

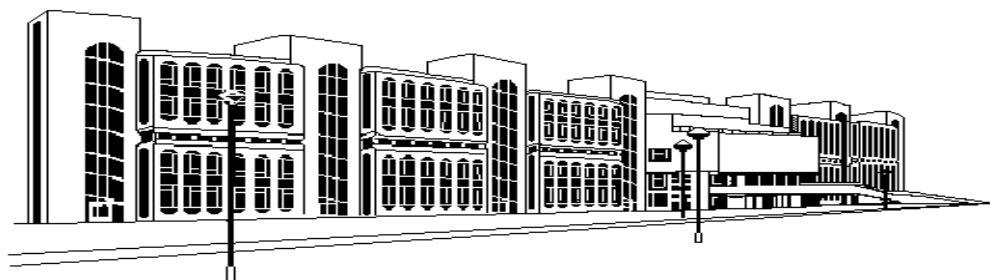


ISSN 2079-0619

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК МГТУ ГА

№ 209



**Москва
2014**

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

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК МГТУ ГА

№ 209 (11)

Издается с 1998 г.

**Москва
2014**

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

Главная редакция

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

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

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

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

Редакционная коллегия выпуска

Ответственный редактор выпуска - д-р техн. наук, проф. Е.Е. Нечаев (*МГТУ ГА*)

Ответственный секретарь выпуска - д-р техн. наук О.Г. Феоктистова (*МГТУ ГА*)

E-mail: e.nechaev@mstuca.aero

тел. +7 (499) 457-70-59

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

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

№ 209 (11)

2014

СОДЕРЖАНИЕ

Скрыпник О.Н., Нечаев Е.Е., Арефьев Р.О. Построение и анализ полей точности GPS на основе программно-аппаратных средств NI GPS SIMULATION TOOLKIT.....	5
Агафонова И.Ю., Рудельсон Л.Е., Степанова А.И. Модель операций взлёта и посадки для расчёта пропускной способности аэродрома.....	13
Поляков П.М., Кармызов М.В., Поляков Д.П. Определение фонда доступного времени использования воздушного пространства различных климатических зон вертолётom ROBINSON R-44 с учётом его эксплуатационных ограничений.....	21
Нечаев Е.Е., Лазарев А.И. Спутниковая радиосвязь в дистанционной системе управления воздушным движением.....	25
Куклев Е.А., Михальчевский Ю.Ю., Смуров М.Ю. Динамическое моделирование сценариев возникновения рисков событий при полётах воздушных судов в режиме «ухода на 2-й круг».....	30
Печенежский В.К., Сазонова А.М. Оценка влияния загруженности сектора управления воздушным движением на экономическую эффективность полётов воздушных судов.....	38
Барановский А.М. Сопоставительная оценка показателей качества функционирования аэронавигационных систем Евросоюза и России на 2020 год.....	45
Спиченко И.В. Сравнительный анализ отечественных и иностранных эксплуатационных показателей надёжности для воздушных судов	50
Барановский А.М., Тюрин О.А. Методика оценки показателя национальной безопасности при организации использования воздушного пространства	54
Глухов Ю.Е., Коновалов А.Е. Альтернативный вариант реорганизации структуры воздушного пространства в Московском узловом диспетчерском районе	60
Дивак Н.И. К вопросу о разработке новой структуры воздушного пространства Московской воздушной зоны.....	67
Гаранина О.Д., Наумова Т.В. Экологическая безопасность: некоторые аспекты концептуализации понятия.....	72
Наумова Т.В. Методологические основания оптимизации процедуры управления рисками	77
Колядов Д.В., Прохоров А.В. Влияние явления одновременной передачи вызовов на работу систем управления воздушным движением	82
Затучный Д.А. Сравнение линий передачи данных VDL-2 и 1090 ES.....	88

Губенко С.В., Юркин Ю.А. Повышение эффективности технологических процессов работы органов обслуживания воздушного движения при внедрении методов зональной навигации.....	92
Дивак Н.И. Анализ работы секторов управления воздушным движением Московского центра на основе статистических данных.....	96
Малыгин В.Б., Губенко С.В., Турков А.Н. Новый метод управления воздушным движением в зонах ожидания.....	101
Емельянов В.Е., Иваненко В.А. Оценка времени перерыва в функционировании радиотехнического канала управления воздушным движением.....	105
Аникин П.В., Жаворонков С.С., Яманов Д.Н. Спектральные характеристики поляризованно-манипулированных сигналов с непрерывным изменением параметров поляризации.....	108
Снастин М.В., Бебко М.С. Измерение характеристик направленности волноводно-целевой антенной решётки	111
Добычина Е.М., Малахов Р.Ю. Цифровой приёмо-передающий модуль активной фазированной антенной решётки.....	117
Малыгин В.Б., Нечаев Е.Е. Метод снижения конфликтности на стандартных маршрутах вылета и прибытия.....	124
Скрыпник О.Н., Патрикеев О.В., Астраханцева Н.Г. Подавление помех в широкополосных радиоканалах диапазона УВЧ.....	129
Малахов Р.Ю. Экстракция параметров мощных СВЧ транзисторов.....	136

УДК 621.396

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ПОЛЕЙ ТОЧНОСТИ GPS НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ NI GPS SIMULATION TOOLKIT*

О.Н. СКРЫПНИК, Е.Е. НЕЧАЕВ, Р.О. АРЕФЬЕВ

На основе применения программно-аппаратного комплекса NI GPS Simulation Toolkit и авиационного приемника СН-4312 предложена методика построения полей точности GPS по данным системы RAIM приемника (горизонтальный и вертикальный геометрический фактор). Путем сравнения с данными натурных экспериментов оценена достоверность полученных результатов и выявлены ограничения на условия применения комплекса для исследования характеристик GPS. Построены поля точности GPS для двух областей воздушного пространства, расположенных в средних и высоких широтах.

Ключевые слова: точность, рабочая зона, достоверность, моделирование, программно-аппаратный комплекс, геометрический фактор, спутниковая система навигации.

Согласно принятой концепции развития системы организации воздушного движения основным средством навигационного обеспечения всех этапов полета воздушных судов (ВС), включая заход на посадку и посадку, должны стать спутниковые системы навигации (ССН) [1].

Современные ССН, такие как GPS и ГЛОНАСС, позволяют определять координаты ВС с точностью, удовлетворяющей требованиям зональной навигации, а при определенных условиях и требованиям точного захода на посадку [2]. Однако на современном этапе развития ССН обеспечиваемая ими точность и надежность навигационно-временных определений не позволяет решать указанные задачи в полном объеме и во всем используемом для организации воздушного движения воздушном пространстве.

На точность определения координат по данным ССН оказывает влияние весьма широкий спектр факторов, характеризующих точность эфемеридного обеспечения, условия распространения радиосигналов, конфигурацию наблюдаемой группировки навигационных спутников (НС). Одним из основных является так называемый геометрический фактор (GDOP – Geometrical Dilution Of Precision) [3; 4], который зависит от числа и расположения относительно потребителя выбранных для решения навигационной задачи спутников, изменяется с течением времени и различен для различных зон воздушного пространства.

По этой причине представляют практический интерес построение и анализ полей точности ССН в заданных зонах воздушного пространства. Для этого предлагается использовать значения горизонтального (HDOP) и вертикального (VDOP) геометрического фактора в выбранных точках воздушного пространства и по ним строить соответствующие поля.

Для получения значений геометрического фактора в заданной области воздушного пространства можно использовать информацию от сети наземных станций мониторинга ССН, полунатурное моделирование, например с использованием современных программно-аппаратных комплексов (NI GPS Simulation Toolkit, отечественный имитатор СН-3803М производства КБ «Навис»), а также методы, основанные на математическом моделировании орбитальной группировки НС.

В последних двух случаях необходимо обеспечить адекватность моделирования.

Рассмотрим решение задачи построения поля точности GPS путем полунатурного моделирования с использованием программно-аппаратных средств на базе платформы NI (генератор радиочастотных сигналов типа NI PXI-5610/5442, среда Labview, установленная на контроллер NI PXI-8130, инструментарий NI GPS Simulation Toolkit версии 4.2 (рис. 1)) и реального авиационного приемника СН-4312. Структурная схема моделирующего комплекса показана на рис. 2.

* Работа выполнена при материальной поддержке РФФИ (грант № 13-08-00182).

В качестве исходных данных для моделирования орбитального движения НС используется информация о реальном альманахе системы GPS и эфемеридах, загружаемая соответственно с веб-сайтов навигационного центра GPS USCG и данных GNSS информационной системы данных динамики земной коры.

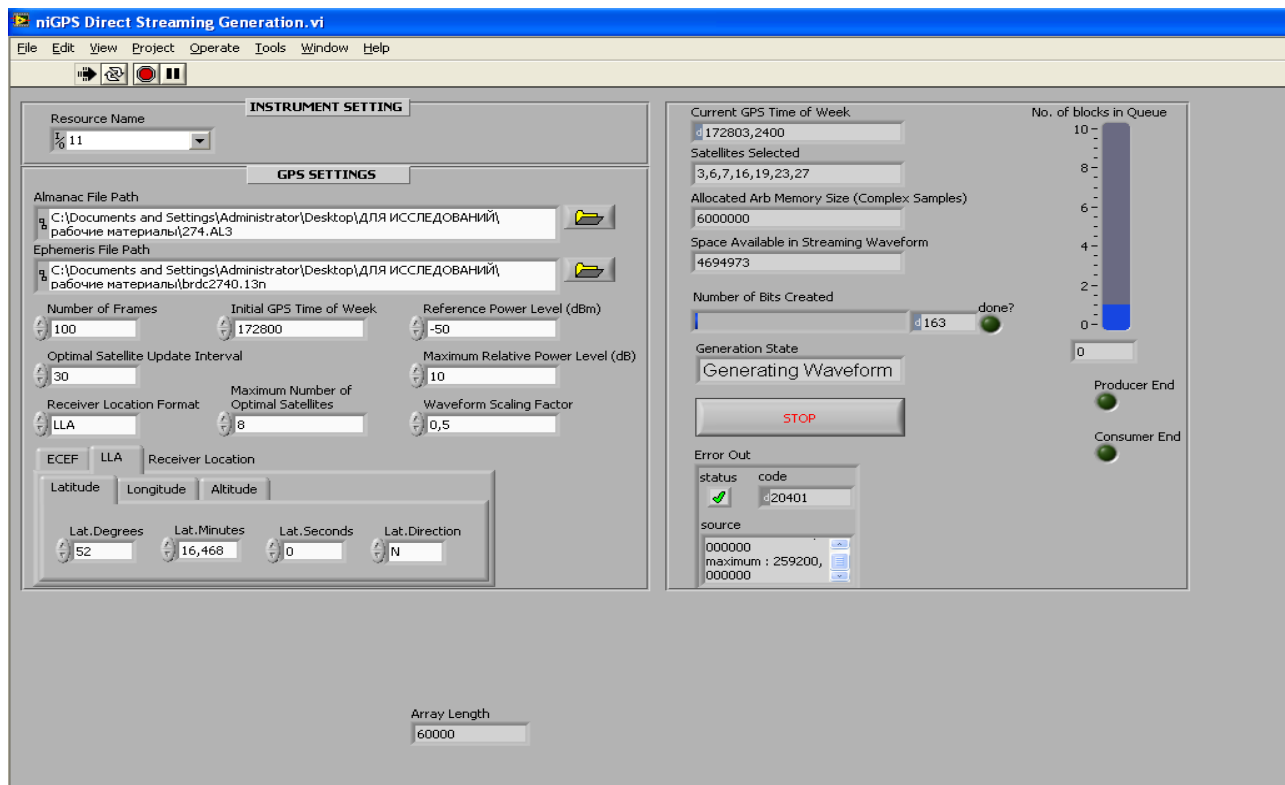


Рис. 1. Вид панели виртуального прибора NI GPS Simulation Toolkit

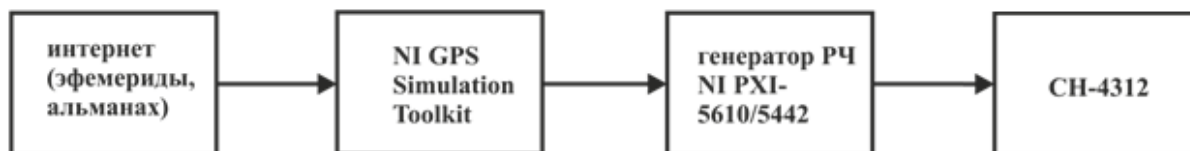


Рис. 2. Структурная схема моделирующего комплекса

Приемник СН-4312 обеспечивает измерение и индикацию горизонтальных координат (широты и долготы) и высоты потребителя над поверхностью земного эллипсоида, расчет и индикацию горизонтального и вертикального геометрических факторов, а также индикацию номеров наблюдаемых НС и уровня их сигналов в точке приема (функция RAIM [3; 4]). Приемник может работать по сигналам систем ГЛОНАСС, GPS и в совмещенном режиме. В приемнике предусмотрена возможность исключения из обработки данных от навигационных спутников, выбираемых вручную оператором.

При использовании инструментария NI GPS необходимо убедиться в адекватности полунатурного моделирования. С этой целью был проведен ряд натурных и полунатурных экспериментов, сопоставление результатов которых позволило выявить некоторые особенности и ограничения применения NI GPS Simulation Toolkit. Для оценки адекватности полунатурного моделирования использовались такие данные, как номера и количество НС, находящихся в зоне видимости на исследуемом интервале времени, значение HDOP и VDOP в момент отсчета, погрешности определения координат.

Натурные эксперименты проводились 21.09.12 г. на интервале времени с 10:15 до 10:45 (+9:00 UTC) для точки с координатами $H=503,18$ м, $B=52^{\circ}15'25,8''$, $L=104^{\circ}21'22,1''$ (г. Иркутск). При полунатурном эксперименте на эту же дату и время задавались альманах и эфемериды НС.

Проведенные испытания показали, что комплекс в составе генератора NI PXI-5610/5442, контроллера NI PXI-8130, инструментария NI GPS Simulation Toolkit версии 4.2 обеспечивает устойчивую генерацию сигналов не более чем от 8-ми навигационных спутников. Так при проведении полунатурного эксперимента моделируемое созвездие (НС с номерами 3; 6; 7; 8; 16; 19; 23; 30) с точностью до одного спутника (горизонтного) совпадало с рабочим созвездием натурального эксперимента. Максимальное различие в величине HDOP при этом составило не более 0,25. Поэтому для обеспечения адекватности моделирования необходимо либо выбирать такие интервалы времени, когда в точке реально наблюдается не более 8 спутников, либо вручную исключать из обработки сигналы отдельных НС.

На рис. 3 показаны результаты исследования горизонтального HDOP и вертикального VDOP геометрических факторов, рассчитываемых приемником СН-4312 при натурном эксперименте с обработкой сигналов от всех наблюдаемых НС (кривые 2) и при полунатурном эксперименте (кривые 1). Отличие в значениях геометрических факторов обусловлено тем, что программно-аппаратный комплекс позволяет моделировать сигналы не более восьми НС, в то время как реальные измерения проводились по всем наблюдаемым спутникам.

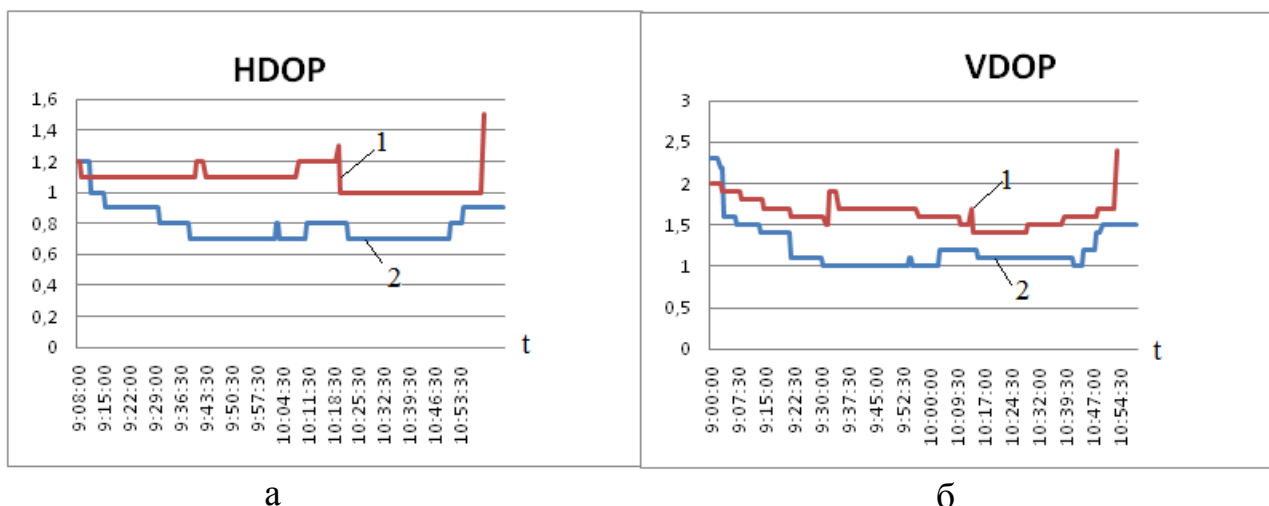


Рис. 3. Геометрический фактор при работе по всем наблюдаемым НС:
а – горизонтальный ГФ; б – вертикальный ГФ

Особенностью приемника СН-4312 является возможность исключения из обработки сигналов от отдельных наблюдаемых НС. На рис. 4 показаны результаты исследования горизонтального HDOP и вертикального VDOP геометрических факторов, рассчитываемых приемником СН-4312 при натурном эксперименте с обработкой сигналов от тех наблюдаемых НС (кривые 2), которые моделировались при полунатурном эксперименте (кривые 1). В этом случае обеспечивается достаточно хорошее совпадение значений геометрического фактора, и, соответственно, обеспечивается адекватность полунатурного моделирования в плане создания одинаковых условий навигационного сеанса по наблюдаемой орбитальной группировке.

На рис. 5 представлены результаты исследования точности измерения высоты приемником СН-4312 при натурном эксперименте (кривые 2) и полунатурном моделировании (кривые 1). При этом кривая 2 на рис. 5а соответствует ошибке измерения высоты при обработке измерений до тех НС, сигналы которых моделировались программно-аппаратными средствами NI GPS, на рис. 5б - при обработке приемником измерений до всех наблюдаемых НС.

Полученные результаты показывают, что точность оценки высоты при полунатурном моделировании существенно хуже, чем при проведении реальных измерений. При тестировании приемников других типов (Garmin GPS Pilot III, Garmin GPSV, Garmin76CSX) точность оценки высоты, а также и горизонтальных координат при полунатурном эксперименте также была хуже, чем при работе приемников по реальным сигналам от наблюдаемых НС.

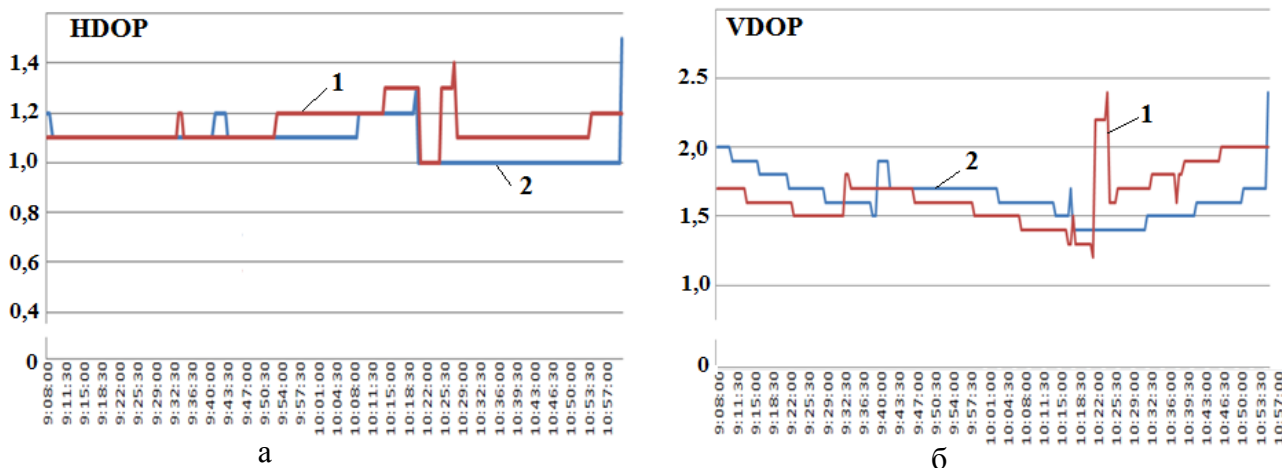


Рис. 4. Геометрический фактор при работе по ограниченному числу наблюдаемых НС:
а - горизонтальный ГФ; б - вертикальный ГФ

Этот эффект является достаточно неожиданным, поскольку при полунатурном моделировании не воспроизводится составляющая погрешности измерений, обусловленная влиянием условий распространения сигналов (ионосферная и тропосферная ошибки) и оказывающая решающий вклад в погрешность определения координат одночастотным приемником [3; 4]. Возможно, что причиной такого эффекта является более низкая стабильность частоты генератора NI PXI-5610/5442 по сравнению со стабильностью эталона времени и частоты реального навигационного спутника GPS.

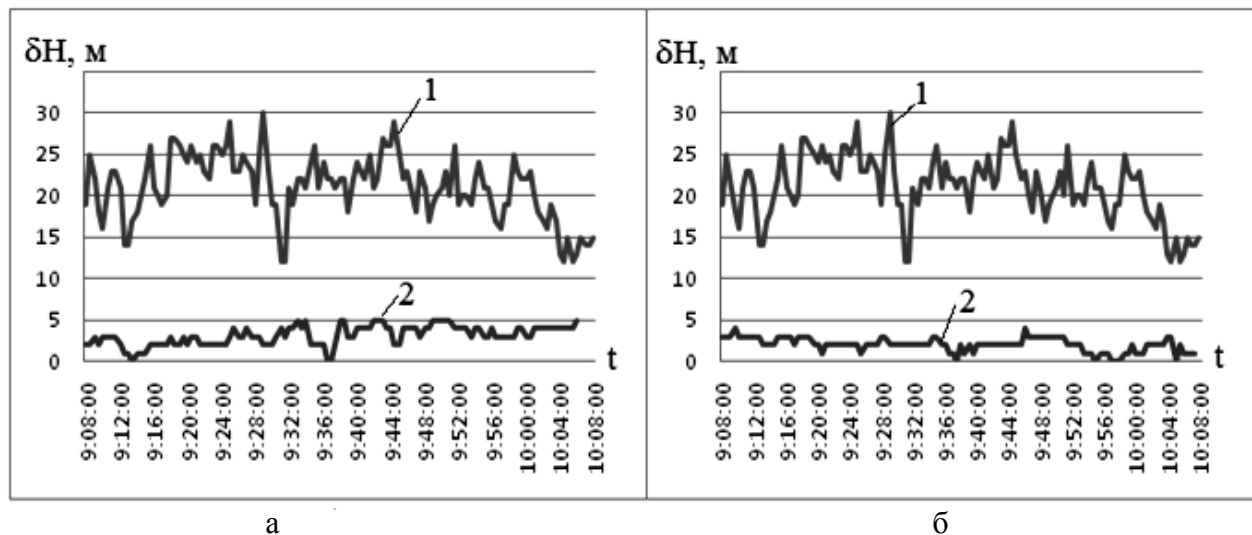


Рис. 5. Ошибки измерения высоты:
а - работа по ограниченному числу НС; б - работа по всем наблюдаемым НС

Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать вывод об адекватности полунатурного моделирования в плане воспроизведения наблюдаемой в точке приема орбитальной группировки НС и соответствующих этим условиям значениям геометрического фактора. Вместе с этим использование программно-аппаратных средств NI GPS для исследования

точности определения координат потребителя не позволяет получить достоверные оценки и может быть рекомендовано для решения других задач, например, для тестирования приемников на предмет общей работоспособности, исследования помехоустойчивости [5].

Для построения полей точности GPS необходимо проанализировать изменение геометрического фактора в зависимости от расстояния между анализируемыми точками в горизонтальной и вертикальной плоскости. На рис. 6 показаны результаты исследования изменения горизонтального HDOP и вертикального VDOP геометрических факторов на интервале времени с 6:00 до 11:00 местного времени для точек входа в глиссаду (высота 700 м над поверхностью ВПП, удаление от ее начала 20 км) и точки касания ВПП аэродрома Иркутск, полученные путем полунатурного моделирования.

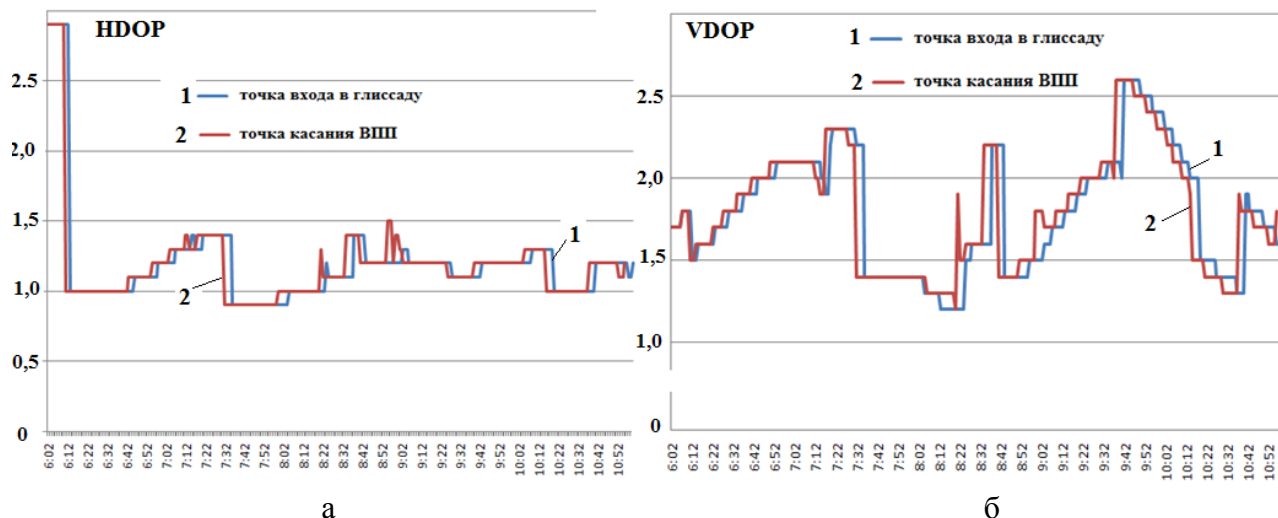


Рис. 6. Геометрический фактор в различных точках пространства:
а – горизонтальный ГФ; б – вертикальный ГФ

Из полученных результатов следует, что значения геометрических факторов в рассмотренных точках практически одинаковы. Следовательно, для построения полей точности ССН можно анализировать значения геометрических факторов в точках, расположенных на удалениях до 40-50 км друг от друга и на одной высоте.

На рассматриваемом интервале времени наблюдаются значительные вариации значений геометрических факторов, в большей степени – вертикального VDOP. Следовательно, точность решения навигационной задачи по данным ССН будет также изменяться в течение времени, что доказывает актуальность проблемы прогнозирования и построения полей точности для заданных моментов или интервалов времени.

На основе полунатурного моделирования с использованием программно-аппаратного комплекса NI GPS и приемника СН-4312 была разработана методика построения полей одинаковых значений горизонтального и вертикального геометрического фактора GPS (что при условии знания погрешности измерения дальности до НС позволит определить точность оценки горизонтальных координат и высоты) для заданной зоны воздушного пространства и заданного момента времени.

Методика основывается на разбиении анализируемой области на ячейки (квадраты) размером 50x50 км, расчете значений горизонтального и вертикального геометрических факторов в центральных точках этих квадратов и выделении ячеек с одинаковыми значениями. Выбор таких размеров ячейки основывается на приведенных выше результатах полунатурных экспериментов, показавших, что для двух точек, удаленных друг от друга на расстояние до 50 км, условия навигационного сеанса (наблюдаемая группировка НС и их положение относительно потребителя) примерно одинаковы. При этом анализировалась зона нижнего воздушного

пространства, в которой выполняются процедуры захода ВС на посадку и посадки.

Поскольку повторяемость наблюдаемой орбитальной группировки GPS кратна 12 ч, с высокой степенью достоверности полученные результаты могут быть использованы для прогноза полей точности GPS на аналогичные моменты времени для исследуемой зоны воздушного пространства на несколько суток.

На рис. 7, 8 показаны поля точности GPS соответственно для горизонтального и вертикального геометрических факторов, построенные на основе проведения полунатурных экспериментов, для районов аэродромов Иркутск и Игарка. Эксперименты проводились по данным альманаха и эфемерид GPS на 21.09.2012 г. для 02:00 и 03:00 всемирного времени (UTC).

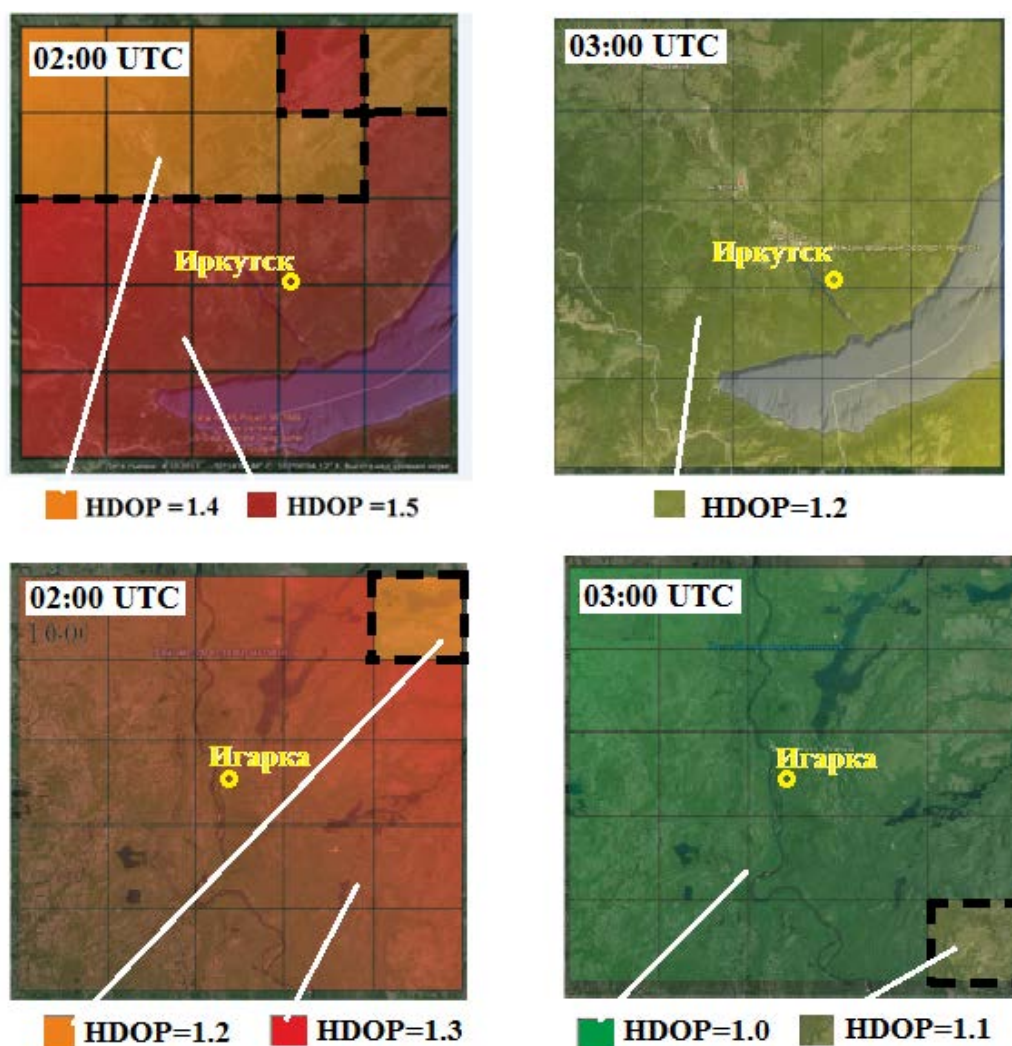


Рис. 7. Поле точности GPS в горизонтальной плоскости

Анализ полученных результатов показывает, что поля точности в горизонтальной плоскости для рассматриваемых зон воздушного пространства являются достаточно однородными (вариации значений HDOP лежат в пределах 0,1). При этом для анализируемых моментов времени горизонтальный геометрический фактор GPS в районе Иркутска (средние широты) хуже, чем в районе Игарки (высокие широты). Такая же картина наблюдалась и для момента времени 01:00 UTC (на рис. 6 не показан).

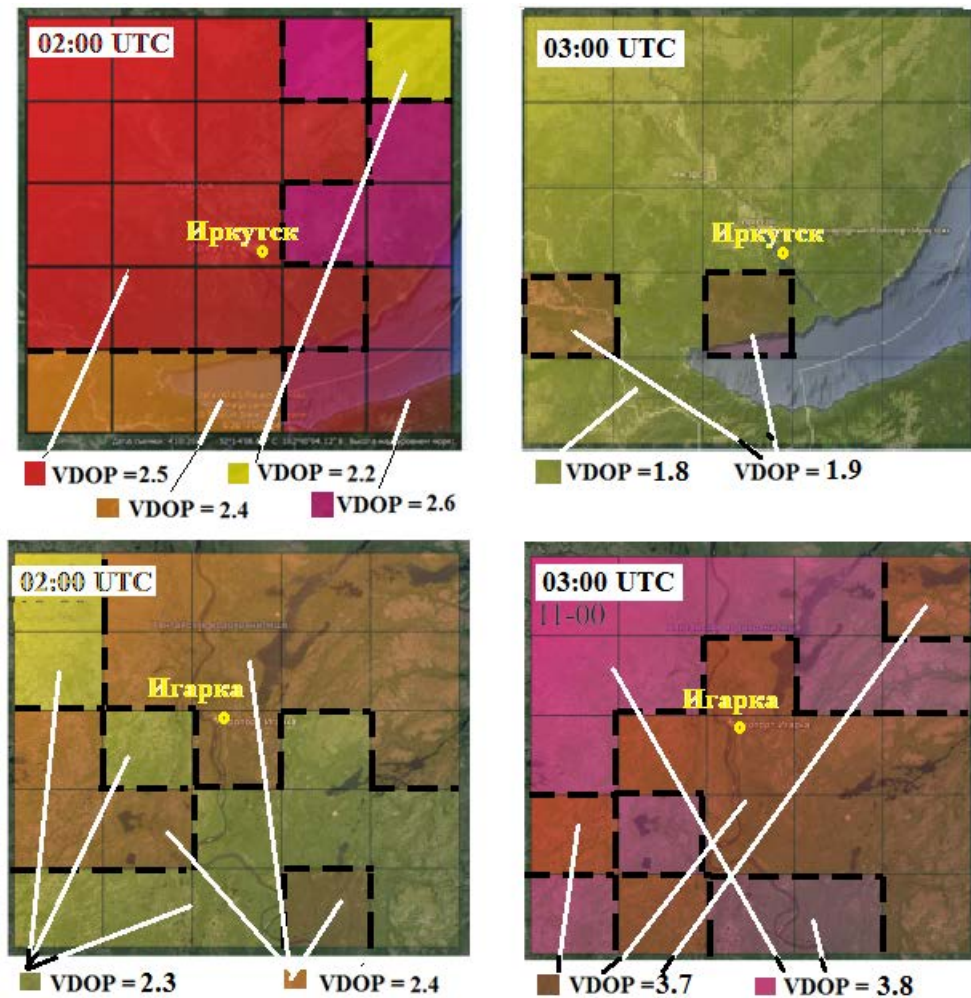


Рис. 8. Поле точности GPS в вертикальной плоскости

Анализ представленных на рис. 7 результатов показывает, что поля точности в вертикальной плоскости для рассматриваемых зон воздушного пространства менее однородны (вариации значений VDOP достигают 0,4). При этом для анализируемых моментов времени вертикальный геометрический фактор GPS в районе Иркутска в целом лучше, чем в районе Игарки. Наиболее ярко это отличие наблюдается для момента времени 03:00 UTC (вертикальный геометрический фактор в районе Игарки практически в 2 раза хуже, чем в районе Иркутска). Такая же картина наблюдалась и для момента времени 01:00 UTC (в районе Иркутска $VDOP=1,7$, в районе Игарки $VDOP=1,9$, причем поля однородные).

Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать следующие выводы:

1. Программно-аппаратный комплекс NI GPS Simulation Toolkit версии 4.2 адекватно воспроизводит реальную орбитальную группировку НС в заданной точке наблюдения, что позволяет его использовать для оценки условий навигационного сеанса (вертикального и горизонтального геометрического фактора) и построения полей точности GPS в заданной зоне воздушного пространства. При этом максимальное число воспроизводимых сигналов НС не превышает 8-ми.

2. Оценка точности определения координат GPS приемниками с использованием комплекса NI GPS Simulation Toolkit версии 4.2 не соответствует точности реальных измерений. Поэтому использование данного комплекса целесообразно для решения таких задач, как тестирование GPS приемников на предмет общей работоспособности и помехоустойчивости для объектов с различными динамическими характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа модернизации и развития интегрированных комплексов и систем бортового цифрового оборудования самолетов ГА на период 2003-2010 гг." ("Авионика-2010"), выполняемая в рамках ФЦП "Развитие гражданской авиационной техники России на 2002-2010 гг. и на период до 2015 года" (приоритетные программные мероприятия).
2. Радионавигационный план Российской Федерации: утв. приказом Минпромторга России от 02 сентября 2008 г. № 118 (в ред. от 31 августа 2011 г. № 1177).
3. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. - изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Радиотехника, 2010.
4. Скрыпник О.Н. Радионавигационные системы воздушных судов: учебник. - М.: Инфра-М, 2014.
5. Валеев В.Г., Корнилов И.Н., Иванов В.Э. Экспериментальное исследование помехоустойчивости аппаратуры потребителя спутниковых радионавигационных систем // Радиотехника. - 2011. - № 9.

**CONSTRUCTION AND ANALYSIS OF GPS ACCURACY FIELDS
ON THE BASIS OF HARDWARE-SOFTWARE MEANS NI GPS SIMULATION TOOLKIT**

Skrypnik O.N., Nechaev E.E., Arefev R.O.

Based on the application of hardware-software complex NI GPS Simulation Toolkit and aviation receiver CH-4312 proposed a method of constructing the fields of GPS precision according to the RAIM receiver (horizontal and vertical geometrical factor system) data. By comparing with experimental data the reliability of the obtained results is assessed and limitations on the conditions of use of the complex for investigation of the characteristics of the GPS were found. Built fields precision GPS for two areas of airspace, located in mid-and high latitudes were constructed.

Keywords: accuracy, work area, reliability, simulation, hardware-software complex, geometric factor, satellite navigation system.

Сведения об авторах

Скрыпник Олег Николаевич, 1959 г.р., окончил Киевское ВВАИУ (1981), профессор, доктор технических наук, заместитель директора Иркутского филиала МГТУ ГА по учебно-научной работе, автор более 80 научных работ, область научных интересов – радионавигация, межсамолетная навигация, комплексная обработка навигационной информации.

Нечаев Евгений Евгеньевич, 1952 г.р., окончил НЭТИ (1974), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой управления воздушным движением МГТУ ГА, автор более 180 научных работ, область научных интересов – теория УВД, радиолокация, радионавигация, теория и техника СВЧ измерений.

Арефьев Роман Олегович, 1991 г.р., окончил Иркутский филиал МГТУ ГА (2013), аспирант МГТУ ГА, автор 8 научных работ, область научных интересов – радионавигация, спутниковые системы навигации.

УДК 629.735.015:681.3

МОДЕЛЬ ОПЕРАЦИЙ ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ АЭРОДРОМА

И.Ю. АГАФОНОВА, Л.Е. РУДЕЛЬСОН, А.И. СТЕПАНОВА

Рассмотрены процедуры взлета и посадки потока ВС нескольких категорий. Предложен подход к построению модели расчета пропускной способности аэродрома. Проведена декомпозиция модели и исследован один из ее элементов – режим захода на посадку. Проведена оценка временного интервала для этого режима и получены ограничения на минимально допустимые расстояния между ВС в потоке.

Ключевые слова: аэродромные операции, модель потока ВС, режим работы аэродрома, декомпозиция и ограничения модели, целевая функция.

Введение

В течение последнего десятилетия объем воздушных перевозок существенно возрос и в пиковые периоды стал превышать пропускную способность в значительном количестве аэродромов. Так прогноз авиаперевозок для Московского аэроузла до 2015 г. показал ежегодный прирост авиапассажиров в 6%. В связи с этим проблема увеличения пропускной способности аэродромов становится ключевой в развитии индустрии авиаперевозок.

В аспекте поставленной задачи следует отметить, что не существует единой утвержденной методики расчета пропускной способности аэродрома, а есть лишь рекомендации Федеральной аэронавигационной службы. В разработке таких документов настоятельно заинтересованы авиаперевозчики. Так в предложениях авиапредприятий отрасли по новым законодательным актам предлагается «утвердить методики расчета нормативов пропускной способности аэродромов и перечень организаций, учреждений, имеющих право давать независимое экспертное заключение по расчету вышеуказанных нормативов».

Очевидно, что для разработки таких методик и, тем более, для выработки мотивированных рекомендаций по увеличению пропускной способности аэродрома необходимо привлечение методов математического моделирования и построение адекватной модели функционирования аэродрома. При этом вместе увязываются такие характеристики, как пропускная способность используемой взлетно-посадочной полосы (ВПП) и пропускная способность района аэродрома. Важным этапом разработки такой модели является определение минимальных интервалов между воздушными судами (ВС) в аэродромной зоне в целом и на предпосадочной прямой в частности.

Этап посадки является наиболее ответственной фазой полета (рис. 1). Он занимает в среднем около 15% времени выполнения рейса, однако статистика мирового авиационного сообщества показывает, что на его

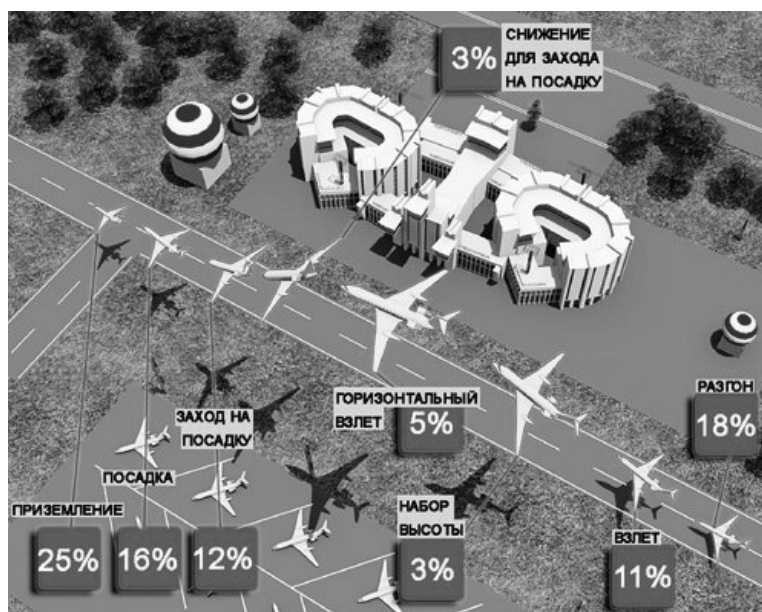


Рис. 1. Статистика летных происшествий на различных этапах выполнения полетов

долю приходится гораздо более высокий процент летных происшествий. Наряду с мероприятиями по совершенствованию техники пилотирования и повышения качества технических средств обеспечения полетов возникает актуальная научная задача диспетчерского обеспечения безопасной посадки потока самолетов при ограничениях на экономичность и регулярность воздушного движения.

Задача организации воздушного движения на любом аэродроме состоит в обеспечении требуемого уровня безопасности операций (взлетов и посадок) при ограничениях на экономичность и регулярность полетов. Повышение пропускной способности позволяет повысить показатели рентабельности, однако повышает и вероятность летного происшествия. Упомянем два аспекта этой комплексной проблемы: организационный, связанный с технологией диспетчерского обслуживания, и физический, определяемый динамикой полета реактивных ВС.

Существующие нормы для интервалов между операциями на ВПП, регламентированные документами гражданской авиации (ГА) в виде инструкций по производству полетов на данном аэродроме, основаны на очевидном требовании: для выполнения операции полоса должна быть свободна. В каждом конкретном случае рассматривается время, необходимое пилоту для заключительной фазы полета от высоты принятия решения (ВПР) до момента освобождения полосы, которое рассчитывается из летно-технических характеристик для каждого типа ВС в предположении «худшего случая», т.е. в расчете на максимальную продолжительность фазы. Реальные условия обслуживания, как правило, происходят в менее напряженном режиме, и диспетчеры способны обеспечить требуемый уровень безопасности при более высокой интенсивности операций. Однако инструкции запрещают такие действия.

Физический аспект проблемы состоит в обеспечении вихревой безопасности полетов. Ее суть заключается в механическом воздействии струйно-вихревого следа самолета на окружающую среду. След может оказаться опасным для наземных объектов и летательных аппаратов (ЛА), попадающих в него. Попадание ВС в вихревой след может привести к неконтролируемому крену и потере управляемости.

Вихревой след зависит от компоновки ВС, полетного веса и режима обтекания. Под действием сил различной природы он опускается ниже траектории самолета на 150–300 м и более, а также смещается в горизонтальном направлении из-за ветра и влияния земли. В зависимости от состояния атмосферы длина вихревого следа может составлять от нескольких километров до десятков километров.

В настоящее время на практике действуют правила ИКАО, которые связывают минимальные расстояния между летящими в одном направлении ВС (продольное эшелонирование) с их непопаданием в вихревые следы. Согласно этим правилам, минимальные расстояния определяются типами самолетов и составляют, например, 4 морские мили для тяжелого самолета, летящего по трассе за тяжелым самолетом, и 6 морских миль для легкого самолета, следующего за тяжелым. При взлете и посадке на одну ВПП или на параллельные близко расположенные ВПП допустимый временной интервал составляет 2–3 мин. Расстояние между ВС, приземляющимися на аэродромы ГА, как правило, составляет 5 км.

1. Эксперименты по управлению потоком приземляющихся ВС

Каждый борт при наличии информации о метеоусловиях и других характеристиках аэродрома назначения может заблаговременно рассчитать “четырёхмерный” профиль полета и доложить результаты диспетчерам, которые обеспечат рациональное управление посадкой. О таких экспериментах известно из периодической печати и документов Евроконтроля [1].

В стоковольском аэропорту Арланда самолет Boeing 737-600 авиакомпании SAS выполнил заход на посадку по так называемому зеленому коридору, после того как установленная на нем бортовая система самолетовождения соединилась с наземным центром и передала ему «четырёхмерную» траекторию снижения (рис. 2). Название «заход на посадку по зеленому коридору»

ру», призванное подчеркнуть экономию топлива, снижение выбросов вредных веществ в атмосферу и уровней шума, предложила группа специалистов, участвующих в испытаниях системы организации движения с использованием «четырёхмерной» траектории прибытия ВС (три пространственных измерения плюс время). Самолет вылетел из аэропорта Люли в Северной Швеции и совершил коммерческий рейс с посадкой по траектории, сформированной примерно за час до прибытия в Арланду. Это был первый из сотен полетов, которые выполнялись в рамках оценки системы, известной сегодня как AMAN/DMAN.

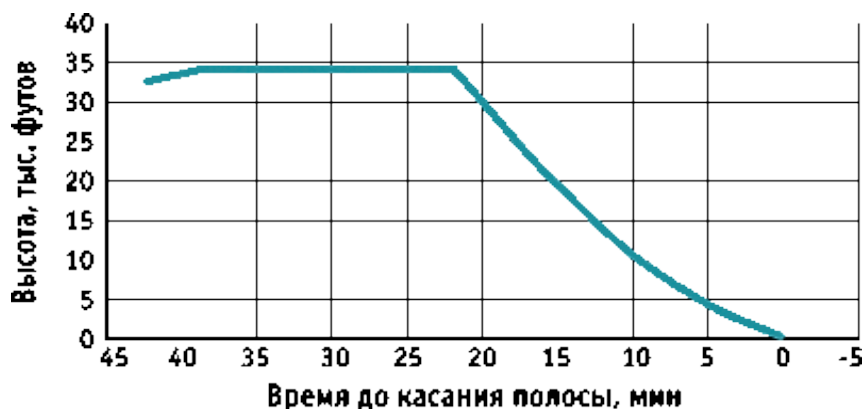


Рис. 2. Доклад о планируемом «четырёхмерном» профиле полета, отправленный вычислительной системой самолетовождения самолета Boeing-737 авиакомпании SAS перед началом снижения

Приведенная на рисунке «четырёхмерная» траектория полета, рассчитанная вычислительной системой самолетовождения, предполагает заход на посадку по «зеленому коридору» с непрерывным снижением с высоты крейсерского полета при работе двигателя на малом газе. Траектория начинается примерно за 22 мин до касания полосы. Она была отправлена диспетчерам УВД до начала снижения.

Получив предлагаемую «четырёхмерную» траекторию за час до прибытия самолета, диспетчеры Арланды перестроили поток прибывающих лайнеров таким образом, чтобы обеспечить самолету Boeing-737 авиакомпании SAS непрерывное снижение. Обмен данными о траектории полета с наземными службами управления воздушным движением (УВД) позволяет также освободить наземные радиолокаторы от необходимости вывода самолета в нужную для нормальной посадки точку при малых высотах полета. В обычных условиях самолет вынужден маневрировать в горизонтальном полете с большими тягами двигателей или уходить в зону ожидания. Это увеличивает вредное воздействие на окружающую среду.

При заходе на посадку по «зеленому коридору» самолет может дольше оставаться на высоте крейсерского полета, прежде чем приступить к снижению по более крутой по сравнению с

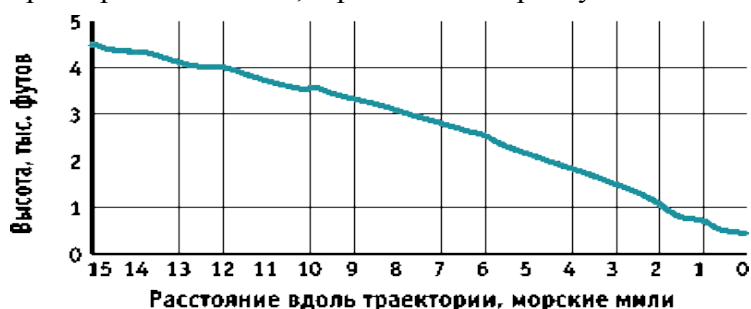


Рис. 3. Изменение высоты вдоль траектории снижения по «зеленому коридору»

обычной траектории (рис. 2, 3). При работе двигателей на режиме малого газа это приводит к уменьшению расхода топлива с 250 кг до 500 кг при каждом заходе на посадку.

Показанная на рисунке траектория захода на посадку круче обычной. Прибытие в точно рассчитанный момент времени позволяет выполнять непрерывное снижение на режиме малого газа, практически без участков горизонтального полета на малых высотах.

Ожидается, что заходы на посадку по «четырёхмерным» траекториям позволят увеличить пропускную способность аэродромов на 30-40%. Именно этим объясняется интерес к испытаниям со стороны европейских и американских компаний. Например, в Арланде, имеющей всего одну взлетно-посадочную полосу, суммарное число взлетов и посадок самолетов можно будет увеличить с 45 до 60 в час.

Эксперименты в области самолетовождения, ограничивающиеся применением известных методов расчета траекторий на этапе снижения и посадки, подчеркивают необходимость разработки математических моделей движения потоков ВС. Только на их основе можно говорить о минимизации интервалов между выполняемыми аэродромными операциями.

2. Постановка задачи

Рассматривается «стационарный» режим работы аэродрома, имеющего одну функционирующую ВПП. Стационарность понимается как периодичность изменения состояния аэродрома. В качестве периода T могут быть выбраны одни сутки, неделя или месяц. Будем полагать, что такой периодичностью обладают все зависящие от времени параметры случайных процессов, протекающих в аэродромах.

Обслуживаемые ВС разбиты по своим параметрам на K классов.

Поток прибывающих ВС может быть смоделирован неоднородным пуассоновским потоком с интенсивностью $\lambda_k(t)$, заданной на временном полуинтервале $[0, T)$. Под прибытием здесь понимается не момент времени посадки ВС, а тот момент, когда диспетчер аэродромного пункта УВД принял данное ВС для сопровождения.

