^2}{g\tan\varphi}$, то длина сегмента $\overline{BC}$ должна быть $\frac{V^2}{g\tan\varphi}(1-\cos\theta_d)$.

БИБЛИОГРАФИЯ

A multidiscipline approach to hazard and risk management. In: Anderson, K. and Jarman, M., *Integrated Risk Assessment*; Melchers & Stewart (ed.) Balkema, Rotterdam, 1995.
[Многодисциплинарный подход к управлению опасностью и риском. В сб.: Андерсон К. и Джарман М. Комплексный анализ риска.]

Functional Safety of Computer Systems in Railway Operations. Anderson, K., Conference on Railway Engineering, Institution of Engineers, Melbourne, October 1995.
[Функциональная безопасность компьютерных систем при эксплуатации железных дорог. Андерсон К. Конференция по железнодорожному транспорту.]

Unalerted air-to-air visual acquisition (FAA-PM-87/34). Andrews, J., D.O.T., Washington, D.C., 1991.
[Визуальное обнаружение в воздухе в отсутствие оповещения. Эндрюс Дж.]

Air-to-air visual acquisition handbook (FAA-PM-87/30). Andrews, J., D.O.T., Washington, D.C., 1991.
[Справочник по визуальному обнаружению в воздухе. Эндрюс Дж.]

Air traffic control towers: cost and safety assessment. Final report (Volumes 1 and 2). Canberra, CAA Australia, 1991.
[Диспетчерские пункты управления воздушным движением: анализ затрат и безопасности. Заключительный доклад (тома 1 и 2).]

Coffs Harbour air traffic control tower. Final report (Parts 1 and 2); Canberra, CAA Australia, 1992.
[Пункт управления воздушным движением в Коффс-Харбор. Заключительный доклад (части 1 и 2).]

Australian airspace risk analysis; Process Summary, 6 September 1994. CAA-VRJ, 1994.
[Анализ риска в воздушном пространстве Австралии; Итоги работы.]

Australian airspace risk analysis; Progress Report, 30 November 1994. CAA-VRJ, 1994.
[Анализ риска в воздушном пространстве Австралии; Отчет о ходе работы.]

Establishment and discontinuance criteria for airport traffic control towers (FAA-APO-90/7). D.O.T., Washington, D.C., 1990.
[Критерии создания и ликвидации командно-диспетчерских пунктов в аэропортах.]

Airport growth and safety. A study of the external risks of Schiphol Airport and possible safety-enhancement measures. EAC RAND, 1993.
[Расширение и безопасность аэропортов. Исследование внешних рисков в аэропорте Скипхол и возможные меры повышения безопасности.]

Guidelines for the risk analysis of technological systems. IEC Committee draft. Reference number 56 (Secretariat) 381. IEC 56, Geneva, July 1993.
[Руководство по анализу риска технологических систем. Проект Комитета МЭК.]

Jones, W. and Phillips, R. *Analysis of aircraft safety in Australian airspace: Progress report*. Canberra, CAA Australia, 1994.
[Джонс У. и Филипс Р. Анализ безопасности воздушных судов в воздушном пространстве Австралии: Отчет о ходе работы.]

Phillips, R. *FAA Phase I discontinuance criteria and Australian control towers*: Canberra, CAA Australia, 1990.
[Филипс Р. Критерии ликвидации этапа I FAA и диспетчерские пункты в Австралии.]

Phillips, R. *Australian civilian air traffic control towers – phase 1 analysis establishment and discontinuance criteria* (annual document). Canberra, CAA Australia, 1995.
[Филипс Р. Пункты управления гражданским воздушным движением в Австралии — критерии создания и ликвидации при анализе этапа I (ежегодный документ).]

КОНЕЦ

Doc 9689-AN/953
Поправка № 1
30/8/02

Препроводительная записка

РУКОВОДСТВО ПО МЕТОДИКЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМУМОВ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ

Издание первое – 1998

Поправка № 1

С целью внесения настоящей поправки:

a) заменить существующие страницы iv, v, vi, 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 65 прилагаемыми новыми страницами, датированными 30/8/02;

b) заменить существующее добавление 1 прилагаемым новым добавлением 1, датированным 30/8/02;

c) включить новые добавления 13, 14, 15 и 16, датированные 30/8/02;

d) зарегистрировать внесение данной поправки на странице (ii).

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ ИКАО

Ниже приводится статус и общее описание различных серий технических изданий, выпускаемых Международной организацией гражданской авиации. В этот перечень не включены специальные издания, которые не входят ни в одну из указанных серий, например "Каталог аэронавигационных карт ИКАО" или "Метеорологические таблицы для международной аэронавигации".

Международные стандарты и Рекомендуемая практика принимаются Советом ИКАО в соответствии со статьями 54, 37 и 90 Конвенции о международной гражданской авиации и для удобства пользования называются Приложениями к Конвенции. Единообразное применение Договаривающимися государствами требований, включенных в Международные стандарты, признается необходимым для безопасности и регулярности международной аэронавигации, а единообразное применение требований, включенных в Рекомендуемую практику, считается желательным в интересах безопасности, регулярности и эффективности международной аэронавигации. Для обеспечения безопасности и регулярности международной аэронавигации весьма важно знать, какие имеются различия между национальными правилами и практикой того или иного государства и положениями Международного стандарта. В случае же несоблюдения какого-либо Международного стандарта Договаривающееся государство, согласно статье 38 Конвенции, обязано уведомить об этом Совет. Для обеспечения безопасности аэронавигации могут также иметь значение сведения о различиях с Рекомендуемой практикой, и, хотя Конвенция не предусматривает каких-либо обязательств в этом отношении, Совет просил Договаривающиеся государства уведомлять не только о различиях с Международными стандартами, но и с Рекомендуемой практикой.

Правила аэронавигационного обслуживания (PANS) утверждаются Советом и предназначены для применения во всем мире. Они содержат в основном эксплуатационные правила, которые не получили еще статуса Международных стандартов и Рекомендуемой практики, а также материалы более постоянного характера, которые считаются слишком подробными, чтобы их можно было включить в Приложение, или подвергаются частым изменениям и дополнениям и для которых процесс, предусмотренный Конвенцией, был бы слишком затруднителен.

Дополнительные региональные правила (SUPPS) имеют такой же статус, как и PANS, но применяются только в соответствующих регионах. Они разрабатываются в сводном виде, поскольку некоторые из них распространяются на сопредельные регионы или являются одинаковыми в двух или нескольких регионах.

В соответствии с принципами и политикой Совета подготовка нижеперечисленных изданий производится с санкции Генерального секретаря.

Технические руководства содержат инструктивный и информационный материал, развивающий и дополняющий Международные стандарты, Рекомендуемую практику и PANS, и служат для оказания помощи в их применении.

Аэронавигационные планы конкретизируют требования к средствам и обслуживанию международной аэронавигации в соответствующих аэронавигационных регионах ИКАО. Они готовятся с санкции Генерального секретаря на основе рекомендаций региональных аэронавигационных совещаний и принятых по ним решений Совета. В планы периодически вносятся поправки с учетом изменений требований и положения с внедрением рекомендованных средств и служб.

Циркуляры ИКАО содержат специальную информацию, представляющую интерес для Договаривающихся государств, включая исследования по техническим вопросам.

© ИКАО 1998
3/99, R/P1/225

Заказ № 9689
Отпечатано в ИКАО