Далее потоки прибывающих ВС сливаются в один поток с установлением очередности по времени прибытия (без дополнительных приоритетов) и проходят через своеобразную «линию задержки» (модель диспетчерского управления потоком ВС, заходящих на посадку), устанавливаются новые интервалы между ВС. Временные интервалы в этом объединенном и трансформированном потоке случайны и ограничены снизу величинами, зависящими от категорий n -го и $(n+1)$ -го ВС в очереди. Это связано с тем, что существует некоторое множество характерных времен $\{\tau\}$, определяющих «занятость» ВПП: $\tau_{i,j}^{nn}$ – минимальный временной интервал между моментами начала захода на посадку ВС i -го и j -го классов; $\tau_{i,j}^{BB}$ – минимальный временной интервал между начальными моментами взлета ВС i -го и j -го классов; $\tau_{i,j}^{Bn}$ и $\tau_{i,j}^{nB}$ – минимальные интервалы между взлетом и посадкой различных ВС.

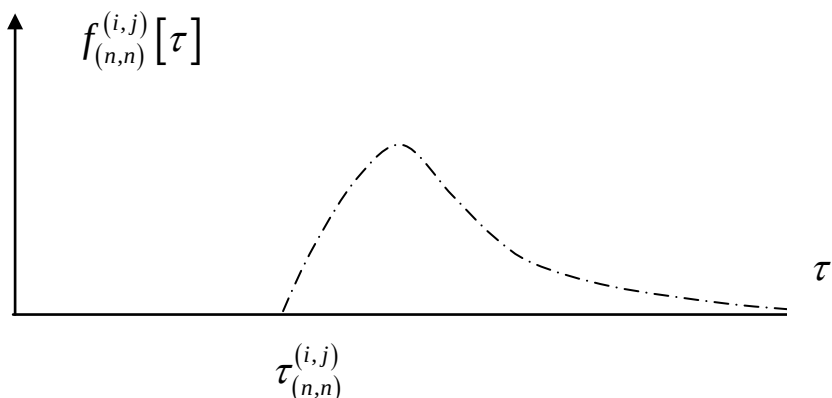
С целью увеличения безопасности (учитывая человеческий фактор) диспетчер может увеличивать эти интервалы. Таким образом, эти минимальные интервалы (в интерпретации диспетчера) – случайные величины, описываемые некоторыми распределениями $f_{(n,n)}^{(i,j)}[\tau]$ такими, что $f_{(n,n)}^{(i,j)}[\tau] \equiv 0$ при $\tau \leq \tau_{\min}$. Например, $f_{(n,n)}^{(i,j)}[\tau] \equiv 0$ при $\tau \leq \tau_{i,j}^{nn}$.

Возможный вид такого распределения представлен на рис. 4.

Формируя поток ВС для захода на посадку, диспетчерская служба может задержать ВС на время Δ_k (здесь k определяет класс рассматриваемого ВС). Такая задержка штрафует (дополнительный расход топлива) с весовым коэффициентом c_k .

Число ВС, находящихся на обслуживании в аэродроме, ограничено величиной D , превышение которой нежелательно (штрафуется).

Поток взлетающих ВС является неким неоднородным потоком с интенсивностью $\mu_k(t)$.



За обслуживание каждого ВС аэродром получает прибыль в размере q_k в зависимости от класса обслуженного ВС.

Целевой функцией аэродрома является приведенная прибыль, рассчитываемая как разность между прибылью, получаемой за обслуживание ВС, и χ -й долей потерь всех ВС за период наблюдения T из-за вынужденного ожидания.

Рис. 4. Примерный вид распределения реальных интервалов между ВС, задаваемых диспетчером

Требуется определить пропускную способность аэродрома R (в предположении полной загрузки ВС), работающего в оптимальном режиме. Варьируются параметры входных – $\{\lambda_k(t)\}$ и выходных – $\{\mu_k(t)\}$ потоков.

3. Спецификация задачи

Входной поток ВС описывается K -мерным неоднородным пуассоновским потоком:

$$\xi(\omega, t) = \{\xi_1(\omega, t), \xi_2(\omega, t), \dots, \xi_k(\omega, t)\}; \quad t \in [0, T), \omega \in \Omega,$$

где ω – элементарное событие, соответствующее одной из возможных реализаций трафика входа ВС в зону аэродрома; k -я компонента процесса описывается следующим распределением:

$$P_{\xi_k} = P[\omega: \xi_k(\omega) = n, t \in [t, t + \delta t]] = \begin{cases} 1 - \lambda_k(t) \cdot \delta t & \text{при } n = 0; \\ \lambda_k(t) \cdot \delta t & \text{при } n = 1; \\ 0 & \text{при } n \geq 2. \end{cases}$$

Выходной поток взлетающих ВС описывается K -мерным случайным процессом:

$$\psi(\omega, t) = \{\psi_1(\omega, t), \psi_2(\omega, t), \dots, \psi_k(\omega, t)\}; \quad t \in [0, T), \omega \in \Omega.$$

Пороговые временные интервалы между взлетами и посадками задаются квадратными матрицами размерности $K \times K$:

$$\|\tau_{i,j}^{n,n}\|; \|\tau_{i,j}^{B,B}\|; \|\tau_{i,j}^{B,n}\|; \|\tau_{i,j}^{n,B}\|; \quad i, j = \overline{1, K}.$$

Значения элементов приведенных матриц рассчитывается из вспомогательной модели.

Минимальные временные интервалы, задаваемые диспетчером, определяются матрицами, элементы которых есть распределения плотности вероятности интервалов:

$$\|f_{i,j}^{n,n}(\tau)\|; \|f_{i,j}^{B,B}(\tau)\|; \|f_{i,j}^{B,n}(\tau)\|; \|f_{i,j}^{n,B}(\tau)\|; \quad i, j = \overline{1, K}.$$

Вид функций распределения постулируется по согласованию с экспертами либо находится из статистики наблюдений [2].

При этом обязательно выполняется условие вида

$$f_{(n,n)}^{(i,j)}[\tau] \equiv 0 \quad \text{при} \quad \tau \leq \tau_{i,j}^{nn}.$$

Критерий оптимальности функционирования аэродрома M , функционально зависящий как от интенсивности прилета – $\lambda(t)$, так и вылета $\mu(t)$ ВС, определяется как среднее значение случайной суммы

$$\langle M[\lambda(t), \mu(t)] \rangle = \left\langle \sum_{i=1}^K [v_i(d_i - r_i) - \chi \cdot \Delta_i^{\Sigma} \cdot c_i] \right\rangle,$$

где $v_i = v_i(\lambda, \mu)$ – случайное число ВС i -го класса, принятых аэродромом за время T ; d_i – отчисление авиакомпании за обслуживание одного ВС i -го класса; r_i – стоимость реальных затрат на обслуживание одного ВС i -го класса; $\Delta_i^{\Sigma} = \Delta_i^{\Sigma}(\lambda, \mu)$ – случайное время ожидания всех ВС i -го класса в зоне ожидания; χ – степень «давления» авиакомпаний на руководство аэродрома с целью уменьшения потерь, связанных с ожиданием; c_i – удельный расход горючего ВС i -го класса за единицу времени при ожидании.

Решение оптимизационной задачи символически можно записать в виде

$$\{\lambda^{opt}(t), \mu^{opt}(t)\} = \arg \max_{\lambda, \mu} \langle M[\lambda(t), \mu(t)] \rangle.$$

Пропускная способность аэродрома R определяется при этом соотношением

$$R = \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^K N_i \cdot \langle v_i(\lambda^{opt}, \mu^{opt}) \rangle,$$

где N_i – максимальное количество пассажиров, перевозимых ВС i -го класса.

4. Декомпозиция и основные приближения модели

Анализ задачи на основе [3] показал, что искомую модель расчета пропускной способности аэродрома можно представить в виде композиции ряда моделей (рис. 5).

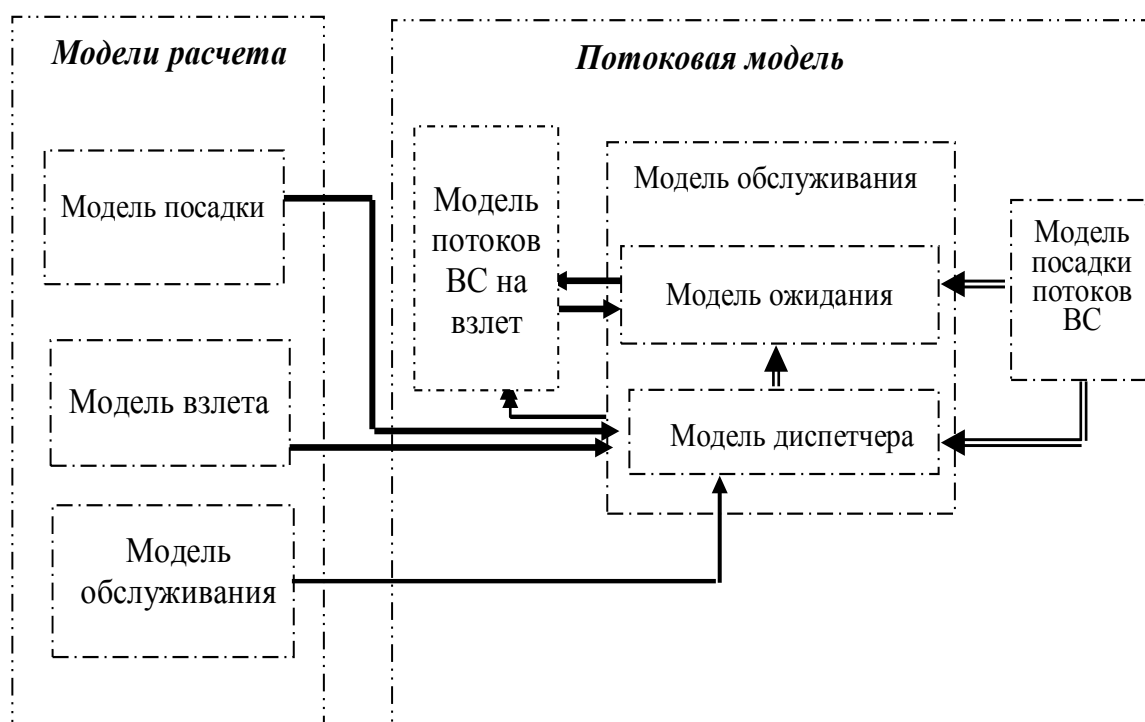


Рис. 5. Декомпозиция модели расчета пропускной способности аэродрома

Схема взаимосвязи этих составляющих представлена в табл. 1.

Таблица 1

Модель	Входные параметры	Выходные параметры
Модель посадки ВС	Параметры ВС, потребные характеристики аэродрома, ограничения на интервалы движения, связанные с турбулентностью	Длительность временного интервала, определяющего «занятость» ВПП: $\ \tau_{i,j}^{n,n}\ ; \ \tau_{i,j}^{n,B}\ $
Модель взлета ВС	Параметры ВС, потребные характеристики аэродрома, ограничения на интервалы движения, связанные с турбулентностью	Длительность временного интервала, определяющего «занятость» ВПП: $\ \tau_{i,j}^{B,B}\ ; \ \tau_{i,j}^{B,n}\ $
Модель обслуживания ВС на аэродроме	Временные характеристики обслуживания ВС	Длительность минимального временного интервала между посадкой ВС и его взлетом - τ_k^0
Модель входящих потоков ВС	Статистические данные об интенсивности входных потоков ВС	Параметры входных потоков и соответствующие распределения: $\{\lambda_k(t)\};$ $\xi(\omega,t) = \{\xi_1(\omega,t), \xi_2(\omega,t), \dots, \xi_k(\omega,t)\}$
Модель диспетчера *)	Минимальные безопасные временные интервалы, параметры входных и выходных потоков: $\ \tau_{i,j}^{n,n}\ ; \ \tau_{i,j}^{n,B}\ ;$ $\ \tau_{i,j}^{B,B}\ ; \ \tau_{i,j}^{B,n}\ ; \tau_k^0;$ $\{\lambda_k(t)\}; \{\mu_k(t)\}$	Интервалы задержки ВС в буфере ожидания - Δ_i
Модель буфера *)	Характеристики входных и выходных потоков ВС, интервалы задержки ВС в буфере ожидания - Δ_i	Характеристики потока ВС, заходящих на посадку
Модель потока ВС на взлет *)	Интервалы задержки ВС в буфере ожидания - Δ_i , минимальные безопасные временные интервалы, параметры входных и выходных потоков: $\ \tau_{i,j}^{n,n}\ ; \ \tau_{i,j}^{n,B}\ ;$ $\ \tau_{i,j}^{B,B}\ ; \ \tau_{i,j}^{B,n}\ ; \tau_k^0;$ $\{\lambda_k(t)\}$	Характеристики потока ВС, совершающих взлет $\{\mu_k(t)\}$

Примечание: помеченные *) модели являются существенно самосогласованными и при агрегировании должны рассматриваться совместно.

Группа модели расчета временных интервалов позволяет оценить минимальные потребные интервалы времени для выполнения процедур, определяющих скорость обслуживания в очереди. Это взаимно независимые модели, выходные параметры которых необходимы для построения потоковой модели.

Заключение

В работе проведен предварительный анализ проблемы расчета пропускной способности аэродрома. Предложена структура модели расчета и рассмотрены некоторые ее элементы.

Проанализирован этап движения ВС на участке от высоты принятия решения до поворота на рулежную дорожку. Предложено разбить этот участок на два: движение по глиссаде и по ВПП от ее порога до используемой рулежной дорожки. На первом участке целесообразен подход математического моделирования, на втором – обработка статистических данных наблюдений. Анализ показал существенное различие среднего времени занятости полосы и гарантированного времени посадки, за которое все ВС данного класса освободят ВПП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Документ Евроконтроля DLM-0607-001-02-00, 2007. Этап определения проекта SESAR (Исследование организации воздушного движения в едином Европейском небе).
2. Кузнецов В.Л. Кинетический подход к описанию эволюции неопределенности состояния воздушного судна в задаче расчета риска катастроф // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Прикладная математика. Информатика. - 2006. - № 105.
3. Методика оценки и обоснование нормативов загруженности диспетчеров и пропускной способности секторов УВД. - М.: ГосНИИ «Аэронавигация», 2003.

MODEL OF TAKEOFF AND LANDING OPERATIONS FOR CALCULATING OF AERODROME CAPACITY

Agafonova I.Yu., Rudelson L.E., Stepanova A.I.

The procedures for takeoff and landing of aircraft flow are discussed. An approach to the construction of a model for calculation of aerodrome capacity is proposed. Decomposition of model is conducted and one of its elements – the approach mode is investigated. The estimation of the time interval for this mode and limitations on the minimum distances between aircraft in the stream are shown.

Keywords: airdrome operations, flow model aircraft, operation mode of airdrome, decomposition and limitations of the model, objective function.

Сведения об авторах

Агафонова Инна Юрьевна, окончила УВАУ ГА (2004), аспирантка МГТУ ГА, автор 1 научной работы, область научных интересов – компьютерная поддержка планирования и обслуживания полетов.

Рудельсон Лев Ефимович, 1944 г.р., окончил МЭИ (1968), доктор технических наук, профессор кафедры вычислительных машин, комплексов, систем и сетей МГТУ ГА, автор более 170 научных работ, область научных интересов – программное обеспечение автоматизированных систем организации воздушного движения.

Степанова Александра Илгизовна, окончила МГТУ ГА (2012), аспирантка МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – методы планирования использования воздушного пространства и управления воздушным движением.

УДК 656.7.052:629.735.45

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОНДА ДОСТУПНОГО ВРЕМЕНИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН ВЕРТОЛЕТОМ ROBINSON R-44 С УЧЕТОМ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

П.М. ПОЛЯКОВ, М.В. КАРМЫЗОВ, Д.П. ПОЛЯКОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Воробьевым В.В.

В статье затронута проблема обоснования использования вертолета Robinson R-44 при выполнении работ в различных климатических зонах. Основным критерием, ограничивающим фонд используемого времени, предлагается принять эксплуатационные ограничения вертолета Robinson R-44.

Ключевые слова: доступный фонд времени, ожидаемые условия эксплуатации, различные климатические зоны применения вертолета.

В складывающихся условиях рыночных отношений владельцы авиационной техники все чаще ставят задачи наиболее эффективного ее применения путем увеличения доступного времени ее использования. При этом география применения постоянно расширяется. Решение подобной задачи не должно каким-либо образом влиять на обеспечение безопасности полетов и в то же время быть достаточно обоснованным.

В качестве примера предлагается методика расчета фонда доступного времени использования авиационной техники для вертолета Robinson R-44. В основу предлагаемого подхода положим принцип оценки географического положения и климатических особенностей зон, в которых предполагается его использование (рис. 1) с учетом эксплуатационных ограничений.

Основными критериями, ограничивающими располагаемый фонд времени безопасного использования вертолета R-44, необходимо принять эксплуатационные ограничения (ожидаемые условия эксплуатации), отраженные в руководстве по летной эксплуатации данного типа воздушного судна [3]. К основным таким ограничениям следует отнести:

- разрешение выполнения полетов днем по правилам визуальных полетов (ПВП) (VFR);
- разрешение выполнения полетов ночью по ПВП только, если установлены и находятся в рабочем исправном состоянии посадочные фары, навигационные огни, лампочки освещения приборов и проблесковые огни для предотвращения столкновений (для патрулирования трубопроводов темное время суток не используется);
- запрещение полетов в условиях обледенения (наибольшая вероятность обледенения существует при полетах в диапазоне температур от -5°C до -10°C и влажности более 80%. Вне этого интервала вероятность обледенения быстро понижается);
- использование вертолета по назначению в диапазоне температур окружающего воздуха от 30°C до -40°C .

При этом необходим анализ маршрутной сети предполагаемого использования вертолета, который целесообразно проводить с учетом привязки к конкретным опорным пунктам. В этом случае, как правило, имеются статистические данные географических и климатических условий, необходимых для оценки.

Таким образом, основными статистическими исходными данными, необходимыми для расчета располагаемого фонда времени безопасного использования вертолета для конкретного маршрута будут являться:

- средняя продолжительность светового дня по месяцам;

- количество дней с различными неблагоприятными метеоявлениями, полеты в которых запрещены (дождь, снег, туман, гроза, метель, пыльная буря, гололёд, изморозь и др.);
- данные по средней температуре воздуха по месяцам;
- относительная влажность воздуха по месяцам;
- характерные особенности рассматриваемой климатической зоны.

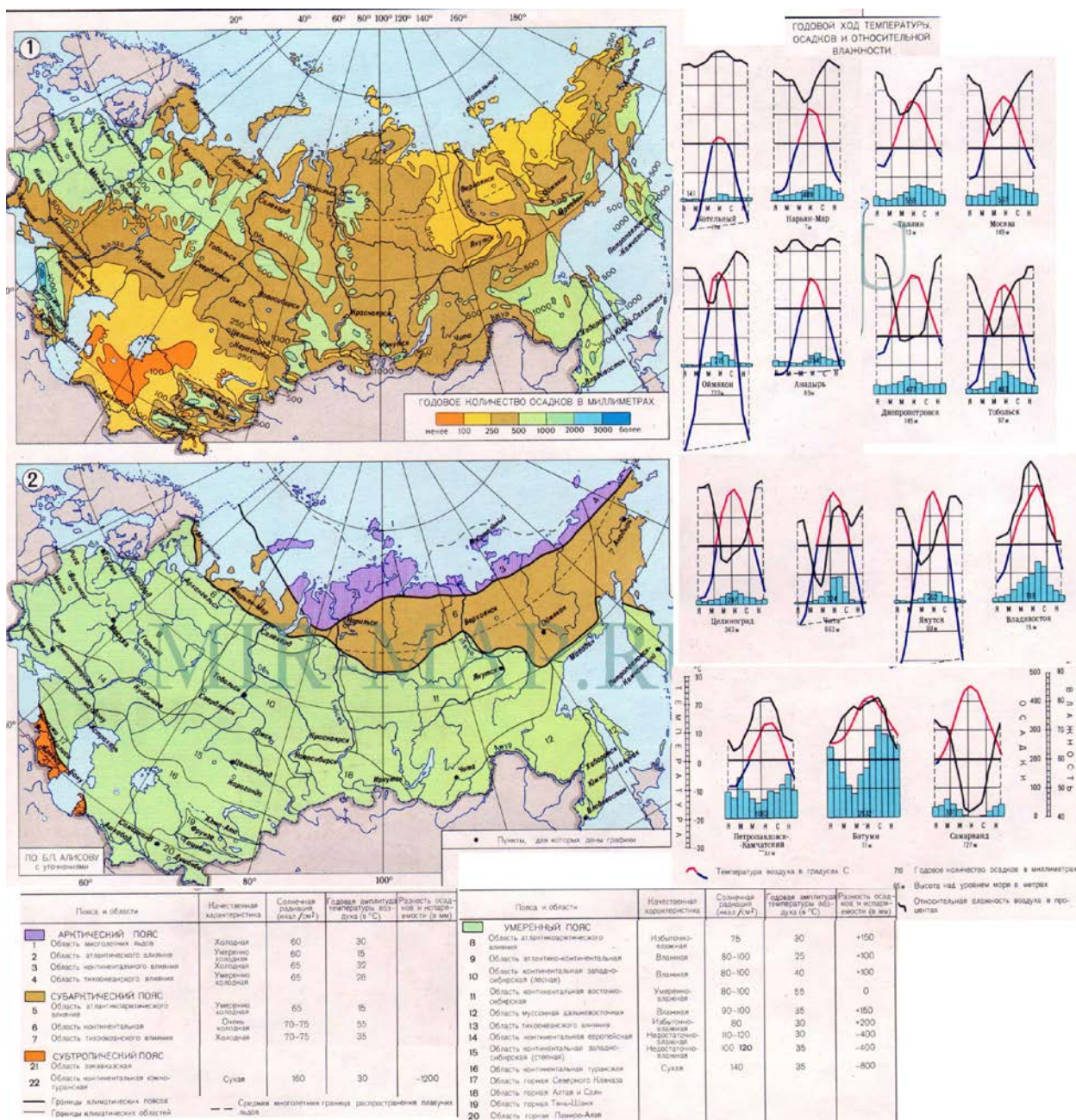


Рис. 1. Карта климатических зон России

Месячный фонд светового времени T_m определяем при помощи следующего выражения

$$T_m = \sum b i_{-1}(t_i),$$

где $m = 1, 2, 3, \dots$ – оцениваемый месяц; $b = 1 \div 31$ – количество благоприятных дней в месяце m ; t_i (ч) – количество светового времени в i -х сутках месяца m .

Количество благоприятных дней в месяце определяется на основании климатических наблюдений для региона, в котором планируется применение вертолета.

После проведенных расчетов необходимо наложить ограничения, связанные с возможностью обледенения вертолета ($T = -5^{\circ}\text{C} \div -10^{\circ}\text{C}$ и влажности $\geq 80\%$). Пример расчета фонда доступного времени для г. Оренбург приведен в табл. 1 и отображен на рис. 2.

Таблица 1

Определение фонда доступного времени для Оренбурга

	Количество благоприятных суток	Средняя продолжительность светового дня (мин)	Фонд доступного времени (мин)	Фонд доступного времени (ч)	Влажность воздуха	Средняя температура	Примечание
Январь	8	512,5	4100	68	80	-11,8	
Февраль	8	602,5	4820	80	78	-11,5	
Март	18	716,5	12897	214	79	-5,2	Возможно обледенение
Апрель	19	835,5	15874,5	264	65	6,9	
Май	16	937	14992	249	53	15,2	
Июнь	15	988,5	14827,5	247	55	20,6	
Июль	17	961	16337	272	57	22,3	
Август	18	870,5	15669	261	57	20,3	
Сентябрь	17	756	12852	214	60	14,0	
Октябрь	17	458	7786	129	70	5,9	
Ноябрь	15	354,5	5317,5	88	81	-3,2	Возможно обледенение
Декабрь	10	482,5	4825	80	81	-9,5	Возможно обледенение
Всего за год	240	8475	2034000	21671	68	5,3	

При расчетах были использованы статистические данные, размещенные на общедоступных сетевых ресурсах Интернет [4]. Результаты проведенных расчетов отображены на рис. 2.

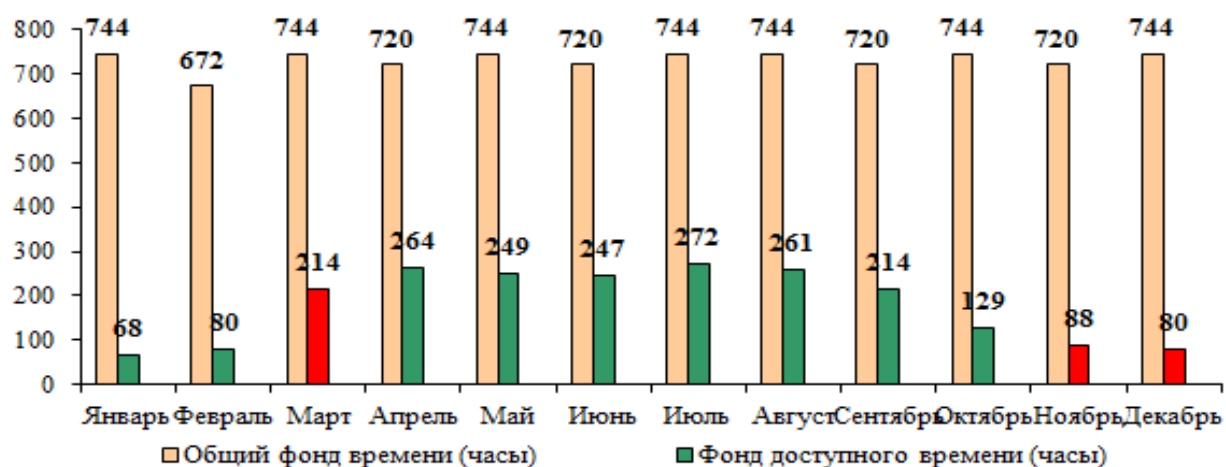


Рис. 2. Распределение фонда располагаемого времени использования вертолета Robinson R-44 для г. Оренбург по сравнению с общим фондом времени

К рискованной эксплуатации следует отнести периоды времени с наибольшей вероятностью возникновения обледенений. Рассмотрев представленное распределение, необходимо отметить, что при планировании авиационных работ с использованием вертолета Robinson R-44 в районе г. Оренбург наиболее благоприятным периодом эксплуатации будет являться апрель – октябрь. Использование вертолета в ноябре – марте будет менее эффективно с точки зрения доступного времени. В указанном периоде в достаточной степени может проявиться риск возникновения обледенения, что для данного типа ВС является недопустимым.

Предлагаемая методика определения фонда доступного времени для использования ВС при проведении планирования авиационных работ может уточняться путем наложения или уточнения дополнительных ограничений на его использование, отраженных в руководстве по летной эксплуатации ВС.

Подобный подход может быть использован при формировании модели расчета фонда доступного времени, что позволит повысить эффективность применения авиационной техники путем снижения ее простоев. При этом необходимым условием реализации подобной модели должна быть непротиворечивость используемых допущений и предположений с обеспечением приемлемого уровня точности получаемых расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2013 году. - М.: Управление государственного надзора за безопасностью полетов. Ространснадзор, 2014.
2. **Doc 9859AN/474.** Руководство по управлению безопасностью полетов ИКАО. – Монреаль, 2013.
3. Руководство по летной эксплуатации вертолета «Робинсон R-44». - Калифорния: Вертолетная компания Робинсон Торранс, 1992.
4. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogoda.ru> и <http://www.timezone.ru>.

THE DETERMINING THE AVAILABLE TIME FUND FOR USING THE AIRSPACE OF DIFFERENT CLIMATIC ZONES BY HELICOPTER ROBINSON R-44 TAKING INTO ACCOUNT ITS OPERATING RESTRICTIONS

Polyakov P.M., Karmyzov M.V., Polyakov D.P.

The article touched upon the problem of justifying the use of the helicopter Robinson R-44 when working in different climatic zones. The operating constraints of the helicopter R-44 are suggested as the main criterion limiting the time fund.

Keywords: affordable time fund expected operating conditions, different climatic zones of using the helicopter.

Сведения об авторах

Поляков Павел Михайлович, 1956 г.р., окончил МГТУ ГА (1979), доцент кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, автор 15 научных работ, область научных интересов – безопасность полетов оценка опасных факторов, связанных с обеспечением безопасности полетов.

Кармызов Максим Валерьевич, 1984 г.р., окончил МГТУ ГА (2007), кандидат технических наук, ведущий инженер департамента управления безопасностью полетов ОАО «Аэрофлот», автор 10 научных работ, область научных интересов – обеспечение безопасности полетов, внедрение системы управления безопасностью полетов.

Поляков Дмитрий Павлович, 1990 г.р., окончил МАИ (2013), аспирант МГТУ ГА, область научных интересов – управление безопасностью полетов.

УДК 621.396

СПУТНИКОВАЯ РАДИОСВЯЗЬ В ДИСТАНЦИОННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Е.Е. НЕЧАЕВ, А.И. ЛАЗАРЕВ

Рассматривается дистанционная система управления воздушным движением с использованием каналов системы спутниковой связи при обеспечении требуемого уровня защиты информационного обмена.

Ключевые слова: управление воздушным движением, спутниковые системы связи, защита информации.

Значительная роль в перспективных системах управления воздушным движением (УВД) отводится спутниковым технологиям связи. Для использования данных систем в гражданской авиации предъявляются высокие требования к качеству функционирования и, в частности, к таким характеристикам, как надежность связи, оперативность, помехоустойчивость и достоверность передаваемой информации [1].

Современные условия характеризуются непрерывным расширением рынка и качества новых услуг связи, которые в сочетании с отсутствием развитой инфотелекоммуникационной структуры во многих регионах мира обуславливают актуальность решения по использованию новых нетрадиционных технологий при сравнительно небольших финансовых затратах. Одним из решений этой задачи является использование низкоорбитальных систем спутниковой связи (НССС) (рис. 1).

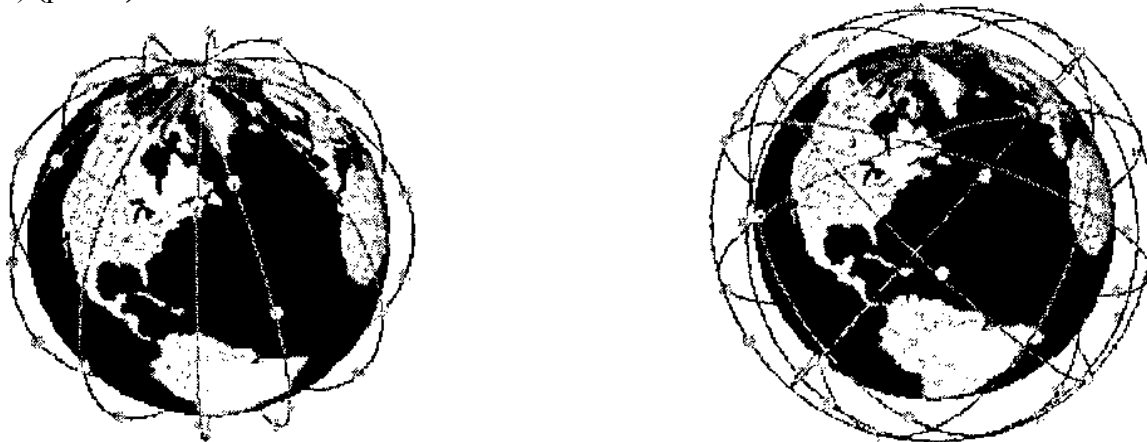


Рис. 1. Примеры конфигурации орбит НССС

Необходимость предоставления широкого класса услуг подвижным абонентам в труднодоступных районах, в районах крайнего Севера и приполярных областях, совершенствование конструкции и технологии производства бортовых радиотехнических комплексов значительно повысили интерес к такому типу связи.

НССС имеет ряд существенных преимуществ:

- малая высота круговой орбиты космического аппарата (от 700 – 1500 км) обеспечивает небольшие задержки распространения, что позволяет организовать интерактивный режим информационного обмена пользователей в близком к реальному масштабе времени с максимальной задержкой в 4-6 раз меньше по сравнению с геостационарной орбитой (при использовании геостационарного спутника ретранслятора (ГСР) задержка составляет 250-270 мс, что сопоставимо с задержками в наземных сетях передачи данных);

- поскольку затухание сигналов в свободном пространстве прямо пропорционально квадрату расстояния, относительно небольшая дальность связи при прочих равных условиях позволяет существенно снизить требования к энергетическим и массо-габаритным характеристикам аппаратуры пользователей и ретрансляторам. Компактные абонентские терминалы при этом возможно размещать на борту беспилотных летательных аппаратов (БПЛА);

- относительно небольшая дальность связи и рассредоточенность негеостационарных спутников над поверхностью Земли позволяет обеспечить работу пользователей при больших углах возвышения ретрансляторов практически в любой точке земной поверхности, что обеспечивает надежность связи около 99,9%.

В основе построения ССС на базе низкоорбитальных ретрансляторов лежит принцип, аналогичный используемому в наземных сотовых сетях связи. Область обслуживания сети разбивается на ряд фиксированных зон обслуживания. Геометрические размеры и размещение зон обслуживания на поверхности Земли определяются концепцией построения сети, в частности параметрами орбитальной группировки ретрансляторов [2; 3; 4].

Особенностью спутниковой связи, обусловленной самим принципом этого вида связи, является возможность одновременного доступа к космическому аппарату - ретранслятору сигналов нескольких земных станций (ЗС) или абонентских терминалов (АТ). Пропускная способность ретранслятора оказывается при этом несколько ниже, чем в односигнальном режиме работы. В зависимости от метода разделения сигналов на приеме различают три основных способа многостанционного доступа: с частотным разделением каналов (МДЧР), с временным разделением (МДВР) и с кодовым разделением (МДКР).

Радиоинтерфейс НССС с МДКР использует модифицированную форму стандарта IS-95 для реализации множественного доступа с технологией CDMA (Code Division Multiple Access). Эта технология была выбрана как уже опробованная в сухопутных сотовых системах и обеспечивающая эффективное использование полосы частот в спутниковой связи. Её важная особенность состоит в том, что она относительно нечувствительна к внешним помехам и создает не слишком значительные помехи другим радиослужбам. Эта технология обеспечивает высокое качество передачи речевых сигналов даже при сравнительно низких уровнях мощности радиосигнала.

Многократное использование спектра является основной особенностью CDMA, поскольку несколько каналов связи одновременно используют одну и ту же полосу радиочастот. Реализация этого свойства в НССС обеспечивается применением шумоподобных сигналов (ШПС) [5].

Широкое использование глобальной НССС, основанной на применении многостанционного доступа с кодовым разделением каналов, позволяет повысить скорость и эффективность каналов связи КА – АТ, расширив применение автоматического зависимого наблюдения контрактного типа (АЗН-К) и полетного диспетчерского управления. Это даёт возможность органу УВД иметь максимально полное отображение обстановки в воздушном пространстве в реальном времени.

С помощью спутниковых каналов можно достаточно быстро сформировать глобальную сетевую инфраструктуру, у которой будут самые высокие показатели надёжности с низким уровнем ошибок (не более одной на 10 млн. переданных бит информации), позволяя органу УВД располагаться в любой точке земного шара и при этом вести обмен как речевой информацией, так и данными с контролируемым воздушным судном, что особенно важно для решения вопросов самолетовождения в условиях отсутствия радиолокационного контроля. Массовое использование данного технического решения позволит строить оптимальные маршруты движения ВС, что в свою очередь будет способствовать повышению регулярности, экономичности и безопасности полетов в гражданской авиации.

Телекоммуникационная концепция будущего подразумевает интеграцию всех видов связи (наземной, спутниковой, радио) в одно информационное пространство, в котором связь с аба-

нением будет осуществляться при помощи одного единственного универсального терминала. Уже сейчас спутниковые каналы связи легко интегрируются с наземными сетями связи и все чаще используются в качестве основной транспортной технологии [6].

Применяя данный подход к системам управления воздушным движением, весьма перспективной представляется концепция использования единого центра управления воздушным движением, предназначенного для дистанционного обслуживания нескольких географически удаленных аэродромов, управление которыми предполагается осуществлять при помощи защищенных виртуальных каналов глобальной спутниковой связи (рис. 2).

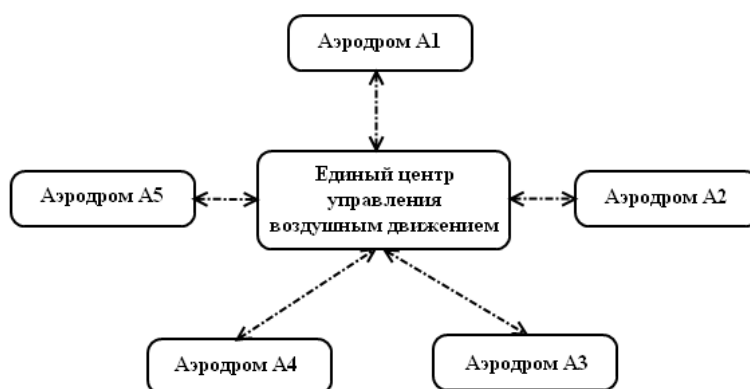


Рис. 2. Концепция единого центра УВД

На каждом удаленном аэродроме должна быть развернута локальная вычислительная сеть (ЛВС), при помощи которой посредством волоконно-оптических линий возможен информационный обмен серверов центрального узла связи аэродрома с управляющими электронными вычислительными машинами (ЭВМ) элементов комплекса электрорадиотехнического и электросветотехнического обеспечения полётов (рис. 3).

Применение технологий, используемых в глобальной сети Интернет, и, в частности, стека протоколов TCP/IP предоставляет широкие возможности для автоматизации процессов управления, диагностики, контроля работоспособности и обслуживания систем аэродрома. Таким образом, можно оперативно с минимумом обслуживающего персонала привести комплекс электрорадиотехнического и электросветотехнического оборудования аэродрома в состояние готовности и принять ВС, запросившее обслуживание на конкретном аэродроме.

Применяя спутниковые каналы в качестве основного средства связи между ВС и органом УВД, становится актуальным вопрос обеспечения безопасности информационного обмена.

Защита данных в спутниковой сети может повышаться за счет сложности методов организации обратных каналов, а также применения специальных алгоритмов по работе с ними. Все передаваемые данные должны проходить многоступенчатую систему преобразований и шифрования с применением следующих принципов:

- использование специальных алгоритмов шифрования данных;
- проверка подлинности абонентского терминала при его регистрации в системе (аппаратный ключ);
- шифрование как всего сеанса работы (программный ключ), так и каждого сеанса в отдельности (сеансовые ключи);
- применение фирменных алгоритмов преобразования исходных данных во внутренние форматы (структуры) данных, которые потом передаются через спутниковый канал. Тем самым решаются задачи дополнительной защиты информации, доставки служебной информации и коррекции ошибок;
- ускорение данных, передаваемых по протоколу TCP/IP. В создаваемых виртуальных каналах исходные данные в сеансах TCP группируются, сжимаются и получают приоритеты.

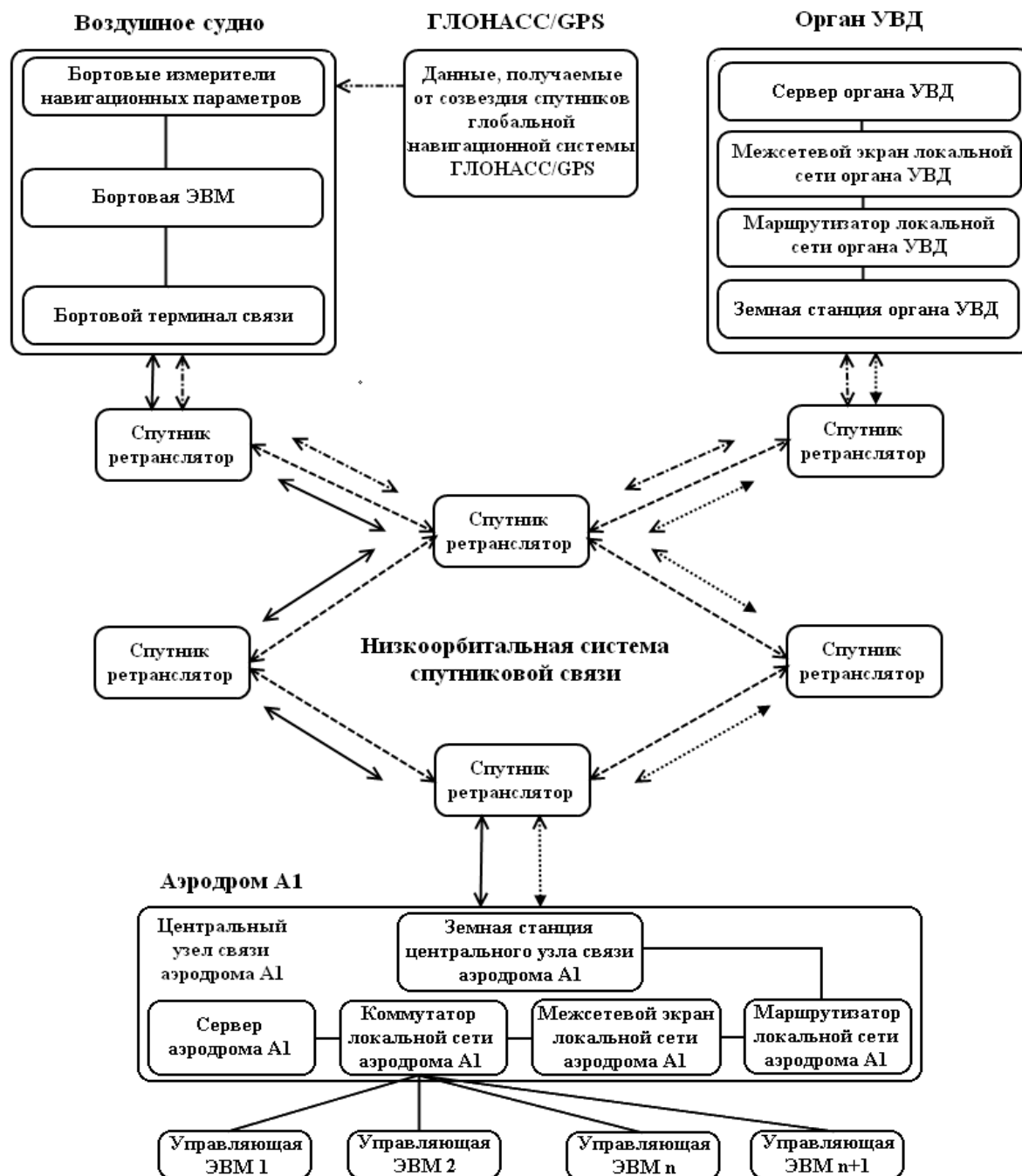


Рис. 3. Дистанционная система УВД

Основным способом обеспечения безопасности передачи данных в беспроводном спутниковом канале является применение аппаратно-программных средств защиты данных. Во-первых, весь обмен должен контролироваться в соответствии с заданной политикой безопасности на пограничных маршрутизаторах и межсетевых экранах. Во-вторых, передаваемые данные должны шифроваться с помощью специальных алгоритмов криптозащиты спутникового оборудования. В-третьих, необходим постоянный сбор статистики по работе сети и серверов, позволяющий технической службе эффективно отслеживать и корректировать функционирование соединений в любое время суток [4; 5].

Шифрование данных в спутниковом канале осуществляется при участии как спутниковых ретрансляторов на стороне терминала, так и специализированных высокопроизводительных

серверов на центральном узле связи (ЦУС) органа УВД. На специальном сервере органа УВД размещается защищенная база данных ключей шифрования и сеансовых ключей всех бортовых терминалов, установленных на подконтрольных ВС. Чтобы терминал смог устанавливать связь, информация в базе ключей органа УВД должна соответствовать аппаратному ключу, который хранится на интегральной схеме бортового терминала. Это исключает несанкционированное подключение. За генерацию ключей и их распространение отвечает компания-производитель спутникового оборудования. Терминалы изготавливают таким образом, чтобы они были защищены от извлечения ключей шифрования, воздействия любых внешних сигналов, а также от вскрытия оборудования для анализа.

Задача сопряжения сетей решается путем создания защищенных туннелей на основе виртуальных частных сетей (VPN от английского Virtual Private Network) между органом УВД, ВС и запрашиваемым аэродромом. Для этого можно использовать любой из протоколов туннелирования VPN: MPLS, IPSec, PPTP, L2F и прочие. На серверах узлов связи для межсерверного сетевого взаимодействия возможно использовать модифицированные транспортные протоколы. Это необходимо в целях обеспечения полного контроля над серверными сетевыми интерфейсами, а также для защиты от несанкционированного доступа к ним. Каждый сервер должен иметь «горячий» резерв - отдельно стоящий идентичный сервер, который берет на себя всю работу в случае выхода из строя основного устройства. Кроме того, сетевое взаимодействие оборудования должно быть логически разделено на виртуальные локальные сети (VLAN от английского Virtual local area network) по технологии IEEE 802.1Q, чтобы данные для управления и контроля были изолированы от пользовательских. В результате атаки на сеть оператора системы спутниковой связи со стороны сторонних клиентов или из глобальной сети Интернет становятся невозможными, а распространение потенциально вредоносных программ в сети блокируется [6].

При соблюдении всего комплекса мер безопасности пользователи воздушного пространства получают одно из самых защищенных в мире телекоммуникационных решений, отвечающее высочайшим требованиям к конфиденциальности информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмедов Р.М., Бибутов А.А., Васильев А.В. Автоматизированные системы управления воздушным движением. - СПб.: Политехника, 2004.
2. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи. - М.: ООО «Военный парад», 2010.
3. Сомов А.М., Корнев С.Ф. Спутниковые сети связи. - М.: Горячая линия-Телеком, 2012.
4. Васин В.А., Власов И.Б., Дмитриев Д.Д. Информационные технологии в радиотехнических системах. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.
5. Домингуш Жайме Сакалема. Сети подвижной связи с CDMA (построение и проектирование) / под ред. О.И. Шелухина. - М.: САЙНС-ПРЕСС, 2012.
6. Битнер В.И., Михайлова Ц.Ц. Сети нового поколения - NGN. - М.: Горячая линия-Телеком, 2011.

SATELLITE RADIO IN A REMOTE AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Nechaev E.E., Lazarev A.I.

Remote system of air traffic control with the use of channels of satellite communication systems while providing the desired protection level of information exchange is considered.

Keywords: air traffic control, satellite communications systems, information security.

Сведения об авторах

Нечаев Евгений Евгеньевич, 1952 г.р., окончил НГТУ (1974), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой управления воздушным движением МГТУ ГА, автор 180 научных работ, область научных интересов – теория УВД, радиолокация и радионавигация, теория и техника СВЧ измерений.

Лазарев Алексей Игоревич, 1988 г.р., окончил МГТУ ГА (2010), аспирант МГТУ ГА, область научных интересов – информационная безопасность, системы спутниковой связи, сетевые технологии.

УДК 629.7.058

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РИСКОВЫХ СОБЫТИЙ ПРИ ПОЛЕТАХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В РЕЖИМЕ «УХОДА НА 2-й КРУГ»

Е.А. КУКЛЕВ, Ю.Ю. МИХАЛЬЧЕВСКИЙ, М.Ю. СМУРОВ

Представлены способы построения разветвленных процессов смены дискретных состояний системы «Экипаж-ВС-Среда-УВД» при моделировании технологии управления ВС после принятия экипажем решения «ухода на посадку на 2-м круге» по рекомендациям диспетчера системы УВД.

Ключевые слова: опасное состояние, угроза, рисковое событие, риск.

Введение

Технологии управления полетом воздушного судна (ВС) при «уходе на 2-й круг» на посадку отработаны в совершенстве для разных типов воздушных судов и регламентированы в эксплуатационных документах. Например, в руководстве по летной эксплуатации (РЛЭ) представлены все методические и технические средства, необходимые для обучения авиационных специалистов разного профиля. Тем не менее уровень безопасности полетов в указанном режиме, оцениваемый в терминах рисков по ИКАО [1], недостаточно высокий [2]. Это свидетельствует об определенных проблемах выполнения рассматриваемого режима полетов ВС. В докладе [2] (г. Брюссель) указаны основные возможные ключевые факторы опасности в реальных сценариях развития событий. В [2] указано на необходимость отдельного рассмотрения первоочередных вопросов, касающихся повышения безопасности полетов и совершенствования процедур взаимодействия экипажей ВС со службами управления воздушного движения (УВД) и организации воздушного движения (ОрВД) в целом при полетах ВС с «уходом на 2-й круг» при посадке.

Одно из направлений решения указанных проблем может быть основано на применении методов динамического моделирования (МДМ) по способам ECAST [3], предназначенных для идентификации опасностей и рисков возникновения неблагоприятных последствий (ущербов) в ветвящихся сценариях смены событий в полете, связанных с отклонением параметров реальных технологий управления ВС от номинальных (штатных) технологий. Примером этого (из сети Интернет) может служить катастрофа ВС типа B-737, принадлежащего казанскому авиапредприятию [4].

Рекомендуемый в [3] МДМ вполне может быть применен для исследования указанных вопросов с помощью известного подхода по ISO и FMEA [5]. При анализе «деревьев событий» производится оценка по [6] критичности результатов по уровню рисков с учетом рекомендации Annex-19 [1; 6].

В данной статье дается развитие положений работ [5; 6], использовано определение понятия «риска» как меры опасности (по ИПУ РАН), а также дается анализ правил проверки условий существования функциональных свойств исследуемых процессов в рекомендуемых технологиях управления ВС. Применяется подход в виде четкой или нечеткой логики без вероятностных показателей. Последнее достаточно справедливо, если исследуемые системы могут

считаться высоконадежными по [5; 6] в смысле требований классической теории надежности (ТН), что было указано в [5].

Постановка задачи

На основе «брюссельского доклада» [2] могут быть выделены 2 главных категории групп опасных факторов, выявляемых при идентификации с помощью МДМ, для ситуаций LOC/CFIT:

- категория 1 (отклонение от схем в виде невыполнения команд и возникновения временных задержек в процедурах);
- категория 2 (непрофессионализм, ошибки УВД).

В связи с данной постановкой задачи может быть разработана типовая схема последовательности смены дискретных состояний системы с множеством модулей на рис. 1 для ВС типа В-737 на основе информации из сети Интернет [7].

Типовая (гипотетическая) схема возникновения различных событий в системе в целом «Экипаж-ВС-Внешняя среда-УВД» представлена на рис. 1 с расшифровкой сущности рабочих операций при типовых технологиях управления ВС с использованием модулей процедур и команд с номерами 1-8.

В расчетной модели принимается, что имеет место схема последовательного соединения некоторых функциональных звеньев - элементов надежности, обеспечивающих функции всей цепочки с результатом в виде благополучного исхода.

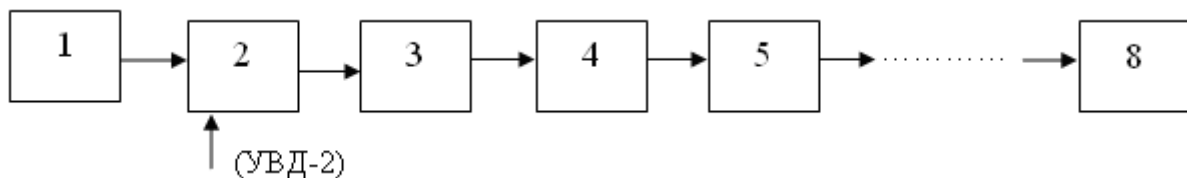


Рис. 1. Штатная (типичная возможная по РЛЭ - Интернет) технология управления полетом ВС в режиме «уход на 2-й круг»

Один из важных модулей - это № 4, определяющий виды управления ВС с использованием кортежа инструментов следующего вида

$$\langle \alpha_1, -\text{автопилот } \text{№}1; \alpha_2 - \text{автопилот } \text{№}2; \beta - \text{ручное пилотирование} \rangle. \quad (1)$$

Вся цепочка модулей на рис. 1 определяет сценарий полета по штатной (РЛЭ) технологии. Но возможно и возникновение отклонений от требований типовых процедур. При этом в РЛЭ для В-737 перечислены возможные изменения в сценариях полета и указаны последствия, которые могут возникнуть при неисполнении штатных процедур схемы на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что данная цепь последовательного соединения некоторых физических функциональных элементов системы $e_i \in E$, взятых из ограниченного множества E , показывает, что E является четким. Поэтому оно может быть принято за универсальное множество физических функциональных элементов системы со своими четкими предикатами. Принимается, что каждому $e_i \in E$ на рис. 1 сопоставляется дискретное состояние $q_i \in E$ с четкой логи-

кой определения сущностей состояний через значения логических переменных вида "0" – "норма" (функциональность), "1" – "функциональный отказ" в форме

$$e_i \in E \Rightarrow q_j(i) \in Q \rightarrow \{L_k\} \Rightarrow H_k, \quad (2)$$

где $(\Rightarrow)$ – «следствие»; L_k – цепь состояний в МДМ; H_k – ущерб (или цена риска).

При идентификации опасностей по ECAST [3] с помощью МДМ предлагается принять предиктивный метод Annex-19 [1; 6] для определения в сценариях критичности отдельных путей, ведущих к катастрофе или к аварии. Для этого необходимо найти некоторые рисковые события и выявить в схеме на рис. 1 точки возможного разветвления технологического процесса на пути с возможными негативными последствиями. Понятие безопасности предлагается принять по Annex-19 [1; 2] (РУБП-9859), в виде состояния с приемлемым риском возникновения опасностей. Очевидно, что вероятности возникновения редких рисковых событий в одиночных катастрофах неизвестны. Но это не имеет значения, т.к. через величину ущерба легко определяется цена риска в нечетких множествах состояний $\{q_{j*}\}$ из Q .

Определение уровня функциональности системы

В соответствии с принятой постановкой задачи необходимо искать цепи событий, образующих пути к критическим событиям. Из приведенных схем видно, что прогнозируемый (предиктивный) физический результат типа аварии с серьезными последствиями зависит только от последовательности (порядка и номеров) сменяющихся событий. Мера возможности таких событий совершенно не имеет значения в одиночных (конкретных) опытах по испытанию высоконадежных систем.

Надежность систем и уровень функциональности не являются эквивалентными по сущности, поскольку уровень надежности зависит от степени резервирования. Но качество функционирования не зависит от числа каналов связи [6].

В каждом модуле на схеме рис. 1 имеются свои внутренние связи и элементы надежности, которые можно рассматривать как физические ключи (выключатели), пропускающие или не пропускающие $q_i \in E$ сигналы.

На рис. 1 показано, что выделено 8 элементов типа $q_i \in E$ из заданного универсального множества E . Очевидно, что функционирование системы не нарушается, если все элементы работают, т.е. система с заданной технологией в целом «не отказывает» до тех пор, пока имеется избыточность элементов. При этом функции работоспособности Φ и уравнение функциональности всех $q_i \in E$ на рис. 1 в логической форме (в четкой логике) может быть задана в виде ФАЛ (функция алгебры логики)

$$\Phi(q_{j1}, q_{j2}, \dots, q_{jm} | \sum_0) = \bigvee_{r2} \bigwedge_{jr1} q_{jr1(r2)}, \quad (3)$$

где $\sum_0$ – условия, при которых начинается и успешно завершается процедура «2-го круга»;

$\bigvee_{r2}$ – дизъюнкция конъюнкций; $\bigwedge_{jr1}$ – конъюнкция признаков состояний, характеризующих цепь функционирования элементов.

Схема рис. 1 отражает последовательное соединение элементов, поэтому отказ в любом звене обозначает прерывание технологической цепочки. Согласно авиационным стандартам для РЛЭ [1] в системе никакие произвольные прерывания функционирования любых элементов недопустимы. Только тогда обеспечивается необходимый уровень безопасности системы. Поэтому и полет с отклонениями в режиме «2-го круга» должен прекращаться в любой нерасчетной точке с уходом вполне определенным способом в резервный режим, чтобы не допустить аварии.

Однако в РЛЭ [4] указаны критические элементы: это $e_4(q_4)$, $e_5(q_5)$, $e_6(q_6)$ и др. При этом e_4 и q_{4j} обозначают управление полетом ВС с помощью автопилота или ручного пилотирования (режим РП). Только тогда происходит переход в состояние e_5 и q_5 , e_6 и q_6 и т.д. В этих состояниях также возможно возникновение по РЛЭ допустимого, но опасного разветвления процесса, которое на рис. 1 не указано, но представлено в РЛЭ. Именно с учетом этого обстоятельства могут быть найдены разветвления процесса в схеме технологии на рис. 1. Здесь могут возникнуть альтернативные пути, ведущие либо к «штатному приземлению», либо «к катастрофе». Выше в картеже (1) было показано по РЛЭ, что на ВС В-737 имеются 2 автопилота и резервный режим управления штурвалом. На этом основании критический элемент № 4 на рис. 1 может быть представлен в четкой логической форме (по четкой логике) в виде функции алгебры логики (ФАЛ) для выходного результата с помощью логической переменной γ , задающей ФАЛ через $q_j(i) \in Q$:

$$\begin{aligned} q_0 &= \alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \beta; q_1 = \bar{\alpha}_1 \wedge \alpha_2 \wedge \beta; q_2 = \bar{\alpha}_1 \wedge \bar{\alpha}_2 \wedge \beta; q_3 = \bar{\alpha}_2 \wedge \bar{\alpha}_2 \wedge \beta; \\ q_4 &= \alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \bar{\beta}; q_5 = \bar{\alpha}_1 \wedge \alpha_2 \wedge \bar{\beta}; q_6 = \alpha_1 \wedge \bar{\alpha}_2 \wedge \bar{\beta}. \end{aligned} \quad (4)$$

ФАЛ γ для множества альтернатив будет

$$\gamma = \Phi(\vee q_i) = \Phi(\alpha_1 \wedge \alpha_2 \wedge \beta) \vee (\bar{\alpha}_1 \wedge \alpha_2 \wedge \beta), \quad (5)$$

где знак $(\bar{\dots})$ – отрицание функциональности.

На основе (4) может быть построена структурно-сложная схема элемента надежности e_4 с избыточностью из картежа (1). Всего будет 8 комбинаций, что определяет значение вероятностного показателя надежности (работоспособности). Схема представлена на рис. 2.

Однако представленная избыточность никакого отношения не имеет к показателю безопасности, т.к. любой показатель безопасности всегда определяется по ИКАО через последствия отказов.

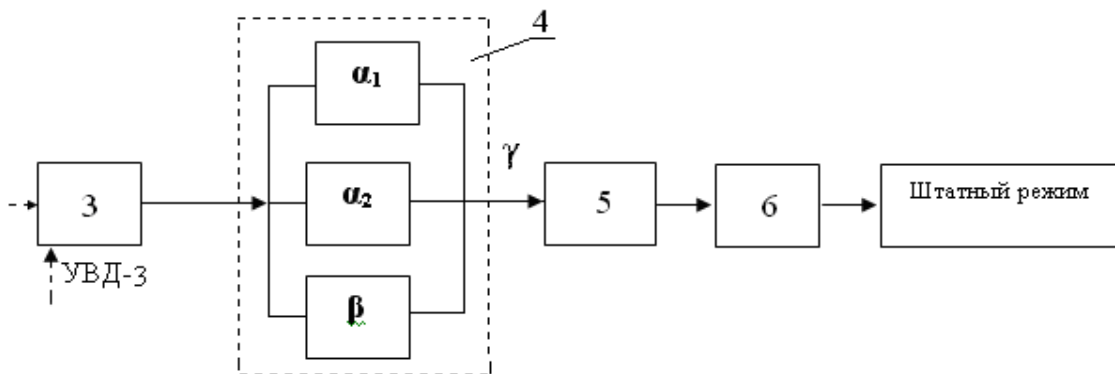


Рис. 2. Схема соединения элементов надежности в модуле 3

Выходной логический результат, определяемый в виде выходной логической переменной γ модуля 4 (рис. 1) с инструментами (1) в виде " γ " – "функция есть, сигнал проходит", будет иметь вид функции алгебры логики от элементов модуля 4 на рис. 2:

$$\gamma = (\alpha_1 \wedge \bar{\alpha}_2) \vee (\bar{\alpha}_1 \wedge \alpha_2) \vee (\bar{\alpha}_1 \wedge \bar{\alpha}_2) \vee \beta \Rightarrow \gamma = 0 \text{ ("отказа нет")}; \quad (6)$$

$$\gamma = (\bar{\alpha}_1 \wedge \bar{\alpha}_2) \wedge \bar{\beta} = 1 - \text{"полный функциональный отказ"} e_4,$$

где $\wedge$ - знаки конъюнкций; $\vee$ - дизъюнкция; $(\dots)$ - отрицание.

Как известно, традиционно с помощью таких схем оценивается вероятность существования найденного состояния. Но из постановки задачи вытекает, что это не имеет никакого смысла, т.к. главное проактивно определить физически в конкретной системе (как это было в ситуации с ВС в казанской авиакомпании) только результат одного вида: имеет здесь место «отказ» или «неотказ».

Избыточность такого типа, как было отмечено выше, повышает надежность, но совершенно не влияет на уровень функциональности или качества функционирования. Поэтому из рис. 1 следует, что («рано или поздно») может возникнуть отказ всего функционального элемента e_4 . Поэтому надо рассматривать всего 2 варианта функционирования типа: «сигнал проходит» (неотказ), «сигнал не проходит» (отказ).

Из этого следует, что избыточную структуру рис. 2 для e_1 можно упростить. Согласно теореме Де Моргана схема функциональности на рис. 1 может быть преобразована с помощью ФАЛ.

С учетом свойства идемпотентности логических элементов $e_i, q_j(i)$ после преобразования по теореме Де Моргана [6] будет

$$\gamma = (\gamma^{(0)}, \gamma^{(1)}): \gamma^{(0)} = 0 - \text{«норма»}, \gamma^{(1)} = 1 - \text{«отказ»}. \quad (7)$$

В результате модуль 4 (из рис. 1 в форме рис. 2 эквивалентно преобразуется на основе (5), (6) в разветвленную схему на рис. 3.

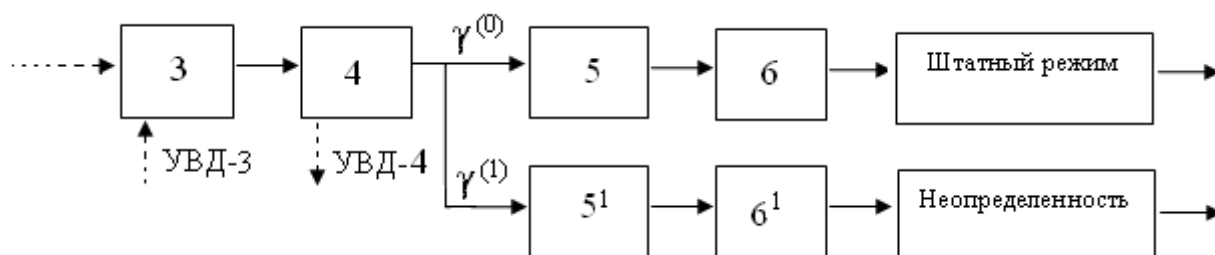


Рис. 3. Эквивалентная схема управления «нештатная» с разветвлениями в модуле 3

Физически $\gamma^{(1)} = 1$ в (5) обозначает отсутствие пилотирования на ВС, т.е. несрабатывание модуля 4 на схеме рис. 1. Из этого следует, что найдена точка непредвиденного разветвления процесса. Но это уже является системной ошибкой штатной технологии, которая нарушается по причине негативного последствия от проявления человеческого фактора (ЧФ) в виде «отказ» КВС перейти к РП (к β - по правилам рис. 1, 2).

Реальная (на основе имеющихся в Интернет сведений) схема технологии управления ВС имеет вид, представленный первоначально в виде разветвлений на рис. 3, где показан путь к катастрофе через модуль 4 на рис. 4.

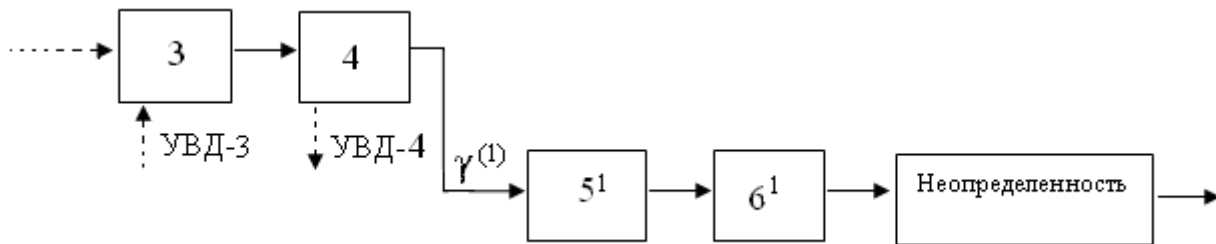


Рис. 4. Вариант непредвиденного РП в ситуации с ВС «а/к Казань» (гипотетически - по Интернет)

Сверка схемы на рис. 4 с той версией расследования катастрофы в "а/к Казань", которая была представлена в Интернет [4], показала совпадение причин.

Подобный анализ может быть продолжен и распространен и на другие модули штатной схемы рис. 1, если будет получена достоверная информация, например из утвержденного РЛЭ для ВС В-737. Значения уровня риска могут быть найдены с помощью матрицы NASA для оценки рисков из [2; 4; 6].

Полученные результаты также показывают, что существенно снизить риски возникновения аварий не удастся без дополнительного широкого и функционального вмешательства служб системы УВД в процессы контроля полета ВС. Так, возможное проактивное по ИКАО (NASA) управляющее воздействие U_4 (в модуле 4) может быть найдено по коду состояния этого модуля

$$U_4 = f\left(d\left(\gamma^{(1)}\right)\right), \quad (8)$$

где $d\left(\gamma^{(1)}\right)$ - код функционального состояния модуля e_4 по булевой переменной $\left(\gamma^{(1)}\right)$, которая в данной технологии определяет («разрешает», к сожалению) недопустимое по функциям и по требованиям безопасности полетов критическое разветвление процесса «ручного пилотирования» в принятой технологической схеме «2-го круга».

Смысл предложенного здесь предиктивного управления U_4 , найденного при анализе системных ошибок в технологии «2-го круга» для данного типа ВС, состоит в том, чтобы прервать первичную регламентируемую процедуру «ухода ВС на 2-й круг» и перевести неконтролируемый опасный полет ВС в резервный безопасный режим. Этот режим должен быть предусмотрен (и сконструирован) заранее в схеме на рис.1.

Необходимое управление U_4 будет заключаться в модификации всей технологии управления ВС заранее (предиктивно) путем применения функций модуля e_4 по «коду $d\left(\gamma^{(1)}\right)$ », который автоматически формируется на борту ВС при заданной типовой технологии, согласно РЛЭ. Этот код может быть также автоматически передан в наземную часть системы УВД (диспетчеру) по каналу вторичной радиолокации. При этом появляется возможность для служб УВД своевременно вмешаться в работу экипажа ВС (резервные каналы для подобных операций могут быть найдены, если используется система авиационных коммуникаций типа «ACARS-380»). Можно также отметить, что информационное поле «черных ящиков» для ВС типа В-737 столь обширно, что место еще для одного или нескольких каналов связи для дополнительных резервных операций системы УВД вполне может быть найдено.

Заключение

По существу, в статье представлена совершенно новая схема оценивания безопасности полетов [6] в рамках методологии нечетких множеств (Fuzzy Sets) на основе анализа физических возможностей существования в системах функциональных свойств (функциональности каналов

обработки и пропуска сигналов по линиям связи всех процедур из штатных технологий управления полетом ВС). Для этого не требуется применение вероятностного анализа и показателей свойств безотказности отдельных элементов. Необходимо произвести всего лишь анализ только функциональных свойств, интегрированных комплексом подсистем ВС любых типов. Это и есть идеология управления рисками, являющимися мерой опасности в системах с редкими рисковыми событиями.

Рекомендации Annex-19 о применении нового подхода к управлению рисками по способам «проактивных» и «предиктивных» процедур следует признать достаточно эффективными. Так, здесь без применения вероятностного анализа безопасности (ВАБ), как принято в классической ТН, удалось четко, т.е. без неопределенности, выявить ключевые критические элементы в технологиях управления полетом, построенных в рамках четкой логики.

Неопределенные экспертные уровни рисков, которые, например, надо было найти до начала полетов казанского В-737, оцениваются априорно без статистики и только с помощью алгоритмов из Fuzzy Sets [5; 6], подтверждающих результаты [2].

При этом устанавливается еще один важный вывод, заключающийся в том, что *безопасность полетов достигается не возрастом Боингов и других ВС, а системными ошибками*, заложенными в конструкцию изделия на этапах проектирования и создания авиационной техники. Поэтому «старые Боинги» вполне разумно покупать, если они удобны для эксплуатации в выделенных нишах авиационных услуг. Только тогда возможно решение транспортных проблем перевозок, если других подходящих самолетов не существует.

Очевидно, что для такого выбора нужны иные, кроме «возраста», критерии, например, связанные с показателями безопасности полетов, и другие, *обеспечивающие прежде всего необходимые функциональные свойства*.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Doc. 9859, AN1/460.** Руководство по обеспечению безопасности полетов (РУБП) / пер. с англ. – изд. 3-е. – Монреаль: ИКАО, - М.: Минтранс РФ, 2013.
2. Информация по совещанию в Брюсселе по факторам риска в отношении безопасности полетов «При уходе на второй круг» в 2013 г. Брюссель. [Электронный ресурс]. URL: <http://shpls.org/labour-2/safe-aviation/1508-aevt-2013-835zapiska-gn-matveeva-ob-analize-mirovoj-praktiki-intsidentov-pri-ukhode-na-vtoroj-krug>.
3. ECAST, Component of ESSI, European Strategic Safety Initiative. Руководство по идентификации опасности (Динамические методы моделирование), 2012.
4. Катастрофа ВС «В-737» в ситуации с ВС «а/к Казань». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mak.ru/> раздел расследования.
5. **Смуров М.Ю., Куклев Е.А., Евдокимов В.Г., Гипич Г.Н.** Безопасность полетов воздушных судов гражданской авиации с учетом рисков возникновения негативных событий // Транспорт Российской Федерации. - 2012. - №1(38). - С.54-58.
6. **Гипич Г.Н., Евдокимов В.Г., Куклев Е.А., Шапкин В.С.** Риски и безопасность авиационных систем: монография. - М.: «ИНСОФТ», 2013.
7. Руководство по летной эксплуатации для ВС «В-737». РЛЭ. [Электронный ресурс]. URL: http://arhangelsk-nord.ucoz.ru/_ld/0/46_Boeing737-300-4.pdf.

DINAMIC SIMULATION METHOD FOR THE ANALYSIS OF RISK EVENTS AND DANER SCENARIOS OF AIRCRAFT LANDING BY «GO AROUND»

Kuklev E.A., Mihalchevskiy Yu.Yu., Smurov M.Yu.

The ways of constructing the processes of change in discreet states of the «Crew-Aircraft-Medium-ATC» system in modeling the technology of operating the aircraft after the crew have taken the decision «Go around» as recommended by a controller.

Keywords: danger technical states of aircraft, hazard, risk events, risk.

Сведения об авторах

Куклев Евгений Алексеевич, 1934 г.р., окончил КАИ (1958), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой механики СПб ГУГА, директор центра экспертизы СПб ГУГА, автор более 250 научных работ, область научных интересов - риски и управление безопасностью систем, динамика полетов ВС.

Михальчевский Юрий Юрьевич, 1961 г.р., окончил ОЛАГА (1984), проректор по дополнительному профессиональному образованию и международным связям СПб ГУГА, директор авиационного учебного центра СПб ГУГА, заведующий кафедрой управления воздушным движением СПб ГУГА, автор 18 научных работ, область научных интересов - ОрВД, летные тренажеры.

Смуров Михаил Юрьевич, 1951 г.р., окончил Механический институт (Военмех им. Д.Ф. Устинова) (1973), профессор, доктор технических наук, ректор СПб ГУГА, заведующий кафедрой бизнеса и финансов СПб ГУГА, автор более 100 научных работ, область научных интересов - эксплуатация воздушного транспорта, безопасность полетов.

УДК 351.814.334

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗАГРУЖЕННОСТИ СЕКТОРА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛЕТОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

В.К. ПЕЧЕНЕЖСКИЙ, А.М. САЗОНОВА

Статья представлена доктором технических наук, профессором Нечаевым Е.Е.

Представлены результаты исследования взаимосвязи между загруженностью сектора управления воздушным движением (УВД) и экономической эффективностью полетов воздушных судов (ВС). Предложен показатель, позволяющий определить количество ВС, одновременно находящихся на управлении в секторе УВД, при обеспечении максимальной экономической эффективности полетов ВС. Показано, что существующие методики оценки пропускной способности органа обслуживания воздушного движения (ОВД) в Росавиации и компании DFS не учитывают достаточно важные факторы в работе диспетчера УВД.

Ключевые слова: безопасность полетов, экономическая эффективность полетов ВС, загруженность авиадиспетчера, пропускная способность сектора УВД.

Введение

Главной задачей единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД) Российской Федерации является обеспечение безопасности воздушного движения при максимальной экономической эффективности полетов. В условиях постоянного роста интенсивности перевозок сложно обеспечить выполнение главной задачи без внедрения новых технических средств, модернизации технологических процедур и совершенствования структуры воздушного пространства.

В связи с этим необходим критерий, позволяющий оценить эффект от внедрения указанных мероприятий и процедур, а также оценить влияние загруженности авиадиспетчера на экономическую эффективность полетов.

Выбор показателя эффективности

Анализ существующих методик оценки пропускной способности органа ОВД, используемых в Росавиации [1] и компанией Deutsche Flugsicherung (DFS) [2] показывает, что в них не учитываются достаточно важные технологические факторы в работе диспетчеров УВД:

1. Временные затраты на ведение радиообмена экипаж - диспетчер, диспетчер - экипаж, согласно требованиям ФАП «Порядок осуществления радиосвязи в воздушном пространстве Российской Федерации» [3].

2. Затраты времени на проведение технологических операций по ведению взаимодействия с человеко-машинным интерфейсом на рабочем месте диспетчера в автоматизированных системах управления воздушным движением (АС УВД).

3. Факторы, учитывающие квалификацию диспетчера, а также присущие ему уникальные психофизиологические реакции.

Возникает необходимость в более достоверном критерии оценки влияния технических и технологических изменений, направленных на совершенствование работы органов ЕС ОрВД.

В настоящей работе предложено оценивать орган (сектор) УВД не по коэффициенту загрузки (K_z) и нормативу пропускной способности (НПС), а по экономической эффективности полетов воздушных судов (ВС).

В соответствии с определением, приведенном в стандартах Международной организации по стандартизации, эффективность – это связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами. Подразумевается эффективность устройства, системы, процесса и т.д., а под термином «ресурсы» могут пониматься людские, временные или финансовые ресурсы. Процесс выбора критерия эффективности является в значительной мере субъективным, требующим в каждом отдельном случае индивидуального подхода.

В данном случае за показатель эффективности принимается величина, равная отношению планируемого времени $t_{\text{план}}$ к фактическому времени обслуживания $t_{\text{обсл}}$ ВС органом УВД, выраженная формулой

$$E = \frac{t_{\text{план}}}{t_{\text{обсл}}} * 100\%. \quad (1)$$

Данный показатель наиболее полно соответствует заинтересованности пользователей воздушного пространства (авиакомпаний) и отвечает требованиям главной задачи ЕС ОрВД РФ.

Максимальная эффективность функционирования органа УВД достигается при условии обслуживания воздушного движения (ВД) согласно утвержденному плану полета для каждого ВС при обеспечении безопасности полетов, т.е. когда $t_{\text{обсл}} = t_{\text{план}}$.

Сектор УВД рассматривается как упрощенная математическая модель (рис. 1), в которой известны время входа ВС на обслуживание, время выхода и продолжительность обслуживания

$$t_{\text{обсл.}} = t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}},$$

где $t_{\text{обсл.}}$ – фактическое время нахождения ВС под управлением в секторе УВД; $t_{\text{вых}}$ – время выхода из сектора УВД; $t_{\text{вх}}$ – время входа в сектор УВД.

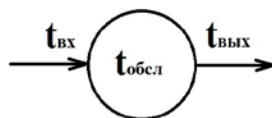


Рис. 1. Упрощенная математическая модель сектора УВД

В общем случае время обслуживания в органе УВД можно представить как

$$t_{\text{обсл}} = t_{\text{план}} + t_{\text{задерж.}}$$

Время задержки ($t_{\text{задерж.}}$) обслуживания ВС в органе УВД носит случайный характер и зависит от многих факторов

$$t_{\text{задерж}} = f(x_1; x_2; \dots x_n),$$

где x_n – события, влияющие на задержку, такие как опасные явления погоды, ограничения для нужд государственных органов, загруженность сектора УВД, отказы средств радиотехническое обеспечение полетов (РТОП) и связи и прочее.

При отсутствии внешних событий время обслуживания равно плановому, а показатель эффективности равен 100%

$$t_{\text{обсл}} = t_{\text{план}}, \text{ при } x_1; x_2; \dots x_n = 0.$$

При предложенном способе оценки сектора УВД отпадает необходимость анализировать сектор с точки зрения технологических аспектов, предложенных в [1], таких как процент неразведённых трасс, количество точек пересечения, наличие государственной границы, радиотехническое оснащение и т.п. И вместе с тем при этом появляется возможность учитывать индивидуальные особенности и квалификацию диспетчера, что может позволить формировать опти-

мальный с точки зрения взаимодействия состав обслуживающий сектор УВД или даже составы, обслуживающие направление (взаимодействующие сектора) в целом.

По экспертным оценкам наибольшее влияние на время задержки $t_{\text{задерж}}$ обслуживания ВС в секторе УВД оказывает количество ВС, одновременно находящихся под управлением.

В качестве примера рассмотрены графики эффективности и интенсивности ВД смежных секторов Московской зоны западного направления Запад-2 и Москва Подход-2 (рис. 2).

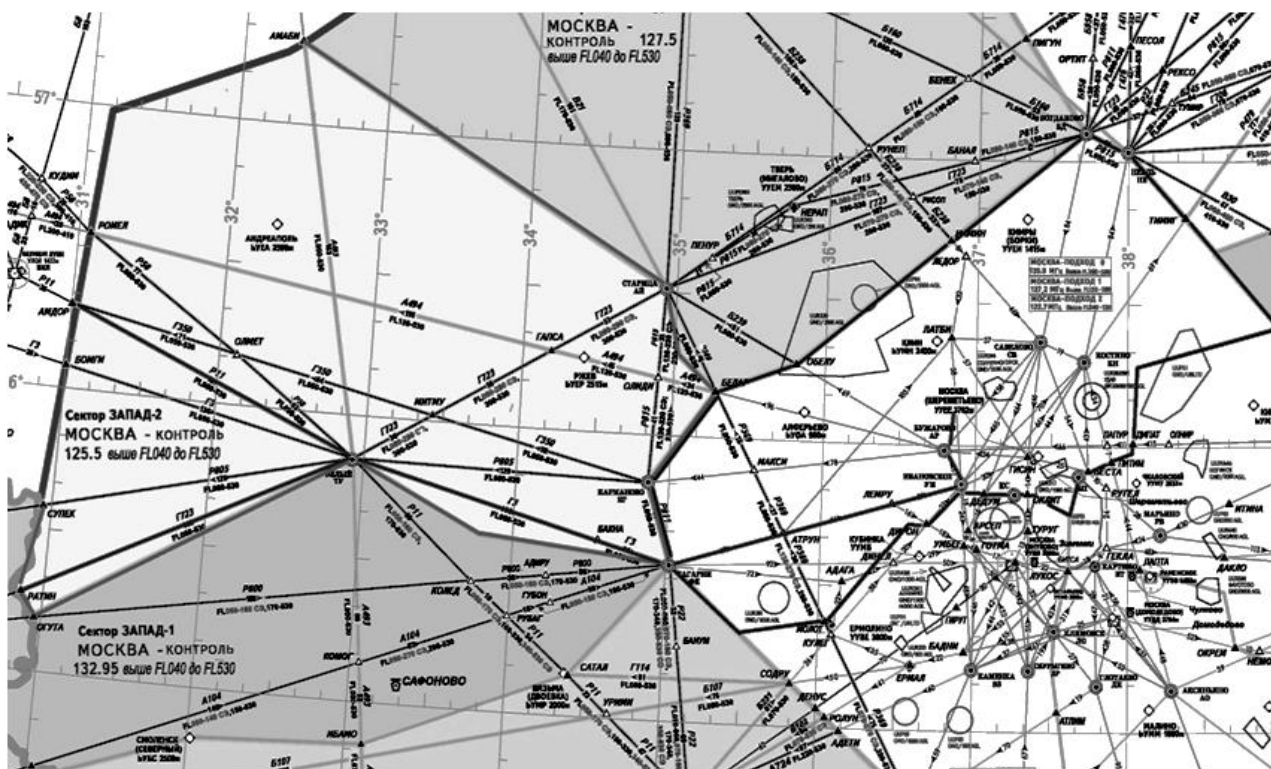


Рис. 2. Границы секторов УВД Запад-2, Москва Подход-2 и трассы

Были проанализированы статистические данные, включающие в себя следующую информацию о каждом ВС, обслуженном 11 января 2014 г.:

- сектор УВД;
- номер рейса;
- тип ВС;
- время выполнения операций приёма/передачи управления;
- рубежи приёма/передачи управления;
- время нахождения ВС под управлением в секторе УВД;
- количество ВС под управлением в секторе УВД;
- аэродром вылета/назначения.

На основе статистических данных была рассчитана эффективность обслуживания E_i каждого воздушного судна под управлением в секторе УВД по формуле (1) и средняя эффективность за каждые пять минут выбранного для рассмотрения интервала времени по формуле

$$E_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i,$$

где n – количество ВС под управлением за 5 мин.

Оценка экономической эффективности полетов ВС в Московской зоне

Для определения времени обслуживания ВС по плану ($t_{\text{план}}$) применены результаты расчетов «трек по плану», а также хронометраж прохождения ВС рубежей приема/передачи на выбранной для анализа трассе ($t_{\text{факт}}$) при низкой интенсивности ВД для разных типов ВС.

Результаты проведенной работы представлены в виде графиков изменения средней эффективности и количества ВС под управлением за интервал времени, выбранного для рассмотрения (5 мин).

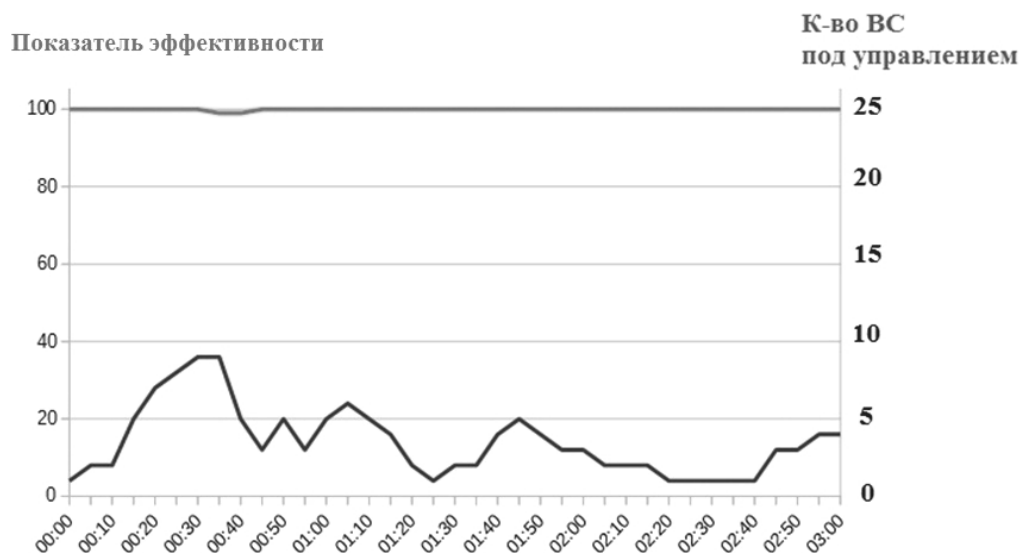


Рис. 3. Запад-2, изменение эффективности и количества ВС под управлением за период времени 00:00-03:00 UTC 11.01.14, низкая интенсивность ВД

Из рис. 3 следует, что при низкой интенсивности ВД эффективность сектора УВД составляет 100%.

Выбранный интервал времени 07:40-12:40 UTC 11.01.14 характеризуется интенсивным прилетом ВС в Московскую зону ЕС ОрВД, что позволяет наиболее наглядно показать влияние интенсивности ВС на экономическую эффективность полетов ВС.

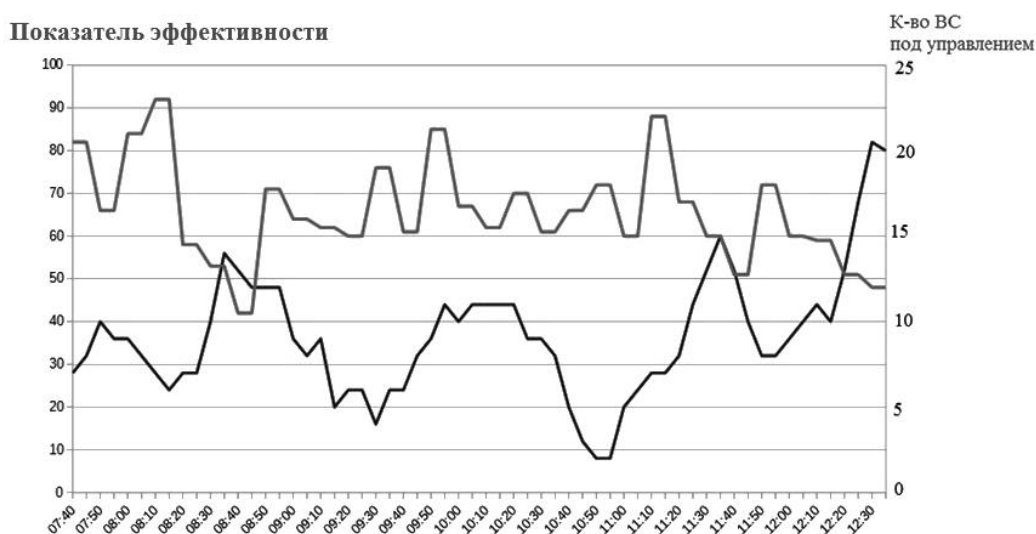


Рис. 4. Запад-2, изменение эффективности и количества ВС под управлением за период времени 07:40-12:40 UTC 11.01.14

Из рис. 4 видно, что при повышении количества ВС под управлением эффективность падает и наоборот - при понижении числа ВС под управлением эффективность возрастает. При этом существует вполне объяснимая инерционность.

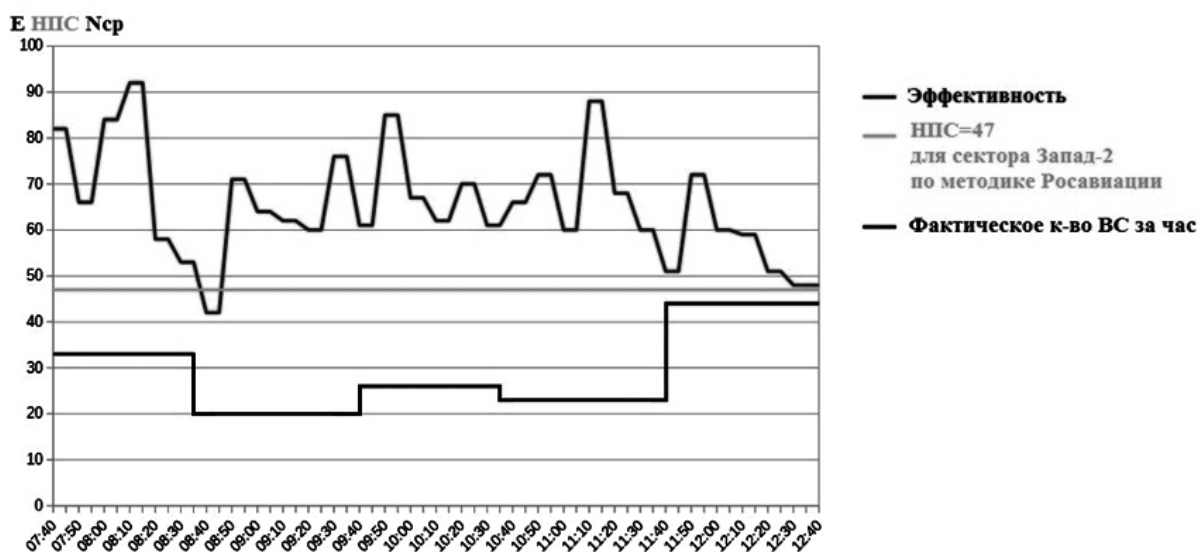


Рис. 5. Запад-2, эффективность, НПС при $K_z=0,55$ и фактическое количество ВС/ч за период времени 07:40-12:40 UTC 11.01.14

Рис. 5 показывает, что при обслуживании в течение часа значительно меньшего количества ВС, чем НПС, рассчитанный по методике Росавиации [1], эффективность работы сектора Запад-2 в среднем составляет примерно 75%, хотя, казалось бы, для понижения значений эффективности нет объективных факторов.

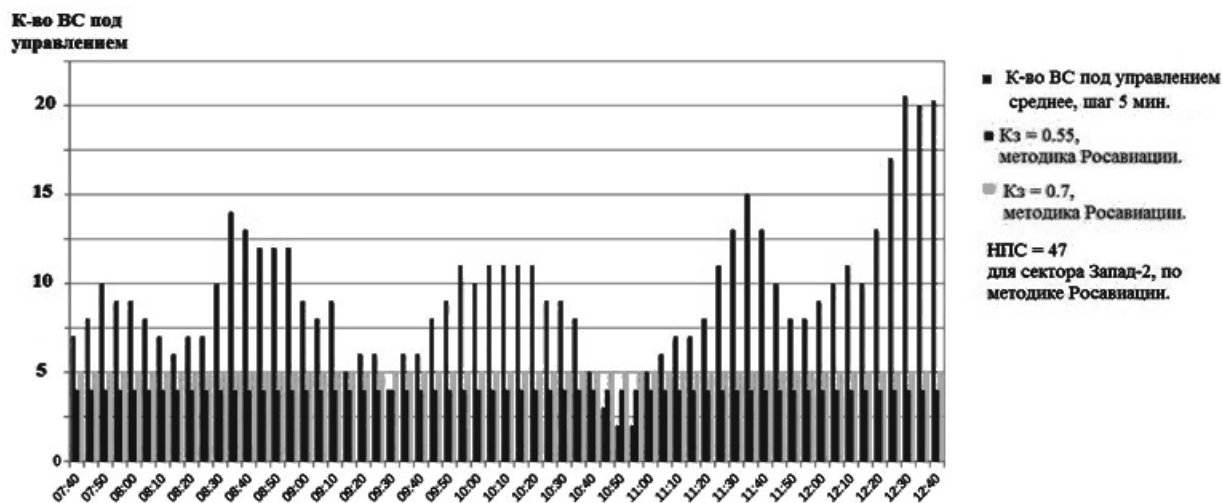


Рис. 6. Запад-2, фактическое количество ВС под управлением (шаг 5 мин) при $K_z=0,55$ и $K_z=0,7$ период времени 07:40-12:40 UTC 11.01.14

Из гистограммы на рис. 6 следует, что нагрузка сектора носит неравномерный характер с явным и значительным превышением K_z диспетчера, рассчитанного по методике Росавиации [1]. Аналогичная ситуация наблюдается для сектора Москва Подход-2 (рис. 7-9).

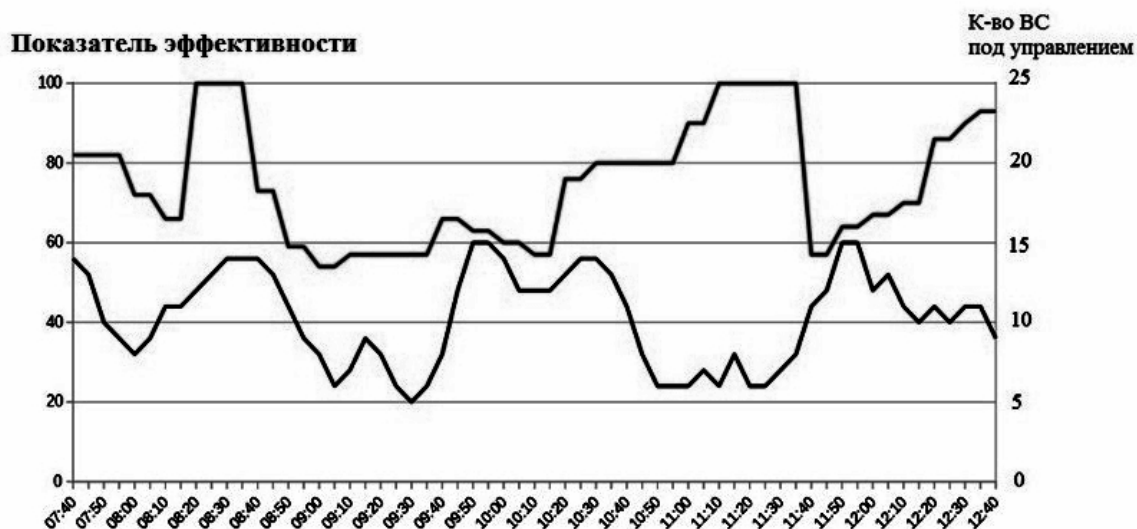


Рис. 7. Москва Подход-2, изменение эффективности и количества ВС под управлением за период времени 07:40-12:30 UTC 11.01.14

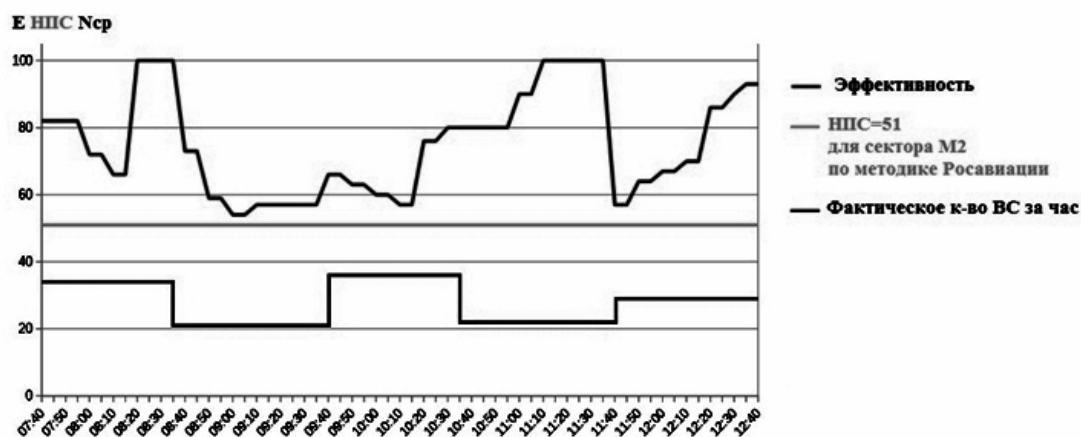


Рис. 8. Москва Подход-2, эффективность, НПС при $K_z=0,55$ и фактическое количество ВС/ч за период времени 07:40-12:40 UTC 11.01.14

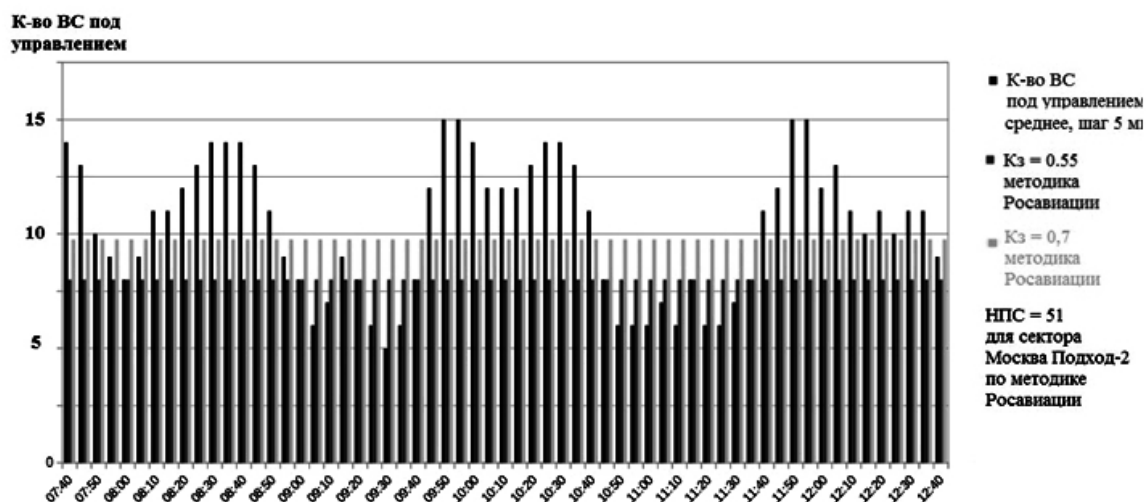


Рис. 9. Москва Подход-2, фактическое количество ВС под управлением (шаг 5 мин) при $K_z=0,55$ и $K_z=0,7$ период времени 07:40-12:40 UTC 11.01.14

Рис. 7-9 показывают, что сказанное о взаимной зависимости, эффективности и количестве ВС под управлением справедливо как для секторов РДЦ, так и для секторов МУДР Московской зоны, несмотря на то что время обслуживания в секторах МУДР в разы меньше. Как пример: сектор Запад-2 время обслуживания $t_{cp}=21$ мин и 24 мин в зависимости от трассы и типа ВС, для сектора М2 $t_{cp}=5$ мин.

Заключение

На основании проведенных исследований и полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Безопасность воздушного движения зачастую достигается за счет снижения экономической эффективности полетов ВС.
2. Предложенный показатель позволяет определить максимальное количество ВС, одновременно находящихся в секторе УВД при обеспечении максимальной экономической эффективности полетов.
3. Видна корреляция между количеством ВС на управлении в секторе УВД и временем обслуживания.
4. Полученные результаты достаточно точно отражают реальную картину загрузки сектора УВД, показывают низкую эффективность органов планирования ВД в части равномерности загрузки секторов УВД, что неизбежно приводит к перегрузке диспетчера УВД.
5. Применение предложенного способа оценки экономической эффективности полетов ВС на тренажерах УВД позволит оценивать и сравнивать эффективность внедрения различных организационных, процедурных, технологических и технических мероприятий в органах УВД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика определения нормативов пропускной способности диспетчерских пунктов (секторов) органов обслуживания воздушного движения: утв. приказом руководителя Росавиации от 07.11.2011 г. № 757.
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.flugsicherung.de/>.
3. **ФАП.** Порядок осуществления радиосвязи в воздушном пространстве Российской Федерации: утв. приказом от 26 сентября 2012 г. № 362.

ASSESSMENT OF AIR TRAFFIC CONTROL UNIT LOAD INFLUENCE ON ECONOMIC EFFICIENCY OF FLIGHTS

Pechenezhskiy V.K., Sazonova A.M.

Results of researches which indicate correlation between air traffic control unit load and economic efficiency of flights are given in this article. Proposed measure allows determining the quantity of aircrafts being under control at a time in the unit with maximum economic efficiency of flights.

Keywords: air safety, economic efficiency of flights, ATC workload, capacity of ATC unit.

Сведения об авторах

Печенежский Владимир Константинович, 1951 г.р., окончил КИИГА (1974), кандидат технических наук, доцент кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, старший инженер МЦ АУВД, автор 10 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация средств РТОП и АС, автоматизация процессов УВД.

Сазонова Анна Михайловна, окончила МГТУ ГА (2014), аспирантка МГТУ ГА, авиадиспетчер МЦ АУВД, область научных интересов – автоматизация процессов УВД.

УДК 656.7.052

СОПОСТАВИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АЭРОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЕВРОСОЮЗА И РОССИИ НА 2020 ГОД

А.М. БАРАНОВСКИЙ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Нечаевым Е.Е.

В статье представлены результаты расчета и сопоставительной оценки целевых показателей функционирования аэронавигационных систем Евросоюза и России на 2020 г. по отношению к базовому 2007 г.

Ключевые слова: аэронавигационная система, безопасность полетов, производительность, эффективность/стоимость, национальная безопасность, совместимость, экономия авиатоплива, охрана среды.

В ноябре 2012 г. Комитет 12-й Аэронавигационной конференции ИКАО представил доклад по пункту 1 повестки дня: «Стратегические вопросы, касающиеся проблем интеграции, взаимодействия и гармонизации систем в поддержку концепции «единого неба» для международной гражданской авиации» (AN-Conf/12-WP/162 от 28.11.2012 г.).

В докладе Комитета отмечается, что «... реализация концепции «единого неба» требует использования общего «языка» в отношении мониторинга и определения показателей эффективности. Это означает, что государства и заинтересованные стороны должны применять скоординированный подход к предоставлению данных, их сбору, хранению, защите и распространению, а также к расчету показателей и использованию результатов для поддержки различных процессов улучшения ОрВД. Было принято решение о том, что необходимо разработать глобальную методологию для определения показателей и индикаторов, которые можно использовать для того, чтобы государства и регионы измеряли и оценивали эффективность своих инициатив по функционированию систем ОрВД».

В соответствии с рекомендацией 1/15 «Мониторинг и определение показателей эффективности аэронавигационных систем», сформулированной в докладе Комитета, ИКАО предложено: «Разработать набор общих показателей эффективности аэронавигационного обслуживания с соответствующим инструктивным материалом на основе существующей документации».

Необходимо отметить, что в России «... разработке методологии определения показателей и индикаторов, которые можно было бы использовать для того, чтобы государства и регионы измеряли и оценивали эффективность своих инициатив по функционированию систем ОрВД» уделялось постоянное внимание. Большая работа в этом направлении была выполнена в 2004-2009 гг. ФГУП ГосНИИ «Аэронавигация».

В результате была разработана система государственных показателей и целевых (ключевых) индикаторов качества функционирования национальной аэронавигационной системы (АНС) России, основанная на требованиях, устанавливаемых государством, и учитывающая запросы всех пользователей воздушного пространства. Разработанная методика [1] позволяет выполнить расчет показателей качества функционирования АНС, представить динамику их изменения на весь период планирования создания и развития системы, а также при отклонении реальных показателей системы от запланированных.

Исходной информацией для определения направлений развития АНС является прогноз объема воздушного движения, который предстоит обслуживать системе и который зависит от темпов роста интенсивности полетов воздушных судов.

Для проведения сопоставительной оценки показателей функционирования АНС Евросоюза и АНС России на 2020 г. используем результаты прогнозных расчетов [1; 2] следующих целевых показателей:

- объем обслуживаемого воздушного движения (производительность);
- безопасность полетов при ОрВД (безопасность воздушного движения);
- эффективность/стоимость (стоимость 1 ч аэронавигационного обслуживания);
- сокращение эмиссии CO₂ (охрана среды);
- экономия авиатоплива;
- уровень интеграции (совместимости) в мировую аэронавигационную систему (для АНС России);
- показатель готовности обеспечивать решение задач национальной безопасности (для АНС России).

В качестве базового года для прогноза изменения выбранных целевых показателей эффективности был выбран 2007 г, для которого были доступны основные исходные данные по АНС России. Этому способствовала разработка ФГУП ГосНИИ «Аэронавигация» проекта Концепции федеральной целевой программы «Модернизация Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации (2009 - 2015 гг.), утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 декабря 2007 г. № 1974-р.

Аналогично, в это же время Консорциумом SESAR при руководящей роли Европейской организации по безопасности воздушной навигации «Евроконтроль» была разработана программа создания и определены целевые показатели развития АНС Евросоюза на период до 2020 г. [2].

Отсутствие в источнике [2] абсолютных значений целевых показателей безопасности полетов при ОрВД для АНС Евросоюза в базовом году, при указании на то, что в 2020 г. уровень безопасности на 1 полет должен увеличиться в три раза, потребовало от нас выбора сравнимого показателя безопасности и проведения расчета ключевых индикаторов, сопоставимых с аналогичными показателями и индикаторами АНС России. При этом необходимо было также учитывать указание [2] на то, что к 2020 г. абсолютное среднегодовое число авиакатастроф в Евросоюзе не должно увеличиваться по сравнению с базовым годом.

В качестве сопоставимых ключевых индикаторов безопасности полетов при ОрВД можно было выбрать риск катастроф, приходящийся на 1 полет, или средний налет на 1 авиакатастрофу на 2007 и 2020 гг. Был выбран средний налет на 1 авиакатастрофу.

Расчет абсолютных значений среднего налета на 1 авиакатастрофу, связанную с недостатками при ОрВД, проведем на основе статистических данных [3; 5] об авиационных происшествиях в Евросоюзе, связанных с катастрофами.

Всего за период с 1980 по 2007 гг. произошло 15 авиакатастроф, связанных с недостатками при ОрВД. Соответственно среднегодовое количество авиакатастроф за этот период составило 0,55.

Для расчета общего налета воздушных судов в Евросоюзе в базовом 2007 г. $H_{\text{Сум.баз.}}$ используем формулу [4], определяющую среднюю производительность одного диспетчера (налет воздушных судов, приходящийся на час его рабочего времени) $K_{\text{Дисп.баз.}}$ в базовом году

$$K_{\text{Дисп.баз.}} = \frac{H_{\text{Сум.баз.}}}{N \cdot T_{\text{Раб.дисп.}}},$$

где $H_{\text{Сум.баз.}}$ - суммарный налет воздушных судов в базовом году; N - число диспетчеров, работающих в системе; $T_{\text{Раб.дисп.}}$ - время работы диспетчера в течение года.

Согласно источнику [4] для 2007 г. $K_{\text{Дисп.баз.}}$ составил 0,75, а общее число часов работы всех диспетчеров составило $N \cdot T_{\text{Раб.дисп.}} = 23,1 \cdot 10^6$ ч.

Соответственно в 2007 г. общий налет воздушных судов составил

$$H_{\text{Сум.баз.}} = 0,75 \cdot 23,1 \cdot 10^6 = 17,3 \cdot 10^6 \text{ ч.}$$

Среднее время нахождения воздушного судна под управлением $t_{\text{Сред.упр.}}$ в Евросоюзе для 2007 г. составило

$$t_{\text{Сред.упр.}} = H_{\text{Сум.баз.}} : 9,2 \cdot 10^6 (\text{число полетов в 2007 г.}) = 17,3 \cdot 10^6 : 9,2 \cdot 10^6 = 1,9 \text{ ч.}$$

Тогда прогнозируемый общий налет воздушных судов в Евросоюзе для 2020 г. составит

$$H_{\text{Сум.ожид.}} = 16 \cdot 10^6 (\text{число полетов в 2020 г.}) 1,9 \text{ ч} = 30,4 \cdot 10^6 \text{ ч.}$$

С учетом среднегодового количества авиакатастроф, связанных с ОрВД в Евросоюзе, 0,55 кат./г., средний налет на катастрофу в 2007 г. составил $31,3 \cdot 10^6 \text{ ч.}$

Расчеты показывают, что средний налет на авиакатастрофу в 2020 г. составит $55,5 \cdot 10^6 \text{ ч.}$

Поскольку изменение целевых показателей АНС Евросоюза к 2020 г. приведено по отношению к базовому году в процентах роста (+) или процентах снижения (-) соответствующего показателя [2], то примем, что абсолютные значения сопоставимых показателей АНС Евросоюза и АНС России в базовом 2007 г. соответствуют 100%.

Результаты расчетов и сводные данные по изменению целевых показателей АНС Евросоюза и АНС России на 2020 г. приведены в табл. 1.

Таблица 1

Таблица изменения целевых показателей
АНС Евросоюза и России на 2020 г.

Целевые показатели	АНС Евросоюза			АНС России		
	Абсолют. 2007г.	Абсолют. 2020г.	Относит. 2020г.	Абсолют. 2007г.	Абсолют. 2020г.	Относит. 2020г.
1. Объем обслуживаемого воздушного движения, количество полетов	$9,2 \cdot 10^6$	$16 \cdot 10^6$	+74%	$1,02 \cdot 10^6$	$2,77 \cdot 10^6$	+172%
2. Безопасность воздушного движения при ОрВД:						
- риск АП, число катастроф/1 ч налета;	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$	- 44%	$10 \cdot 10^{-8}$	$3,7 \cdot 10^{-8}$	- 63%
- риск АП (при требовании достижения уровня Евросоюза);	-	-	-	$10 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$	- 82%
- налет на АП, ч;	$31,3 \cdot 10^6$	$55,5 \cdot 10^6$	+ 77%	$10 \cdot 10^6$	$27 \cdot 10^6$	+170%
- налет на АП, ч (при требовании достижения уровня Евросоюза)	-	-	-	$10 \cdot 10^6$	$55,5 \cdot 10^6$	+455%
3. Эффективность/стоимость (стоимость 1 ч АНО), долл.	1038	519	-50%	424	234	- 45%
4. Сокращение эмиссии CO ₂ , т	-	-	- 10%	-	$3,38 \cdot 10^6$	- 6,7%
5. Экономия авиатоплива, т	-	-	+ 10%	-	$1,07 \cdot 10^6$	+6,7%
6. Уровень интеграции в мировую аэронавигационную систему (совместимость), %	-	-	-	-	-	+24%
7. Показатель готовности обеспечивать решение задач национальной безопасности, %	-	-	-	-	-	+30%

В табл. 1 представлены результаты расчета таких взаимозависимых показателей и ключевых индикаторов, как риск катастроф и средний налет на катастрофу, а также сокращение эмиссии CO₂ и экономия авиатоплива. Эффект этих целевых показателей отмечается разными знаками. Например, уменьшение риска катастроф и сокращение эмиссии CO₂ отмечаются знаком (-), но это снижение является положительным фактором, а рост среднего налета на катастрофу и рост экономии авиатоплива отмечается знаком (+).

При расчете показателя эффективность/стоимость было принято соотношение курса доллара и евро 0,77, как это применялось в проекте SESAR.

Для понимания соотношения роста показателей АНС Евросоюза, в сопоставлении с ростом показателей АНС России, в табл. представлены: показатель уровня интеграции АНС России в мировую аэронавигационную систему и показатель готовности АНС России обеспечивать решение задач национальной (в т.ч. авиационной) безопасности.

При этом показатели национальной безопасности Евросоюза на 2007 и 2020 гг. приняты неизменными, т.к. они на сегодня не определены и неизвестно, как в будущем будут решаться вопросы обеспечения обороноспособности Евросоюза.

Касательно показателя уровня интеграции АНС Евросоюза в мировую аэронавигационную систему, то даже на уровне базового 2007 г. этот показатель достаточно высок, что подтверждается известными совместными мерами по обеспечению координации программ развития аэронавигационных систем Евросоюза и США, а также мерами поддержки этих усилий со стороны ИКАО. В этой связи, можно предположить, что к 2020 г. этот показатель существенно не изменится и останется на том же высоком уровне.

Результаты расчета целевых показателей и ключевых индикаторов АНС Евросоюза и АНС России на 2020 г. могут быть представлены в виде диаграммы на рис. 1, которая наглядно демонстрирует изменение сопоставимых показателей этих систем.

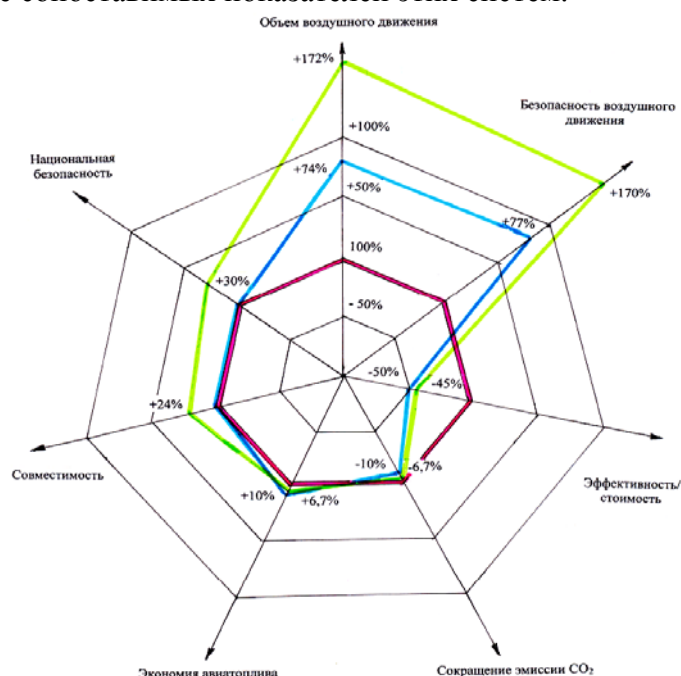


Рис. 1. Диаграмма изменения сопоставимых целевых показателей и ключевых индикаторов АНС Евросоюза и АНС России: - синий график для АНС Евросоюза на 2020 г.; - зеленый график для АНС России на 2020 г.; - красный график для АНС Евросоюза и АНС России на 2007 г.

Как видно из рис. 1, область изменения целевых показателей и ключевых индикаторов АНС России покрывает область изменения целевых показателей и ключевых индикаторов АНС Евросоюза, что свидетельствует об их опережающем росте. Вместе с тем для объективной сравнительной оценки необходимо также учитывать и абсолютные значения показателей.

Например, необходимо учитывать существенную разницу в исходном и прогнозируемом объеме обслуживаемого воздушного движения (9,2 млн. полетов и 16 млн. полетов) в Евросоюзе и (1,02 млн. полетов и 2,77 млн. полетов) в России. Ясно, что при исходном объеме обслуживаемого воздушного движения 9,2 млн. полетов добиться процента роста этого показателя к 2020 г. + 172%, как это имеет место в АНС России, в Евросоюзе не реально.

Прогнозируемый объем обслуживаемого воздушного движения также оказывает влияние на абсолютные значения показателей безопасности воздушного движения, эффективности/стоимости, экономию авиатоплива и сокращение эмиссии CO₂ в атмосферу.

Например, при примерно одинаковых абсолютных значениях показателей безопасности воздушного движения в 2007 г., - 0,55 кат./г. в Евросоюзе и 0,5 кат./г. в России, средний налет на 1 авиакатастрофу в Евросоюзе вырастет к 2020 г. на + 44%, а в России на + 170%. Однако, чтобы достичь в России уровня безопасности воздушного движения Евросоюза на 2020 г., необходимо обеспечить рост этого показателя на 450%, т.е. в 5,5 раз, что выполнить достаточно сложно.

Вместе с тем расчеты показывают, что даже с учетом разницы в объемах обслуживаемого воздушного движения АНС России будет способна приблизиться к европейскому уровню безопасности полетов, экономической эффективности и сокращения эмиссии CO₂ в атмосферу. Одновременно с этим в АНС России будет обеспечено решение задач национальной (в т.ч. авиационной) безопасности, а также повышение совместимости с региональной АНС Евросоюза и Глобальной системой ОрВД ИКАО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барановский А.М., Пятко С.Г., Федоров Ю.М. Структура показателей качества функционирования аэронавигационной системы России // Научный Вестник НИИ «Аэронавигация». - 2013. - № 12. - С. 75-106.
2. Milestone Deliverable D5: SESAR Master Plan-DLM-0710-001-02-00, SESAR consortium, 2008. - P.14.
3. ATM Contribution to Aircraft Accidents/Incidents, Safety Regulation Commission Document, edition 4.0, EUROCONTROL, 2005. - P.21, 40.
4. ATM Cost-Effectiveness 2010 Benchmarking Report with 2011-2015 outlook, PRC EUROCONTROL, 2012. - P. 66.
5. Annual Safety Report 2012, Safety Regulation Commission EUROCONTROL, 2013. - P. 6.

COMPARISON OF ESTIMATION OF KEY PERFORMANCE INDICATORS OF EUROPEAN AND RUSSIAN AIR NAVIGATION SYSTEMS FOR 2020 YEAR

Baranovskiy A.M.

The article presents the result of calculation and comparison estimation of the key performance indicators of European and Russian air navigation systems for 2020 year, 2007 year being the starting point of calculation.

Keywords: air navigation system, safety, capacity, cost effectiveness, national security, interoperability, fuel economy, environment.

Сведения об авторе

Барановский Андрей Михайлович, 1949 г.р., окончил Рижское ВВАИУ им. Я. Алксниса (1974), заслуженный работник транспорта РФ, ведущий инженер ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», автор более 40 научных работ, область научных интересов - развитие систем ИВП и ОрВД.

УДК 629.7.052; [629.7.062.2](#)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ИНОСТРАННЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

И.В. СПИЧЕНКО

Статья предоставлена доктором технических наук, профессором Логвиным А.И.

В настоящей работе рассматривается вопрос сравнительного анализа отечественных и иностранных показателей эксплуатационной надежности авиационной техники.

Ключевые слова: надежность авиационной техники, интенсивность отказов, средняя наработка на отказ.

1. Необходимость постоянного мониторинга показателей надежности АТ

В современной авиации на первом месте стоит безопасность и экономическая целесообразность эксплуатации авиационной техники, следовательно, актуальным вопросом является необходимость постоянного наблюдения и оценки показателей надежности, учитывая современные тенденции их развития.

Мониторинг надежности основывается на отслеживании параметров надежности в сравнении с сигнальным и целевым уровнями. Целью такой системы является своевременное определение отрицательных тенденций и тревожных сигналов для принятия соответствующих мер по восстановлению принятых характеристик.

В процессе эксплуатации необходимо постоянно оценивать фактический уровень надежности изделий авиационной техники. Под уровнем надежности изделий понимается фактическое численное значение какой-либо характеристики надежности, полученное для рассматриваемого интервала наработки этого изделия.

Для оценки уровня надежности конкретного образца изделия необходимо собрать и обработать соответствующие данные по большому числу однотипных изделий. Главным условием надежности изделия является организация и осуществление правильного сбора и обработки статистики отказов.

В гражданской авиации установлена специальная система сбора и обработки данных об отказах и неисправностях авиационной техники. Она обеспечивает ИАС полной и достоверной информацией с целью организации и проведения работ по повышению надежности АТ, предотвращения авиационных инцидентов по причинам неисправности АТ, повышения экономической эффективности ее эксплуатации.

Эта система является основным источником информации для решения задач по предотвращению отказов при эксплуатации и разработке требований к промышленности по повышению надежности АТ. В системе сбора и обработки учету подлежат все отказы, обнаруженные экипажем в полете и на земле, а также выявленные при техническом обслуживании.

2. Сравнительная оценка некоторых показателей эксплуатационной надежности отечественной и зарубежной АТ

2.1. Интенсивность отказов

Интенсивность отказов – это характеристика, оценивающая скорость появления отказов среди исправных в данный момент изделий.

Так как получить значения интенсивности отказов эксплуатируемого объекта не представляется возможным, мы воспользуемся значением интенсивности отказов по среднему значению параметра потока отказов объекта за определенный интервал времени эксплуатации $\omega(t)$.

Параметр потока отказов есть математическое ожидание числа отказов, приходящееся на один час суммарной наработки большого числа изделий в момент времени t .

Определим это значение по формуле

$$\omega(t) = \frac{n(t)}{t_{\Sigma}(t)}, \frac{1}{T},$$

где $n(t)$ - число отказавших блоков за время наработки t .

Так как при отказе данного блока он заменяется на новый, а не восстанавливается, то среднее значение параметра потока $\omega(t)$ отказов приблизительно равняется интенсивности отказов $\lambda(t)$.

$$\omega(t) \approx \lambda(t) \approx \lambda = \text{const.}$$

Иностранным аналогом параметра потока отказов является:

URR (Unscheduled Removal/неплановое снятие агрегата) который рассчитывается как незапланированное снятие агрегата на 1000 ч.

$$URR = 1000 \times [\text{неплановые снятия/наработка}].$$

Необходимо отметить, что в иностранной эксплуатации «неплановое снятие» агрегата подразумевает, что он не соответствует хотя бы одному из заявленных, что в отечественной технике и является отказом.

Так же используется аналогичный показатель, но относительно надежности строго определенных компонентов, например, рассчитывается надежность генераторов на борту исходя из количества данных генераторов на ВС и их суммарной наработке.

ComponentURR (Component Unscheduled Removal Rate/неплановый съём компонента на 1000 ч).

Неплановый съём компонента рассчитывается как общее число неплановых снятий этого компонента, деленное на суммарную наработку всех компонентов данного типа

$$\text{Component UUR} = 1000 \times [\text{неплановые снятия/наработка агрегата} \times QPA],$$

где QPA – количество агрегатов данного типа на самолете.

2.2. Средняя наработка на отказ/съём

Средняя наработка на отказ невосстанавливаемых изделий есть среднее время суммарной наработки большого числа однотипных изделий на малом интервале времени, приходящееся на один отказ на этом интервале времени

$$T_C(t) = \frac{1}{\lambda(t)} \text{ ч.}$$

Вероятность безотказной работы ВБР $p(t)$ изделия есть вероятность того, что за определенный рассматриваемый период наработки t в заданных условиях эксплуатации оно не откажет

$$p(t) = e^{-\omega t},$$

где t – интервал времени одного полета, равный 1 ч.

Противоположным событию безотказной работы является событие отказа $p(t)$

$$q(t) = 1 - p(t).$$

В соответствии с методикой показатель безотказности оценивается средней наработкой на отказ (T_O) или на съём (T_C) изделия с борта. Среднестатистические значения показателей надежности, т.е. точечная оценка наработки на отказ (T_O) и средняя наработка на съём (T_C) представлены ниже

$$T = T_{\Sigma} \text{ м/н,}$$

где T_{Σ} – суммарный налет парка за рассматриваемый период, ч; m – количество блоков данного типа на самолете; n – суммарное количество событий (отказов или съемов) блоков за рассматриваемый период.

Если суммарное количество событий (отказов или съемов) блоков за рассматриваемый период $n=0$, то $T = T_{\Sigma} \cdot m / 0,69$ (по ГОСТ В 20.57.404).

Для принятия решения о соответствии уровня эксплуатационной надежности заданным требованиям производится определение границ доверительного интервала с заданной доверительной вероятностью.

Границы, за пределы которых определяемый параметр, полученный по ограниченному числу наблюдений, не выйдет с наперед заданной вероятностью при неограниченном возрастании числа наблюдений определяются при помощи таблиц.

При числе отказов (съемов) больше нуля нижняя и верхняя границы показателей надежности определяются по формулам:

$$T_H = R_2 \cdot T; \quad T_B = R_1 \cdot T,$$

где T_H – нижняя граница показателя; T_B – верхняя граница показателя; T – среднестатистическое значение показателя надежности (точечная оценка наработки на отказ (T_O) или на съем (T_C)); коэффициенты R_1, R_2 определяются по таблицам по известному значению числа событий (отказов/съемов) и выбранной доверительной вероятности α . Значение доверительной вероятности принимаем $\alpha = 0,9$.

Средней наработке на съем (T_C) соответствует **MTBUR** (Mean Time Between Unscheduled Removal/среднее время между незапланированными снятиями агрегатов), рассчитывается как $MTBUR \text{ в ч} = 1000 / URR$, т.е. мы получаем среднее время суммарной наработки до съема агрегата.

Средней наработке на отказ (T_O) соответствует **MTBF** (Mean Time Between Failure/среднее время между сбоями), считается как сбой на 1000 ч.

Также **MTBF** можно рассчитать через рейтинг сбоев

$$Failure \text{ Rate} = URR \times K,$$

где K – пропорция между незапланированным снятием и реальными сбоями, она подсчитывается статистически и представлена в виде таблицы по основным разделам технической документации **ATA** (aircraft technical association/авиационная техническая ассоциация) (табл. 1).

Таблица 1

Вид оборудования	“К”-фактор	Вид оборудования	“К”-фактор
Структура	0,99	Электроника	0,60
Механика	0,88	Система возд. сигн.	0,70
Пневматика	0,65	Инерционная сист.	0,70
Электрооборудование	0,75	Автопилот	0,75
Электромеханическое	0,80	Навигационное	0,60
Гидроэлектрическое	0,65	Приборное	0,75
Электропневматическое	0,70	Покрышки шасси	0,98

Из табл. 1 видно, что наивысший показатель K приходится на колеса, тормоза и механические узлы и части, соответственно эти компоненты будут иметь меньшее среднее время на отказ.

Сигнальным уровнем для доверительного интервала и иностранной технике является **Alert Levels** (сигнальный уровень), указывает на превышение по какому-либо параметру (например, по URR) минимально допустимого уровня надежности. Сигнальный уровень пересчитывается каждый месяц при поступлении новых данных. Каждое значение равно среднему плюс 3 стандартных отклонения.

3. Критические различия между отечественными и иностранными показателями надежности

Таким образом, можно найти ряд различий между отечественными и иностранными показателями эксплуатационной надежности:

- для иностранной техники при эксплуатации все изделия считаются не восстанавливаемыми, таким образом, они отказываются от ряда параметров, например, таких как *параметр потока отказов*. А это значит, что после ремонта у иностранцев изделие считается новым, а в отечественной технике наработка продолжает возрастать, что учитывает износ материалов, не связанных с причиной предыдущего отказа;
- в иностранных показателях среднее время на отказ или на сьем, а также интенсивность отказов приводится на 1000 ч, что визуально упрощает восприятие для инженерно-технического состава, но усложняет расчеты других показателей надежности, чем снижает их точность;
- упразднение такого понятия как «отказ» и переход на более простое «*неплановый сьем агрегата (Unscheduled Removal)*» либо «*ошибка (Failure)*» унифицирует показатели надежности.

Из сравнительного анализа некоторых параметров эксплуатационной надежности и критического поиска различий между отечественными и иностранными показателями можно сделать вывод, что отечественные показатели являются наиболее информативными и конкретно применимыми к любой авиационной технике для повышения безопасности регулярности и экономичности при эксплуатации воздушных судов гражданской авиации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев В.Г., Константинов В.Д. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования. – М.: МГТУ ГА, 2010.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в авиационной технике. Основные понятия и определения.
3. Константинов В.Д. Методические указания к разработке раздела дипломного проектирования. – М.: МГТУ ГА, 2013.
4. Reliability report 2013 Bombardier Dash-8 а/к «Сахалинские авиатрассы».

COMPARATIVE ANALYSIS OF RUSSIAN AND FOREIGN RELIABILITY INDEXES FOR AIRCRAFTS

Spichenko I.V.

This article discusses identifying comparative analysis of Russian and foreign reliability indexes for aircraft.

Keywords: reliability of aircraft, unscheduled removal rate, mean time between failure.

Сведения об авторе

Спиченко Игорь Валерьевич, 1989 г.р. окончил МГТУ ГА (2012), аспирант МГТУ ГА, автор 4 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация авиационного электрооборудования, надежность авиационного электрооборудования.

УДК 656.021

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

А.М. БАРАНОВСКИЙ, О.А. ТЮРИН

Статья представлена доктором технических наук, профессором Нечаевым Е.Е.

В статье представлена методика оценки показателя национальной безопасности при организации использования воздушного пространства в зависимости от состояния обеспечения безопасности, регулярности, экономичности воздушного движения и обороноспособности.

Ключевые слова: национальная безопасность, безопасность, регулярность, экономичность воздушного движения, обороноспособность.

Национальная безопасность определяется, как « ... состояние защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз, которое позволяет обеспечить конституционные права, свободы, достойные качество и уровень жизни граждан, суверенитет, территориальную целостность и устойчивое развитие Российской Федерации, оборону и безопасность государства» [1].

Организация использования воздушного пространства (ИВП), осуществляемая специально уполномоченным органом в области ИВП, органами Единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД, далее - Система) и органами пользователей воздушного пространства - органами обслуживания воздушного движения (управления полетами), в установленных для них зонах и районах [2], направлена на обеспечение территориальной целостности (воздушное пространство является принадлежностью территории), устойчивого развития экономики, включая авиаперевозки, обороны и безопасности государства.

Степень влияния существующей Системы на уровень национальной безопасности страны в общем виде можно определить показателем национальной безопасности при решении задач организации ИВП

$$П_{НБ} = \max\{\Phi(B, P, \mathcal{E}, O)\},$$

где $\Phi(B, P, \mathcal{E}, O)$ - функционал, учитывающий значения показателей безопасности (B), регулярности (P), экономичности воздушного движения ($\mathcal{E}$) и обороноспособности (O) при переходе Системы к работе в период непосредственной угрозы агрессии и военное время.

В настоящее время строгий математический аппарат, определяющий зависимость $П_{НБ}$ от безопасности, регулярности, экономичности воздушного движения и обороноспособности пока не разработан. В свою очередь показатели $B, P, \mathcal{E}, O$, влияющие на показатель национальной безопасности $П_{НБ}$, определяются рядом составляющих показателей, входящих в структуру процесса организации ИВП, которые также не всегда представлены в виде соответствующих математических зависимостей.

В связи с этим для определения показателя $П_{НБ}$ целесообразно использовать методику, при которой безопасность, регулярность, экономичность и обороноспособность Системы при переходе к работе в период непосредственной угрозы агрессии и военное время рассматриваются как независимые процессы, характеризующиеся своими показателями, которые должны быть нормированы на одном уровне (например, не превышающем единицы).

Тогда

$$П_{НБ} = П_B \cdot П_P \cdot П_{\mathcal{E}} \cdot П_O,$$

где $\Pi_B, \Pi_P, \Pi_{\mathcal{E}}, \Pi_O$ - нормированные показатели, характеризующие соответствующие процессы.

Комплекс показателей, характеризующих уровень безопасности воздушного движения (B), может включать среднее количество авиационных происшествий и предпосылок к ним, частоту возникновения авиационных происшествий и предпосылок к ним, а также средний налёт на одно из указанных событий по причинам, обусловленным недостатками функционирования Системы.

Комплекс показателей, характеризующих регулярность воздушного движения (P), может включать частоту возникновения задержек воздушных судов (BC), а также среднее время их продолжительности.

Комплекс показателей, характеризующих экономичность воздушного движения ($\mathcal{E}$), может включать экономические потери за счет задержек BC или использования неэкономичных эшелонов полета, неоптимальных маршрутов полета, а также за счет изменения как одного, так и другого рассматриваемых параметров.

Комплекс составных показателей для общего показателя обороноспособности (O), характеризующих уровень мобилизационной готовности и степень реализуемости мобилизационного плана, может быть определен на основе оценки состояния исполнения соответствующих документов, обеспечивающих работу Системы в период непосредственной угрозы агрессии и военное время. Все приведенные показатели должны определяться за установленное время на основе соответствующих статистических данных. Однако следует отметить, что в настоящее время такая статистика в центрах Системы не ведется, поэтому в дальнейшем приводится методика ее сбора и определения показателей, характеризующих степень влияния ЕС ОрВД на уровень национальной безопасности.

Безопасность воздушного движения

Уровень безопасности воздушного движения характеризуется частотой авиационных происшествий и предпосылок к ним, а также средним налетом на возникновение рассматриваемых ситуаций. Эти показатели целесообразно определять как по каждому центру, так и по всей Системе в целом.

Показатель, характеризующий уровень безопасности полетов, обеспечиваемый K -м центром ЕС ОрВД за рассматриваемый период, может быть определен как

$$\Pi_{B[\kappa]}(t) = 1 - P_{\Pi[\kappa]}(t),$$

где $P_{\Pi[\kappa]}(t) = \frac{\sum_{i=1}^m N_{\Pi P_i[\kappa]}(t)}{N_{\text{общ}[\kappa]}(t)}$ - частота (оценка вероятности) возникновения летных происшествий и предпосылок к ним в κ -м центре за период; i - причина возникновения летного происшествия или предпосылки к нему; $N_{\Pi P_i[\kappa]}(t)$ - количество летных происшествий и предпосылок к ним в κ -м центре по i -й причине; $N_{\text{общ}[\kappa]}(t)$ - общее количество обеспеченных полетов в κ -м центре; m - число факторов (причин), влияющих на уровень безопасности полетов.

Показатель, характеризующий уровень безопасности полетов, обеспечиваемый Системой за период, может быть определен как

$$\Pi_B(t) = 1 - P_{\Pi}(t),$$

где $P_{II}(t) = \frac{\sum_{\kappa=1}^{N_u} \sum_{i=1}^m N_{II\kappa i}(t)}{N_{общ}(t)}$ - частота (оценка вероятности) возникновения летных происшествий и предпосылок к ним в Системе за рассматриваемый период; N_u - количество центров в Системе; $N_{общ}$ - общее количество полетов, обеспеченное Системой.

Средний налет на одно летное происшествие или предпосылку к нему для каждого центра за требуемый период или для всей Системы можно определить как:

$$T_{II\kappa}(t) = \frac{T_{нал\kappa}(t)}{\sum_{i=1}^m N_{II\kappa i}(t)}; T_{II}(t) = \frac{T_{нал}(t)}{\sum_{\kappa=1}^{N_u} \sum_{i=1}^m N_{II\kappa i}(t)},$$

где $T_{нал\kappa}(t)$ - общий налет в κ -м центре; $T_{нал}(t)$ - общий налет в Системе.

Для оценки уровня безопасности полетов в Системе за рассматриваемый период в каждом центре ежедневно необходимо вести учет следующих данных: $N_{II\kappa i}$, $N_{общ\kappa}$ и $T_{нал\kappa}$.

В настоящее время в нашей стране, по мнению экспертов, частота возникновения летных происшествий и предпосылок к ним за год примерно составляет $1,5 \cdot 10^{-5}$, а время налета на одно летное происшествие равняется $9,1 \cdot 10^6$ ч. Тогда $II_B(t)$ будет равняться $0,99 \div 0,999$.

Регулярность воздушного движения

Уровень регулярности воздушного движения определяется вероятностью возникновения задержек вылетов ВС по вине Системы.

Эти задержки могут возникать из-за введения режимных ограничений на ИВП, несвоевременного согласования условий полетов, перегрузки воздушного пространства, метеоусловий, отказов технических средств ЕС ОрВД и т.п.

Показатель, характеризующий уровень регулярности полетов, обеспечиваемый κ -м центром Системы за рассматриваемый период, может быть определен как

$$II_{\kappa}(t) = 1 - P_{\kappa}(t),$$

где $P_{\kappa}(t) = \frac{\sum_{i=1}^m N_{\kappa i}(t)}{N_{общ\kappa}(t)}$ - частота (оценка вероятности) возникновения задержек в κ -м центре за период; i - причина возникновения задержек; $N_{\kappa i}(t)$ - количество задержек в κ -м центре по i -й причине; $N_{общ\kappa}(t)$ - общее количество обеспеченных полетов в κ -м центре; m - число факторов (причин), влияющих на регулярность воздушного движения.

Показатель, характеризующий уровень регулярности полетов, обеспечиваемый Системой за период, может быть определен как

$$II_p(t) = 1 - P_p(t),$$

где $P_p(t) = \frac{\sum_{\kappa=1}^{N_u} \sum_{i=1}^m N_{\kappa i}(t)}{N_{общ}(t)}$ - частота (оценка вероятности) возникновения задержек в Системе за период; N_u - количество центров в Системе; $N_{общ}$ - общее количество полетов, обеспеченное Системой за рассматриваемый период.

Среднее время задержки для каждого центра за оцениваемый период или для всей Системы можно определить как:

$$T_{\text{зад}[\kappa]}(t) = \frac{\sum_{i=1}^m t_{\text{зад}i[\kappa]}(t)}{\sum_{i=1}^m N_{\text{з}i[\kappa]}(t)}; T_{\text{зад}} = \frac{\sum_{\kappa=1}^{N_y} \sum_{i=1}^m t_{\text{зад}i[\kappa]}(t)}{\sum_{\kappa=1}^{N_y} \sum_{i=1}^m N_{\text{зад}i[\kappa]}(t)},$$

где $\sum_{i=1}^m t_{\text{зад}i[\kappa]}(t)$ - общее время задержки в κ -м центре; $\sum_{\kappa=1}^{N_y} \sum_{i=1}^m t_{\text{зад}i[\kappa]}(t)$ - общее время задержки в Системе.

Для оценки уровня регулярности полетов в Системе в каждом центре ежедневно необходимо вести учет следующих данных:

$$N_{\text{з}i[\kappa]}, N_{\text{обш}[\kappa]} \text{ и } \sum_{i=1}^m t_{\text{зад}i[\kappa]}.$$

В настоящее время в Российской Федерации задержки при взлете ВС до 15 мин считаются допустимыми. По мнению экспертов, частота возникновения задержек выше указанного времени за год по причинам УВД составляют примерно $0,09 \div 0,095$. В развитых странах это время планируется сократить до 0,5 - 1 мин. Следовательно, $\Pi_P(t)$ будет равняться $0,905 \div 0,91$.

Экономичность воздушного движения

При решении задач ОрВД каждый обеспечиваемый полет имеет стоимостное выражение, складывающееся из затрат, необходимых для выполнения полета по заявленному маршрута на определенной высоте.

Уровень экономичности воздушного движения в κ -м центре за рассматриваемый период может быть определен как

$$\Pi_{\text{э}[\kappa]}(t) = 1 - \frac{\sum_i^n \Delta C_{i[\kappa]}^{\text{эш}}(t) + \sum_j^m \Delta C_{j[\kappa]}^{\text{марш}}(t)}{\sum_i^n C_{i[\kappa]}(t) + \sum_j^m C_{j[\kappa]}(t)} = 1 - \frac{\Pi_{[\kappa]}(t)}{C_{\Sigma[\kappa]}(t)},$$

где $\Delta C_{i[\kappa]}^{\text{эш}}(t) = \Delta \bar{C}_i^{\text{эш}} \cdot \Delta t_{\text{пол}i}$ - цена стоимости i -го полета ВС на измененном эшелоне; $\Delta \bar{C}_i^{\text{эш}}(t)$ - цена стоимости i -го полета ВС на измененном эшелоне в единицу времени; $\Delta t_{\text{пол}i}$ - время i -го полета ВС на измененном эшелоне; n - количество ВС, для которых был изменен эшелон полета; $\Delta C_{j[\kappa]}^{\text{марш}}(t) = \Delta L_j \cdot \Delta \bar{C}_j$ - цена изменения стоимости j -го полета ВС за счет увеличения протяженности маршрута полета; ΔL_j - увеличение протяженности j -го маршрута полета; $\Delta \bar{C}_j$ - стоимость единицы увеличения j -го маршрута полета; $C_i(C_j)$ - цена заявленного маршрута на запланированном эшелоне полета (если $i = j$, то $C_i = 0$ или $C_j = 0$); Π - суммарные экономические потери; C_{Σ} - планируемые экономические затраты.

Показатель, характеризующий уровень экономичности воздушного движения, обеспечиваемый Системой за рассматриваемый период, может быть определен как

$$\Pi_{\text{э}}(t) = \frac{\sum_{\kappa=1}^{N_y} \Pi_{\text{э}[\kappa]}(t)}{N_y},$$

где N_y - количество центров ЕС ОрВД.

Для оценки уровня экономичности воздушного движения за рассматриваемый период в каждом центре ежедневно необходимо вести учет следующих данных: $\Delta C_{i[\kappa]}^{\text{эш}}$, $\Delta C_{j[\kappa]}^{\text{марш}}$, $C_{i[\kappa]}$ и $C_{j[\kappa]}$.

В настоящее время трудно оценить фактическую экономичность воздушного движения, так как соответствующая статистика не ведется.

Расчеты и экспертная оценка показывают, что за год $\Pi_{\Sigma}(t)$ может равняться примерно $0,92 \div 0,925$.

Обеспечение обороноспособности

Единая система ОрВД имеет стратегическое значение для обеспечения национальной безопасности государства [3]. Мобилизационная подготовка и мероприятия, проводимые в центрах ЕС ОрВД в интересах обеспечения обороноспособности, должны организовываться и осуществляться на основе соответствующих нормативных документов Правительства Российской Федерации, Минтранса России и Минобороны России.

Определение уровня мобилизационной подготовки и степени реализуемости мобилизационного плана в центрах Системы может осуществляться на основе анализа выполнения следующих документов:

1. Положения о функционировании каждого центра Системы в период мобилизации и в военное время.
2. Мобилизационных планов, а также документов, определяющих боевую готовность каждого центра.
3. Планов подготовки личного состава центра при решении задач ИВП и ОрВД в период мобилизации и в военное время.
4. Уровня привлечения персонала центра на командно-штабные и лётно-тактические учения.
5. Планов формирования персонала центров Системы в особый период.
6. Порядка перевода центров Системы на организационно-штатную структуру военного времени.
7. Порядка приписки диспетчерского и инженерно-технического персонала в соответствии со штатным расписанием центров Системы на военное время.
8. Специальных программ и планов мобилизационной подготовки приписного состава.
9. Планов мероприятий, обеспечивающих живучесть центров и их технических средств в военное время.
10. Планов мероприятий, направленных на включение центров в систему управления соответствующих объединений ВВС и ПВО.

Оценку степени выполнения каждого из приведённых документов целесообразно производить по пятибалльной системе, а общий уровень мобилизационной подготовки и степень реализуемости мобилизационного плана целесообразно определять на основе суммарного их усреднения

$$n_{cp[k]} = \frac{\sum_{i=1}^{10} n_i}{10},$$

где $n_{cp[k]}$ - усреднённая оценка k -го центра; n_i - оценка i -го документа.

Нормированный уровень этого показателя для K -го центра определяется как

$$\Pi_{o[k]} = \frac{n_{cp[k]}}{5}.$$

Для всей Системы этот показатель можно получить из следующего выражения

$$\Pi_o = \frac{\sum_{k=1}^{N_u} \Pi_{o[k]}}{N_u},$$

где N_u - количество центров.

Кроме приведенных показателей, позволяющих оценить степень обеспечения национальной безопасности государства в части задач, решаемых ЕС ОрВД, могут использоваться показатели, которые опосредованно влияют на национальную безопасность, например показатели авиационной безопасности.

В настоящее время значение показателя обороноспособности Π_o в части мобилизационной подготовки и степень реализуемости мобилизационного плана в целом по Системе примерно равняется $0,81 \div 0,816$.

Оценка национальной безопасности при организации использования воздушного пространства

Из изложенного следует, что с учетом экспертных оценок и расчетов значений основных показателей $\Pi_B, \Pi_P, \Pi_\Sigma, \Pi_O$, характеризующих уровень национальной безопасности страны при решении задач организации ИВП, значение $\Pi_{НБ} = \Pi_B \cdot \Pi_P \cdot \Pi_\Sigma \cdot \Pi_O$ для существующей ЕС ОрВД определяется в диапазоне от 0,7 до 0,8.

Уровень обеспечения национальной безопасности при решении задач организации использования воздушного пространства государства во многом определяется степенью слаженности, согласованности взаимодействия и мобилизационной готовности органов Системы. Создание аэронавигационной системы России будет способствовать устранению имеющихся недостатков взаимодействия органов существующей ЕС ОрВД и повышению уровня национальной безопасности государства. Можно ожидать, что показатель $\Pi_{НБ}$ в результате реформирования ЕС ОрВД и перехода к Аэронавигационной системе России будет находиться в диапазоне от 0,9 до 0,95.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года: Указ Президента Российской Федерации от 12.05.2009 г. № 537 // Собр. законодательства Российской Федерации. – 2009. - № 20. - Ст. 2444.
2. Воздушный кодекс Российской Федерации: Федер. закон от 19.03.1997 г. № 60-ФЗ // Собр. законодательства Российской Федерации. – 1997. - № 12. - Ст. 1383; - 2012. - № 31. - Ст. 4318; - 2012. - № 53 (часть I). - Ст. 7585.
3. Положение о Единой системе организации воздушного движения Российской Федерации: Постановление Правительства Российской Федерации от 18.06.1998 г. № 605 // Собр. законодательства Российской Федерации. – 1998. - № 26. - Ст. 3077; - 2006. - № 52 (3 ч.). - Ст. 5587.

METHOD OF ESTIMATION NATIONAL SECURITY IN AIR SPACE USE MANAGEMENT

Baranovskiy A.M., Tyurin O.A.

The article presents the method of estimation of national security in air space use management, considering safety, economic and regularity of air traffic with respect to defensive capacity.

Keywords: air traffic management system, air space use management, safety, economy and regularity of air traffic, national security, defensive capacity.

Сведения об авторах

Барановский Андрей Михайлович, 1949 г.р., окончил Рижское ВВАИУ им. Я. Алксниса (1974), заслуженный работник транспорта РФ, ведущий инженер ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», автор более 40 научных работ, область научных интересов - совершенствование и развитие систем ИВП и УВД.

Тюрин Олег Александрович, 1933 г.р., окончил Киевское ВВИАУ ВВС (1956), кандидат технических наук, заслуженный работник транспорта РФ, ведущий научный сотрудник Филиала «НИИ Аэронавигация» ФГУП ГосНИИ ГА, автор более 140 научных работ, область научных интересов – совершенствование и развитие систем ИВП и УВД.

УДК 656.7.052

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВАРИАНТ РЕОРГАНИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА В МОСКОВСКОМ УЗЛОВОМ ДИСПЕТЧЕРСКОМ РАЙОНЕ*

Ю.Е. ГЛУХОВ, А.Е. КОНОВАЛОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Нечаевым Е.Е.

Предлагается вариант реорганизации структуры воздушного пространства московского узлового диспетчерского района с обоснованием повышения эффективности организации воздушного движения (ОВД).

Ключевые слова: структура, ограничения, конфликт, пропускная способность, круговое движение, квадратное эшелонирование, градиент, QNH, point merge, зональная навигация.

При наличии встречного движения на одинаковых длинах маршрутов вылета с нескольких аэродромов невозможно организовать независимые бесконфликтные вылеты, как, например, вылет из ВНК ВПП 24 на север через ДЕДУМ и вылет из ШРМ ВПП 25 на юг тоже через ДЕДУМ. Длины участков примерно равны и никакое расписывание ограничений по высотам SID (constrain) не обеспечит бесконфликтность при наличии хотя бы двух ВС вылетающих друг за другом с одного аэродрома на встречу другому. Получается эффект ножниц, разрешить который может только вмешательство диспетчера по осуществлению векторения или ввода ограничений по времени вылета. Второй способ более безопасный, но он требует высокого уровня взаимодействия диспетчеров аэродрома (СДП, ДПР) и МАДЦ (ДПК, ДПП) и при возрастающей интенсивности полетов будет сводить на нет прибыль авиакомпаний за счет экономии времени, и ввод процедур сокращенного эшелонирования на ВПП будет малоэффективным фактором повышения пропускной способности. Поэтому сейчас большая часть такого движения отдана на откуп векторению диспетчерами МАДЦ, что при постоянно возрастающем движении постоянно повышает риск ошибки в условиях перегрузки.

Очевидно, что решение данной угрозы заключается в реорганизации потоков и маршрутов вылета и прибытия МУДР. Тип решения таких конфликтов во многом зависит от матрицы конфигураций ВПП МУДР. Но анализ ветрового режима показывает, что чаще всего при работе ВПП 25 ШРМ во ВНК работает ВПП 24, а при работе ДМД ВПП 32, во ВНК работает ВПП 19. При организации кратчайших маршрутов вылета и/или прилета неизбежно будет существовать хотя бы несколько таких конфликтов. Альтернативный способ решения данной проблемы – чередование направлений вылета регулированием на этапе руления, но за последнее десятилетие по непонятным причинам это так и не вошло в технологию работы диспетчеров аэродрома.

Существенное ограничение по организации бесконфликтных или малоконфликтных маршрутов вносят существующие зоны ограничений и запретов внутри МУДР, организованные для обеспечения интересов всех пользователей воздушного пространства, исключить которые достаточно сложно.

Теоретически при существующих направлениях потоков в «коридорах» движение вокруг ЗЗО Москвы может быть малоконфликтным при организации преимущественно кругового движения против часовой стрелки. Но такая схема существенно загрузит Внуковские секторы за счет прилета в ДМД. А вылет из ВНК на запад и из ШРМ на восток будет загружать сразу все рабочие направления ДПП. К тому же стоит учитывать ограничения в работе ВНК, связанные с обеспечением литерных рейсов, и максимально исключать потоки над ним.

* Работа выполнена при материальной поддержке РФФИ (грант № 13-08-00182).

Изменение направления полета по кругу позволит реализовать малоконфликтное попутно-сходящееся движение по часовой стрелке только в случае реверсирования направления потоков в МУДР на западе, востоке, севере и части (внуковской) юга.

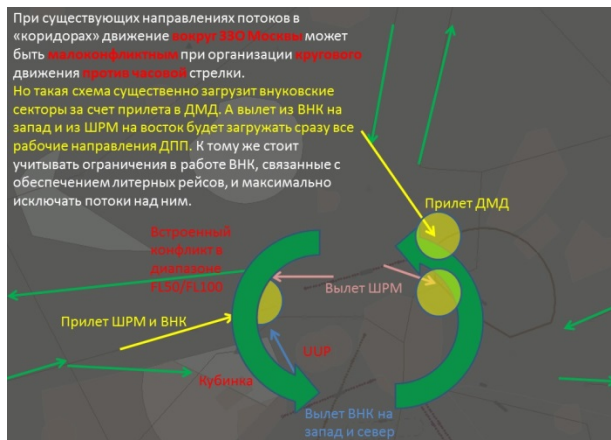


Рис. 1. Круговое движение вокруг Москвы против часовой стрелки



Рис. 2. Круговое движение вокруг Москвы по часовой стрелке

Невыполнение одного из этих условий создает расслаивание единого малоконфликтного движения на несколько слоев, при переходе между которыми придется решать дополнительные задачи по эшелонированию и согласованию, повышающие сложность ОВД.



Рис. 3. Квадрантное эшелонирование

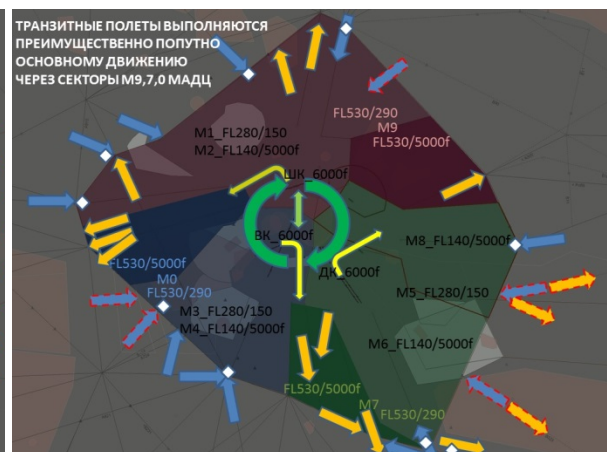


Рис. 4. Транзитные потоки в предлагаемом варианте

Вертикальное эшелонирование делит все эшелоны на четные и нечетные. И при пересечении более двух встречных потоков диспетчеру приходится постоянно решать дополнительные задачи по эшелонированию. Структура ВП МУДР при любой реорганизации потоков внутри будет иметь минимум два таких участка, заданных расположением ВТ в РДЦ.

Для упрощения и предсказуемости координации и взаимодействия между смежными секторами на рубежах в ТРД целесообразно описать высоты, которые необходимо запрашивать у смежного сектора согласно квадрантного эшелонирования на проблемных участках. При правильном анализе воздушной обстановки этот принцип позволит обеспечить бесконфликтные пересечения во всем воздушном пространстве МЗЦ. Это не запрещает использовать другие эшелоны этого же направления, но потребует дополнительного согласования у принимающего диспетчера с целью получения разрешения приема ВС на таких условиях. Таким образом, в зависимости от особенностей характеров диспетчеров одни будут отдавать предпочтение согла-

сованию при сокращении радиообмена с экипажами, когда другие, наоборот, будут выводить ВС на рубежи передачи на разрешенных по умолчанию эшелонах (высотах), экономя, таким образом, свою занятость в согласовании. Существенное влияние в выборе одного из типов работы будет оказывать наличие и занятость диспетчеров процедурного контроля. При этом распределение высот таким принципом по причинам безопасности полетов должно быть приоритетней ситуации, когда одному из секторов приходится всегда запрашивать любые эшелоны входа в следующий сектор при отсутствии альтернатив в случае проблем с согласованием условий (проблемы со связью или дефицит времени на согласование).

Ввод РДЦ над МУДР будет противоречить правилам вертикального эшелонирования по причине невозможности проэшелонировать на четные и нечетные эшелоны полета большое количество пересекающихся маршрутов, в то время как при диспетчерском обслуживании подхода (МУДР) это укладывается в рамки существующих правил. К тому же оперативное безголовое согласование условий приема/передачи в вертикальной плоскости «морганием» формуляров сопровождения не типично для Московского РДЦ, так как такие рубежи сейчас практически отсутствуют. Специфика работы в таких секторах РЦ над Москвой будет существенно отличаться от работы на других секторах РЦ, так как сейчас диспетчеры РЦ анализируют вход в свой сектор основного потока с географических границ и прогнозируют решение конфликтов в середине сектора, как правило, уже без переменного профиля полетов. А в случае входа в сектор в неопределенных точках по высоте они будут практически «ходить по минному полю» при выдаче разрешений, не зная наперед с большой вероятностью время, место, очередность и направление полета следующего ВС из вылетающих одновременно с нескольких основных аэродромов МУДР. Им придется привыкать работать по факту, как сейчас это делает МАДЦ. В противном случае, про занятие экономически выгодных эшелонов полета в пределах горизонтальных границ МУДР авиакомпаниям придется забыть. К слову, существующая секторизация МУДР позитивно оценивается многими специалистами из разных центров ОВД как раз за счет отсутствия РДЦ над Москвой. При этом анализ потоков в МЗЦ показывает, что вынос всех транзитных трасс за пределы МУДР создаст большое число дополнительных конфликтов, так как они попадают под расчетные положения для снижения ВС, следующих в Москву.

Сейчас ОВД в МЗЦ осуществляется на АС УВД «ТЕРКАС» при постоянном динамическом резервировании КСА УВД «Альфа». Симбиоз настолько глубок, что отдельно друг от друга эти две системы работать в полном объеме решаемых сегодня функций не могут. Но возможности АС УВД «ТЕРКАС» по повышению уровня автоматизации сильно ограничены технически, да и глубокий апгрейд 30 летней системы не рентабелен. Но при этом переход на новую систему без полноценного резервирования не безопасен. Поэтому необходимо на время обкатки новой систему использовать существующую в горячем резерве.

«ТЕРКАС» поддерживает только 13 пультов (секторов ОВД) для МУДР (9ДПП+4ДПК). Каждый пульт возможно переориентировать в рабочее место ДПП, ДПК с небольшими особенностями. Так БК (Быково-круг), аэродром обслуживания которого уже не существует и не загружается движением можно превратить в М0 (Москва-подход №10). Таким образом, получим $3ДПК = ШК + ВК + ДК$ и $10ДПП = М1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0$.

На пропускную способность диспетчера и соответствующего сектора влияет множество факторов. В их числе количество ВС одновременно на обслуживании и сложность анализа их взаимных положений (попутный/встречный/пересекающий) в зависимости от количества различных этапов полета (прибытие/отправление/транзит) и числа вмешательств диспетчера для парирования несовершенства элементов организации воздушного движения в секторе (встроенные конфликты в структуре воздушного пространства/планировании/процедурах).

Как бы не хотелось разделить воздух между отправлением и прибытием, не избежать всех пересечений. Их можно лишь перенести ближе или дальше от аэродромов и прописать ограничения (constrain) в таких точках по высотам (не ниже/не выше/равно). Анализ профилей набора высоты и снижения показывает, что в основном экипажи всех типов гражданских ВС при сни-

жени выдерживают градиент около 4,5%, что означает потерю 450 м (015FL) за каждые 10 км пройденного пути. Так на удалении 100 км экипаж будет на FL150, т.е. снижение с FL300 он будет начинать примерно за 200 км пути до аэродрома назначения. С отправлением ситуация показывает, что градиент набора сильно варьируется от типа ВС, а все экипажи стремятся как можно быстрее выйти из плотных слоев атмосферы для экономии топлива и времени. Так при минимальном градиенте набора 3,3% экипаж за 50 км пути займет 330 м*5=1650 м (FL55), при градиенте 6% 3050 м (FL100), при 10% (как правило, максимальный) – 4550 м (FL150). Очевидно, что можно гарантировать безопасность при максимальной эффективности полетов организацией пересечения маршрутов вылета и прилета за пределами максимальных и минимальных границ градиента. То есть, чем ближе пересечение к аэродрому, тем лучше.

В предлагаемой альтернативной структуре ВП модульные секторы M9, M7, M0 состоят из объема воздуха в направлении вылета между внешними границами РАЗУЗ и РДЦ на всех разрешенных эшелонах и объема воздуха слоя RVSM и выше. Таким образом, эшелонирование транзитного потока и отправляющихся ВС осуществляется преимущественно в одном секторе, при этом основные конфликты прилета с вылетом уже разрешены в предыдущем секторе. ДПК обеспечивают ВД согласно действующей ТРД при первоначальном наборе SID до 5000/6000 feet при высоте перехода QNH 10000 feet и эшелоне перехода TFL110/130. Секторы M2, 4, 6, 8 обеспечивают главным образом перевод давления, установление и поддержание очередности посадки на «свой» аэродром и эшелонирование потоков вылета от прибытия. M1, 3, 5 обеспечивают, помимо потоков на свои и смежные аэродромы, процедуры ожидания на более выгодных высотах.

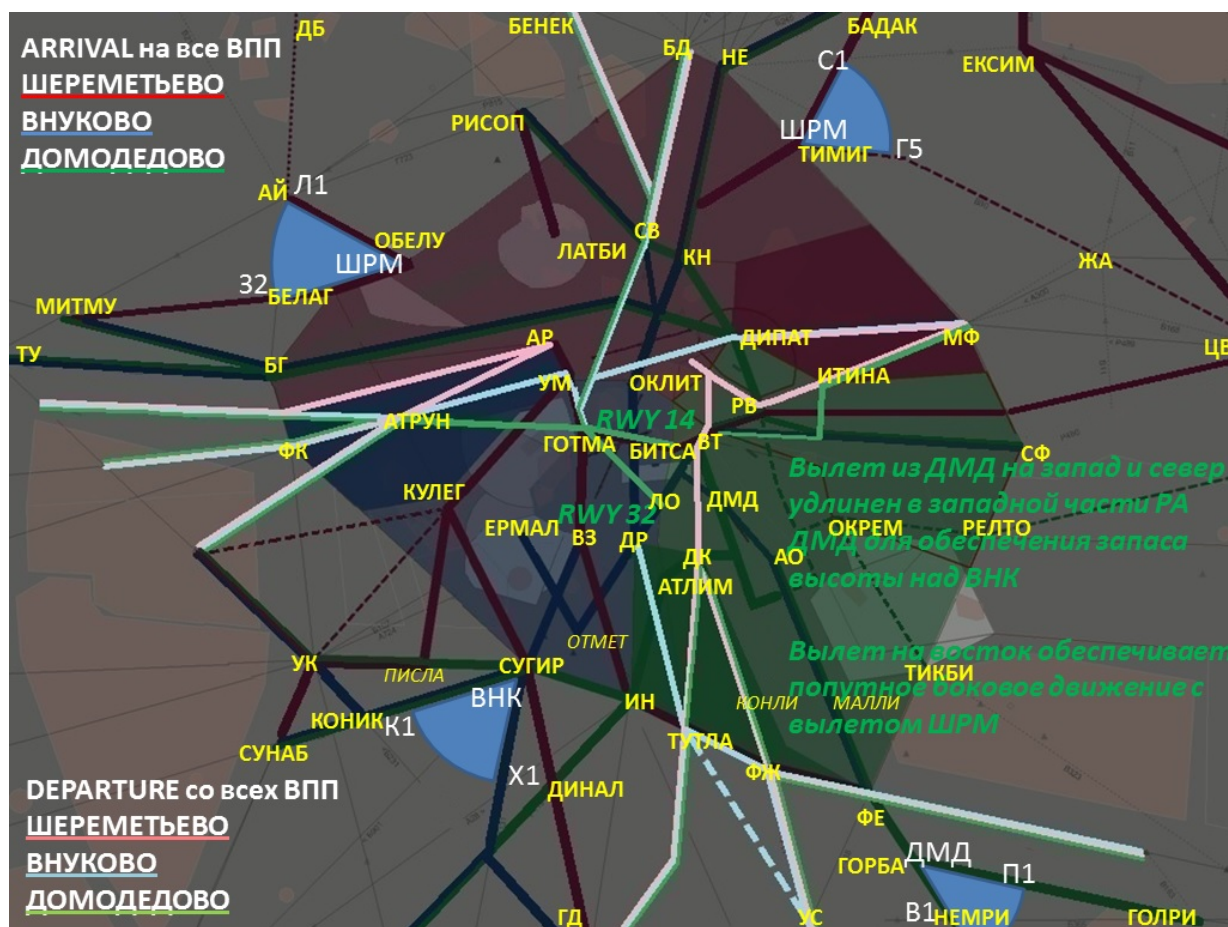


Рис. 5. Организация потоков прибытия и отправления через существующие точки с участками межсекторного слияния прибывающих потоков на веерах (point merge)

В существующей структуре воздушного пространства выстраивание потока в РЦ не выполняется в связи с тем, что несколько секторов РЦ одновременно выводят потоки на один маршрут прибытия одного и того же аэродрома. И даже если внутри каждого потока горизонтальные интервалы обеспечиваются, то при слиянии в едином потоке интервалы необходимо создавать заново. А при дефиците оставшегося времени полета до посадки управление скоростью не достаточно, что и приводит к векторению, которое, начавшись, распространяется на все ВС в потоке. Для синхронизации работы РЦ по построению прибывающих потоков предлагается установить вееры (POINT MERGE) на границах секторов. Таким образом, горизонтальная площадка на веере будет использоваться на рубежах ППУ, после чего возможна процедура CDO. Так же предлагается расположить точки начала STAR в секторах РДЦ на удалении около 50 км от МУДР на началах дуг вееров и организовать по 2 STAR (короткий и длинный) на каждую ВПП для своих (предписанных к сектору) аэродромов и 1 STAR для других (псевдогеографический принцип слияния процедурой «прямо на»). Например, для секторов РЦ «Киев» и «Харьков», граничащих с «Внуковскими» секторами МУДР, ВС, следующие во Внуково, будучи «своими» проходят через вееры (point merge), организуя основной доминантный (приоритетный) поток, в то время как со всех других направлений потоки будут рецессивно вклиниваться в него уже на секторах ДПП. Разница между STAR основного потока – только длина дуги веера. Диспетчер РДЦ сам назначает STAR для слияния потоков. С АДЦ согласовывается только горизонтальный интервал между ВС и диапазон эшелонов (в том числе для переменного профиля). Технология построения очередности захода строится на назначении в РЦ одного из двух (трех) видов STAR:

- S (straight-in) – приоритетный выстроенный географический поток (BELAG07S);
- M (merging) – использование дуги веера на РЦ для построения приоритетного географического потока (BELAG07M) (BY ATC);
- U (U-turn) – использование тромбона на ДПП только для вклинивания негеографического рецессивного потока (BELAG25U).

Преимущество такой кодировки в том, что диспетчеры последующих секторов будут знать, наблюдая в формуляре сопровождения назначенный STAR, выполняло ли ВС процедуру задержки при построении очередности (типа «М»), было ли спрямлено (типа «S») или требует вписывания в доминантный поток (типа «U»). Таким образом, соблюдение международного принципа «первый пришел, первый зашел на посадку» будет выполняться в большинстве случаев. Для обеспечения максимальной эффективности ИВП внутри МУДР от точек зон ожидания, входящих в длинный STAR (и других), могут назначаться (by ATC) новые короткие STAR типа S при малой интенсивности или типа U при смене направления работы ВПП. При организации участков маршрутов (зональной навигации) подавляющее большинство углов разворотов не более 90 градусов, что по требованиям ИКАО является контролируемым разворотом. В таких разворотах возможности бортовых навигационных систем максимально оправдывают расчетные (АС УВД) времена полета точек, что существенно сокращает количество вмешательств диспетчера при «размазывании» интервалов в разворотах более 120 градусов. Чем больше угол разворота, тем большее влияние на точность оказывает скорость самого ВС вместе с направлением и скоростью ветра. И при больших углах разворота (более 120 градусов) управление скоростью имеет обратный эффект по принципу - чем больше скорость, тем больше радиус разворота и, соответственно, длина траектории. То есть в обратных схемах захода на посадку по приборам в отличие от заходов по прямой увеличение интервала достигается увеличением скорости следующего позади ВС с последующим уменьшением скорости сразу после разворота на посадочный курс. Само собой, эта двойственность приводит к дополнительной загрузке диспетчера, и таких участков нужно максимально избегать, что легко выполнимо на маршрутах и схемах зональной навигации.

К вопросу о классификации воздушного пространства, существенных изменений можно избежать и максимально сохранить существующий вариант, экономя, таким образом, ресурсы на

изменение нормативных документов. Но оптимальным будет вариант наличия лишь одного класса воздушного пространства в каждом секторе диспетчерского обслуживания. Тогда экипажи будут всегда рассчитывать на конкретный вид обслуживания, обусловленный одним из классов воздушного пространства и четко представлять границы ответственности между собой и диспетчерами. И еще при установлении классов надо учитывать, что граница между классами не является преградой для разграничения полетов (как, например, искусственное увеличение границ класса «С» относительно «G» в плане на карте) и что ВС в любом случае залетит, куда запланировал. Но в этом случае двойная классификация только будет вносить дополнительные трудности для обслуживания по причине двойственности стандартов ответственности.

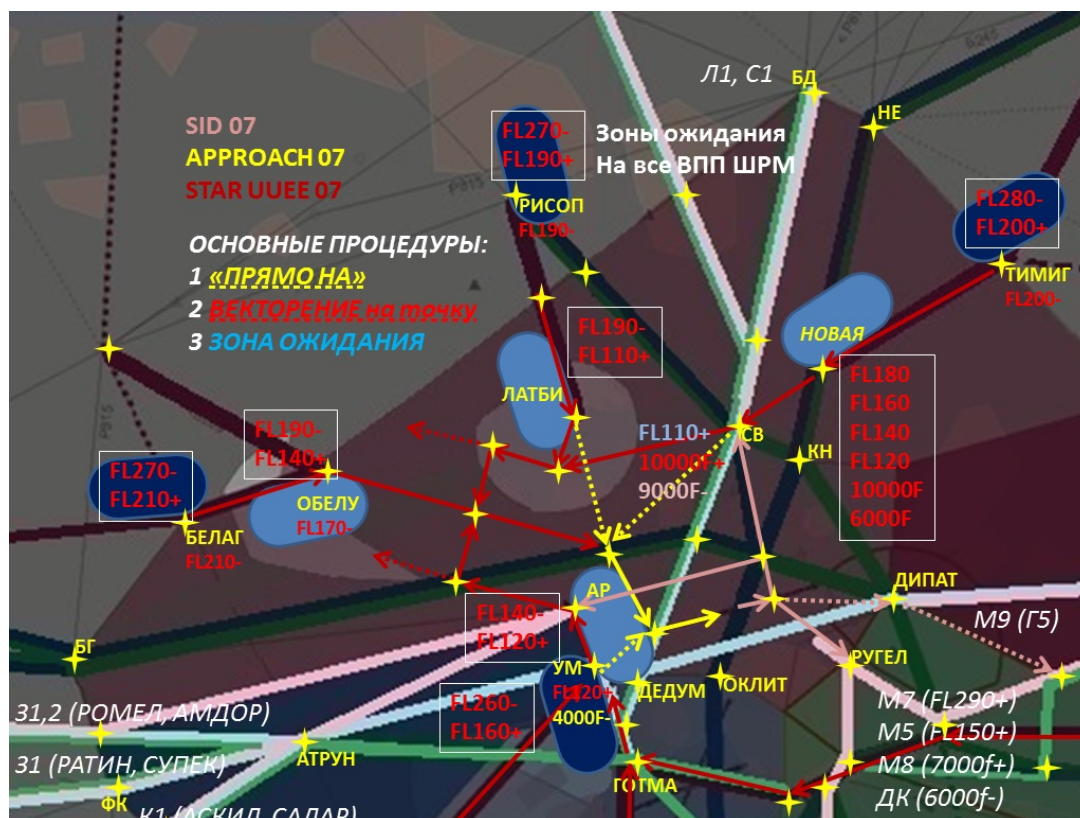


Рис. 6. Организация потоков прибытия и отправления Шереметьево на ВПП 07 с высотами и зонами ожидания

ЛИТЕРАТУРА

1. **Глухов Ю.Е., Бобина А.Д.** Повышение эффективности ОВД в МУДР // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2013. - № 198.
2. **Реутович Г.А.** Обслуживание воздушного движения: учеб. пособие. – М.: Институт аэронавигации, 2013.
3. Проведение независимой экспертизы (аудита) новой структуры воздушного пространства Московской зоны ЕС ОрВД: заключительный отчет № STA-18436.
4. Организация воздушного движения в Российской Федерации: Федеральные авиационные правила // Минтранс России. - 2011. - № 293.
5. Сборник аэронавигационной информации РФ и стран содружества независимых государств // Служба аэронавигационной информации. - 2013.

THE ALTERNATIVE VARIANT OF MOSCOW TERMINAL MANEUVERING AREA RESTRUCTURIZATION

Glukhov Yu.E., Kononov A.E.

The variant of Moscow TMA restructuration with ATM efficiency increasing justification is presented.

Keywords: structure, constrains, conflict, capacity, circular motion, quadrature spacing, gradient, QNH, point merge, RNAV.

Сведения об авторах

Глухов Юрий Евгеньевич, 1985 г.р., окончил СПбГУ ГА (2007), старший преподаватель кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, авиадиспетчер 1-го класса МЦ АУВД (МАДЦ), автор 3 научных работ, область научных интересов – организация системы ОВД, разработка принципов и внедрение новых технологических процедур в области взаимодействия между экипажами ВС и диспетчерами с помощью новейших автоматизированных систем.

Коновалов Александр Евгеньевич, 1970 г.р., окончил ОЛАГА (1992), старший преподаватель кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, старший диспетчер МАДЦ филиала МЦ АУВД ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», область научных интересов – организация системы ОВД, организация потоков воздушного движения.

УДК 656.7.052

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ НОВОЙ СТРУКТУРЫ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА МОСКОВСКОЙ ВОЗДУШНОЙ ЗОНЫ

Н.И. ДИВАК

Статья представлена доктором технических наук, профессором Нечаевым Е.Е.

Рассматриваются вопросы построения новой структуры воздушного пространства московской воздушной зоны (МВЗ), выявляются главные «слабые места» имеющейся структуры, анализируются способы решения данных вопросов в крупных аэропортах Европы, и на основе этого предлагаются некоторые методы решения.

Ключевые слова: новая структура, зоны ожидания, веер и тромбон, увеличение пропускной способности.

Введение

Постоянный и стабильный рост числа обслуженных воздушных судов в основных московских аэропортах, а также увеличение транзитных потоков через московскую воздушную зону (МВЗ) привел к проблеме загруженности воздушного пространства над московским регионом. Естественной реакцией правительства на это стало решение о разработке новой структуры воздушного пространства (НСВП) Московской зоны ЕС ОрВД [1]. Данная структура должна отвечать всем современным требованиям международной авиации, отраженным в концепции ICAO CNS/ATM. НСВП должна: обеспечить пропускную способность, учитывающую дальнейший рост воздушного движения в МВЗ; отвечать всем современным нормам безопасности при УВД (быть максимально бесконфликтной); дать возможность снизить нагрузку на диспетчеров Московского центра АУВД.

Анализ зарубежного опыта

Для оценки увеличения пропускной способности возьмём для примера аэропорты Лондона. Такой выбор не случаен: во-первых, в Лондоне, так же как и в Москве, имеется несколько близко расположенных аэропортов, при этом не располагающих большим количеством взлетно-посадочных полос (ВПП); во-вторых, пропускная способность аэропорта Хитроу, к примеру, в среднем составляет 1300 воздушных судов (ВС) ежедневно [2]. Для сравнения в конце августа 2014 г. аэродром Домодедово обслуживал порядка 950 самолетов в сутки, но при этом сектора МВЗ испытывали загрузку, близкую к предельной. Поэтому можно сказать, что, для того чтобы приблизиться к показателям эффективности крупнейших аэропортов мира, нужна простая, но эффективная структура воздушного пространства. В дальнейшем на имеющуюся секторизацию воздушного пространства накладывается технология работы диспетчеров, которая позволит работать авиадиспетчерам без значительного увеличения нагрузки при постоянном росте интенсивности воздушного движения. Во всем этом вспомогательным механизмом должна выступать современная АСУВД, которая в автоматическом режиме будет избавлять диспетчера от решения таких, например, вопросов, как определить очередность ВС, находящихся еще в зоне контроля, какую скорость выдать ВС, какую схему захода RNAV выдать для того или иного ВС и т.п.

Схемы прилета и вылета аэропорта Хитроу и близлежащих к нему аэропортов Гатвик, Лутон, Стэнстэд и Сити построены следующим способом.

Основной приоритет в движении, что касается прилета, отдается воздушным судам, следующим в Хитроу. В радиусе двадцати миль от контрольной точки аэродрома (КТА) имеется 4 ПОДа, на которые сходятся все маршруты прибытия (STAR) и из которых начинаются схемы

начального захода на посадку (Initial approach routes): BOVINGDON, LAMBOURNE, BIGGIN и OCKHAM (рис. 1).

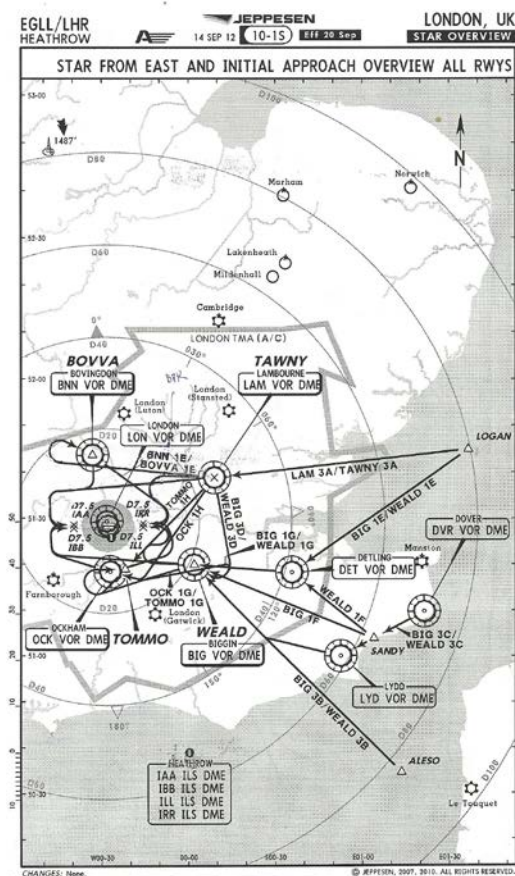


Рис. 1

Над каждой из этих точек организована зона ожидания. Воздушные суда, находящиеся в этих зонах, занимают эшелоны от 70 и выше в зависимости от загруженности. Маршруты вылета (SID) разведены со схемами начального подхода географически, и конечные точки SID удалены от аэродрома на расстояние от 25 до 60 миль, при этом вылетающее судно следует на эшелоне 60, если диспетчер не разрешил дальнейший набор высоты. Таким образом, столь длительный полет на низком эшелоне официально опубликован в картах, и командир ВС уже не сможет предъявлять претензии по поводу большого расхода топлива. Стоит отметить, что по достижению конечных точек выхода из SID экипаж ВС получает разрешение на бесступенчатый набор сразу подписанного эшелона. Очередь из прилетающих ВС выстраивается в четырех зонах ожидания, расположенных близко к аэродрому. Так же хотелось бы отметить наличие на схемах захода так называемых "точек ограничения скорости" (Speed Limit Point), расположенных за 3 мин. до входа в зону ожидания. Поэтому все ВС, находящиеся в зоне ожидания, имеют одинаковую скорость (250 узлов или менее, по указанию диспетчера УВД) и такими ВС легче управлять и создавать оптимальные интервалы для захода на посадку.

Таким образом, решена проблема пересекающихся маршрутов прилета и вылета (такая проблема имеется во всех аэропортах, вылет из которых не построен по географическому принципу); в местах пересечения маршрутов прилета и вылета ВС разведены между собой по высоте, что опубликовано на картах. На более удаленном расстоянии маршруты ВС уже не пересекаются. В имеющийся на данный момент МВЗ принцип очень похожий. Имеются прилетные и вылетные маршруты (бывшие коридоры), разведенные боковым интервалом, имеются зоны

ожидания над точками, из которых строятся STAR, по высоте же самолеты расходятся только по указаниям диспетчера - жестких высот на картах SID и STAR не обозначено.

Почему же похожая структура не работает в должном объеме в МВЗ и не выдает такую же высокую пропускную способность?

Определение основных проблем и методы их решения

Во-первых, московские аэропорты не имеют такого количеством рейсов, как крупнейшие хабы Европы и мира. Имеющаяся структура воздушного пространства может обеспечить некоторый рост интенсивности воздушного движения без снижения уровня безопасности. Но для этого необходимо правильное планирование потоков, что будет обеспечивать равномерное распределения полетов по времени и секторам.

Во-вторых, зоны ожидания, имеющиеся на маршрутах прибытия, расположены не очень удачно и не дают возможности в полной мере использовать их в часы интенсивного воздушного движения. Со слов пилотов российских авиакомпаний, регулярно совершающих рейсы в аэропорт Хитроу, выполнение одной или нескольких зон ожидания при прилете - процедура неизбежная. С учётом высокой интенсивности движения такие зоны ожидания становятся крайне полезными для выстраивания очередности на посадку. В нашей же ситуации, на некоторых маршрутах прибытия попросту зон ожидания нет, поэтому диспетчеру для выстраивания очередности на посадку необходимо прибегать к векторению. А, как известно, каждое ВС, подвергающееся векторению, требует от авиадиспетчера постоянного контроля, что увеличивает фактическую загруженность диспетчера более чем в два раза.

Неудобное расположения зон ожидания заключается в том, что точки, над которыми они организованы, могут являться конечными точками SID для ВС, вылетающих из других аэродромов. Возьмем, к примеру, точку UM (Ивановское). Над ней имеется зона ожидания, опубликованная на картах АИП, для прибывающих ВС, в основном следующих в Шереметьево. Кроме этого, эта же точка является и конечной точкой SID для ВС, следующих из Внуково в западном направлении. При этом на картах не опубликованы высоты пролета этой точки, поэтому приоритет между вылетающими или прилетающими бортами определяется исключительно диспетчером.

В дополнении к этому, точка UM расположена близко к запретной зоне UUP 63, что делает вероятным возможность проникновения в запретную зону ВС, выполняющих зону ожидания на большой скорости (напомню, что ограничения по скорости для прибывающих ВС весьма размыты).

В-третьих, использование воздушного пространства с целью построения новых схем SID и STAR в МВЗ сильно ограничено из-за наличия множества запретных зон и зон ограничений. К примеру, при заходе на полосы 27R/L в Хитроу самолеты пролетают над центром Лондона на высоте 3000 футов. Упразднение некоторых запретных зон и зон ограничений, либо заметное снижение их вертикальных границ позволит разработать разведенные схемы прилета и вылета для каждого курса ВПП.

НСВП еще не разработана до конца, а уже возник вопрос переподготовки персонала. Понимается, что каждый действующий диспетчер должен пройти стажировку на новый сектор и получить допуск. И только после этого может выполняться полноценный переход на новую структуру. Учитывая ограниченные возможности тренажерного центра МЦ АУВД, на такую переподготовку может уйти от восьми месяцев до года. Если же имеющаяся секторизация не будет изменена, или будет изменена малозначительно, то процесс переподготовки персонала можно свести к минимуму или сделать переход к новой структуре безболезненным для ежедневного УВД.

Метод зональной навигации (RNAV - area navigation) позволяет сделать дополнительные зоны ожидания в любой точке пространства. Устроив зоны ожидания в стороне от вылетных маршрутов, получим возможность давать вылетающим ВС бесступенчатый набор, а так же ставить в зону ожидания большое количество прибывающих ВС. В районе аэродромов Шереметьево и До-

моделью целесообразно будет сделать 2 зоны ожидания, а в районе аэродрома Внуково - одну.

Данное решение позволит объединить разрозненные потоки, следующие с разных ПОДов РЦ, но не даст реальной возможности выстроить очередность на посадку с минимально-необходимыми интервалами (все-таки следует учитывать, что на данный момент московские аэродромы не обеспечивают регулярную высокую интенсивность). Для решения этой проблемы для Домодедово и Шереметьево можно на схемах захода на посадку выстроить так называемый "веер" для посадки ВС, находящихся в двух зонах ожидания. Для Внуково такой метод не приемлем, так как зона Внуковского района заметно меньше двух ранее упомянутых. В этом случае эффективнее будет использовать "тромбон". Примером использования "тромбона" служит построение захода на посадку во Франкфурте (рис. 2).

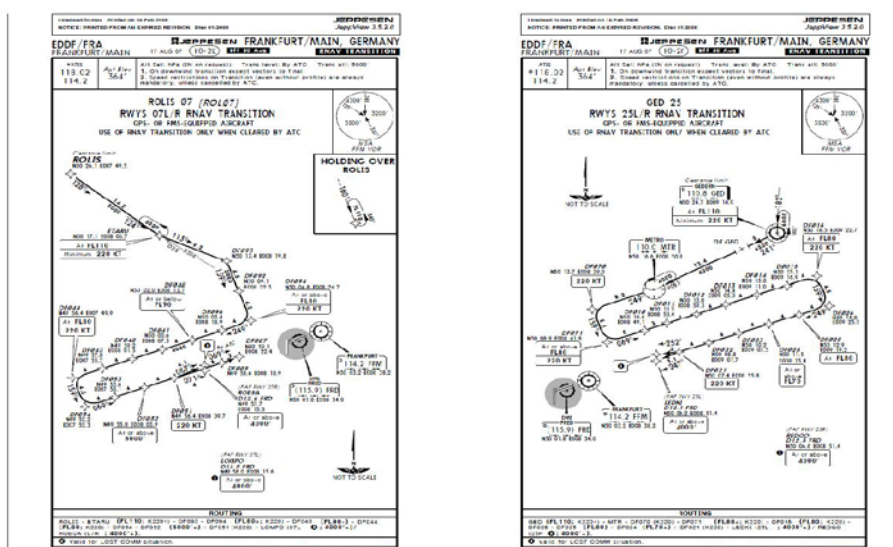


Рис. 2

Для эффективного использования структуры такого типа необходимо на картах АИП прописать высоты по схемам SID и STAR и ограничения скорости, а так же прописать в технологии работы все нюансы управления в каждом секторе. Системы АСУВД должны иметь возможность "подсказать" какую схему выдать ВС, какую рекомендовать поступательную скорость, и в какую минуту разрешить ВС выход из зоны ожидания.

Заключение

Представляется, что данный подход наиболее подходящий в данный конкретный момент и для конкретных условий именно московской зоны. Он позволит значительно уменьшить время на переучивание персонала, так как сама зона останется, по сути, прежней. За счет введения новых маршрутных элементов и новых методов управления в зонах ожидания можно будет значительно увеличить пропускную способность секторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. План мероприятий по переходу от существующей к новой структуре воздушного пространства Московской зоны ЕС ОрВД: утв. Минтранс России от 19.03.2012 г.
2. Аэропорт Хитроу. [Электронный ресурс]. URL: http://www.tonkosti.ru/Аэропорт_Хитроу.
3. Сборники Аэронавигационной информации Jeppesen "EGLL/LHR" и "EDDF/FRA".
4. Сборники Аэронавигационной информации АИП.

ON THE DEVELOPMENT OF A NEW STRUCTURE OF MOSCOW AREA AIRSPACE

Divak N.I.

Issues of construction of a new airspace structure of the Moscow air zone are also dealt with, the main "weak points" of existing structures, are displayed the ways of solution of these issues in the major airports in Europe are analyzed, and on this basis propose some methods for the solution are proposed.

Keywords: new structure, the holding area, "veer" and "trombone", an increase in capacity.

Сведения об авторе

Дивак Никита Игоревич, 1989 г.р., окончил МГТУ ГА (2011), аспирант МГТУ ГА, авиадиспетчер МЦ АУВД, автор 2 научных работ, область научных интересов – технологическое развитие систем гражданской авиации, организация системы УВД.

УДК 167

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ: НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИИ ПОНЯТИЯ

О.Д. ГАРАНИНА, Т.В. НАУМОВА

Рассматривается содержание понятия «экологическая безопасность». Дана характеристика онтологического, методологического, аксиологического и антропологического аспектов понятия «безопасность». Экологическая безопасность рассмотрена как условие сохранения гомеостазиса системы «общество-природная среда». Раскрыта внутренняя противоречивость соотношения экологической безопасности и опасности.

Ключевые слова: безопасность, экологическая безопасность, экологическая опасность, гомеостазис системы, предотвращение природных угроз.

Глобальность экологической опасности обусловлена тем, что она включила в сферу своего функционирования не только здоровье людей, разрушая сложившиеся природные экосистемы, но и политические и экономические структуры, заставляя человечество прилагать значительные усилия для сохранения зыбкого равновесия в отношениях общества и природы. Именно в связи с экологизацией глобальных угроз человеческому сообществу в научной и философской литературе сегодня активно обсуждается вопрос о необходимости создания теории безопасности, имеющей всеобщий характер и объясняющей природу рисковенных факторов в разных областях жизнедеятельности людей [1, с. 51-74; 3, с. 4-5]. Методологической основой разработки подходов к решению этой проблемы в науке и философии является концептуализация понятия безопасности, которое следует рассматривать как родовое для понятия «экологическая безопасность». В то же время, несмотря на безусловный интерес к совокупности вопросов, связанных с исследованием безопасности в разных сферах научного знания, можно констатировать, что дефинирование этих понятий не закончено. Ученые отмечают, что «для исследования проблем безопасности не предложено соответствующего научного аппарата, кроме классической теории надежности и её ответвления в виде ВАБ (вероятностный анализ безопасности)» [2, с. 17]. Логический образ понятия «безопасность» многолик, она определяется и как свойство системы, и как состояние системы, как совокупность условий и как совокупность мероприятий. Конечно, такая вариативность толкования указанного термина оправдана стремлением выявить его глубинную сущность, найти основополагания, опираясь на которые можно выйти на характеристику безопасности в любых сферах – от социогуманитарной до геологической. В современной литературе понятие безопасности связывается с гомеостазисом системы, вследствие чего безопасность определяется как «характеристика целостности системы или показатель гомеостазиса; она описывает способность системы поддерживать своё нормальное функционирование в условиях внешних и внутренних воздействий» [1, с. 51].

Говоря о безопасности в логико-гносеологическом ракурсе, необходимо, прежде всего, иметь в виду всеобщность, универсальность, т.е. философский характер этого термина, поскольку он может быть использован для характеристики взаимоотношений и ситуативного описания любых объектов действительности – от неживых систем до психических явлений. Кроме того, содержание понятия «безопасность» может рассматриваться в разных аспектах, наиболее значимыми из которых, по нашему мнению, являются онтологический, методологический, аксиологический и антропологический. С онтологической точки зрения безопасность рассматривается как необходимая основа существования объекта, фундируя его стабильность и устойчивое функционирование. Методологическое значение этого понятия определяется его регулятивно-обобщающей ролью в исследовании специальных видов безопасности (социальной, биологической, экологической, авиационной, медицинской,

политической, военной и т.д.). В аксиологическом аспекте безопасность рассматривается как ценность, целевой функцией которой является сохранение бытия, существования объекта в определенных параметрах. Наконец, антропологический аспект безопасности выражает ее синкретическую связь с человеком, ориентированность на сохранение жизни, здоровья, работоспособности субъекта, вне чего сама постановка проблемы безопасности утрачивает смысл. Учитывая выдвинутые положения, подчеркнем, что философский анализ понятия экологической безопасности опирается, во-первых, на указанные аспекты родового понятия безопасности, во вторых, учитывает противоречивое единство социальных и природных компонентов в системе «общество-окружающая природная среда», в-третьих, включает в себя методологию системно-синергетического подхода, предполагающего учитывать стохастичность и нелинейность развития указанной системы. Следует также иметь в виду то, что исследование экологической безопасности с необходимостью должно осуществляться в контексте философии устойчивого развития общества.

Экологическая безопасность в своем изначальном наиболее общем смысловом значении характеризует отношения внутри социоэкосистемы, которая может рассматриваться как внутренне противоречивое единство социального и природного. Согласно данному дискурсу структура социоэкосистемы может быть представлена как взаимодействие двух подсистем. Одну подсистему составляют социальные компоненты, обеспечивающие жизнедеятельность общества (сюда включаются информационно-коммуникационные сети, производственно-промышленные комплексы и демографические процессы), вторая подсистема (назовем ее природно-ресурсной) образована компонентами природной среды, включенными в это жизнеобеспечение. На современном этапе цивилизационного развития жизнедеятельность общества поддерживается в основном за счет активного использования функционирования информационно-коммуникативных сетей, однако значимость функционирования технических (производственно-промышленных) систем не нивелировалась, причем это функционирование возможно только постольку, поскольку существуют поглощаемые этими системами природные компоненты.

Интенсивное развитие и модернизация как способ существования современных технических систем, обеспечивающих жизнедеятельность общества, не только не отрицает участие природных компонентов в производственном процессе, напротив, это участие активизируется, в результате чего все более обостряется проблема снижения негативных последствий техногенного воздействия на природную среду, что составляет важнейшую сторону более общей проблемы экологической безопасности. Вместе с тем в современной философской и экологической литературе, по нашему мнению, содержание понятия экологической безопасности неоправданно сужается, из него выхолащивается гуманистический момент. Объясним это, на первый взгляд, странное суждение. В имеющихся определениях экологической безопасности на первый план, как правило, выдвигается выше обозначенная проблема негативного антропогенного и техногенного влияния на природную среду, но в тени остается проблема спасения, защиты человека от природы, то, что в литературе называется проблемой выживания человека в природе. Именно эта проблема породила размышления о природной среде, испорченной влиянием человеческой деятельности, о природе, в которой человек не может нормально дышать, питаться, быть здоровым. Преобразуя природу, создавая сложные технические конструкции, люди нередко забывают об ограниченности своих социальных и психофизиологических возможностей, воплощенных в созданные ими образцы техники и налагающих определенные границы обеспечению безопасности функционирующего субъекта. Безопасность не может быть безграничной, она всегда существует в определенном пространстве человеческих параметров. Методологически важно выяснить границы этого пространства, выявить те его характеристики, которые выступают основой возникновения опасности или, наоборот, детерминируют ее отсутствие при воздействии человека на природную среду. В настоящее время, в эпоху экспансии технических инноваций, вопрос о

биологической, психологической, социально-профессиональной и иной ограниченности человека, его трудностях в овладении техническим прогрессом, в создании социально-конструктивной базы технической деятельности в новых условиях волнует и ученых, и общественность [5, с. 24]. Человек изменяет окружающую природную среду, не зная, как она ответит на это изменение. Именно эта проблема стала основанием для возникновения «экологического пессимизма» как парадигмы деятельности Римского клуба. Одновременно был утрачен изначальный смысл понятия экологической безопасности. Утвердилось мнение, что экологическая безопасность связана, прежде всего, с сохранностью окружающей природной среды, с элиминированием факторов, разрушающих природную среду как место обитания общества. Представляется, что возможно ввести в научный оборот более широкое понимание этой категории, а именно, рассматривать экологическую безопасность как состояние устойчивого равновесия (гомеостазиса) социальной и природной подсистем в социозкосистеме. Естественно, что это равновесие обеспечивается определенными условиями или факторами, влияние которых имеет стохастический характер и объясняется принципами синергетики. Главное, что надо принимать во внимание, это то, что экологическая безопасность отнюдь не сводится к функционированию только социальных объектов, ее важнейшей составляющей является функционирование объектов природной среды.

Исходя из сказанного, содержание понятия «экологическая безопасность», по нашему мнению, можно рассматривать в двух аспектах. В рамках первого аспекта основное внимание уделяется процессам воздействия природных факторов на жизнедеятельность общества, в частности, на функционирование технических систем. В этом случае надо иметь в виду, что, с одной стороны, функционирование технических систем осуществляется в определенных природных условиях, которые могут оказывать разрушающее воздействие на механизмы, т.е. технические системы подвергаются вредному влиянию природной среды. Например, на надежность авиационной техники активно влияют такие природные факторы, как температура и влажность воздуха, атмосферные осадки и т.п. Безопасность полетов в большой степени определяется влиянием метеорологических факторов, которые затрудняют возможность выполнения полета или делают его практически невозможным. При взлете, заходе на посадку и приземлении самолетов в настоящее время из метеорологических явлений главную опасность представляют ограниченная видимость при низкой высоте облаков, в туманах, ливнях, снегопадах, а также сильная турбулентность и порывы ветра. Естественно, что метеорологические службы аэропортов не могут учесть все изменения погоды, следствием чего является возникновение непредсказуемых (случайных) объективных природных предпосылок к летным происшествиям. Кроме того, технические системы могут функционировать только в процессе потребления природного вещества и энергии, которые не всегда обеспечивают безотказную работу механизмов. Здесь же можно упомянуть о негативном влиянии многих природных условий на здоровье человека (активность Солнца, аллергическое воздействие растений, резкие колебания температур и др.). Природная среда сопротивляется человеку, все более отрывающемуся от природы, она в определенном смысле отчуждает его от себя, лишая биологически лояльной среды обитания.

Второй аспект содержания понятия «экологическая безопасность» разворачивается в следующем контексте. Технические системы, будучи по определению чужеродными живой природе, внеприродными компонентами, во-первых, сужают своим существованием пространство живого, во-вторых, вступая во взаимодействие с живым, занимают по отношению к нему доминирующие позиции и подвергают живое угнетению. Это насилие над природой активизирует ее агрессивность по отношению к человеку. Можно поставить вопрос – может ли человек прекратить свое вмешательство в природную среду, остановить экспансию техногенного мира? В рамках концепции глобального эволюционизма ответ на этот вопрос может быть только отрицательным. Эволюционирующая природа породила человека, организованного в социальную систему не для того, чтобы разрушить самое себя, а для того,

чтобы развиваться, выйти на новый виток существования. Если человек мнит себя выше природы, чем-то стоящим вне единого эволюционного потока, природа грозит ему, увеличивая количество рисков, в преодолении которых совершенствуется антропогенный мир.

Рассмотренные аспекты экологической безопасности образуют своеобразный замкнутый круг, который и составляет содержание этого понятия. В границах указанного круга понятие экологической безопасности непосредственно связано с понятием экологической опасности, суть которой составляют условия (факторы), вызывающие нарушение состояния равновесия, стабильности в социозкосистеме. Согласимся с мнением Г.И. Ванюрихина, утверждающего, что «неорганическому миру присуща энтропийная тенденция или тенденция распада; человек своим трудом вносит соответствующую организацию в окружающий мир, и эта негэнтропийная деятельность порождает противодействие, в том числе – в виде опасных природных и техногенных явлений и катастроф» [1, с. 51-52]. Таким образом, опасность и безопасность предполагают друг друга, взаимовлияют (обратим внимание, что это взаимовлияние имеет обратно пропорциональный характер). Единство экологической безопасности и опасности можно представить в виде молекулы ДНК, состоящей из двух цепочек, спирально закрученных одна относительно другой таким образом, что они представляют зеркальное отображение друг друга. Там, где возникает опасность разрушения одного из элементов этой цепи, активизируется формирование структур, замещающих этот элемент в случае его утраты, в результате чего сохраняется стабильность системы, ее устойчивое функционирование. Проблема в данном случае заключается в том, чтобы определить возможные ситуации экологической опасности, рассчитать экологические риски.

В социозкосистеме антропогенное опасное воздействие на природу (экологические риски антропогенного характера) уравнивается разработкой различных мероприятий по восстановлению ресурсов, включенных в жизненный цикл социума. Эта линия (аспект) экологической безопасности находится под контролем общества. Гораздо хуже дело обстоит с регулированием природных воздействий на жизнедеятельность людей (экологические риски природного характера). Природа с древнейших времен до настоящего времени остается стихией, перед которой человек испытывает страх. Казалось бы, развитие научных знаний и технологий должно было обеспечить возрастание защищенности общества от природных опасностей. Однако статистика утверждает обратное: число пострадавших от природных явлений увеличивается ежегодно примерно на 6%. Ученые объясняют этот факт быстрым ростом населения и высокой концентрацией людей в городах, изменением окружающей среды, способствующей интенсификации опасных природных процессов, коммуникационным и технологическим разобщением многих стран мира. В последнее время отмечается опасная тенденция увеличения числа природных катастроф. Сейчас они происходят в 5 раз чаще, чем 30 лет назад, а экономический ущерб, наносимый ими, возрос в 8 раз. Год от года растет число жертв от последствий ЧС. По данным ООН только за последние 20 лет на нашей планете стихия унесла более 3 млн. человеческих жизней. Около 1 млн. жителей на Земле за этот период испытали последствия стихийных бедствий [4]. Данная ситуация обусловила то, что произошла переориентация международного сообщества в природоохранной сфере с деятельности по ликвидации последствий природных катастроф на их прогнозирование и предотвращение. Это связано с тем, что необратимый рост числа катастрофических событий в мире, вызванных природной стихией, и связанного с ними ущерба делает усилия по ликвидации последствий этих событий, организации спасательных работ и оказанию помощи пострадавшим все менее эффективными. Например, во всех странах, кроме Казахстана, для возмещения экономического ущерба, нанесенного крупным катастрофическим событием с частотой повторяемости в 200 лет, потребуются средства, превышающие ежегодные бюджетные ассигнования приблизительно в 100-200 раз. Но даже самый крупный из всех, бюджетный фонд Казахстана на ликвидацию чрезвычайных ситуаций, может покрыть лишь около 50% ущерба от

землетрясения с периодом повторяемости в 200 лет [6]. Следовательно, основная тяжесть по ликвидации стихийных бедствий ложится на пострадавшие страны.

Размышления о содержании понятия экологической безопасности, таким образом, ведут к логическому антропоориентированному выводу о том, что человек в своем природном жилище должен учитывать не только то, как рационально использовать природные средства для комфортизации своей жизни, но и то, как уберечься от природной стихии, избежать ее разрушающего губительного воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ванюрихин Г.И.** Управление обществом: проблемы обеспечения стратегической стабильности и безопасности в условиях глобализации // Социальная безопасность: методология политического анализа. - М.: Профиздат, 2009. - С. 41-86.
2. **Гипич Г.Н., Евдокимов В.Г., Куклев Е.А., Шапкин В.С.** Риски и безопасность авиационных систем. - М.: ФГУП ГосНИИГА, 2013.
3. **Наумова Т.В.** Риск как предмет философского анализа (экологические аспекты). - М.: Институт МИРБИС, 2012.
4. Опасные природные явления // Биофайл. [Электронный ресурс]. URL: <http://biofile.ru/geo/3758.html> (дата обращения: 23.08.2014 г.).
5. **Гаранина О.Д., Усик И.В.** Антропологические ограничения безопасности техники // Научные Ведомости БелГУ, серия Философия, социология. Право. - 2009. - № 10(65). - С. 25-33.
6. Кто заплатит по счетам природных катастроф? [Электронный ресурс]. URL: http://www.prevention-web.net/files/11742_FinRiskrus.pdf (дата обращения: 20.08. 2014 г.).

ENVIRONMENTAL SAFETY: SOME ASPECTS OF THE CONCEPT CONCEPTUALIZATION

Garanina O.D., Naumova T.V.

The content of the concept of "environmental security" is considered. The characteristic of the ontological, methodological, axiological and anthropological aspects of the concept of security is described. Environmental safety is considered as a condition for the preservation of homeostasis "society, the natural environment." Internal inconsistency ratio of environmental safety and danger are disclosed.

Keywords: safety, environmental safety, environmental risk, homeostasis system, the prevention of natural hazards.

Сведения об авторах

Гаранина Ольга Денисовна, окончила МГУ им. М.В. Ломоносова (1973), доктор философских наук, почетный работник науки и техники РФ, действительный член Международной Академии информатизации, действительный член Российской Академии естествознания, действительный член Европейской Академии естествознания, профессор кафедры гуманитарных и социально-политических наук МГТУ ГА, автор более 160 научных работ, область научных интересов – социальная философия, философская антропология, философия науки и техники, социология управления.

Наумова Татьяна Владимировна, окончила МИИГА (1988), кандидат философских наук, доцент кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, автор более 70 научных работ, область научных интересов – философия науки и техники, экологические аспекты проблемы безопасности, методология исследования экологических рисков.

УДК 167

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕДУРЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

Т.В. НАУМОВА

Статья представлена доктором философских наук, профессором Гараниной О.Д.

Рассматривается риск как социальный феномен в историко-философской ретроспективе. Анализируются методики управления рисками, утвержденные в отечественных и международных стандартах в области риск-менеджмента. Выявляются недостатки действующих процедур и предлагаются рекомендации по их оптимизации. Акцентируется внимание на значимости философской рефлексии междисциплинарных подходов к проблеме обеспечения безопасности.

Ключевые слова: риск-менеджмент, стандарты в области управления рисками, идентификация риска, оценка риска, минимизация риска.

Социальные трансформации, наметившиеся с середины 70-х гг. прошлого века, связанные с переходом от индустриализма и модерна к постиндустриализму и постмодерну, потребовали осмысления происходящих общественных изменений и оценки перспектив дальнейшего развития. Выводы, оформившиеся в новые социологические теории как западных специалистов: Э. Дюркгейма, Д. Белла, У. Бека, Дж. Ритцера, М. Дугласа, Н. Лумана, Э. Гидденса, так и отечественных, наиболее яркие из которых: О.Н. Яницкий, Ю.А. Зубок, В.В. Радаев, А.В. Мозговая и др., составили базу постклассической парадигмы концепции риска. Она существенно отличается от классического подхода позднего средневековья (Н. Макиавелли, Дж. Милль, А. Смит, Т. Гоббс, Н.У. Сениор, Р. Кантильон и др.) с его объективизмом, устойчивыми причинно-следственными связями, линейным характером закономерностей и нивелированием роли субъекта в любой его деятельности. Постклассическая концепция, опираясь на теоретическое наследие неклассических теорий, развивает идею о человеке как активном участнике действий, от решения которого зависит исход события. Классическая парадигма позволяет изучать корреляции между социальными фактами, выявляя те из них, которые способствуют производству рисков; неклассическая методология привнесла релятивистское понимание рисков, позволяющее учесть роль объективных и субъективных, рациональных и иррациональных, преднамеренных и непреднамеренных факторов производства рисков; постклассическая методология ориентирована на изучение самоорганизующихся систем, предполагает отрицание линейного детерминизма и введение недетерминированной, непредсказуемой случайности. Актуальными в науке становятся такие синергетические категории, как стохастичность, неравновесность, нелинейность [3, с. 67-71]. Постклассическая методология формирует новое мировоззрение, связанное с исследованием неустойчивости как центральной характеристики эволюционных трансформаций, становлением порядка через хаос, бифуркационных процессов, самоорганизации.

Следует отметить, что риск как социальный феномен и в классических, и в неклассических (М. Хайдеггер, Ф. Найт, А. Тойнби, Дж. Кейнс, А. Маршалл и др.), и постклассических концепциях рассматривался скорее как явление негативное, своеобразная дань прогрессу. За исключением периода господства мифологического сознания в античности и раннем средневековье с его предопределенностью хода любых событий и судьбы человека фатумом, практически всегда источником и объектом риска выступал сам человек. Возрастающее число различных угроз вследствие роста концентрации производства, износа технической инфраструктуры, опасных природных явлений, террористических вызовов, глобальных преобразований экономической, политической, социальной и культурной структур современных обществ, а также растущий ущерб от негативных событий – все это делает современные риски имманентным свойством

социогенеза, условиями его становления, функционирования и социальной трансформации. «Парадоксом модернизации» называет О.Н. Яницкий современные риски в своей концепции «общества всеобщего риска» [4]. Российское общество он рассматривает как рискогенное, в котором теряется позитивное соотношение производства благ и производства рисков. Актуальность рискологических исследований обусловлена пространственно-временной спецификой риска: его тотальным (т.е. всеобщим) и потенциальным (т.е. скрытым) характером. Кроме этого, риски перманентны, т.е. постоянны по содержанию и стохастичны по характеру проявления. Проблема обеспечения безопасности перешла в сферу анализа рисков и последующего принятия решений.

Практика выявления факторов риска, оценка вероятности неблагоприятного хода событий и возможных потерь, разработка и реализация мер снижения влияния рисков на конечные цели деятельности до адекватных значений получили название управления рисками. Управление рисками позволяет в ситуации неопределенности сделать обоснованный выбор альтернативы и оценить последствия такого выбора. Задачей управления рисками является контроль, предотвращение или сокращение гибели людей, снижение заболеваемости, снижение ущерба, урона имуществу и логически вытекающих потерь, а также предотвращение неблагоприятного воздействия на окружающую среду [5]. Как специфический вид деятельности управление рисками изначально стало использоваться в страховании. Первые попытки управлять рисками применительно к техническим системам можно отнести к концу XIX в., однако началом активного становления данной методологии следует считать середину прошлого века. Как следствие индустриализации резко возросли производственные, экономические, инвестиционные и прочие риски, и остро потребовались научно обоснованные механизмы поддержания на требуемом уровне, например, выполнения запланированных объемов выпуска продукции, надежности промышленного оборудования, здоровья персонала, не говоря уже о показателях аварийности. К концу XX в. точка зрения об универсальном характере данной методологии окончательно утвердилась, что обеспечило ее быстрое развитие и распространение. Базовые положения методологии стали оформляться в виде многочисленных, часто узкопрофильных, методик. Один из подходов, используемых в мировой практике для формирования единого понимания цели, применяемой терминологии, организационной структуры и непосредственно процесса управления рисками, - стандартизация в области риск-менеджмента. На смену эпизодичности, фрагментарности и ограниченности применения методов 80-90-х гг., используемых иногда интуитивно, стали формироваться модели управления рисками, отличающиеся комплексностью, интегрированностью, непрерывностью (CAN/CSA-Q850-97, JIS Q 2001:2001, ONR 49000, AS/NZS 4360:2004 и др.).

Риск-менеджмент как технология управления переживает в России период своего становления. Представленные в действующих стандартах подходы к организации процесса управления рисками носят внеотраслевой характер, а сама процедура является сложной и многоуровневой, включающей ряд этапов [6; 7]:

- определение контекста или установление ситуации. Специфическое значение данного этапа - формирование информационной основы для всей системы управления риском. Следует учитывать, что действия в рамках данного этапа представляют собой непрерывный процесс сбора и обработки данных, поскольку в результате реализации последующих этапов управления рисками информация о них может дополняться и уточняться;
- оценка риска, включающая его идентификацию, анализ и оценивание. Идентификация рисков позволяет установить пространственные, временные и иные характеристики конкретной опасности, взаимосвязи и соотношения отдельных рисков, их общие причины. По результатам проведения этого этапа должны быть сформированы реестры (или базы данных) рисков, содержащие описание всех идентифицированных рисков и документированные решения, принятые по результатам их оценки и рассмотрения. Результаты идентификации анализируются с исполь-

зованием качественных (например, классификационная матрица) и количественных методов для выяснения причин и источников неопределенности и риска, их положительных и отрицательных последствий. Риск анализируют посредством определения последствий и вероятности их возникновения, как правило, в координатах «степень вероятности ↔ степень ущерба». Наиболее вероятные события с высоким потенциальным ущербом подлежат первоочередной последующей оценке. Оценивание риска включает сравнение уровня риска, выявленного в процессе анализа, с критериями риска, установленными при рассмотрении контекста. На основании этого сравнения определяется необходимость обработки риска;

- обработка риска - выбор одного или нескольких вариантов изменения рисков и применение этих вариантов. Обработка рисков включает в себя анализ необходимых ответных мер и снижение уровней рисков до приемлемых значений.

В отечественной практике управления рисками используются международные стандарты (например, ISO 31000:2009) или их российские аналоги (ГОСТ Р ИСО 31000-2010) не всегда в полной мере, в частности, из-за отсутствия необходимых массивов статистических данных или несогласованности с российским законодательством. В этих условиях особую важность приобретает проблематика адаптированных к современным российским условиям стандартов. Разработка стандарта управления рисками, учитывающего особенности хозяйственной деятельности отечественных предприятий, который включил бы в себя общепринятые термины и понятия, лучшие мировые образцы управления рисками и одновременно служил бы инструментом накопления, передачи знаний и опыта - задача ближайшего будущего.

На наш взгляд, целесообразно первый этап процедуры управления рисками назвать выявлением рисков, поскольку заключается он в получении качественной информации о возможных рисках и их последствиях путем установления потенциальных источников причинения ущерба и проведения полного анализа всех вероятных ситуаций, характерных для рассматриваемого вида деятельности. На этом этапе детально характеризуются все факторы риска, которыми могут являться любые явления, процессы, предметы, объекты и т.д., порождающие неопределенность. Рискообразующие факторы принято соотносить с видами рисков. Например, выделяют внутренние факторы, возникающие в процессе функционирования системы, деятельности предприятия, и внешние факторы, существующие вне субъекта риска. Объективными считаются факторы, на которые исследуемая система (предприятие, компания, технический объект, человек и т.д.) не может оказывать воздействие; субъективные факторы поддаются регулированию, и следовательно, своевременное воздействие на них может значительно снизить собственноручно уровень риска. Следует отметить, что существует ряд рискообразующих факторов, оказывающих воздействие, причем иногда взаимоисключающее, на динамику сразу нескольких видов рисков. Такие факторы принято называть интегральными. Рассматривают также *нейтивные* рискообразующие факторы, воздействующие только на конкретный вид риска.

Представление о рискообразующих факторах как условиях прямого воздействия на конкретные виды рисков в настоящее время расширено допущением о возможности диалектического перехода самого риска в категорию рискообразующего фактора. Эта идея требует дополнительной разработки представления о рискообразующих факторах как о факторах прямого, так и опосредованного воздействия. Отдельные виды рисков являются производными десятков, а то и сотен факторов [2, с. 114-115].

На этапе идентификации выявленные опасности необходимо систематизировать, т.е. для достижения поставленных целей выявленные риски причисляют к конкретным группам по определенным типологическим признакам. Такими признаками могут быть, скажем, местоположение источника опасности относительно рассматриваемого объекта (внешние, внутренние риски); цель (мотивированный и немотивированный); результат (оправданный и неоправданный), субъекты риска (индивидуальный и коллективный); степень значимости (пренебрежимый, приемлемый, критический, недопустимый) и т.д. Следует отметить, что к настоящему

времени разработаны и утверждены самые разнообразные классификации рисков. Однако многочисленность имеющихся классификаций, несогласованность употребляемого в них понятийного аппарата, когда одним и тем же термином в разных классификациях обозначаются совершенно разные виды рисков, снижают эффективность риск-менеджмента. Некоторые нормативно закреплённые отраслевые классификации никак не сопряжены с нормативно закреплёнными методиками управления рисками, не учитывают возможные комбинации рисков с учетом синергетических и других эффектов, степени вероятности самого риска или его последствий. Созданные в процессе идентификации реестры отличаются специфичностью и субъективизмом. В этих условиях актуализируется задача научно обоснованной проработки и систематизации имеющейся базы с ее последующим дополнением.

Пожалуй, одним из наиболее проблемных следует считать этап оценки риска. Оценить – значит измерить, представить риск в количественных показателях и сравнить с установленными допустимыми критериями. Большинство утвержденных методик основаны на общих подходах, косвенных методах, шаблонных оценках, повышающих погрешность расчетов. Применяемые сегодня методы (*value-at-risk*, *stress-testing*, HAZOR, имитационное моделирование по методу Монте Карло, экспертные оценки по методу Делфи, построение логических диаграмм – деревьев событий и др.) не всегда могут дать удовлетворяющие по своему уровню достоверности результаты. В некотором смысле это компромиссные результаты. Субъективное восприятие неопределенности, различное понимание степени риска у экспертов и лиц, принимающих решения, может повлечь нерациональные решения по распределению затрат на обеспечение безопасности. Целостную картину общественного риска в аспекте воздействия на социум событий самого разного характера может дать только философский подход, который важен еще и потому, что успешное управление риском на отдельных уровнях возможно, когда в обществе сформулирована общая мировоззренческая позиция по проблеме обеспечения безопасности, общее понимание основополагающих ценностей [1, с. 40-749]. В целом методология количественной оценки риска изначально разрабатывалась для сложных технических систем, в частности, ядерной энергетики. Позднее, приобретя междисциплинарный характер, она нашла применение в других областях деятельности. Однако ее практическое использование и построение на ее основе методик затруднено, поскольку нуждается в усилении научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности по накоплению массива данных о вероятности тех или иных событий, методам алгоритмизации описания сложных технических систем, природных событий, социальных процессов и т.д.

Наконец, этап обработки рисков, цель которого не столько устранить риски, сколько уменьшить до адекватных, допустимых значений, логично обозначить как минимизация рисков. Вопрос об адекватности, допустимости, приемлемости – отдельная тема. В содержании понятия «приемлемый риск» находим в наиболее полной мере соотношение объективного и субъективного. Восприятие опасностей в значительной степени субъективно: редкие события с большим числом одновременных жертв воспринимаются обществом острее, нежели частые одиночные трагедии. Следует отметить, что при минимизации рисков имеются разнообразные и эффективные механизмы по их предупреждению, диверсификации, снижению величины. Выбор наиболее приемлемого метода или совокупности методов – это стремление достичь поставленной цели в условиях бюджетного дефицита, повышение уровня безопасности всегда сопровождается ростом материальных и финансовых затрат. Сочетание активной стратегии в отношении наиболее значимых рисков и пассивной (для менее значимых) – особенность процедур данного этапа. Именно на этой стадии управления рисками реализуются частные управленческие и технические решения, оцениваются критерии эффективности их выполнения.

На наш взгляд, процедура управления рисками не должна ограничиваться вышеизложенными этапами. Целесообразно ввести в методику этап прогнозирования рисков, предшествующий этапу выявления. Это бы расширило горизонт наших знаний о перспективных опасностях и позволило бы превентивно исключить появление некоторых из них. Поскольку современное

общество - и источник, и потребитель новых рисков, рискогенность среды обитания динамична, необходимы механизмы адаптации социума к новым условиям существования. Этап адаптации возможен после минимизации рисков. Идея некомфортности жизненного пространства, катастрофичности не должна становиться доминирующей в общественном сознании. Недопустима и противоположная крайность – привыкание, апатия и игнорирование, и как следствие, неадекватные уровни приемлемости обществом угроз. Несмотря на многочисленные модели управления рисками, проблема степени достоверности результата оценки рисков, а соответственно, и эффективности принимаемых решений, остается. Интегративный характер философского знания позволяет обобщить теоретико-методологические междисциплинарные подходы и выработать новые методологические установки и инновационные стратегические направления оптимизации методологии управления рисками с приложением естественных, общественных, гуманитарных и технических наук.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Наумова Т.В.** Проблемные аспекты исследования рисков в природопреобразующей деятельности субъекта // В мире научных открытий: материалы III МНПК «Социально-гуманитарные проблемы современности человека, общество, культура». - Красноярск, 2014.
2. **Наумова Т.В.** Риск как предмет философского анализа (экологические аспекты): монография. - М.: Институт МИРБИС, 2012.
3. **Наумова Т.В.** Риски глобального общества: движение к новой методологической парадигме // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2014. - №203.
4. **Яницкий О.Н.** Россия как «общество риска»: контуры теории // Россия: трансформирующееся общество / под ред. В.А. Ядова. - М.: Изд-во «КАНОН-пресс-Ц», 2001.
5. **ГОСТ Р 51901.1-2002.** Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем.
6. **ГОСТ Р 52806-2007.** Менеджмент рисков проектов. Общие положения.
7. **ISO 31000:2009.** Менеджмент риска. Принципы и руководящие указания.

METHODOLOGICAL BASES OF OPTIMIZATION OF THE RISK MANAGEMENT PROCEDURE

Naumova T.V.

The article considers risk as a social phenomenon in historical and philosophical perspective, analyses the risk management principles approved by national and international standards in the field of risk management. It also identifies weaknesses in existing procedures and provide recommendations for their optimization. The author focuses on the importance of philosophical reflection interdisciplinary approaches to the problem of security.

Keywords: risk management, standards in the field of risk management, risk identification, risk assessment, risk minimization.

Сведения об авторе

Наумова Татьяна Владимировна, окончила МИИГА (1988), кандидат философских наук, доцент кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, автор более 70 научных работ, область научных интересов - экологические аспекты проблемы безопасности, методология исследования экологических рисков.

УДК 621.396

ВЛИЯНИЕ ЯВЛЕНИЯ ОДНОВРЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ВЫЗОВОВ НА РАБОТУ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Д.В. КОЛЯДОВ, А.В. ПРОХОРОВ

В статье проводится анализ функционирования системы коммутации речевой связи в условиях возможного наличия одновременной передачи вызовов воздушных судов. Рассматриваются алгоритмы работы приемного устройства радиостанции ОВЧ диапазона и системы коммутации речевой связи в указанных условиях.

Ключевые слова: одновременная передача сигналов, выбор лучшего сигнала, система коммутации речевой связи.

В системах коммутации речевой связи [3; 6], которые являются основным элементом систем управления воздушным движением (УВД), для организации речевой связи применяется метод амплитудной модуляции сигналов. Этот метод обеспечивает полудуплексный режим передачи и предполагает доступ к каналу связи только одного передающего устройства. Тем не менее каналы связи могут быть доступны нескольким пользователям, например, экипажам различных воздушных судов и диспетчеру управления воздушным движением. Поскольку не существует алгоритма исключения возможности одновременного доступа к каналу связи, то может возникнуть ситуация, когда радиостанции системы УВД будут одновременно передавать радиосигналы.

В соответствии с документом Еurocae ED-136 [1] случай необнаружения одновременной передачи сигналов определяется как ситуация, при которой два или более передаваемых сигналов перекрываются таким образом, что диспетчер УВД (а также и экипаж воздушного судна) не знает о наличии более чем одного передаваемого сигнала. Такая ситуация несет в себе потенциальную угрозу безопасности полетов воздушных судов.

Для оценки влияния явления одновременной передачи на безопасность полетов воздушных судов необходимо провести анализ функционирования приемного устройства радиостанции ОВЧ диапазона при обнаружении двух и более одновременных передач, а также рассмотреть возможности системы коммутации речевой связи с точки зрения оповещения диспетчера УВД о возникновении такой ситуации.

Сценарии функционирования системы коммутации речевой связи

В первую очередь рассмотрим источники возникновения явления одновременной передачи вызовов. Приемное устройство 2 (рис. 1) демодулирует сигналы двух воздушных судов, которые случайным образом передаются в одно и то же время. В случае если разница уровней мощностей принимаемых сигналов составляет менее 10 ... 12 дБ, то оба речевых сигнала будут искажены, и (или) будет наблюдаться эффект биения частоты. Чем меньше указанная разница между двумя сигналами, тем больше будет искажение речевого сигнала, и диспетчер УВД сможет обнаружить, что происходит одновременный прием двух передач. Если же разница уровней мощностей принимаемых сигналов составляет более 10 ... 12 дБ, то более слабый речевой сигнал не будет более различим, а более сильный сигнал будет неискаженным. В последнем случае диспетчер УВД не сможет обнаружить передачу второго (более слабого) сигнала.

Другим параметром, который влияет на возможность обнаруживать одновременную передачу, является длительность передачи. В некоторых случаях диспетчер УВД может обнаруживать одновременную передачу двух сигналов, даже если один из сигналов является слабым, но обладает большей длительностью по сравнению с более сильным сигналом. Кроме того, обнаружение диспетчером одновременной передачи зависит также от параметров речевого сигнала (уровня шума, эффективности модуляции).

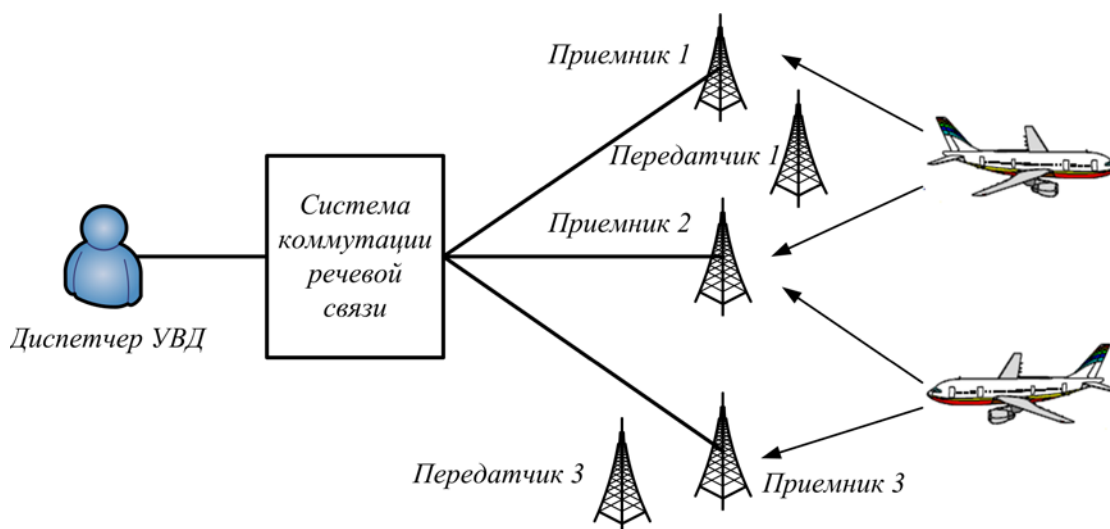


Рис. 1. К пояснению явления одновременной передачи вызова

Явление одновременной передачи может возникать также между различными передатчиками и при различной конфигурации приемника. Можно отметить следующие случаи [2]:

1. Один наземный приемник и два одновременных вызова с воздушных судов. Этот случай является стандартным для обнаружения одновременной передачи.

2. Два наземных приемника с функцией выбора лучшего сигнала и два одновременных вызова воздушных судов. В некоторых случаях используются несколько наземных приемников, работающих на одной частоте, для того чтобы улучшить качество принимаемого сигнала. При этом система коммутации речевой связи осуществляет выбор лучшего (с точки зрения уровня сигнала) приемника на основе специального алгоритма обработки сигналов и подключает диспетчера УВД только к такому приемнику.

3. Два приемника принимают оба одновременных вызова воздушных судов. В оптимальном случае оба наземных приемника обнаруживают явление одновременной передачи. В зависимости от того, для какого приемника в системе коммутации речевой связи реализована функция выбора лучшего сигнала, возможные события обнаружения одновременной передачи не пропускаются.

4. Только один приемник принимает оба одновременных вызова воздушных судов. В некоторых случаях при различном местоположении приемников только один из приемников принимает одновременные вызовы воздушных судов. При этом в зависимости от алгоритма выбора лучшего сигнала система коммутации речевой связи может выбрать приемник с одним вызовом воздушного судна. Таким образом, предупреждение о наличии одновременных вызовов не будет направлено диспетчеру.

5. Каждый приемник принимает только один из двух одновременных вызовов воздушных судов. В некоторых случаях при различном местоположении приемников два одновременных вызова воздушных судов принимаются различными приемниками. Обнаружение одновременной передачи в наземном приемнике невозможно.

6. Один приемник, один вызов воздушного судна и одновременная передача вызова диспетчера. Кроме перечисленных случаев, могут иметь место конфликтные ситуации между вызовами диспетчера и экипажа воздушного судна. Такой случай может быть достаточно сложным, так как сигнал наземной передающей радиостанции намного больше, чем сигнал от воздушного судна. Таким образом, вызов воздушного судна оказывается скрытым и диспетчер не будет осведомлен о наличии одновременной передачи.

7. Одновременные вызовы от воздушных судов в перекрестном режиме. Несмотря на то, что оба воздушных судна используют различные частоты, этот случай соответствует наличию

эффекта одновременной передачи, но он не может быть обнаружен приемником. Такой вариант является комбинацией рассмотренных выше случаев. Обнаружение этой ситуации затруднительно или требует участия системы коммутации речевой связи.

Необходимо отметить, что варианты 3, 4, 5 являются, по существу, частными случаями варианта 2.

Алгоритм обнаружения одновременной передачи

Основной принцип алгоритма обнаружения одновременной передачи заключается в поиске в канале связи наличия несущих частот сигнала двухполосной амплитудной модуляции. В случае наличия одновременных передач в канале могут быть обнаружены более чем одна несущие.

При приеме полезного сигнала приемник производит постоянную выборку принимаемого сигнала и преобразует сигнал по частоте. Затем приемник осуществляет поиск несущей частоты сигнала при отстройке ± 1 кГц от несущей частоты канала. Алгоритм обработки сигнала позволяет оценивать результаты после каждого цикла поиска, минимизируя величину ложной тревоги. При выборе критерия принятия решения об обнаружении были приняты во внимание результаты испытаний [1].

Алгоритм обнаружения одновременных передач основан на анализе некоторых характеристик радиосигнала, принимаемого приемником. В то же время он является результатом учета теоретических ограничений, условий распространения и технических возможностей устройства обработки сигналов радиостанции.

В идеальном случае алгоритм обработки речевого сигнала позволяет обнаружить несколько одновременных передач при коэффициенте взаимного влияния сигналов 35 дБ с вероятностью, близкой к единице. Этот случай также не учитывает влияние белого шума. В реальности функционирование системы УВД зависит от большого числа факторов, влияющих на работу устройства обнаружения. Среди таких факторов можно отметить побочные излучения, паразитную фазовую модуляцию, взаимную модуляцию, фазовый шум передающего устройства и др. Кроме того, на вероятность обнаружения и ложной тревоги оказывают влияние меняющиеся условия распространения сигналов, многолучевое распространение, а также помехи от соседних радиостанций.

Таким образом, можно выделить два основных фактора, оказывающих влияние на работу алгоритма обнаружения одновременных передач:

- коэффициент взаимного влияния (представляет собой разницу уровней мощности между двумя несущими сигнала одновременной передачи);
- разница частот между двумя несущими сигнала одновременной передачи.

Величина коэффициента взаимного влияния в значительной степени оказывает влияние на параметр ложной тревоги, а значение разницы частот – на величину вероятности обнаружения.

Теоретическим ограничением для значения коэффициента взаимного влияния для рассматриваемого алгоритма является величина 35 дБ, однако она не учитывает особенности реальной обстановки, в которой функционируют системы УВД. С учетом рекомендаций, приведенных в документах ИКАО [4], результатов экспериментальных исследований [1] и обеспечения баланса между приведенными выше двумя факторами максимальное значение величины коэффициента взаимного влияния может быть выбрано в пределах от 5 дБ до 20 дБ. Это позволяет обеспечить адаптацию алгоритма обнаружения к условиям, в которых функционирует приемное устройство. При значениях этого параметра больших, чем 20 дБ, увеличивается вероятность ложной тревоги ввиду паразитных эффектов и наличия помех от соседних радиостанций.

Минимальное значение величины коэффициента взаимного влияния определяется порогом срабатывания устройства подавления шума.

Для того чтобы обнаружить наличие двух одновременных вызовов воздушных судов, максимальная девиация частоты между двумя несущими должна быть менее 1 кГц [5]. Сдвиг ча-

стоты между двумя несущими может быть связан как с нестабильностью генератора, так и (или) с влиянием эффекта Доплера при перемещении воздушного судна. Принимая во внимание, что стабильность частоты для наземных радиостанций составляет величину порядка 1×10^{-6} , для бортовых радиостанций 5×10^{-6} , доплеровский сдвиг частоты менее ± 138 Гц, максимальное значение девиации частоты сигнала, принимаемого от воздушного судна, составляет 818 Гц. Минимальное значение девиации частоты определяется из условия “наблюдения” двух несущих для их обнаружения (т.е. несущие составляющие должны быть разнесены на минимальное значение частоты) и составляет 30 Гц.

Характеристика для алгоритма обнаружения одновременной передачи в приемнике изображена на рис. 2.

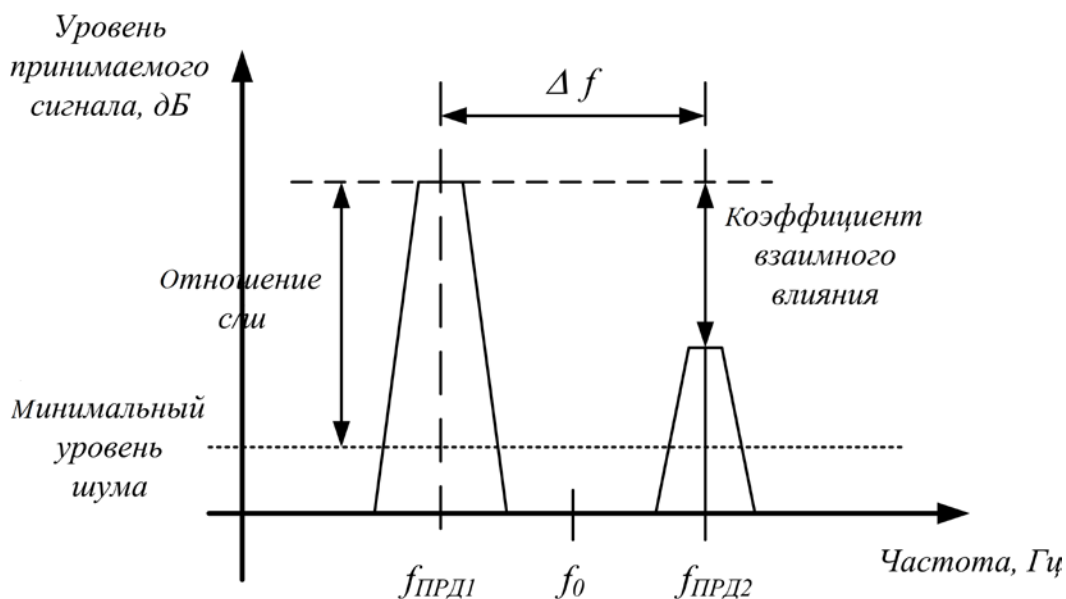


Рис. 2. Графическая интерпретация параметров алгоритма обнаружения

Сигнализация наличия явления одновременной передачи

О наличии событий, связанных с явлением одновременной передачи вызовов от воздушных судов и обнаруженных с помощью приемника радиостанции ОВЧ диапазона, диспетчерский состав УВД может быть оповещен с помощью функциональных особенностей, реализованных в системе коммутации речевой связи. Сигнализация таких событий может происходить следующим образом:

1. Внутриполосная сигнализация. Обнаруженный факт наличия одновременной передачи может быть сигнализирован с помощью тонового сигнала на определенной частоте, который присутствует в сигнале промежуточной частоты. Сигнал внутриполосной сигнализации формируется в случае возникновения указанного события и существует до тех пор, пока это событие продолжается. Такой метод сигнализации может быть использован для предупреждения диспетчера без использования системы коммутации речевой связи.

2. Внутриполосная сигнализация с помощью дополнительного бита в режиме VoIP (в соответствии с документом Eutocae ED-137 [7]). Такая сигнализация предполагает наличие системы коммутации речевой связи и позволяет предупреждать диспетчера УВД с помощью светового или звукового сигналов оповещения.

3. Сигнализация по выделенному каналу с помощью кодовой последовательности “1110” в случае функционирования радиостанции в режиме E1. Такая сигнализация предполагает наличие системы коммутации речевой связи и позволяет предупреждать диспетчера УВД с помощью светового или звукового сигналов оповещения.

4. Сигнализация с помощью дискретного контакта, состояние которого изменяется при наличии эффекта одновременной передачи. Такая сигнализация предполагает наличие системы коммутации речевой связи или любого другого внешнего устройства для предупреждения диспетчера УВД с помощью светового или звукового сигналов оповещения.

Поскольку многие системы коммутации речевой связи обладают функцией выбора лучшего сигнала, они могут получать предупреждения о наличии одновременной передачи более чем от одного приемника. В наименее благоприятном случае один приемник может обнаружить одновременную передачу, в то время как второй или третий приемники не смогут обнаружить это событие, например, из-за близкого расположения наземного передатчика. Приемник, который обнаруживает событие одновременной передачи, необязательно является тем приемником, который был выбран системой коммутации речевой связи как приемная станция с наилучшим сигналом. Если же система коммутации речевой связи имеет возможность обрабатывать события одновременной передачи от нескольких приемников одной группы, это может увеличить вероятность обнаружения одновременной передачи вызова во время передачи наилучшего речевого сигнала диспетчеру.

Заключение

В настоящее время происходит рост рынка авиационных перевозок и соответствующее увеличение интенсивности полетов воздушных судов. В связи с этим провайдеры аэронавигационных услуг и организации, осуществляющие контроль за безопасностью полетов, сталкиваются с трудностями при обеспечении обслуживания растущего числа воздушных судов и соблюдении необходимых мер безопасности. Тем не менее увеличение интенсивности воздушного движения непосредственно влияет на загруженность каналов авиационной радиосвязи. Явление одновременной передачи вызовов воздушными судами дополнительно увеличивает загруженность каналов связи. Большинство случаев одновременной передачи не являются критичными с точки зрения безопасности полетов, но могут быть причиной критических ситуаций в аэропортовой зоне.

Алгоритм обнаружения одновременной передачи, описанный выше, не может гарантировать 100% вероятности обнаружения. Однако использование этого алгоритма позволяет значительно увеличить вероятность обнаружения в большинстве случаев. Функционирование алгоритма обнаружения одновременной передачи может рассматриваться как руководство к принятию решения для диспетчеров УВД как для предупреждения подозрительных событий, так и для получения информации о наличии одновременной передачи во время вызова.

ЛИТЕРАТУРА

1. ED-136. Voice over internet protocol (VoIP) air traffic management (ATM) system. Operational and technical requirements. EUROCAE, 2009.
2. Risk Assessment of the "Undetected Simultaneous Transmissions" Phenomenon. Eurocontrol, 2010.
3. Колядов Д.В., Прохоров А.В. Реализация перспективной системы коммутации речевой связи для управления воздушным движением // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2013. - №193.
4. Приложение 10 к Конвенции ИКАО. Единицы измерения, подлежащие использованию в воздушных и наземных операциях. - Монреаль: ИКАО, 2010. - Т. 5.
5. Приложение 10 к Конвенции ИКАО. Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации. - Монреаль: ИКАО, 2010. - Т. 3.
6. Концепция и системы CNS/ATM в гражданской авиации / под ред. Г.А. Крыжановского. - М.: Академкнига, 2003.
7. ED-137. Interoperability standards for VoIP ATM components. EUROCAE, 2009.

EFFECT OF SIMULTANEOUS TRANSMISSIONS PHENOMENON ON AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEMS FUNCTIONALITY

Kolyadov D.V., Prokhorov A.V.

In the paper the voice communication system functionality in case of simultaneous transmission phenomenon is analyzed. The functional algorithms of the VHF receiver and voice communication system are considered.

Keywords: simultaneous transmission, best signal selection, voice communication system.

Сведения об авторах

Колядов Дмитрий Валерьевич, 1976 г.р., окончил МАИ (1999), доктор технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта МГТУ ГА, автор более 80 научных работ, область научных интересов – авиационная электросвязь, радиолокация, радиополяриметрия, радионавигация, управление воздушным движением, авиационные телекоммуникационные системы.

Прохоров Александр Валентинович, 1945 г.р., окончил РРТИ (1969), профессор, доктор технических наук, профессор кафедры технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта МГТУ ГА, автор более 100 научных работ, область научных интересов – авиационная электросвязь, радиолокация, радиополяриметрия, радионавигация, управление воздушным движением, авиационные телекоммуникационные системы.

УДК 621.396.98.004.1

СРАВНЕНИЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ VDL-2 И 1090 ES

Д.А. ЗАТУЧНЫЙ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Логвиным А.И.

В данной статье производится сравнение двух линий передачи данных 1090 ES и VDL-2. Приводятся основные факторы, влияющие на процесс выбора линии передачи данных.

Ключевые слова: автоматическое зависимое наблюдение, линия передачи данных.

Введение

Концепция автоматического радиообмена по линии “борт-земля” и обратно, с учётом того что может передаваться не только координатная, но и другая необходимая информация, была признана перспективным средством обеспечения УВД. Такой подход лёг в основу режима автоматического зависимого наблюдения (АЗН) [1].

Таким образом, работа линии передачи данных является необходимым условием для внедрения режима АЗН. В данной работе производится сравнение двух наиболее известных линий передачи данных VDL-2 и 1090 ES на основе рекомендаций Международной организации гражданской авиации (ИКАО) и структуры организации воздушного движения РФ.

Факторы, влияющие на сравнение линий передачи данных

При выборе линии передачи данных (ЛПД) необходимо выбрать ряд факторов и учесть особенности Единой Системы организации воздушного движения Российской Федерации, а также положения, изложенные в [2]. Исходя из этого, предложим учесть следующие основные факторы:

- 1) функциональность;
- 2) адаптируемость к условиям России;
- 3) уровень отработанности технологии;
- 4) стоимость;
- 5) законченность процесса международной стандартизации;
- 6) гармонизацию услуг систем ОрВД России, США и Европы;
- 7) эволюционность и преемственность процесса создания и внедрения АЗН-В в России.

Сравним относительно каждого из этих факторов две линии передачи данных: VDL-2 и 1090 ES (Extended Squitter).

1090 ES представляет собой широкополосную линию передачи данных, работающую в L-диапазоне с используемой скоростью передачи данных 1 Мбит/с.

Сравнение VDL-2 и 1090 ES

1. Функциональность.

Возможности линий передачи данных по реализации видов применения ЛПД представлены в табл. 1.

Таблица 1

Возможности линий передачи данных по реализации видов применения ЛПД

Виды применения ЛПД	1090 ES	VDL-2
АЗН-А	+	+
АЗН-В	+	+
CPDLC	+	+
TIS-B	+	+
FIS-B	-	+
AOC	-	+
ASAS	+	+
Двухсторонняя передача данных	-	+

АЗН-А – контрактное АЗН предусматривает обмен данными только между участниками движения, заключившими соглашение на получение информации.

АЗН-В – широкоэмиттерное АЗН предусматривает безадресную передачу данных с борта воздушного судна, т.е. информация транслируется всем заинтересованным участникам движения по линии передачи данных УКВ диапазона (УКВ ЛПД).

CPDLC (Controller Pilot Data Link) – связь “диспетчер-пилот” по линии передачи данных.

Traffic Information Service (TIS) – услуга информирования о воздушном движении.

FIS (Flight Information Service) – полётно-информационное обслуживание. Обеспечивает повышение уровня безопасности полёта и улучшение информированности пилота об обстановке.

Aeronautical Operational Communications (AOC) – услуга операционной связи авиакомпаний.

Airborne Separation Assurance System (ASAS) – система обеспечения бортового эшелонирования.

Как видно из приведённой выше таблицы, функциональность VDL-2 выше, чем 1090 ES.

2. Адаптируемость к условиям России.

Условия России характеризуются сравнительно низкой интенсивностью полётов в значительной части воздушного пространства. Для этих условий, особенно в зонах с недостаточным перекрытием полями первичных обзорных радиолокаторов (ПОРЛ)/ вторичных обзорных радиолокаторов (ВОРЛ), больше подходит технология VDL-2. Она же считается наиболее адаптируемой линией передачи данных “воздух-воздух” и “воздух-земля” как по отношению к условиям полёта, так и по отношению к вновь появляющимся видам применения.

В зонах с повышенной интенсивностью воздушного движения, где развита наземная инфраструктура ПОРЛ/ВОРЛ, VDL-2 будет дополнительным независимым источником наблюдения. В условиях низкого качества полей связи, навигации и наблюдения и морального устаревания традиционных средств, технология VDL-2 является более подходящей для реализации АЗН-В.

3. Уровень отработанности технологии.

Элементы технологии 1090 ES в части борта находятся в эксплуатации в составе системы Traffic Collision Avoidance System (TCAS) – системы предупреждения столкновений. В настоящее время идёт дорабатывание системы 1090 ES, в результате чего ее характеристики будут соответствовать новым требованиям SARPS ИКАО. Какие-либо данные по созданию и стандартизации наземной станции 1090 ES отсутствуют.

В Российской Федерации на данный момент запущено несколько проектов на базе VDL-2 и продемонстрированы преимущества по сравнению с традиционными средствами наблюдения.

4. Стоимость.

Так как в Российской Федерации рынка на данный вид оборудования практически нет, то представляется сложным оценить затраты на внедрение той или иной технологии.

5. Законченность процесса международной стандартизации.

Законченность процесса международной стандартизации SARPS на 1090 ES и VDL-2 опубликованы ИКАО. Оборудование 1090 ES российского производителя не сертифицировано. Наземная станция АЗН-В VDL-2 сертифицирована.

6. Гармонизация услуг систем ОрВД России, США и Европы.

Выбор в качестве технологии для реализации АЗН-В в России VDL-2 или принятие двойного решения VDL-2 и 1090 ES обеспечит идентичность услуг, предоставляемых системой ОрВД России оснащённым 1090 ES воздушным судам зарубежных авиакомпаний, и услуг, предоставляемых также оснащённым воздушным судам отечественных авиакомпаний системами ОрВД Европы и США.

Выбор VDL-2 в качестве единственной технологии для наземной инфраструктуры на начальном этапе внедрения АЗН-В в России не окажет существенного влияния на уровень обслуживания ВС зарубежных авиакомпаний, оснащённых только 1090 ES, поскольку наблюдение, кроме АЗН-В, будет осуществляться также на основе моноимпульсных ВОРЛ и/или по технологии FANS-1/A (CNS/ATM-1,2). Зарубежные ВС, оснащённые VDL-2, будут получать

определённые преимущества, связанные с предоставлением по этой ЛПД дополнительных услуг наблюдения, навигации и связи.

Воздушные суда отечественных авиакомпаний, не имеющие на борту 1090 ES, также не будут дискриминироваться в воздушном пространстве США, по крайней мере, до достижения 75%-го (2020 г.) оснащения 1090 ES коммерческого парка ВС.

В Европейском воздушном пространстве большая часть ВС будет иметь на борту 1090 ES и VDL-2 (глобальное решение). Однако региональные европейские авиакомпании могут оснащаться по более выгодному для них варианту – только VDL-2 с использованием её в качестве средства наблюдения воздушной обстановки и связи, включая АОС и CPDLC. В результате в европейском воздушном пространстве будут осуществлять полёты ВС, оснащённые различными линиями передачи данных. Учитывая, что 1090 ES не сможет обеспечить всех требуемых применений в целях ОрВД и “необходимость в дополнительной линии передачи данных для АЗН-В должна быть признана в долгосрочном плане как существенная”, и что требования в Центральной Европе могут быть обеспечены через совместное использование VDL-2/1090 ES. Европейские государства не будут вводить ограничений на полёты ВС, не оснащённые 1090 ES.

В то же время по информации Евроконтроля будет эксплуатироваться наземная инфраструктура VDL-2, которая в будущем сможет обеспечивать адекватные услуги воздушным судам, оснащённым только VDL-2. Эти же ВС уже через 2-3 года смогут пользоваться услугами АОС и УВД по сети VDL-2, предоставляемые консорциумом Com 4 Solutions в северных и южных регионах Европы.

7. Преемственность.

В процессе принятия решения относительно технологии реализации АЗН-В необходимо обеспечивать преемственность принятых ранее решений. В настоящее время в России идёт поэтапный процесс внедрения АЗН-В на базе VDL-2.

Хотя сообщения АОС не относятся непосредственно к организации воздушного движения, в перспективных концепциях намечается тенденция к более тесному взаимодействию между соответствующими органами ОрВД, аэропортов и авиакомпаний в процессе совместного принятия решений на базе использования всей передаваемой по ЛПД информации. Использование VDL-2 для этих целей представляет собой рациональное и эффективное решение.

Одновременно в процессе внедрения VDL-2 выявились проблемы, которые рождают сомнения в том, что заявленная скорость передачи по VDL-2 будет достигнута. Это приведёт к увеличению необходимого числа каналов в перегруженном в Европе спектре частот ОБЧ диапазона.

Кроме того, VDL-2 является пока единственной двусторонней ЛПД “воздух-воздух”, которая потребуется на 5-м этапе реализации европейского плана внедрения линий передачи данных.

Поскольку в России не предполагается использование Satellite Based Augmentation System (SBAS) - функционального дополнения космического базирования, а оборудование большинства отечественных ВС не обеспечивает реализацию Aircraft Based Augmentation System (ABAS) – бортовой системы функционального дополнения, необходимым условием применения АЗН-В в России будет готовность региональной системы функционального дополнения наземного базирования (GRAS), которая может использовать VDL-2. В противном случае придётся устанавливать на борт дополнительную ЛПД, что практически удвоит затраты авиакомпаний по реализации проекта. Эта функция пока может использоваться только как региональное применение, хотя процесс её согласования на глобальном уровне продолжается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анодина Т.Г. и др. Автоматизированные системы УВД. - М.: Транспорт, 1992.
2. Руководство по применению ЛПД в целях обслуживания воздушного движения. - Монреаль: ИКАО, 1999.

COMPARISON OF LINES VDL-2 AND 1090 ES FOR DATA BROADCASTING**Zatuchny D.A.**

In this paper the comparison of two lines VDL-2 and 1090 ES for data broadcasting is given. The basic factors, influencing the process of choice for line of data broadcasting are given.

Keywords: automatic dependent surveillance, line for data broadcasting.

Сведения об авторе

Затучный Дмитрий Александрович, 1970 г.р., окончил МГПУ им. В.И. Ленина (1992), кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта МГТУ ГА, автор 51 научной работы, область научных интересов – навигация, организация воздушного движения.

УДК 656.7.052:629.072

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РАБОТЫ ОРГАНОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ВНЕДРЕНИИ МЕТОДОВ ЗОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

С.В. ГУБЕНКО, Ю.А. ЮРКИН

Статья представлена доктором технических наук, профессором Нечаевым Е.Е.

В статье рассматривается вопрос о повышении эффективности технологических процессов при внедрении методов зональной навигации. Показаны преимущества зональной навигации и бесконфликтность схем прилета и вылета. Изменение специализации диспетчерских пунктов обслуживания воздушного движения (ОВД) при внедрении зональной навигации приведёт к упорядоченному потоку ВС и к эффективному использованию воздушного пространства.

Ключевые слова: зональная навигация, RNAV, RNP, VOR, ILS, гибкость воздушных трасс, пропускная способность, эффективность использования воздушного пространства.

Введение

На заре развития авиации навигация осуществлялась визуально по любому ориентиру, который пилот мог различить на земной поверхности, включая дороги, реки, линии электропередач и прочее. Революционные изменения начались с развитием радио, которое позволило решить вопрос обеспечения двусторонней радиосвязи между землей и воздушным судном, а также предоставило возможность для использования наземных радиотехнических средств - радиомаяков для навигации воздушного судна. Следующим шагом стало начало создания радиомаяков VOR, применение которых началось в 30-х гг. прошлого века. С этого времени стала возможной навигация воздушного судна по приборам. С некоторыми доработками радиомаяк VOR лег в основу воздушной навигации на многие десятилетия и продолжает применяться сегодня. В 60-х гг. прошлого века применение VOR дополнилось дальномером DME. В качестве навигационных средств обеспечения захода на посадку с 1946 г. ИКАО остановила свой выбор на системе ILS. Система ILS продолжает применяться до сих пор и, наряду с микроволновой системой посадки, является единственным на сегодня средством, способным обеспечить посадку по всем категориям метеоусловий.

Применение радиомаяков VOR позволило создать наземную сеть радионавигационных средств, на основе которой в свою очередь была построена сеть воздушных трасс. Воздушные трассы строго привязаны к наземным средствам, так как при этом методе навигации, который принято называть традиционным способом навигации, воздушное судно осуществляет навигацию посредством пролета над наземным средством либо же по пересечению. Навигационная точность при этом определяется как функция зависимости от расстояния, и каждая воздушная трасса, проложенная между двумя навигационными средствами, имеет определенную ширину для приспособления общей полетной погрешности.

Возрастание интенсивности воздушного движения к середине 80-х гг. привело к тому, что обычных трасс, проходящих через радиомаяки, во многих регионах было недостаточно для обеспечения требуемой пропускной способности воздушного пространства. Стала обсуждаться возможность полетов по произвольным траекториям, не обязательно проходящим через радиомаяки. Зональная навигация позволяет осуществлять полеты по точкам на трассе, не привязанным к наземным радионавигационным средствам, что значительно повышает гибкость воздушных трасс.

Преимущества зональной навигации и необходимость совершенствования технологических процессов органов ОВД

Зональная навигация рассматривается ИКАО как основной вид навигации будущего, поскольку она обладает целым рядом неоспоримых преимуществ перед навигацией обычной, традиционной:

1) полеты становятся более безопасными за счет повышения точности навигации. Это связано с тем, что при введении RNAV в каком-либо регионе одновременно вводятся и требования к точности (в виде RNP);

2) увеличивается пропускная способность и эффективность использования воздушного пространства как на маршрутах, так и в районах аэродромов. Это происходит, с одной стороны, за счет увеличения количества маршрутов в данном объеме воздушного пространства (теперь они не обязательно должны проходить через радиомаяки), а с другой, - за счет уменьшения интервалов бокового эшелонирования, которое оказывается теперь возможным, поскольку точность навигации стала выше;

3) появляется возможность сделать структуру маршрутов динамичной, легко меняющейся в зависимости от обстановки. При этом могут быть учтены интересы как гражданской, так и государственной авиации. Гибкость RNAV позволяет избежать скопления ВС в определенных участках воздушного пространства, серьезных уплотнений маршрутов и появления «воздушных пробок»;

4) маршруты можно устанавливать более короткими, что приводит к экономии авиатоплива и уменьшению летного времени;

5) при наличии наведения летный экипаж более наглядно представляет себе навигационную ситуацию, что позволяет избежать неправильных решений и ошибок;

6) уменьшается нагрузка на пилота и на диспетчера за счет возможности отказаться от радиолокационного наведения (векторения), осуществляемого диспетчером в районе аэродрома;

7) оказывается возможным сократить количество наземных навигационных средств.

Перечисленные выше преимущества при внедрении зональной навигации ставят вопрос о необходимости пересмотра всех технологических процессов для органа ОВД.

При внедрении P-RNAV, возьмём на примере тестовую модель новой структуры ВП МЗ ЕС ОрВД, предусматривается применение зональной навигации по спецификации RNAV-5 на всех маршрутах Московской зоны в РДЦ и по спецификации RNAV-1 в МАДЦ.

Спецификация RNAV-1 в МАДЦ предусматривает внедрение новых органов ОВД, таких как диспетчер прилета и диспетчер вылета.

При внедрении этих новых пунктов ОВД технологические процессы должны быть пересмотрены и усовершенствованы:

- орган ОВД «ВЫЛЕТА» осуществляет непосредственное ОВД только с вылетными ВС по SID;

- орган ОВД «ПРИЛЕТА» осуществляет непосредственное ОВД только прилетными ВС по STAR.

При такой простой архитектуре диспетчерских пунктов диспетчеры получают возможность обслуживания большого количества ВС в час с наименьшими затратами по времени.

Схемы движения прилетающих и вылетающих воздушных судов для трёх основных аэродромов (Шереметьево, Внуково и Домодедово) при всех сочетаниях взлётно-посадочных курсов (используемых ВПП) с учётом допустимых градиентов снижения и набора высоты обеспечат полную бесконфликтность. Горизонтальные расстояния между участками траекторий полёта, а также расстояния схем от других объектов структуры воздушного пространства будут обеспечены с соблюдением стандартов, предусмотренных спецификацией навигационной точности RNAV – 1 в МВЗ.

В зоне ответственности аэродромного диспетчерского центра предлагается организовать несколько специализированных по прилёту и вылету секторов УВД.

Диспетчер прилёта управляет всеми воздушными судами, поступающими в одну или две зоны ожидания конкретного аэродрома, и назначает каждому из них время выхода из зоны ожидания при определении очередности и интервалов захода на посадку.

Диспетчеры МАДЦ полностью освобождены от управления транзитными потоками воздушных судов.

«Прилет-вылет», в котором осуществляется снижение для захода на посадку прилетающих ВС, а также набор высоты вылетающих воздушных судов для основных аэродромов МВЗ (не выше 8100 (FL 265)).

Пропускная способность аэропортов МВЗ в настоящее время существенно меньше, чем в ряде зарубежных аэропортов с аналогичным расположением ВПП.

Существующая организация схем и маршрутов движения прилетающих и вылетающих воздушных судов Московского аэроузла не отвечает современным потребностям в использовании воздушного пространства и не позволяет повысить пропускную способность системы управления воздушным движением.

Диспетчеры Московского Центра АУВД перегружены большим количеством технологических операций и обеспечивают безопасность полётов при рабочей загрузке, близкой к предельной.

Неработоспособность зон ожидания вынуждает диспетчеров УВД направлять воздушные суда по неустановленным схемам, используя векторение для формирования необходимых интервалов движения воздушных судов перед заходом на посадку. Это приводит к непредсказуемости воздушной обстановки и к резкому увеличению загруженности диспетчера.

Задержки прилетающих воздушных судов при маневрировании перед заходом на посадку достигают беспрецедентных значений, а количество вылетающих воздушных судов в «часы пик» резко ограничивается.

Большое количество пересекающихся потоков прилетающих и вылетающих воздушных судов в МУДР приводит к большому количеству конфликтов на встречных и пересекающихся курсах с переменным профилем полета.

Таким образом, предлагаемые изменения в существующей организации воздушного движения и технологических процессах ОВД нуждаются в скорейшем внедрении в целях повышения и пропускной способности МЗ ЕС ОрВД и обеспечения высокого уровня безопасности полетов.

Таблица 1

Итоги имитационного моделирования

Аэропорты	Количество операций в час		
	сейчас	потенциально	будет обеспечено
Домодедово	45	120	96
Внуково	32	60	52
Шереметьево	35	60	58
Всего	112	240	206

Итоги имитационного моделирования (табл. 1) с участием ведущих специалистов показывают, что переход на новую организацию воздушного пространства Московской зоны ОВД при внедрении современных технологий управления интервалами посадки и взлёта позволяет в полтора раза повысить пропускную способность системы ОВД. Также резко сократить задержки прилетающих и вылетающих воздушных судов.

Указанный результат позволит реализовать потенциальные возможности аэропортов Московской воздушной зоны по интенсивности полетов и существенно повысить безопасность полетов.

В частности, в случае применения на аэродромах современных процедур сокращения интервалов выполнения взлётно-посадочных операций на ВПП уже сегодня возможна замена зон ожидания на маршруты зональной навигации типа «веер» («Point Merge»), позволяющие диспетчеру прилёта более точно и надёжно формировать минимальные интервалы захода на посадку.

В дальнейшем по мере оснащения воздушных судов современными бортовыми системами 4D-навигации новая структура позволит перейти к технологиям формирования очередности и интервалов захода на посадку (технологии ASAS - Airborne Separation Assistance System).

Заключение

Благодаря перечисленным выше преимуществам, предлагаемые изменения существующей организации воздушного движения и технологических процессов ОВД создают условия для внедрения новых способов и технологий управления потоками прилетающих и вылетающих воздушных судов.

При внедрении новых условий ИВП и модернизации технологических процессов органов ОВД мы добьёмся многих результатов, таких как:

- 1) упорядочение потоков воздушных судов, исключив конфликтные ситуации на встречных и пересекающихся курсах с переменным профилем полета в МВЗ;
- 2) обеспечение возможности поэтапного перехода к передовым методам навигации и новым технологиям управления потоками прилетающих и вылетающих воздушных судов;
- 3) сокращение задержек воздушных судов при маневрировании перед заходом на посадку при внедрении процедур скоординированного управления очередностью и интервалами выполнения взлётно-посадочных операций;
- 4) повышение пропускной способности воздушного пространства за счет специализации диспетчерских пунктов и существенного снижения загруженности диспетчеров УВД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вовк В.И., Липин А.В., Сарайский Ю.Н. Зональная навигация: учеб. пособие. – СПб, 2004.
2. Doc 9992 – AN/494. Руководство по использованию навигации, основанной на характеристиках (PBN), при построении воздушного пространства. - Монреаль: ИКАО, 2013.
3. Doc 9613 – AN/937. Руководство по навигации, основанной на характеристиках (PBN). - изд. 4-е. - Монреаль: ИКАО, 2013.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF WORK PROCESS AT ATS IMPLEMENTATION TECHNIQUES AREA NAVIGATION

Gubenko S.V., Yurkin Yu.A.

The article deals with improving the efficiency of processes in the implementation of area navigation techniques. The advantages of RNAV and conflict-free arrival and departure patterns are also dealt with. Change specialization dispatch centers, the introduction of ATS RNAV lead to orderly flow of sun and efficient use of airspace.

Keywords: area navigation, RNAV, RNP, VOR, ILS, airways flexibility, capacity, efficiency of airspace.

Сведения об авторах

Губенко Сергей Валерьевич, 1975 г.р., окончил СПАТК ГА (1996), Академию ГА (2004), аспирант МГТУ ГА, старший преподаватель кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, диспетчер МЦ АУВД, автор 5 научных работ, область научных интересов – разработка методологии подготовки диспетчерского персонала и организация учебного процесса.

Юркин Юрий Алексеевич, 1934 г.р., окончил ВАУ ГА (1966), кандидат технических наук, профессор кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, автор более 20 научных работ, область научных интересов – аэропортовая деятельность, обеспечение полетов.

УДК 656.7.052

АНАЛИЗ РАБОТЫ СЕКТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ МОСКОВСКОГО ЦЕНТРА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Н.И. ДИВАК**Статья представлена доктором технических наук, профессором Нечаевым Е.Е.**

Рассматриваются проблемы планирования потоков в Московском районном центре и Московском узловом диспетчерском районе на основе анализа статистических данных работы секторов управления воздушным движением (УВД) Московского центра автоматизированного управления воздушным движением (МЦ АУВД).

Ключевые слова: планирование, статистические данные, НПС, сектора УВД, превышение загруженности.

Введение

Авиация, являясь ключевой и самой перспективной отраслью транспортной промышленности, требует особого внимания и анализа. Составляющих деятельность авиации, как отрасли, множество: это и аэродромы, и конструкторские бюро, авиаперевозчики, федеральные и региональные органы власти, обеспечивающие нормативно-правовой документацией все сферы деятельности авиации. Мне же хотелось бы остановиться на такой немаловажной части авиации, как обслуживание воздушного движения (ОВД), входящей в понятие организации воздушного движения (ОрВД), наравне с организацией потоков воздушного движения и организацией воздушного пространства [1].

Обслуживание воздушного движения – общий термин, означающий в соответствующих случаях полетно-информационное обслуживание, аварийное оповещение, консультативное обслуживание воздушного движения, диспетчерское обслуживание воздушного движения (районное диспетчерское обслуживание, диспетчерское обслуживание подхода или аэродромное диспетчерское обслуживание) [2]. Всем этим в большинстве случаев занимается один человек – авиадиспетчер, на плечи и голову которого «ложится» огромная ответственность за обслуживание полетов сотен и тысяч воздушных судов.

Впервые после распада СССР объем авиаперевозок в воздушном пространстве РФ подходит к пиковым значениям периода расцвета советской авиации. С каждым годом объем перевозок внутри страны, а также международных полетов увеличивается на 10-13% [3]. Данные цифры напрямую отражаются в повышении коэффициента загруженности авиадиспетчеров. В МЦ АУВД этот вопрос стоит наиболее остро, т.к. через Московский районный центр и Московский узловой диспетчерский район проходит более 60% полетов, выполняемых в воздушном пространстве РФ. Соответственно для того чтобы максимально избавить авиадиспетчера от перегрузок, необходимо самым тщательным образом анализировать и учитывать статистику выполнения полетов на секторах УВД. Это поможет в дальнейшем при грамотном планировании полетов, а также в оперативном распределении потока воздушных судов в «часы пик». В данной статье будет произведен анализ статистических данных, полученных МЦ АУВД, с целью выявления характерных случаев неравномерного распределения полетов по времени, превышения предельно допустимой загруженности специалистов УВД и причин такого превышения.

Анализ статистических данных

Имеющиеся данные представлены в нескольких формах: движение воздушных судов за сутки (28 марта 2014 г.) – что позволяет оценить почасовую загрузку секторов, а также выделить «часы пик» на различных направлениях. Вторая форма статистических данных представ-

ляет собой отчет о загрузке секторов УВД посуточно и ежемесячно, что дает нам возможность анализировать количество полетов воздушных судов в зависимости от времени года и различных пиковых периодов в году, таких как праздники, новогодние и майские каникулы и т.п.

Начать хотелось бы с более детальной информации. Она представлена за 28 марта 2014 г. – это была пятница, день недели, в который, по многолетнему опыту, производится наибольшее количество полетов в московской воздушной зоне (МВЗ). Это также подтвердится в дальнейшем вследствие анализа суточной загруженности секторов. Также пятница 28 марта интересна для рассмотрения с той точки зрения, что этот день является одним из наиболее загруженных дней в период осенне-зимней навигации (интенсивность воздушного движения максимально приближается к показателям летнего периода – большинство авиакомпаний начали переход к летнему расписанию 30 марта). Из имеющихся статистических данных можем выделить сектора РЦ (районного центра), АДЦ (сектора подхода), а также круга, на которые пришлась максимальная часовая нагрузка в определенный момент времени.

Так из секторов РЦ можно выделить Горький-2 (в период с 18:00-19:00 ч UTC и с 19:00-20:00 ч в секторе было 39 и 36 ВС соответственно); сектор Горький-4 (с 02:00-03:00 ч и с 03:00-04:00 ч - 36 и 38 ВС); сектор Воронеж-1 (с 15:00-16:00 ч - 35 ВС).

На секторах подхода наибольшее количество ВС было на секторах: М7 (с 18:00-19:00 ч - 45 ВС); М6 (с 18:00-19:00 ч - 41 ВС); лидером же является сектор М1 с 13:00-14:00 ч - 59 ВС.

Что касается секторов круга, то наибольшая часовая нагрузка за отчетные сутки пришлась на сектора Шереметьево-круг (40, 39, 43 ВС в периоды 04:00-05:00 ч, 13:00-14:00 ч и 18:00-19:00 ч соответственно) и Домодедово-круг (50 и 46 ВС с 06:00-07:00 ч и 18:00-19:00 ч).

Стоит отметить, что в Московском центре в соответствии с технологией работы авиадиспетчеров для предоставления специалистам дополнительного времени отдыха, имеется возможность объединения нескольких секторов УВД в один при малой интенсивности полетов. Что соответственно могло внести (и внесло) коррективы в распределение ВС по секторам и в дальнейшем подсчете их системой.

Но даже из этих цифр видно, что в определенные часы наблюдается интенсивное движение ВС на многих секторах МВЗ. Для наглядности отобразим интенсивность воздушного движения, к примеру, на секторе М1+М9 и сравним эти показатели с рассчитанным для этого сектора нормативом пропускной способности (НПС), который равен 46 ВС/ч (рис. 1).

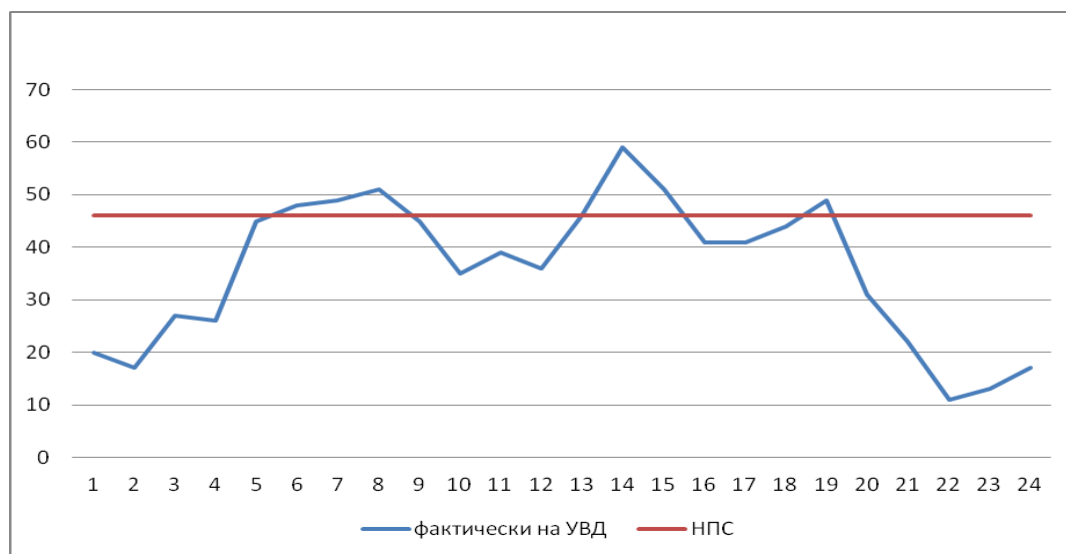


Рис. 1. Суточная загруженность сектора М1+М9

Из графика видно, что имеют место превышения предельно допустимой загрузки диспетчеров. Специалисты в течение нескольких часов подряд работают на пределе своих возможно-

стей. Это может крайне негативно отразиться на безопасности воздушного движения: вследствие усталости вероятность ошибки диспетчера возрастает с геометрической прогрессией.

Также график говорит о неравномерности распределения полетов по времени в течение суток, что объясняется различными факторами, о чем мы поговорим в дальнейшем. Но это не может говорить однозначно о том, что одни сектора загружены постоянно, а другие обслуживают ВС в разы меньше. Возможны варианты, при которых поток воздушного движения на одних секторах УВД распределен более равномерно, чем на других.

Для недопущения однозначных суждений считаю нужным поговорить о суточной загрузке, т.е. выделить сектора РЦ, АДЦ и круга, обслужившие наибольшее количество ВС за период 28 марта 2014 г. Так из секторов РЦ наибольшая интенсивность пришлась на Горький-4 (578 ВС за сутки); Горький-2 (500 ВС) и Запад-2 (448 ВС). На секторах подхода и круга цифры заметно больше. Это легко объяснить - секторов подхода меньше, чем секторов РЦ, практически вдвое. За сутки сектор М1 обслужил 729 ВС, М2 – 668 ВС, М6 – 604 ВС. По 686 и 716 ВС пришлось соответственно на Шереметьево и Домодедово Круг. Данная статистика помогает проследить одну из главных проблем ОрВД – неравномерность распределения потоков, наличие так называемых «часов пик». К примеру, распределив равномерно в течение суток все 729 ВС, обслуженных сектором М1, мы получили бы цифры интенсивности движения, равные приблизительно 31 ВС/ч. Это вполне приемлемый показатель, дающий возможность работать авиадиспетчерам, не испытывая перегрузок, а значит выполнять свои обязанности максимально безопасно и эффективно. Также такое распределение дает возможность для наращивания воздушного движения без ущерба для безопасности полетов и без превышения НПС.

В настоящий момент система планирования ОрВД не отвечает современным требованиям ИКАО. В соответствии с документом DOC 4444 планирование потоков воздушного движения делится на три этапа: стратегическое планирование; предтактическое планирование и тактические операции [4]. На каждом из этих этапов планы полетов составляются и включаются в расписание с учетом пропускной способности каждого задействованного сектора УВД. Первоочередной задачей системы планирования должно являться не принятие заявок от пользователей воздушного пространства и распространение планов полетов по всем центрам УВД по маршруту полета. В первую очередь система планирования должна осуществлять контроль за тем, чтобы загруженность диспетчерских пунктов оставалась приемлемой, безопасной для полетов.

Благодаря представленным ранее данным, а также полной имеющейся статистике, можно постараться выделить так называемые «часы пик» и проследить их ориентированность по направлениям полетов. Так в первую очередь на себя обращает внимание разительное отличие в интенсивности движения на всех секторах Московского центра ночью и днем. В ночные часы количество ВС, обслуживаемых диспетчерами, в среднем в 2-3 раза меньше дневного. Основу потоков главным образом представляют транзитные полеты, следующие с запада на восток. Ночной прилет или вылет из аэропорта неудобны для пассажиров по ряду причин. Намного удобнее прилететь либо утром - к началу рабочего дня (приоритетно для бизнес-ориентированных пассажиров), либо прилететь вечером, имея возможность провести этот день с пользой за границей. Таким образом, мы можем определить 2 пиковых времени прилета – утро, когда в основном прилетают ВС, следующие с востока страны либо выполняющие дальние рейсы. А также вечерний пик прилета, который составляют рейсы, следующие с юга и запада.

Что же касается вылета, то также можно выделить 2 отрезка времени: дневной и поздний вечерний. Все эти утверждения подтверждаются статистическими показаниями. На секторах подхода промежутки между активным прилетом и активным вылетом (назовем их «часы затишья») практически не заметны, поэтому часовые показатели загруженности авиадиспетчера относительно равномерны. На секторах РЦ эти «волны» более отчетливы.

Распределив полеты в течение дневного времени суток максимально равномерно, можно снизить вероятность превышения пропускной способности секторов УВД. Следовательно, вероятность задержек рейсов также уменьшится, так как у диспетчеров не будет необходимости прибегать к дополнительным мерам управления воздушным движением (зоны ожидания, векторения). От этого выигрывают в равной степени и авиаперевозчики. Оптимальное распределение полетов в МВЗ в течение суток предоставит большие возможности для транзитных пассажиров. Ситуация, когда из трех московских аэропортов в течение 30 минут вылетает 3 рейса в Париж, а после рейсов в том же направлении нет в течение 6 часов, кажется минимум не логичной.

Годовой анализ

По аналогии с почасовым анализом можно рассмотреть распределение потоков воздушного движения на более широком промежутке времени – неделя, месяц, год. Имеющаяся статистика представлена за 2013 г. по секторам подхода и круга.

Рассматривая интенсивность воздушного потока за неделю, наибольшие показатели мы имеем по пятницам и воскресеньям. Это объясняется, в большей степени, ориентированностью авиаперевозчиков при составлении расписания на туристов. Они предпочитают улететь на отдых вечером в пятницу (также как и уехать на дачу), а вернуться домой в воскресенье вечером, чтобы в максимальной степени использовать отведенное им отпускное время и выйти на работу на следующий день в понедельник. Так суммарные показатели обслуженных ВС на всех секторах УВД за сутки в любой день недели в среднем на 8,7-8,8% меньше, чем в пятницу. Можно отметить, что это утверждение одинаково верно в любое время года.

Также хотелось бы подтвердить цифрами очевидную тенденцию увеличения потоков в летние месяцы. Это происходит вследствие начала «сезона отпусков». В зимние месяцы по всем секторам обслужено: 200860 ВС за январь; 176864 ВС за февраль; 232129 ВС за декабрь. Показатели загруженности летних месяцев на 30% выше (июнь – 254065 ВС; июль – 266973 ВС; август – 269360 ВС) (рис. 2).

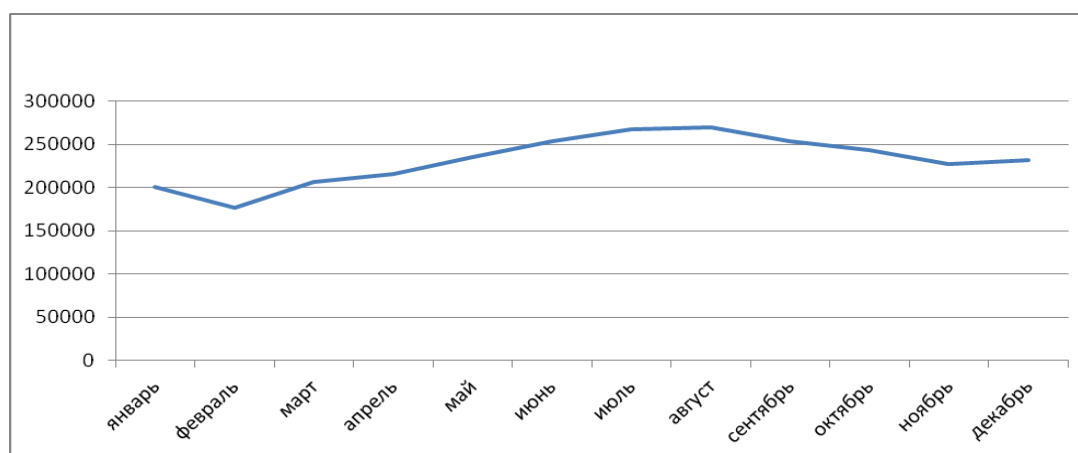


Рис. 2. Количество ВС, обслуженных в МАДЦ

В последние годы с ростом уровня жизни в Москве и в стране в целом все больше и больше людей позволяют себе авиапутешествия в дни новогодних и майских каникул. Как правило,

очевиднее всего это наблюдается в последний день праздников, когда все отдыхающие стремятся вернуться домой. Так двенадцатое января стало самым загруженным днем в январе, потому что в этот день все отдыхающие стремились вернуться в столицу к рабочим будням. Аналогично 12 мая стало вторым по загруженности в году, потому что именно на этот день пришелся конец майских каникул.

В данной статье рассмотрены лишь поверхностные, наиболее очевидные причины увеличения загруженности авиадиспетчеров вследствие неправильного планирования с целью наглядно показать неравномерность распределения потоков в воздушном пространстве МВЗ по направлениям и времени. Данная неравномерность в большинстве случаев приводит к превышению нормативных значений пропускной способности секторов УВД. Что в свою очередь может обернуться серьезными нарушениями в УВД, вплоть до авиационных инцидентов. В последние годы вопрос нормативов пропускной способности секторов УВД и их превышения стал особенно острым. Госкорпорацией по ОрВД была разработана современная «методика расчета пропускной способности секторов УВД», и в соответствии с ней были рассчитаны нормативные значения. Но посчитать их и сравнить с действующими значениями загруженности секторов – это полдела. Необходимо глобально модернизировать имеющуюся систему планирования полетов, которая бы позволяла составлять расписания не только из интересов пользователей воздушного пространства, но и учитывая нормативы пропускной способности секторов УВД. Только имея систему планирования, отвечающую последним требованиям ИКАО в области распределения потоков, мы сможем сохранить текущие темпы роста перевозок без ущерба безопасности и экономичности полетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **ФАП.** Организация воздушного движения в Российской Федерации, ред. от 26.04.2012.
2. Приложение 11 к Конвенции о международной гражданской авиации. Обслуживание Воздушного Движения. - изд. 13-е. - Монреаль: ИКАО, 2001.
3. Бурный рост пассажирских авиаперевозок в России - насколько он органичен и каковы его пределы?: доклад вице-президента транспортно-клиринговой палаты М. Букаловой на международном форуме Крылья России 2013. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ato.ru/content/burnyy-rost-passazhirskih-aviaperevozok-v-rossii-naskolko-organichen-i-kakovy-ego-predely>.
4. **Doc. 4444 ATM/501.** Организация Воздушного Движения. – Монреаль: ИКАО, 2007.

THE ANALYSIS OF WORK OF THE ATC SECTORS OF MOSCOW ATM CENTER, BASED ON THE STATISTICAL DATA

Divak N.I.

The article discusses the problems of air traffic planning system in the Moscow area control center and the Moscow approach area based on the analysis of statistical data of the work of the ATC sectors of the Moscow ATM Centre.

Keywords: planning, statistical data, air traffic capacity norm, ATC units, workload excess.

Сведения об авторе

Дивак Никита Игоревич, 1989 г.р., окончил МГТУ ГА (2011), аспирант МГТУ ГА, авиадиспетчер МЦ АУВД, автор 2 научных работ, область научных интересов – технологическое развитие систем гражданской авиации, организация системы УВД.

УДК 656.7.052

НОВЫЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В ЗОНАХ ОЖИДАНИЯ*

В.Б. МАЛЫГИН, С.В. ГУБЕНКО, А.Н. ТУРКОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Нечаевым Е.Е.

Рассматривается метод, связанный с упорядочиванием потока воздушных судов, находящихся в зонах ожидания, и увеличением пропускной способности сектора подхода.

Ключевые слова: зоны ожидания, время ожидания, интенсивность воздушного движения.

Зона ожидания (ЗО) — воздушное пространство установленного размера, располагающееся, как правило, над радионавигационной точкой (например, VOR или ОПРС), которое предназначено для ожидания воздушным судном своей очереди для захода на посадку или подхода в район аэродрома.

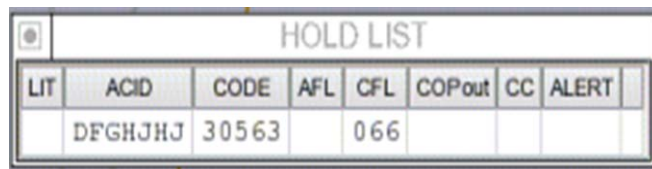
Перед входом в зону ожидания экипаж получает от диспетчера эшелон полета в зоне и расчетное время выхода из нее на посадку (ЕАТ). Для выхода на посадку ВС должно находиться в точке FIX. Точность выдерживания ЕАТ должна быть ± 1 мин. Для выдерживания этого времени экипаж может изменять параметры зоны ожидания, не нарушая правил полета в ней и общей безопасности полета [1].

Возможности современных автоматизированных систем УВД

Возможности автоматизированной системы “Теркас” не позволяют диспетчеру дать исчерпывающую информацию экипажам воздушных судов о времени нахождения в ЗО, дальнейшему маршруту после выхода из ЗО. Без этих ответов экипажи ВС вынуждены находиться в ЗО до того момента, пока у них не останется топлива долететь до запасного аэродрома. Нехватка информации отрицательно влияет как на работу пилотов, так и на работу диспетчера:

- сжигается большое количество топлива;
- радиообмен в эфире перегружен, постоянные переспросы;
- дополнительные неудобства для пассажиров;
- увеличивается рабочая нагрузка на диспетчера.

В современной системе “Альфа” используются списки зон ожидания (HOLD LIST), которые упрощают работу диспетчера. Списки представляют собой плановые окна (рис. 1), выведенные на рабочий экран, их можно расположить в любом месте экрана, например возле ЗО.



LIT	ACID	CODE	AFL	CFL	COPout	CC	ALERT
DFGHJHJ	30563		066				

Рис. 1. Список зоны ожидания (HOLD LIST)

Список содержит следующие колонки информации:

- LIT - признак литерности рейса;
- ACID - радиотелефонный позывной;
- CODE - код ответчика;
- AFL - текущая высота;
- CFL - заданный эшелон в зоне ожидания;

*Работа выполнена при материальной поддержке РФФИ (грант № 13-08-00182).

$T_{\text{змп/dl}}$ - расчетное время выхода из зоны ожидания ($T_{\text{входа}}$ в аэродромную зону захода на посадку, или $T_{\text{входа}}$ в РЦ, или задержка в минутах);

COP_{out} - точка выхода;

СС - обозначение сектора УВД при приеме/передаче управления;

ALERT - поле для отображения аварийной сигнализации.

В списке предоставлена вся необходимая информация для обслуживания рейсов, находящихся в зоне ожидания. При функционировании средства AMAN расчетное время захода на посадку ($T_{\text{змп}}$) включается в список зоны ожидания автоматически, а при отсутствии AMAN время может быть введено непосредственно в поле $T_{\text{змп}}$.

Расположение зон ожиданий

Для каждого из основных аэродромов (Внуково, Домодедово и Шереметьево) предусмотрено по две пары последовательно размещенных зон ожидания (рис. 2).

Дальняя зона ожидания, размещенная в нижнем воздушном пространстве на территории РДЦ (верхний эшелон зоны ожидания - 240), предназначена для воздушных судов, которые ожидают разрешения на вход в зону подхода. Над дальней зоной ожидания могут размещаться маршруты для транзитных потоков воздушных судов на эшелонах 250 и выше, а также для негеографических прилетов на высотах 240-290.

Ближняя зона ожидания, размещенная в нижнем воздушном пространстве в зоне ответственности АДЦ, предназначена для регулирования очередности и интервалов захода на посадку при управлении потоком прилетающих воздушных судов. Ближние зоны ожидания для каждого аэродрома должны использоваться комплексно в рамках единой процедуры скоординированного управления временем прибытия прилетающих воздушных судов.

Для каждого направления прилетающих воздушных судов создается зона ожидания, которая может вместить 3 воздушных судна (ВС). ЗО расположены в стороне от маршрутов прибытия, и для каждой ЗО заданы определенные эшелоны полета. Эшелоны задаются таким образом, чтобы не конфликтовать с соседней ЗО. У каждой зоны ожидания есть свой приоритет на её освобождение (ВС, находящееся в 3 зоне ожидания получит разрешение на её освобождение только когда опустеют 1 и 2 ЗО). При заполнении всех ЗО сектор закрывается для прилетающих ВС, вступают в работу дальние ЗО.

Для расчета времени посадки конкретного ВС принимается во внимание:

- предполагаемое время открытия ВПП для посадки;
- удаленность ЗО;
- скорость прохождения контрольных точек;
- класс ВС (легкое, среднее, тяжелое).

Воздушному судну, находящемуся в ЗО, сообщается точное время выхода из ЗО ($T_{\text{змп}}$) на контрольную точку, после чего экипаж сам рассчитывает дальнейшие маневры и скорость для прохождения точки выхода из ЗО в заданное время

$$T_{\text{змп}} = S_i/V_i, \quad (1)$$

где $T_{\text{змп}}$ – расчетное время выхода из зоны ожидания; S_i – расстояние между контрольными точками; V_i – скорость прохождения контрольных точек.

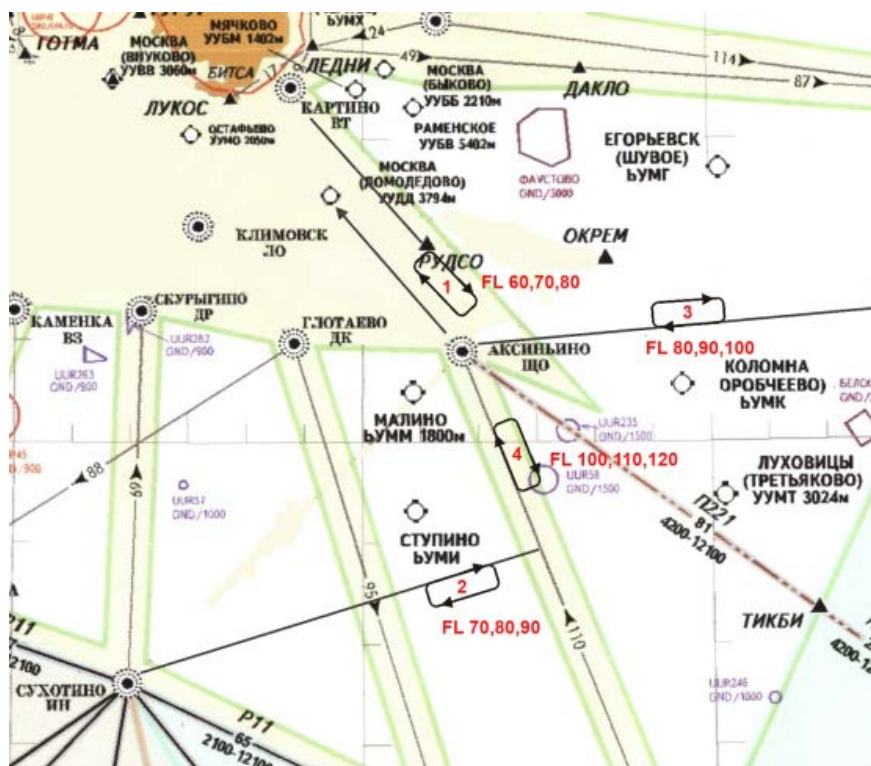


Рис. 2. Зоны ожидания в секторе “Москва-подход б”

При использовании нескольких зон ожидания появляется ряд преимуществ, такие как:

- в зоне ответственности диспетчера находится несколько ВС на одинаковых эшелонах, при этом они не конфликтуют друг с другом;
- появляется возможность проинформировать экипаж о точном времени посадки и очередности на заход;
- диспетчер знает пропускную способность своей зоны ответственности и может заранее перенаправить прилетающие ВС;
- возможность оперативного планирования полетов, еще до подлета к аэродрому экипаж, зная время ожидания, может принять решение об уходе на запасной аэродром.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подольских В.В., Сосновский М.Ю. Организация воздушного движения. - М.: МГТУ ГА, 2007.
2. Логвин А.И. Организация воздушного движения: пособие по изучению дисциплины и контрольное задание. - М.: МГТУ ГА, 2004.
3. Алешин В.И., Дарымов Ю.П., Крыжановский Г.А. и др. Организация управления воздушным движением / под ред. Г.А. Крыжановского. - М.: Транспорт, 1988.

A NEW METHOD OF CONTROLLING AIR TRAFFIC IN WAITING AREAS

Malygin V.B., Gubenko S.V., Turkov A.N.

The method associated with ordering until aircraft are in waiting areas and increasing the capacity of the sector approach are dealt with in the article.

Keywords: waiting area, waiting time, the intensity of air traffic.

Сведения об авторах

Малыгин Вячеслав Борисович, 1960 г.р., окончил УВАУ ГА (1988), доцент кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, автор 7 научных работ, область научных интересов – аэронавигационное обслуживание и использование воздушного пространства.

Губенко Сергей Валерьевич, 1975 г.р., окончил СПАТК ГА (1996), ОЛАГА (2004), аспирант МГТУ ГА, старший преподаватель кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, диспетчер МЦ АУВД, автор 5 научных работ, область научных интересов – разработка методологии подготовки диспетчерского персонала и организация учебного процесса.

Турков Алексей Николаевич, 1989 г.р., окончил МГТУ ГА (2011), аспирант МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов - аэронавигационное обслуживание и использование воздушного пространства.

УДК 621.396:084.3

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ПЕРЕРЫВА В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

В.Е. ЕМЕЛЬЯНОВ, В.А. ИВАНЕНКО

Приведена модель, позволяющая оценить время перерыва функционирования средств навигации и управления воздушным движением (УВД), входящих в состав информационного канала.

Ключевые слова: канал, информация, надежность, радиотехнические системы.

Одним из характерных признаков радиотехнических каналов, служащих для информационного обеспечения диспетчеров УВД, является использование функциональной избыточности. При этом в качестве компонент, входящих в состав канала, используются различные радиотехнические системы (РТС), зачастую не имеющие общих трактов обработки информации. Однако именно они определяют функциональную готовность по отношению к деятельности диспетчера, с точки зрения которого для его нормальной работы необходим некий минимальный объем информации о воздушной обстановке и возможность вмешательства в складывающуюся в зоне ответственности воздушную ситуацию.

Не останавливаясь на важности информации, представляемой каждой из компонент канала, и считая, что отказ каждой из них имеет равные последствия, рассмотрим расчет характеристик надежности реальной системы, состоящей из трех подсистем. Очевидно, что в рамках принятых предпосылок для функционирования информационного канала достаточно безотказной работы по крайней мере одной подсистемы, т.е. можно считать, что в информационном смысле канал состоит из трех параллельных подсистем, например ПРЛ, ВРЛ и АРП.

Подобное упрощение позволяет воспользоваться в качестве описания модели надежности канала однородной марковской цепью, для описания которой достаточно задать матрицу вероятностей переходов за один шаг $Z=[Z_{ij}]_{K \times K}$ и начальное распределение процесса $P(0)=[P_1(0), P_2(0), \dots, P_K(0)]$.

Введем обозначения основных показателей безотказности рассматриваемых каналов: T_R – среднее время безотказной работы; T_V – среднее время восстановления; $G(k)$ – функция готовности системы; K_T – коэффициент готовности; $T_1=T_R+T_V$ – среднее время между отказами; T_T – среднее время наработки до первого отказа.

Модель информационного канала, включающего в себя ряд средств радиотехнического обеспечения полетов, представим следующим образом. Пусть θ является k -мерным вектором вероятностей, означающим, что в любой k -й момент времени система находится в фиксированном состоянии – J .

Уравнения состояния системы имеют вид

$$P(k+1) = P(k) \times Z. \quad (1)$$

В соответствии с [1] Z является случайной матрицей, и для нее справедливо соотношение $Z \times 1_k = 1_k$, где $1_k = [1, 1, \dots, 1]$ – представляет собой единичный вектор-столбец.

Решение системы уравнений можно записать в виде:

$$P \times [I - Z] = 0; \quad P \times 1_k = 1. \quad (2)$$

Считая, что состояние 1, 2, ..., N соответствует безотказной работе системы, а состояния $N+1, N+2, \dots, K$ – отказам, представим матрицу вероятностей переходов между соседними состояниями за один шаг следующим образом

$$Z = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где миноры, входящие в (3), равны:

$$A = [Z_{ji}; J, I \in \{1, 2, \dots, N\}]; \quad B = [Z_{ji}, J \in \{1, 2, \dots, N\}; I \in \{N+1, N+2, \dots, K\}];$$

$$C = [Z_{ji}, J \in \{N+1, N+2, \dots, K\}; I \in \{1, 2, \dots, N\}]; \quad D = [Z_{ji}; J, I \in \{N+1, N+2, \dots, K\}].$$

Аналогично:

$$P_R(k) = [P_1(k), P_2(k), \dots, P_n(k)];$$

$$P_b(k) = [P_{n+1}(k), P_{n+2}(k), \dots, P_N(k)].$$

Тогда уравнение (1) обращается в

$$\begin{cases} P_R(k+1) = P_R(k) \times A + P_b(k) \times C \\ P'_{b1}(k+1) = P_R(k) \times A + \widetilde{N}_b(k) \times C \end{cases} \quad (4)$$

Окончательно, введя переменную τ – время от начала работы системы до ее первого отказа, получаем:

$$T_R = \frac{P_R \times 1_N}{P_R \times B \times 1_{K-N}}; \quad (5)$$

$$T_V = \frac{1 - G}{P_B \times C \times 1_N}; \quad (6)$$

$$T_1 = \frac{1}{P_B \times C \times 1_N}; \quad (7)$$

$$T_f = [1, 0, \dots, 0] \times [J - A]^{-1} \times 1_N. \quad (8)$$

Для исследуемого канала возможны следующие состояния: 1 – исправны все три подсистемы, входящие в канал; 2 – отказ одной подсистемы и восстановление другой; 3 – отказ двух подсистем, одна из которых восстановлена; 4 – отказ всех трех подсистем, одна из которых восстановлена.

Пусть вероятности появления неисправностей в течение одного шага соответственно равны q_1, q_2, q_3 , а вероятность восстановления отказавшей подсистемы – p

$$Z = \begin{bmatrix} 1 - q_3 & q_3 & 0 & 0 \\ \tilde{n} & 1 - q_2 - \tilde{n} & \tilde{n} & 0 \\ 0 & \tilde{n} & 1 - q_1 - \tilde{n} & q_1 \\ 0 & 0 & \tilde{n} & 1 - \tilde{n} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

В (9) состояния 1, 2, 3 являются состояниями безотказной работы, а состояние 4 – состоянием отказа начала.

Используя соотношения (5)-(8), будем иметь для рассматриваемой модели канала:

$$T_f = (q_1)^{-1} + (q_2)^{-1} + (q_3)^{-1} + \tilde{n}(q_2 q_3)^{-1} + \tilde{n}(q_1 q_3)^{-1} + \tilde{n}^{-2}(q_1 q_2 q_3)^{-1}; \quad (10)$$

$$T_R = (q_2 q_3 + q_3 \tilde{n} + \tilde{n}^2) \cdot (q_1 q_2 q_3)^{-1}; \quad (11)$$

$$T_V = \tilde{n}^{-1}; \quad (12)$$

$$T_1 = q_1^{-1} + \tilde{n}[(q_1 q_3)^{-1} + \tilde{n}^2](q_1 q_2 q_3)^{-1} + \tilde{n}^{-1}. \quad (13)$$

Представленные оценки позволяют провести решение и обратной задачи, т.е. задачи синтеза требований на время перерыва в работе всего канала, и следовательно, провести сопоставляющую оценку времени перерыва в выдаче информации подсистемам, входящим в информационный канал, исходя из принятых критериев, например, как это определено в [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.Н., Турбин А.Ф., Цатурян Г.Ж. Полумарковские модели восстановления систем. - К.: Ин-т математики АН УССР, 1990.

2. Руководство по радиотехническому обеспечению полетов и технической эксплуатации объектов радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи (РРТОП ТЭ – 2000). - М.: ФCBT России, 2000.

ASSESSMENT OF TIME OF THE BREAK IN FUNCTIONING OF THE ATC RADIO AIDS CHANNEL

Emelyanov V.E., Ivanenko V.A.

The authors provide a model that allows estimating the time of the break of functioning navigation and ATC that make up the information channel.

Keywords: channel, information, reliability, radio engineering systems.

Сведения об авторах

Емельянов Владимир Евгеньевич, 1951 г.р., окончил КИИГА (1974), доцент, доктор технических наук, профессор кафедры основ радиотехники и защиты информации МГТУ ГА, автор более 100 научных работ, область научных интересов – техническая эксплуатация радиоэлектронных систем, функционирующих в сложной электромагнитной обстановке.

Иваненко Владимир Андреевич, 1993 г.р., студент МГТУ ГА, область научных интересов – оценка достоверности и надежности информации в АС УВД.

УДК 621.391.266

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-МАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ С НЕПРЕРЫВНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯРИЗАЦИИ

П.В. АНИКИН, С.С. ЖАВОРОНКОВ, Д.Н. ЯМАНОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Нечаевым Е.Е.

В статье проведен анализ спектральных характеристик поляризационно-манипулированных сигналов с непрерывным изменением угла ориентации. Определены значения обобщенного коэффициента глубины модуляции и ширины энергетического спектра для данного вида сигналов при различных индексах поляризационной манипуляции.

Ключевые слова: спектральные характеристики, коэффициент модуляции, энергетический спектр.

Поляризационно-манипулированные сигналы с непрерывным изменением параметров поляризации (ПМН) являются одним из перспективных видов сигналов для систем передачи дискретной информации [4-7]. Запись ПМН сигнала в общем виде на двойной комплексной плоскости имеет следующий вид [1; 6]

$$\ddot{e}(t, \theta, \varphi) = \exp[-ij\theta(t, C_\theta)] \exp[i\varphi(t, C_\varphi)] \exp[j(\omega t)], \quad (1)$$

где $\theta(t, C_\theta)$, $\varphi(t, C_\varphi)$ – углы ориентации и эллиптичности соответственно;

$C_\theta = [C_{\theta_1}, C_{\theta_2}, \dots, C_{\theta_N}]$, $C_\varphi = [C_{\varphi_1}, C_{\varphi_2}, \dots, C_{\varphi_N}]$ – векторы информационных символов, определяющие законы изменения углов ориентации и эллиптичности соответственно.

Информационные символы в выражении (1) могут принимать значения $\pm 1, \pm 3, \pm 5 \dots$

Выражения для горизонтальной и вертикальной составляющих ПМН сигнала определяются из (1) следующим образом [1; 6]:

$$e_x(t, \theta, \varphi) = \operatorname{Re}_i \operatorname{Re}_j [\ddot{e}(t, \theta, \varphi)]; \quad e_y(t, \theta, \varphi) = \operatorname{Im}_i \operatorname{Re}_j [\ddot{e}(t, \theta, \varphi)]. \quad (2)$$

В выражении (2) Re_i , Im_i означают вещественную и мнимые части в пространственной комплексной плоскости (1, i), а Re_j – вещественную часть во временной комплексной плоскости (1, j) [1]. Как следует из (1), (2), у ПМН сигналов может быть как один информационный параметр (θ или φ), так и два (θ и φ). В данной статье рассматриваются ПМН сигналы с непрерывным изменением угла ориентации (ПМН $_\theta$).

В общем случае параметры поляризации могут изменяться по различному закону (линейному, гармоническому и др.), в случае линейного закона изменения угла ориентации горизонтальная и вертикальная составляющие ПМН $_\theta$ сигнала на k-м тактовом интервале с учетом (2) записываются в следующем виде [4]:

$$\begin{aligned} e_x(t, \theta) &= \cos\left[C_{\theta_k} \frac{\pi h_\theta}{T} t - C_{\theta_k} \pi h_\theta (k-1) + \pi h_\theta \sum_{i=1}^{k-1} C_{\theta_i}\right] \cos(\omega t); \\ e_y(t, \theta) &= \sin\left[C_{\theta_k} \frac{\pi h_\theta}{T} t - C_{\theta_k} \pi h_\theta (k-1) + \pi h_\theta \sum_{i=1}^{k-1} C_{\theta_i}\right] \cos(\omega t), \end{aligned} \quad (3)$$

где h_θ – индекс поляризационной манипуляции; T – длительность тактового интервала.

Электромагнитная волна с переменными параметрами поляризации определяется двумя проекциями на оси поляризационно-ортогонального базиса. Спектральный состав двумерных ПМН сигналов оказывается значительно сложнее, чем спектры манипулированных одномерных сигналов.

Для анализа спектральной эффективности ПМН сигналов целесообразно определить обобщенный коэффициент глубины модуляции m_0 , под которым понимают отношение энергии боковых полос модулированного колебания к энергии немодулированного колебания [2]. В связи с тем что при поляризационной манипуляции энергия сигнала остается неизменной, обобщенный коэффициент глубины модуляции можно представить в следующем виде

$$m_0 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} G_x(\omega)d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} G_y(\omega)d\omega - I_{x_0}^2 - I_{y_0}^2}{I_n^2}, \quad (4)$$

где $G_x(\omega)d\omega$, $G_y(\omega)d\omega$ – энергетические спектры соответствующих боковых составляющих колебания в линейно-ортогональном базисе разложения; $I_{x_0}^2$, $I_{y_0}^2$ – энергии соответствующих нулевых гармоник составляющих колебания; I_n^2 – энергия несущего колебания.

Обобщенный коэффициент глубины модуляции представляет собой параметр, характеризующий перераспределение энергии по спектру двумерного сигнала. Чем выше коэффициент m_0 , т.е. чем ближе он приближается к единице, тем меньше энергии остается на нулевой гармонике.

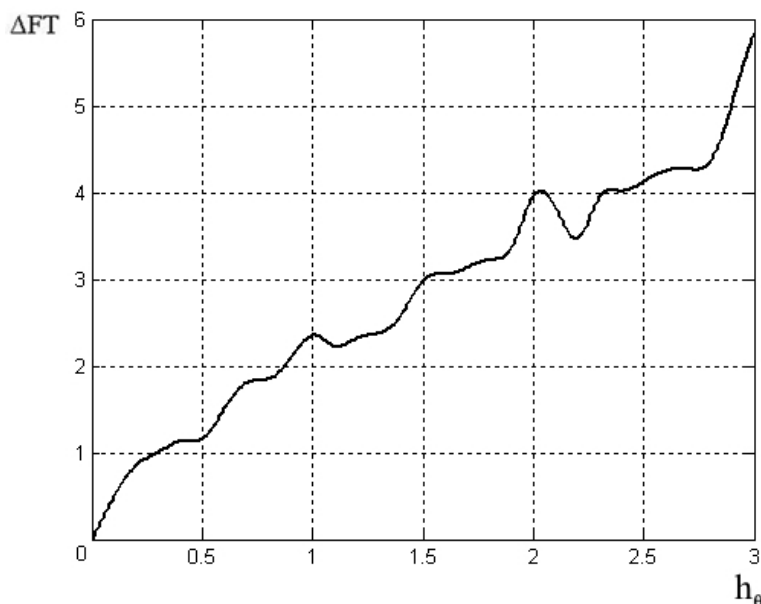


Рис. 1. Зависимость ширины энергетического спектра двухпозиционных ПМН_θ сигналов от индекса поляризационной манипуляции

Кроме оценки величины m_0 , необходимо учитывать ширину энергетического спектра ПМН_θ сигнала. Путем численного расчета по методике, изложенной в [2; 3; 5], был вычислен энергетический спектр ПМН_θ сигналов, содержащий 99,9% энергии сигнала. На рис. 1 приведены зависимости ширины спектра от индекса поляризационной манипуляции для двухпозиционных ПМН_θ сигналов с изменением угла ориентации по линейному закону. Как следует из приведенных зависимостей, с увеличением индекса поляризационной манипуляции спектр ПМН_θ сигналов расширяется.

В табл. 1 приведены значения обобщенного коэффициента глубины модуляции и ширины энергетического спектра ПМН_θ сигналов для различных индексов поляризационной манипуляции h_θ .

Таблица 1

Спектральная эффективность ПМН_θ сигналов

h_0	m_0	ΔFT
0.3	0.072	1.01
0.6	0.264	1.51
0.9	0.513	2.09
1.2	0.746	2.32
1.5	0.91	2.99
1.8	0.988	3.23
2.1	0.998	3.83
2.4	0.976	4.02
2.7	0.956	4.27
3.0	0.956	5.85

Как следует из приведенных в табл. 1 данных, величина обобщенного коэффициента глубины модуляции существенно зависит от индекса поляризационной манипуляции. Однако, начиная со значения $h_0=1.8$, величина m_0 приближается к единице и практически не изменяется с увеличением h_0 . В этом случае у ПМН_θ сигнала значительно уменьшается энергия на нулевой гармонике, что можно использовать для повышения помехоустойчивости приема ПМН_θ сигналов на фоне узкополосных помех фиксированной поляризации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев К.Г., Филатов А.Д., Сополев А.П. Поляризационная модуляция. - М.: Сов. радио, 1974.
2. Гусев К.Г. Поляризационная модуляция. - Харьков: ХВКИУ, 1968.
3. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Курс статистического моделирования. - М.: Наука, 1976.
4. Жаворонков С.С., Яманов Д.Н. Многопозиционные сигналы с поляризационной манипуляцией // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Радиотехника и радиофизика. - 2007. - № 112. - С. 52-56.
5. Яманов Д.Н., Жаворонков С.С. Анализ спектральных характеристик сигналов с непрерывной поляризационно-частотной манипуляцией // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Радиотехника и радиофизика. - 2006. - № 98. - С. 51-54.
6. Жаворонков С.С., Яманов Д.Н. Поляризационная манипуляция с непрерывным изменением параметров поляризации по гармоническому закону // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2010. - № 158. - С. 133-136.
7. Яманов Д.Н., Жаворонков С.С. Помехоустойчивость поляризационно-манипулированных сигналов с непрерывным изменением параметров поляризации по гармоническому закону // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Радиотехника и радиофизика. - 2007. - № 112. - С. 47-51.

SPECTRAL CHARACTERISTICS OF SIGNALS
WITH CONTINUOUS POLARIZATION SHIFT KEYING

Anikin P.V., Zhavoronkov S.S., Jamanov D.N.

Results of the analysis of the spectral characteristics of signals with polarization shift keying with continuous sequential change of the angle of orientation are given. The values of the generalized coefficient of modulation depth and width of the energy spectrum for the polarized signals with different polarization index manipulation are dealt with.

Keywords: spectral characteristics, coefficient of modulation, energy spectrum.

Сведения об авторах

Аникин Павел Валерьевич, 1980 г.р., окончил МГТУ ГА (2007), аспирант МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – радиосвязь.

Жаворонков Сергей Сергеевич, 1982 г.р., окончил МГТУ ГА (2005), кандидат технических наук, автор 21 научной работы, область научных интересов – радиосвязь.

Яманов Дмитрий Николаевич, 1952 г.р., окончил МИИГА (1978), кандидат технических наук, профессор кафедры технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта МГТУ ГА, автор 98 научных работ, область научных интересов – радиосвязь.

УДК 621.396.677.71

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

М.В. СНАСТИН, М.С. БЕБКО

Статья представлена доктором технических наук, профессором Воскресенским Д.И.

Проведены измерения ближнего поля волноводно-щелевой антенной решетки (ВЩАР) в безэховой камере (БЭК) с дальнейшим пересчетом в поле дальней зоны и сравнение с результатами численного расчета и моделирования. Для получения энергетических характеристик антенны (коэффициента усиления) был выбран метод замещения.

Ключевые слова: измерения, ближнее поле, моделирование.

Введение

Неотъемлемой частью разработки антенной техники и антенн, в частности, является проверка соответствия фактических параметров заданным в процессе проектирования. Данная процедура требует наличия измерительного стенда, оснащенного необходимым оборудованием и помещения или полигона для измерений. Для уверенности в достоверности экспериментальных данных необходимо калибровать измерительное оборудование и тракт передачи сигнала.

Поставим задачу спроектировать бортовую волноводно-щелевую антенную решетку с параметрами, указанными в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики ВЩАР

Параметр	Значение
Полоса частот, Δf [МГц]	660
Центральная частота, f_0 [ГГц]	34
Уровень боковых лепестков (УБЛ) [дБ], не более	-20
Ширина ДН на уровне половинной мощности [°]: в горизонтальной плоскости, θ	1.2
в вертикальной плоскости, φ	6.5
Тип поляризации	горизонтальная
Тип сканирования	механическое

На основании инженерного расчета была создана трехмерная модель антенной решетки. Она состоит из четырех симметричных квадрантов, возбуждаемых по последовательно-параллельной схеме для реализации моноимпульсного режима работы. Возбуждение секторов осуществляется распределителем мощности, выполненным на гибридных делителях по параллельной схеме, а возбуждение щелей в излучающих и магистральных линейках - по последовательной схеме.

Для построения суммарной диаграммы направленности (ДН) было достаточно создать модель одной из четвертей (рис. 1) и расставить на ее границах условия симметрии, а для обеспечения разностных ДН – всего двух четвертей, симметричных относительно азимутальной плоскости (для разностной угломестной ДН) либо симметричных относительно угломестной плоскости (для разностной азимутальной ДН).

В случае построения разностных ДН моделируемые квадранты возбуждались противофазно, на месте среза квадрантов решетки были выставлены условия симметрии. Используемые упрощения модели позволили существенно сократить время расчета.

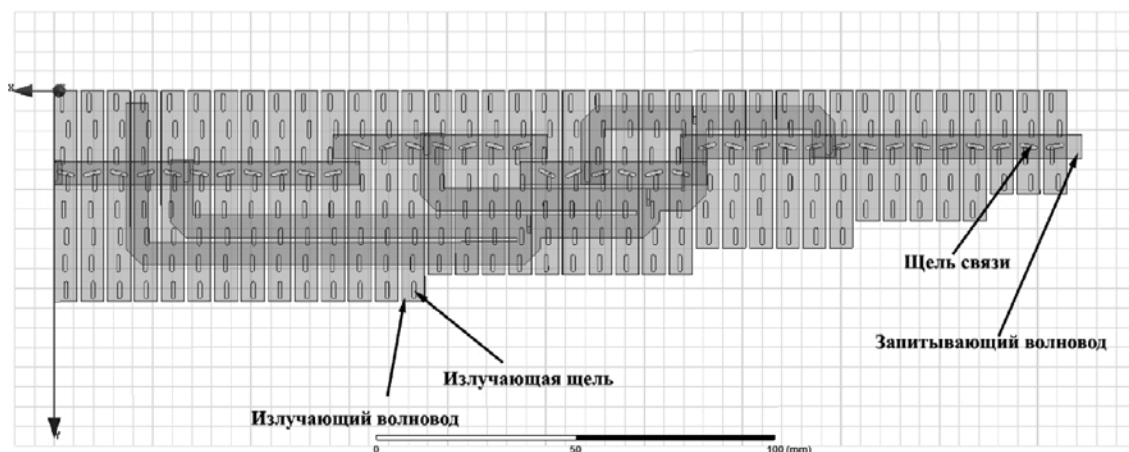


Рис. 1. Квадрант ВЦАР

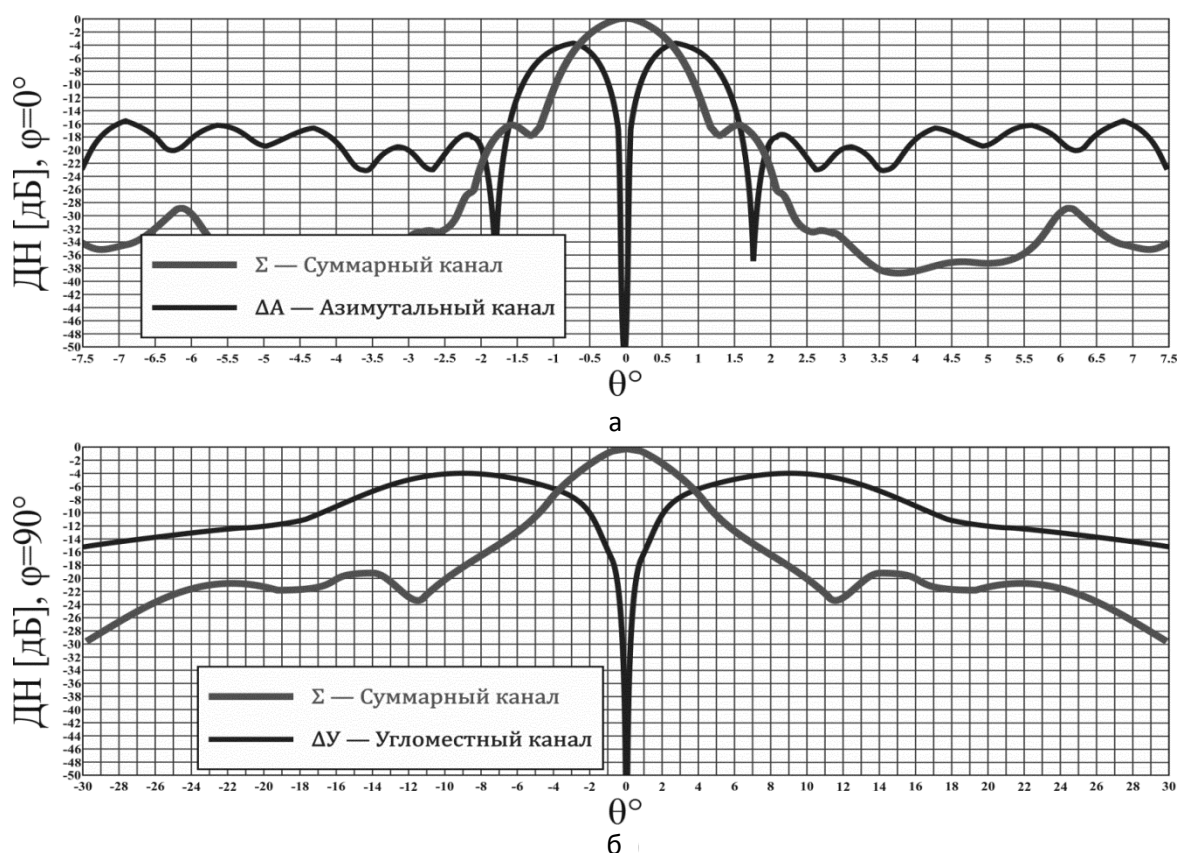


Рис. 2. Результаты моделирования характеристик направленности: а - суммарный и азимутальный каналы в Е-плоскости; б - суммарный и угломестный каналы в Н-плоскости

Создание электродинамической модели позволило менять амплитудное и фазовое распределение поля и следить за изменением направленных свойств антенны. В результате были рассчитаны уточненные суммарная и разностные ДН в горизонтальной (азимутальной) и вертикальной (угломестной) плоскостях. Были оптимизированы размеры и местоположение щелей для получения заданных характеристик ВЦАР. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

Измерения характеристик ВЦАР проводились в автоматизированном антенно-вычислительном комплексе (АИВК) на базе БЭК научно-производственного центра факультета «Радиоэлектроники ЛА» Московского авиационного института. Основные параметры используемой БЭК приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики БЭК

Параметр	Значение
Полоса частот, Δf [ГГц]	0.8÷40
Габариты, ДхШхВ [м]	8.28х5.5х3.0
Уровень экранирования, не более [дБ]	–90
Коэффициент безэховости, не более [дБ]:	
– 1÷40 ГГц	–30
– 0.8÷1 ГГц	–20
Нагрузочная способность пола [кг/м ²]	400

Так как габариты БЭК не позволяют снять характеристики направленности ВЩАР в дальней зоне ($2D^2/\lambda \geq 57.7 \dots 61.2$ м, где D – максимальный размер апертуры; λ – длина волны), было принято решение измерить антенное полотно в ближней зоне планарным сканированием.

Основные расчетные соотношения

Для экспериментального получения ДН антенны необходимо провести измерения в ближнем поле зондами с ортогональными поляризациями. В частном случае это один зонд с линейной поляризацией, а измерения проводятся с поворотом в плоскости сканирования на 90° . Приведем некоторые известные соотношения.

Спектры плоских волн [1]

$$S_{m,o}(\vec{K}) = \delta_x \delta_y \sum_i B'_{m,o}(\vec{P}_i) \exp(-j\vec{K} \cdot \vec{P}_i), \quad (1)$$

где индексы m и o соответствуют ортогональным поляризациям (основной и кроссовой); $\vec{K}$ – пространственный вектор, в направлении которого восстанавливается диаграмма направленности (ДН); δ_x и δ_y – шаги по осям x и y при измерении на плоскости; $B'_{m,o}(\vec{P}_i)$ – нормированные данные ближнего поля в точке, определяемой вектором $\vec{P}_i$; j – мнимая единица.

Для сферической системы координат «азимут-угол места»

$$\vec{K} \cdot \vec{P} = k_x x + k_y y = k \sin \theta (x \cos \varphi + y \sin \varphi).$$

Домножая (1) на коэффициент, учитывающий расстояние от антенны до зонда при измерении, можно получить составляющие вектора напряженности электрического поля антенны в дальней зоне [1]:

$$\begin{aligned} f_\theta(\vec{K}) &= A k_z S_m(\vec{K}); \\ f_\varphi(\vec{K}) &= A k_z S_o(\vec{K}), \end{aligned} \quad (2)$$

где $k_z = k \cos \theta$ – проекция вектора, характеризующего направление распространения плоской волны, на ось z ; $A = \frac{j}{\lambda R_0} \exp(-jkR_0)$; λ – длина волны; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число; R_0 – расстояние от испытуемой антенны до точки наблюдения.

Для нахождения коэффициента усиления (КУ) испытуемой антенны существуют три основных метода [2]: прямого расчета; сравнения с эталоном (замещения) и метод трех антенн. Воспользуемся методом замещения, так как он является в своем роде компромиссом между количеством требуемой априорной информации и количеством требуемых измерений (а следовательно, и затраченным временем). Для этого, помимо имеющегося измерения антенны зондом, необходимо провести дополнительное измерение эталона тем же зондом. Используем уравнения Фрисса для случая измерений в ближнем поле [2; 3]:

$$G_a(\vec{K}) = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2}\right)^2 M_{ap} \frac{|f_a(\vec{K})|^2}{|a'_a|^2 G_p(\vec{K})}, \quad (3)$$

$$G_p(\vec{K}) = \left(\frac{4\pi}{\lambda^2}\right)^2 M_{sp} \frac{|f_s(\vec{K})|^2}{|a'_{s}|^2 G_s(\vec{K})};$$

$$M_{ap,sp} = \frac{|1-\Gamma_l\Gamma_p|^2 |1-\Gamma_g\Gamma_{a,s}|^2}{|1-\Gamma_g\Gamma_l|^2 (1-|\Gamma_{a,s}|^2)(1-|\Gamma_p|^2)},$$

где $G_{a,p,s}(\vec{K})$ – КУ исследуемой антенны, зонда и эталона соответственно; $M_{ap,sp}$ – фактор рас-
согласования измерительного тракта выводится из анализа коэффициента передачи измери-
тельного тракта при рассмотрении его как несогласованного многополюсника; $\Gamma_{l,g,p,a,s}$ – ком-
плексные коэффициенты отражения от кабелей, подключенных к приемнику и генератору сиг-
нала векторного анализатора цепей (ВАЦ), зонда, испытываемой антенны и эталона соответствен-
но; $a'_{a,s}$ – нормированные потери в тракте измерения при прямом подключении кабелей друг к
другу. В частном случае $a'_a = a'_s$.

Откуда КУ испытываемой антенны

$$G_a(\vec{K}) = \frac{|1-\Gamma_g\Gamma_a|^2 (1-|\Gamma_s|^2) |a'_s|^2 |f_a(\vec{K})|^2}{|1-\Gamma_g\Gamma_s|^2 (1-|\Gamma_a|^2) |a'_a|^2 |f_s(\vec{K})|^2} G_s(\vec{K}). \quad (4)$$

Приведенные соотношения позволяют получить характеристики направленности исследуе-
мой антенны в дальней зоне по результатам планарного сканирования в ближней зоне. Точ-
ность приведенного метода восстановления подробно рассмотрена в [1] и [3].

Схема измерительного стенда

В схему измерительного стенда (рис. 3, 4) входит сканер ближнего поля, штатив для уста-
новки тестируемой антенны перед сканером и векторный анализатор цепей (ВАЦ). В процессе
измерений используются несколько антенн: зонд для сканера и две тестируемых - исследуемая
и эталон. ВАЦ подключается к тестируемой антенне и зонду через коаксиальный кабельный
тракт. Для измерений в качестве зонда и эталона применялись калиброванные линейно-
поляризованные широкополосные рупоры с известными характеристиками.

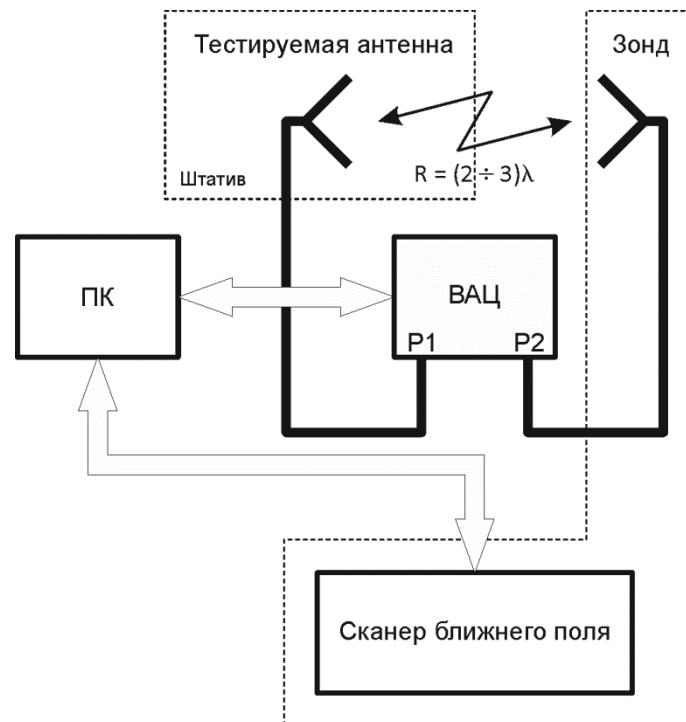


Рис. 3. Схема измерительной установки в ближней зоне

До измерений проводится калибровка измерительного тракта с целью снижения систематической погрешности определения S-параметров и мощности генератора и приемника ВАЦ для снижения инструментальной погрешности в полосе частот. После чего измеряются потери в этом тракте a'_a , a'_s и коэффициент отражения Γ_g . В процессе сканирования измеряются данные $B'_{m,o}(\vec{P})$ для тестируемой антенны и эталона, а также коэффициенты отражения зонда, эталона и антенны Γ_p , Γ_s и Γ_a . Далее следует определить спектры плоских волн по (1), ДН антенны и эталона из (2) и рассчитать КУ антенны по (4).



Рис. 4. Измерительная установка планарного сканирования в БЭК

Результаты измерений

Для пересчета поля ближней зоны в поле дальней зоны и получения необходимых характеристик направленности была написана программа в среде Mathcad. Полученные в результате обработки измерений ближнего поля с помощью данной программы ДН исследуемой ВЩАР представлены на рис. 5.

Видно, что ширина ДН на центральной частоте составила 1.26° и 7.85° в Е- и Н-плоскости соответственно. УБЛ принимает значения -22 дБ в Е-плоскости и -19 дБ в Н-плоскости. КУ ВЩАР составил 30.1 дБ. Полученные экспериментальные данные находятся в хорошем соответствии с результатами моделирования (КУ 30.5 дБ, УБЛ -20 дБ в обеих плоскостях).

Заключение

Таким образом, измерения в ближней зоне позволяют решить различные задачи измерения антенной техники, в том числе и восстановление с высокой точностью ДН остронаправленных антенн. Удобство данных измерений заключается в том, что размеры БЭК могут значительно уступать размерам полигона за приемлемое время, отведенное на измерения.

В данной работе была спроектирована бортовая ВЩАР с последующим измерением опытного образца в ближней зоне.

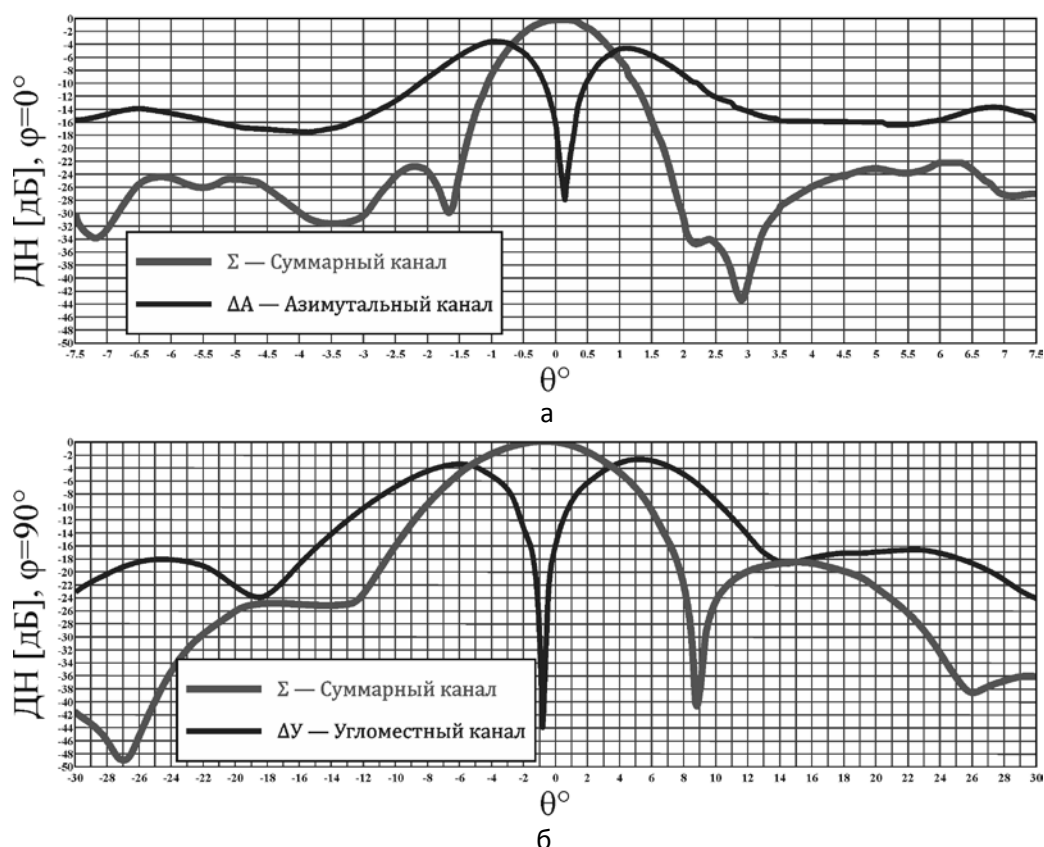


Рис. 5. Экспериментальные характеристики направленности: а - суммарный и азимутальный каналы в Е-плоскости; б - суммарный и угломерный каналы в Н-плоскости

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне / Л.Д. Бахрах, С.Д. Кременецкий, А.Н. Курочкин [и др.]. - Л.: Наука, 1985.
2. Allen C. Newell, Robert D. Ward, Edward J. McFarlane. Gain and power parameter measurements using planar near-field techniques // IEEE Trans. On Antennas And Propagation., June 1988, vol. 36, P. 792-803.
3. Allen C. Newell, Chaitanya B. Ravipati, Piewwe Arsenault, Planar near-field gain measurements to verify calibration of probes and gain standards // AMTA Symposium, 2001.

MEASUREMENT OF SLOTTED WAVEGUIDE ANTENNA ARRAY DIRECTIVITY PATTERNS

Snastin M.V., Bebko M.S.

The waveguide-slotted antenna array (SWAA) near-field measurements were carried out in an anechoic chamber (AEC) with further far field conversion and the comparison with the results of numerical calculations and modeling were made. To obtain the antenna power parameters (gain) gain comparison method was chosen.

Keywords: measurements, near field, modeling.

Сведения об авторах

Снастин Михаил Владимирович, 1990 г.р., окончил МАИ (2013), инженер научно-производственного центра радиоинформационной метрологии (НПЦ РИМ) МАИ, автор 2 научных работ, область научных интересов – измерение параметров антенн, математическое моделирование СВЧ устройств.

Бёбко Мария Сергеевна, студентка МАИ, область научных интересов – математическое моделирование СВЧ-устройств.

УДК 621.396.96

ЦИФРОВОЙ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИЙ МОДУЛЬ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Е.М. ДОБЫЧИНА, Р.Ю. МАЛАХОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Татарским Б.Г.

Рассмотрен мировой технический уровень и тенденции развития интеллектуальных антенных систем на борту подвижного носителя. Предложена структура цифрового приемо-передающего модуля с программно-реконфигурируемой архитектурой для бортовой активной фазированной антенной решетки.

Ключевые слова: цифровой приемо-передающий модуль (ППМ), цифровое диаграммообразование, программно-реконфигурируемая архитектура.

Введение

Основным направлением мировых исследований в области антенных систем является поиск путей обеспечения их многофункциональности. Например, одна и та же радиосистема реализует на борту подвижного носителя функции радиосвязи и выполняет задачи радиолокации, при необходимости она же начинает работать как система радиопротиводействия и обеспечивает скрытность своего носителя. Новый подход к синтезу излучающей поверхности открывает возможность построения нового поколения антенных систем – интеллектуальных на основе конформных антенных решеток.

В России существует целевая программа развития вооружения и военной техники, в соответствии с которой предполагается построение различных антенн в виде активных фазированных антенных решеток (АФАР), состоящих из типовых ППМ. Типовой ППМ предполагается унифицировать для применения в антенных системах различного назначения.

В ряде стран за рубежом также идет интенсивная разработка теории и техники конформных антенн. Основой таких систем является АФАР, использующая принцип цифрового диаграммообразования – цифровая антенная решетка (ЦАР) [1; 2]. Проектирование летательных аппаратов (ЛА), в том числе и беспилотных, обеспечивающих скрытный полет, вынуждает осуществлять разработку конформных антенн, которые дают возможность их информационной маскировки. Фирмы, разрабатывающие технологии конформных антенн для средств связи, в их числе Ball Aerospace & Technologies Corp., Lockheed Martin Corporation и Northrop Grumman Corporation, проводят исследования с целью определения возможности приспособить эти антенные решетки к прикладным задачам в области радиолокации и радиоэлектронной борьбы.

Основой построения ЦАР может служить цифровой ППМ (ЦППМ). Известны патенты, в которых предлагается антенная решетка, в состав каждого приемо-передающего модуля которой входит прямой цифровой синтезатор сетки частот (ССЧ) [3; 4]. Недостатком приемного тракта таких систем является необходимость понижения рабочей частоты, что приводит к уменьшению динамического диапазона и увеличению коэффициента шума. Кроме того, известно, что в сигнале на выходе прямого цифрового ССЧ уровень фазовых шумов не соответствует требованиям доплеровской радиолокации, а значит, многофункциональность не реализуется.

В последние годы появились публикации об использовании принципа программно-реконфигурируемой архитектуры (software-defined radio) в АФАР [5; 6]. Недостатком таких систем являются повышенные требования к быстродействию центрального вычислителя. Невозможность реализации такого быстродействия приводит к низкой скорости изменения параметров диаграммы направленности АФАР и, как следствие, невыполнению задач всей радиосистемы.

Проблему можно решить, используя структуру ЦАР, в которой отсутствует разводка СВЧ сигнала, вносящая ошибки в цифровое формирование диаграммы направленности. ССЧ с цифровым кольцом фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) входят в состав каждого приемо-передающего модуля и синхронизируются единым генератором тактовых импульсов.

Включение в состав приемо-передающего модуля микроконтроллера позволит в реальном времени изменять параметры выходного сигнала элементов интеллектуальной системы независимо друг от друга. Наличие распределенной системы обработки и формирования сигнала позволит снизить требования к центральному вычислителю и в перспективе существенно повысить быстродействие системы. Такой ЦППМ обеспечит гибкое изменение характеристик всей радиосистемы и повысит точность и скорость формирования диаграммы направленности ЦАР. Объединение принципов цифрового диаграммообразования с программно-реконфигурируемой архитектурой позволит создать новый класс устройств с повышенной степенью интеграции и улучшенными точностными характеристиками. Данные по аналогичным исследованиям за рубежом ограничены в силу их актуальности.

Проблемы создания современных ППМ АФАР

Основа традиционной АФАР – ППМ, упрощенная схема которого изображена на рис. 1. Модуль состоит из излучателя и двух каналов – передающего и приемного. Развязку между каналами обеспечивает циркулятор. В передающем канале на выходе стоит полупроводниковый усилитель мощности СВЧ-диапазона, обеспечивающий среднюю выходную мощность 8-15 Вт. Коэффициент усиления по мощности в этом диапазоне может составлять $K_p=30$ дБ (примерно 3 каскада) при КПД усилителя порядка 25%, тогда мощность на входе ППМ должна составлять примерно $P_{вх}=15$ мВт.

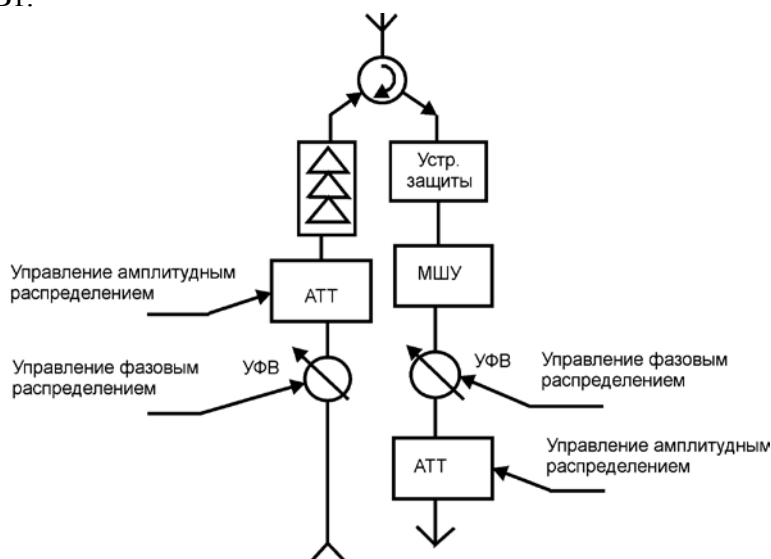


Рис. 1. Базовая структура приемо-передающего модуля АФАР

Аттенюатор (АТТ), управляющий выходной мощностью модуля, а следовательно, амплитудным распределением в апертуре АФАР, может отсутствовать. Управляемый фазовращатель (УФВ) создает требуемый фазовый набег в соответствующем тракте ППМ, а следовательно, управляет фазовым распределением в решетке. Используются дискретные УФВ с дискретом фазы $\Delta\varphi$ от $11,25^\circ$ до 90° и цифровым управлением.

На входе приемного канала стоят устройство защиты и малошумящий усилитель (МШУ). МШУ выполняется на основе микросхемы размером примерно $3 \times 2 \times 1,5$ мм (Monolithic Microwave Integrated Circuit–ММІС) и может иметь коэффициент усиления порядка 17 дБ. Ат-

тенюатор и УФВ в приемном канале аналогичны таким же элементам в передающем канале и выполняют те же функции.

ППМ располагается обычно в специальном корпусе размером около 160×200 мм (ширина $\times$ глубина). Высота корпуса будет определяться в основном размером мощного СВЧ-усилителя в передающем канале и может составлять в зависимости от фирмы-изготовителя от 10 до 150 мм (рис. 2) [7].

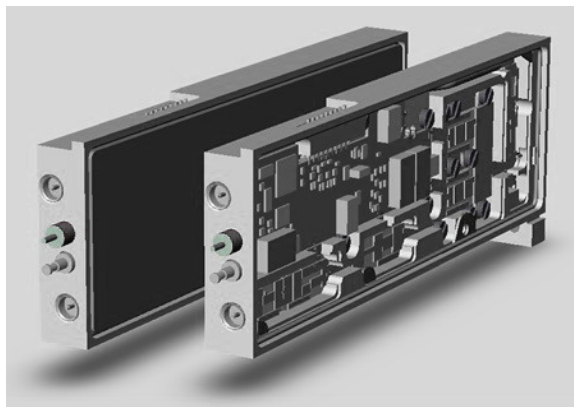


Рис. 2. Широкополосный ППМ бортовой АФАР

Поскольку общее число ППМ в решетке может составлять несколько тысяч, то система подведения СВЧ-сигнала от устройства генерирования и формирования излучаемого сигнала к входам передающих каналов ППМ, снятие и обработка сигнала с выходов приемных каналов ППМ весьма сложны, громоздки и не обеспечивают стабильности амплитудных и фазовых характеристик на выходах модулей. Кроме того, существенной задачей является отвод тепла от активных приборов в условиях компактного размещения модулей.

Может быть реализован простейший способ возбуждения большой АФАР – оптическая пространственная система проходного типа. Проходная антенная решетка имеет не только выходные, но и входные излучатели, а ППМ располагаются между ними. Входные излучатели облучаются рупорными антеннами – по числу секций решетки для формирования разностных диаграмм направленности (ДН). Такая система разводки является достаточно широкополосной. Однако в этом случае АФАР не сможет работать одновременно на прием и передачу, а кроме того, невозможно будет сформировать оптимальные амплитудные распределения для суммарной и разностных ДН.

ЦППМ с программно-реконфигурируемой архитектурой

Одной из главных тенденций повышения функциональности АФАР является использование цифрового диаграммообразования (ЦДО) [1; 2]. Сущность цифрового диаграммообразования заключается в том, что диаграмма направленности (ДН) антенной решетки формируется не аналоговыми устройствами (фазовращателями), а цифровыми, например, квадратурными модуляторами или цифровыми линиями задержки, входящими в состав каждого ППМ. Модулятор вносит в канал дополнительный, управляемый цифровым способом или программируемый, дискретный фазовый сдвиг, создавая необходимое амплитудно-фазовое распределение (АФР) в решетке или корректируя его.

ЦАР строится из ЦППМ, в отличие от ППМ аналоговой АФАР его главная функция – преобразование аналогового сигнала в цифровой на более раннем этапе в приемной части решетки, и наоборот, цифрового сигнала в аналоговый в передающей части. Вместо сложной системы сканирования в ЦАР целесообразно использовать многолучевой режим работы хотя бы в одной плоскости. Главные достоинства этого ЦППМ – замена СВЧ-входа от системы разводки сигнала

ла несущей частоты на вход опорного сигнала, существенно более низкочастотного, а возможно и цифрового; замена традиционных фазовращателей устройствами с цифровыми методами формирования ДН, отсутствие процедуры понижения частоты, добавляющей амплитудные и фазовые ошибки в работу системы, осуществление аналого-цифрового преобразования сигнала непосредственно на несущей частоте (рис. 3).

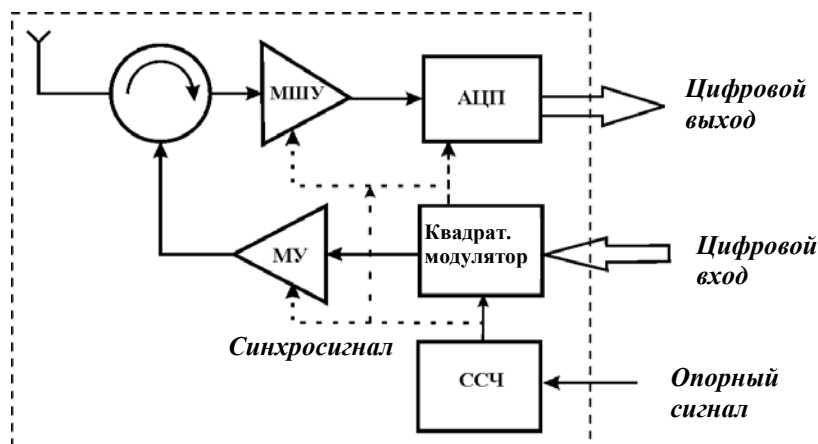


Рис. 3. Цифровой ППМ

Следует сказать о применении аналого-цифровых преобразователей (АЦП) в технике ЦДО. Основная особенность таких систем – применение АЦП (ЦАП) в каждом приемном и передающем канале каждого модуля. При этом исключаются операции преобразования частоты, детектирования сигналов с выделением огибающей и тем самым уменьшаются энергетические потери, повышается чувствительность приемной системы, и упрощается конструкция модуля. Среди производителей, успешно решающих проблемы цифрового диаграммообразования в современных системах, прежде всего, нужно отметить фирмы Analog Devices, Texas Instruments и Atmel – крупнейших поставщиков сигнальных процессоров, АЦП и ЦАП. Сигналы, снимаемые с выхода АЦП, суммируются и обрабатываются сигнальным процессором. Таким образом, новейшие технологии реализуются на достаточно распространенной и отнюдь не самой дорогой элементной базе.

Современный уровень технологии АЦП дает возможность проводить аналого-цифровое преобразование сигналов со скоростью до 40 Гигавыборок в секунду – это коммерчески доступные АЦП с 8 – 10-разрядным разрешением, при этом диапазон входных аналоговых сигналов составляет до 13 ГГц.

Дальнейшая обработка может быть разная. Наиболее распространен способ введения в числовые последовательности излучателей фазовых сдвигов с последующим сложением получаемых значений, соответствующих одним и тем же моментам квантования (дискретное преобразование Фурье - ДПФ или быстрое преобразование Фурье - БПФ). Вычисление адаптивных коэффициентов и формирование ДН в реальном масштабе времени должны обеспечить цифровые сигнальные процессоры (DSP).

Высокие требования по массогабаритным параметрам, энергетическим и электрическим характеристикам систем с ЦДО приводят к необходимости поиска оптимальной структуры ЦППМ для различных частотных диапазонов, уровней выходной мощности, требований к приемному тракту и т.д. Все это реализуется при использовании принципа программной реконфигурации модуля, когда изменение его функций или характеристик осуществляется только программными методами, а СВЧ часть остается неизменной. Пример реализации такой структуры ЦППМ изображен на рис. 4, где более детально показано взаимодействие и принцип управления его цифровой частью.

Требования к цифровой и СВЧ частям передающего и приемного тракта ЦППМ различны, поэтому их целесообразно размещать на разных печатных платах. Экранирование СВЧ частей позволит уменьшить нежелательное влияние электромагнитных волн на цифровые сигналы управления. Развязка приемного и передающего тракта осуществляется с помощью циркулятора, выполненного в волноводном или печатном исполнении. На выходе циркулятора расположена ключевая схема, обеспечивающая работу модуля на антенный излучатель или на согласованную нагрузку. Для распределения синхронизирующих сигналов на плате ЦППМ расположен делитель тактовых импульсов, разделяющий опорный сигнал на приемный и передающий тракты.

Управление параметрами модуля осуществляется с помощью встроенного 8-битного или 16-битного микроконтроллера (МК). Он связан с цифровыми устройствами посредством универсального последовательного SPI-интерфейса.

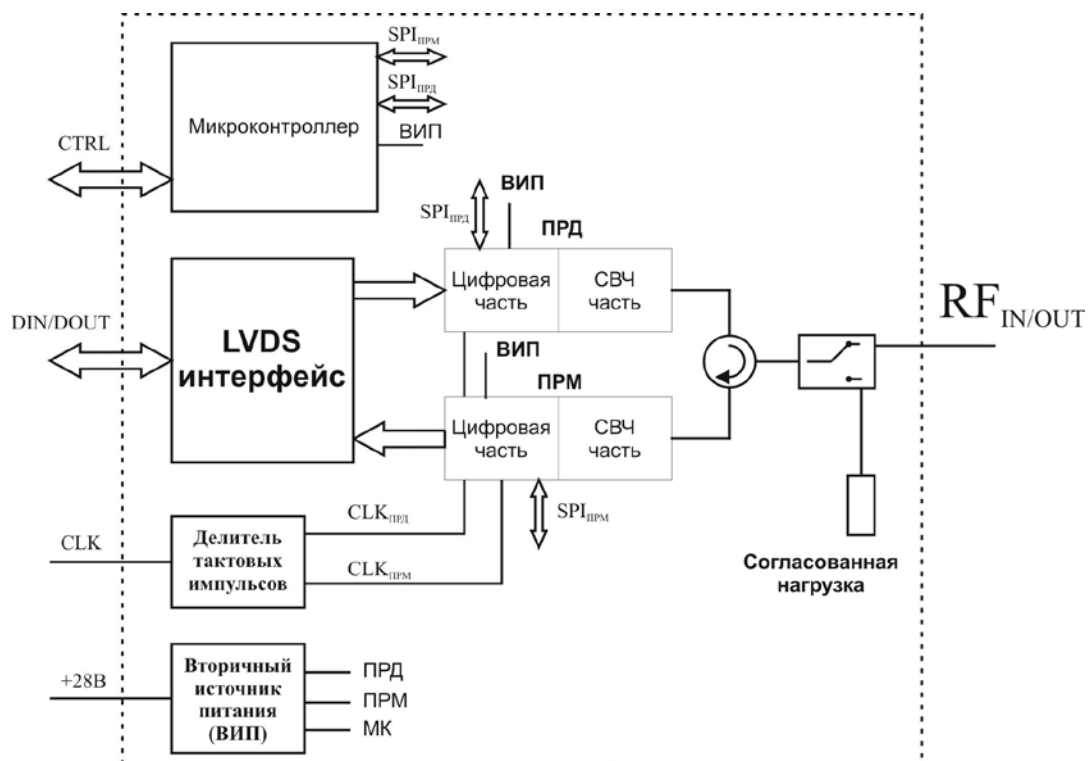


Рис. 4. Реализация программно-реконфигурируемой архитектуры ЦППМ

МК управляет всеми составными частями модуля и, в том числе, процессом изменения частоты на его выходе. Например, каждой частотной литере ЦППМ во внутренней постоянной SRAM-памяти МК соответствуют свои значения целочисленного и дробного коэффициента деления ССЧ, находящегося в цифровой части каждого модуля, а также значение выходного тока ССЧ, определяющего его выходную мощность на конкретной частоте, что позволяет корректировать неравномерность АЧХ передающего тракта. При необходимости более точной настройки можно регулировать выходную мощность ССЧ с помощью встроенного аттенюатора. Каждой частоте в памяти МК соответствуют значения корректирующих амплитуд и фаз выходного сигнала. Память современных МК позволяет хранить до нескольких сотен значений частот. Включение в состав ЦППМ постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) позволяет значительно повысить объем хранимой информации.

В части управления параметрами АЦП в приемном тракте контроллер позволяет изменять уровень постоянного смещения на его дифференциальных входах и включать/выключать внутреннюю схему диттеринга.

Цифровые устройства ЦППМ обладают возможностью программного отключения питания, во время которого сохраняются все текущие значения регистров внутренней памяти. Включение режима малого потребления тока осуществляется с помощью МК по высокому уровню на контакте POWER. Потребление тока в этом режиме обычно не превышает 100 – 200 мА.

Важной задачей МК является осуществление процедуры запуска ЦППМ и контроля параметров, входящих в его состав компонентов, с последующей выдачей квитанции о текущем состоянии модуля в центральную вычислительную машину (ЦВМ).

Выбор интерфейса взаимодействия ЦППМ с ЦВМ осуществляется в первую очередь исходя из объема передаваемых данных. Повышение требований к изменению амплитудно-фазового распределения антенной системы до скоростей, соответствующих частотам обработки 100 – 200 МГц, приводит к необходимости использования высокоскоростных цифровых интерфейсов связи, обеспечивающих низкое потребление источника питания и малые вносимые шумы в передаваемый сигнал. Требуемая скорость передачи данных на интерфейсе ЦППМ - ЦВС определяется следующим выражением

$$F_{DATA} = 2F_{DAC}N_{DAC} + F_{ADC}N_{ADC} + F_{МК}N_{DATA}, \quad (1)$$

где F_{DAC} , F_{ADC} – частота дискретизации ЦАП и АЦП, Гц; N_{DAC} , N_{ADC} – разрядность ЦАП и АЦП; $F_{МК}$ – частота управления микроконтроллером, Гц; N_{DATA} – разрядность управляющего слова.

Полоса пропускания канала цифровой связи должна быть на 10 – 20% больше частоты, рассчитанной по формуле (1). Требуемая скорость передачи данных ЦППМ, аналогичного приведенному на рис. 4, согласно этому выражению должна составлять не менее 2,1 Гбит/с.

В качестве цифрового интерфейса связи можно использовать стандарт ANSI/TIA/EIA-644 (LVDS) – низковольтная дифференциальная передача сигналов. Передача данных в LVDS осуществляется по двум дифференциальным линиям с противоположными по знаку значениями напряжения в каждый момент времени. Прием сигналов LVDS осуществляется путем сравнения напряжения на обеих линиях, что позволяет устранить влияние шумов, вносящих паразитную постоянную составляющую в сигнал, и уменьшить требуемое для передачи напряжение, что в свою очередь снижает энергопотребление интерфейса. Концентрация электромагнитного поля в области между дифференциальными линиями сокращает их влияние на другие элементы ЦППМ.

Анализ существующей элементной базы показал, что такие модули могут иметь существенно меньшие размеры, массу, энергопотребление, чем традиционные ППМ АФАР. При этом их точностные характеристики обеспечивают формирование лучей с шириной порядка единиц и долей градуса и соответствующим усилением.

Заключение

Рассмотрен ЦППМ с программно-реконфигурируемой архитектурой, в нем реализованы основные принципы ЦДО:

- для достижения высокого динамического диапазона в приемном тракте ЦППМ отсутствуют частотные преобразования – аналого-цифровое преобразование осуществляется непосредственно на несущей частоте;
- в состав каждого ЦППМ входит ССЧ с цифровым кольцом ФАПЧ;
- управление амплитудно-фазовым распределением на передачу осуществляется с помощью КМ;
- встроенный в ССЧ аттенюатор позволяет корректировать частотную зависимость выходной мощности ССЧ;
- формирование диаграммы направленности на прием и на передачу осуществляется полностью в цифровом виде после аналого-цифрового/цифро-аналогового преобразования.

Такой модуль с интегрированным излучателем может служить основой построения сложных конформных антенных систем, а также актуальных разреженных, распределенных в пространстве антенных решеток с когерентным накоплением сигнала в сложной помеховой обстановке.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Slyusar V.I. etc.** Experimental radar with 64-channel digital antenna array // International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv-Slavske, 2010. P. 95.
2. **Zhuo Zhang etc.** Measurement and performance of digital monopulse radar array antenna // International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), Chengdu, 2010. Pp. 983 – 986.
3. Patent US20130004180A1. Digital radio transceiver system and method / Gupta D., Mukhanov O., Jan. 3 2013. P. 23.
4. Patent US005943010A. Direct digital synthesizer driven phased array antenna / Rudish. R., Magil E., Aug. 24 1999. P. 1.
5. **Sha Huan etc.** Software-defined system integrated communications based on active phased array radar // IEEE International Conference on Microwave Technology & Computational Electromagnetics (ICMTCE), Beijing, 2011. Pp. 508 – 511.
6. **Garmatyuk D. etc.** Radar and data communication fusion with UWB-OFDM software-defined system, IEEE International Conference on Ultra-Wideband, 2009. ICUWB 2009, Vancouver, 2009. Pp. 454 – 458.
7. [Электронный ресурс]. URL: http://www.mwsystems.ru/goods/transferring_modules.html.

DIGITAL TRANSCEIVER FOR ACTIVE PHASED ANTENNA ARRAY

Dobychina E.M., Malakhov R.Yu.

World technical level and progress trend of existence on-board intelligent antenna systems was considered. Digital transceiver structure with software-defined structure for on-board active phased antenna array was proposed.

Keywords: digital TR, digital beamforming, software-defined structure.

Сведения об авторах

Добычина Елена Михайловна, окончила МАИ (1983), кандидат технических наук, доцент кафедры радиофизики, антенн и микроволновой техники МАИ, автор более 20 научных работ, область научных интересов – радиофизика.

Малахов Роман Юрьевич, 1989 г.р., окончил МАИ (2011), аспирант МАИ, автор 2 научных работ, область научных интересов – приемо-передающие модули АФАР, математическое моделирование СВЧ-устройств.

УДК 629.7.351

МЕТОД СНИЖЕНИЯ КОНФЛИКТНОСТИ НА СТАНДАРТНЫХ МАРШРУТАХ ВЫЛЕТА И ПРИБЫТИЯ*

В.Б. МАЛЫГИН, Е.Е. НЕЧАЕВ

В статье предлагается метод организации стандартных маршрутов вылета и прибытия, позволяющий значительно снизить показатели конфликтности между воздушными судами (ВС).

Ключевые слова: стандартный маршрут (SID, STAR), зональная навигация, многотраекторный маршрут.

В настоящее время для организации вылета из крупных аэропортов используется ограниченное количество стандартных маршрутов. В силу неоднородности потока вылетающих воздушных судов из-за различных тактико-технических характеристик самолетов, а также различий во взлётных массах, зависящих от особенностей рейса, возникают потенциальные конфликты между воздушными судами, вылетающими по одному и тому же маршруту. Это обстоятельство создаёт немало проблем для авиадиспетчера и не позволяет регулировать вылетающий поток воздушных судов только интервалом по взлёту ($\Delta t_{\text{взл}}$).

Предлагается метод организации потока вылетающих воздушных судов, значительно снижающий вероятность наступления потенциально-конфликтной ситуации для данных обстоятельств (т.е. нарушений установленных интервалов продольного ℓ и вертикального h эшелонирования).

В качестве исходных данных принято множество объектов движения с различными поступательными и вертикальными скоростями W_i и V_i с дискретностью ΔW и ΔV , при этом в целях приближения математической модели к реальному процессу считается, что различаться скорости воздушных судов не могут более чем на удвоенную величину соответствующей дискретности:

$$W_{\max} = W_{\min} + 2\Delta W; \quad V_{\max} = V_{\min} + 2\Delta V. \quad (1)$$

Для данных условий задачи предлагается пять ВС (табл. 1), которые наиболее полно отражают тактико-техническое состояние участников движения в случайно выбранный момент времени, два из них с максимальными тяговыми возможностями, два - со средними и одно - с минимальными.

Таблица 1

BC1	$W_{\max}$	$V_{\max}$
BC2	$W_{\max}$	$V_{\max} - \Delta V$
BC3	$W_{\max} - \Delta W$	$V_{\max} - \Delta V$
BC4	$W_{\max} - \Delta W$	$V_{\max} - 2\Delta V$
BC5	$W_{\max} - 2\Delta W$	$V_{\max} - 2\Delta V$

Маршрут движения представляет собой линию, разделённую на 6 участков длиной ℓ , где происходит разворот на 180° после взлета на первом участке, далее воздушные суда движутся по прямой линии с набором высоты (рис. 1). В зависимости от вертикальных скоростей набора на выходе маршрута предусмотрены 3 различные высоты (эшелона fl1, fl2, fl3).

*Работа выполнена при материальной поддержке РФФИ (грант № 13-08-00182).

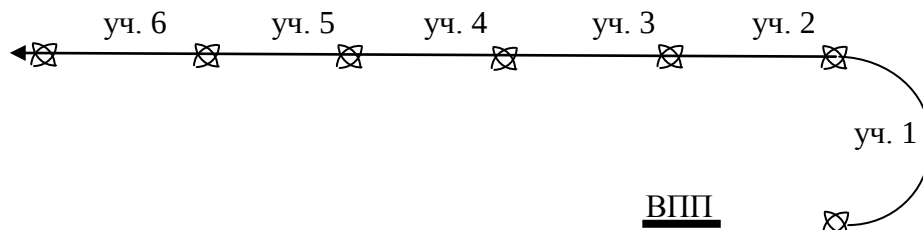


Рис. 1

Участок 1 считается бесконфликтным, т.к. интервал времени между взлётами $\Delta t_{\text{взл}}$ предполагает выдерживание интервала ℓ .

Сформулируем правила безопасности для каждого воздушного судна. Из табл. 2 видно, что первое воздушное судно представляет опасность после взлёта для взлетевших ранее ВС4 и ВС5 на втором и третьем участках маршрута, т.к. имеет большую поступательную скорость и для ВС3 на втором, третьем и четвертом участках, т.к. на пятом и шестом участках будет выдерживаться безопасный вертикальный интервал. Аналогично для остальных воздушных судов. Считаем, что ВС5 не представляет опасности после взлета для любых ранее взлетевших ВС, также как и ВС1, ВС2 не представляют никакой опасности, взлетая первым или вторым номером.

Таблица 2

№ ВС	Уч. 2	Уч. 3	Уч. 4	Уч. 5	Уч. 6
1	3, 4, 5	3, 4, 5	3		
2	3, 4, 5	3, 4, 5	3, 4, 5	3	3
3	5	5	5	5	
4	5	5	5	5	5

Для данных условий можно предложить всего $5!$ возможных вариантов порядка вылета, т.е. 120 ситуаций. Принимаем равномерное распределение случайной величины. Так, например, случайно выбранный порядок вылета (3; 5; 1; 4; 2) создаёт ситуацию, представленную в табл. 3. В ячейках таблицы указаны номера воздушных судов, с которыми возможна потенциально-конфликтная ситуация (ПКС).

Таблица 3

№ ВС	1	2	3	4	5	6
ВС3						
ВС5						
ВС1		5	3, 5	3		
ВС4			5	5	5	5
ВС2		4	4	4, 5	3	3

Вероятность возникновения ПКС для данной ситуации равна $14/30$ или $0,47$. В данном случае учтено, что для ВС4 второй участок маршрута является бесконфликтным, т.к. после ВС5 был промежуточный вылет ВС1.

Аналогичным образом в табл. 4 произведена оценка оставшихся 119 ситуаций и получено среднее значение вероятности возникновения ПКС для маршрута $P_{\text{ПКС}} = 0,309$.

Данное значение вероятности возникновения ПКС для однотоакторного маршрута вылета вполне соответствует реальному положению дел, причём на практике задача предотвращения ПКС лежит на авиадиспетчере.

Современные методы организации воздушного пространства позволяют значительно снизить этот вероятностный показатель за счет использования функционала зональной навигации. Так использование функции самолетного компьютера (полет с заданным курсом до занятия заданной высоты на определенном сегменте маршрута) позволяет создать многотраекторный маршрут вылета, в котором различия в тактико-технических данных воздушных судов эффективно используются для снижения вероятности возникновения ПКС.

Пример такого маршрута для западного и северного направлений представлен на рис. 2.

После взлета на первом участке маршрута экипаж ВС устанавливает определенный курс следования до занятия высоты H , после чего поворачивает на конечную точку маршрута и следует на неё с набором высоты. На практике высоту (эшелон) выхода задаёт диспетчер с учетом тактико-технических возможностей воздушного судна с учётом пожеланий экипажа.

По аналогии с описанием однотоаекторного маршрута считаем первый участок бесконфликтным за счет наличия интервала по взлёту, а остальные участки оценим на вероятность ПКС для типичного потока ВС (табл. 4).

Таблица 4

№ ВС	Уч. 2	Уч. 3	Уч. 4	Уч. 5	Уч. 6
1					
2	3	3	3	3	3
3					
4	5	5	5	5	5

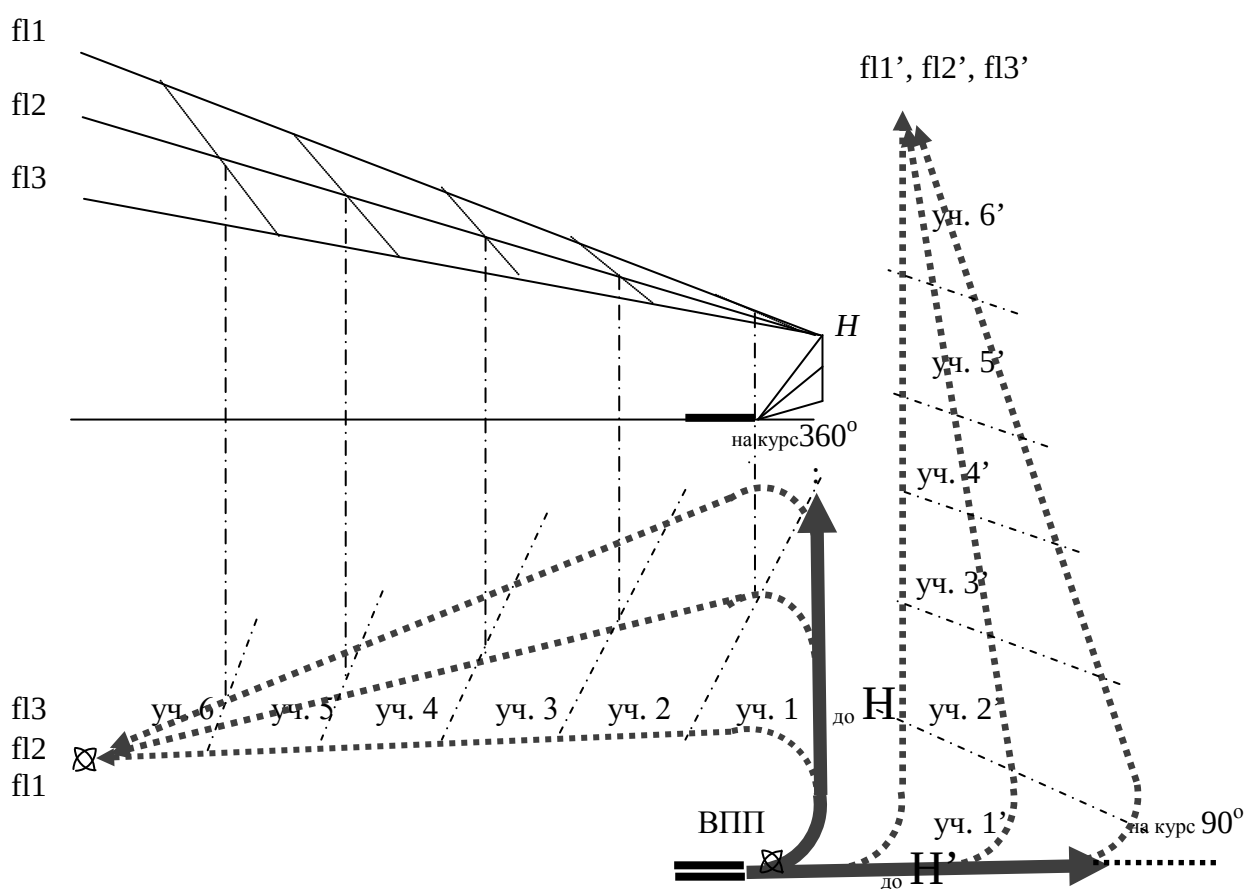


Рис. 2

По данным табл. 4 видно, что тип ВС1 не конфликтует с остальными при вылете, т.к. момент набора высоты H для других типов ВС наступает позже, что создаёт условия для возникновения бокового безопасного интервала. Тип ВС2 конфликтует только с типом ВС3, а тип ВС4 конфликтует только с типом ВС5. Для знакомой ситуации (3; 5; 1; 4; 2) номера воздушных судов, с которыми возможна ПКС, представлены в табл. 5.

Таблица 5

№ ВС	1	2	3	4	5	6
BC3						
BC5						
BC1						
BC4			5	5	5	5
BC2					3	3

Вероятность ПКС на многотраекторном маршруте для данной ситуации равна 6/30.

По сравнению с однотраекторным маршрутом значение P' меньше в 2,3 раза.

В целом оценка вероятности возникновения ПКС для многотраекторного маршрута соответствует значению $P'_{ПКС} = 0,13$, что в 2,35 раз ниже однотраекторной структуры маршрута.

Результат, полученный путем сравнения двух различных типов организации структуры маршрутов вылета, имеющих одинаковые цели, показывает значительные преимущества в области безопасности полетов (около 2,5 раз) при многотраекторном принципе построения маршрута по сравнению с однотраекторным.

Аналогичные преимущества при использовании конструктора зональной навигации появляются и на маршрутах прилёта. Так на рис. 3 представлен стандартный маршрут прибытия FK25A, описанный по правилам зональной навигации в табл. 6.



Рис. 3

Таблица 6

Название стандартного маршрута прибытия	FK25A				
Название точки (WP)	fk001	fk002	fk003	fk004	fk005
Тип участка маршрута	TF	TF	TF	TF	

Недостатком такой конструкции стандартного маршрута прибытия является его высокая конфликтность при схождении нескольких воздушных судов в одно и то же время на разных эшелонах на точку fk001. В этом случае автоматически выполнять маршрут со снижением и заходом на посадку имеется возможность только у одного ВС - самого нижнего. Для остальных воздушных судов потребуются «ручное управление», т.е. получение команд от авиадиспетчера на изменение курса и высоты полета.

По аналогии с предлагаемым способом конструирования стандартного маршрута вылета можно значительно снизить конфликтность внутри маршрута FK25A, применив тип участка маршрута СА конструктора зональной навигации.

Предположим на точку fk001 выделено три эшелона для прибытия на конкретный аэродром (fl300.fl280.fl260), а на точку fk005 необходимо выйти на fl60, далее снижение и заход на посадку по командам диспетчера. Для снижения конфликтности стандартного маршрута в связи с возможной ситуацией «догона» при помощи конструктора зональной навигации создадим боковой интервал между траекториями воздушных судов, выходящих на точку fk001 на разных эшелонах. Для этого необходимо учесть путевую (W) и вертикальную (V) скорости снижения. После пролета точки fk001 до занятия эшелона 280 зададим магнитный курс МК 070, до занятия эшелона 260 зададим МК 080, до занятия эшелона 60 зададим МК 090, далее следовать командам диспетчера.

На рис. 4 представлен многотраекторный маршрут FK25A с его описанием в табл. 7.

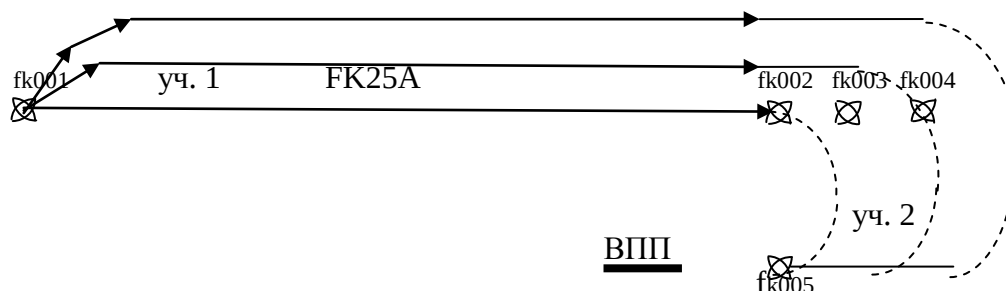


Рис. 4

Таблица 7

Название стандартного маршрута прибытия	FK25A	
Название точки (WP)	fk001	fk005
Тип участка маршрута	CA W, V (МК070, fl280), (МК080, fl260), (МК090, fl60)	MF

В обоих случаях (рис. 2, 4) используется одинаковый принцип конструирования маршрута полёта - следовать с заданным курсом от заданной точки до занятия заданной высоты, который значительно снижает показатель конфликтности маршрутов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Doc 9613-AN/937. Руководство по требуемым навигационным характеристикам (RNP). - 2-е изд. - Монреаль: ИКАО, 1999.
2. Рекомендации по подготовке ВС и эксплуатантов ГА России к полётам в системе точной зональной навигации P-RNAV в Европейском регионе по требованиям RNP 1: приложение к распоряжению Минтранса России от 04.02.2003 г. №НА-21-р.

METHOD OF REDUCING CONFLICTS ON STANDART DEPARTURE AND ARRIVAL ROUTES

Malygin V.B., Nechaev E.E.

The article presents the method of reducing conflicts between aircraft after take-off for departure and between arriving aircraft.

Keywords: the standard route (SID, STAR), area navigation, route megatrajectory.

Сведения об авторах

Малыгин Вячеслав Борисович, 1960 г.р., окончил УВАУ ГА (1988), доцент кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, автор 7 научных работ, область научной деятельности – аэронавигационное обслуживание и использование воздушного пространства.

Нечаев Евгений Евгеньевич, 1952 г.р., окончил НЭТИ (1974), профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой управления воздушным движением МГТУ ГА, автор более 180 научных работ, область научных интересов – теория УВД, радиолокация, радионавигация, теория и техника СВЧ измерений.

УДК 621.391:621.396

ПОДАВЛЕНИЕ ПОМЕХ В ШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОКАНАЛАХ ДИАПАЗОНА УВЧ

О.Н. СКРЫПНИК, О.В. ПАТРИКЕЕВ, Н.Г. АСТРАХАНЦЕВА

Проведена сравнительная оценка эффективности алгоритмов подавления сосредоточенных по спектру помех путём моделирования широкополосного помехозащищённого радиоканала передачи дискретной информации в среде графического программирования LabVIEW.

Ключевые слова: шумоподобные сигналы, сосредоточенные помехи, моделирование, режекция помех, широкополосные системы связи, системы передачи дискретной информации.

Обеспечение эффективного управления воздушным движением невозможно без использования высоконадежных и помехозащищённых каналов связи. В настоящее время в гражданской авиации широко используются средства связи диапазонов ВЧ и ОВЧ. Диапазон ВЧ позволяет организовать дальнюю радиосвязь на расстояние до 10000 км, но скорость передачи дискретной информации ограничена высоким уровнем естественных и межстанционных помех. Диапазон ОВЧ обладает высокой пропускной способностью, обеспечивая устойчивую радиосвязь между объектами в пределах прямой видимости: до 400 км по линии «борт-земля».

Для реализации концепции «открытое небо» и автоматического зависящего наблюдения (АЗН) необходимы помехозащищённые каналы дальней и глобальной радиосвязи. Поэтому для увеличения дальности и качества связи наилучшим решением является использование космических радиолиний.

Создание помехозащищённой радиолинии с высокой пропускной способностью возможно на основе применения перспективных многопозиционных шумоподобных сигналов (ШПС) с использованием оптимальных методов их обработки и защиты от помех [1].

В настоящее время для авиационных систем спутниковой связи по линии «борт-ИСЗ-борт» выделяются частоты 1,5/1,6 ГГц УВЧ диапазона, который также используется различными узкополосными радиотехническими системами. При создании в этом диапазоне высокоскоростного широкополосного канала передачи информации такие системы будут являться источниками сосредоточенных помех, которые необходимо компенсировать (подавить) тем или иным способом.

Для анализа эффективности алгоритмов подавления сосредоточенных по спектру помех в среде графического программирования LabVIEW разработана модель канала передачи информации (рис. 1), позволяющая проводить исследования помехозащищённости широкополосных систем связи на базе платформы NI PXIe-1065 с использованием модуля NI PXIe-5610.

Модель позволяет сформировать ШПС на выбранной рабочей частоте и передать его по линии связи с заданной помеховой обстановкой. На приёмной стороне осуществляется демодуляция сигнала и подавление помех, а также оценивается степень и вероятность искажения сигнала под воздействием помех.

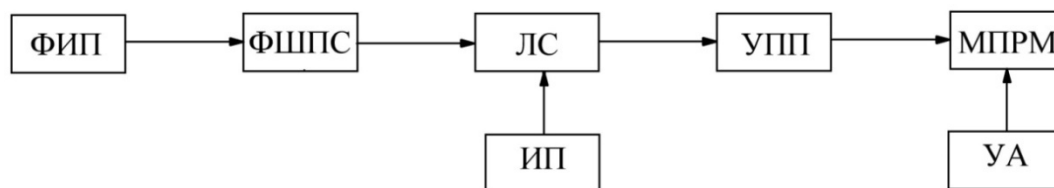


Рис. 1. Модель канала передачи информации

Формирователь информационной последовательности (ФИП) предназначен для генерации двоичных n -разрядных последовательностей, которые представляют собой символы передаваемого сообщения. В простейшем случае используется набор ортогональных последовательностей с фиксированной структурой, а для повышения криптостойкости целесообразно применение случайных циклических кодов [2].

Формирователь ШПС (ФШПС) позволяет сформировать сигнал с частотной или фазовой манипуляцией на заданной рабочей частоте. Структура и спектральные характеристики ШПС определяются видом двоичной последовательности и формой манипулирующих импульсов.

В линии связи (ЛС) на сигнал действуют аддитивные помехи. В качестве моделей источников помех (ИП) используются генератор белого гауссовского шума (естественные помехи) и генераторы квазигармонических колебаний (узкополосные помехи).

Устройство подавления помех (УПП) осуществляет подавление сосредоточенных по спектру помех путём их режекции.

Многоканальный приёмник (МПРМ) предназначен для демодуляции принимаемого сигнала и представляет собой M -канальный корреляционный приёмник. Оптимальный приём осуществляется по методу максимального правдоподобия, обеспечивающего наименьшую вероятность ошибки различения M принимаемых сигналов на фоне шумовых помех с равномерным спектром.

Устройство анализа (УА) позволяет оценивать степень искажения принимаемого сигнала при различной помеховой обстановке в линии связи и определять вероятность ошибочного приёма.

Панель управления виртуального прибора, разработанного в среде графического программирования LabVIEW для моделирования канала передачи информации, представлена на рис. 2.

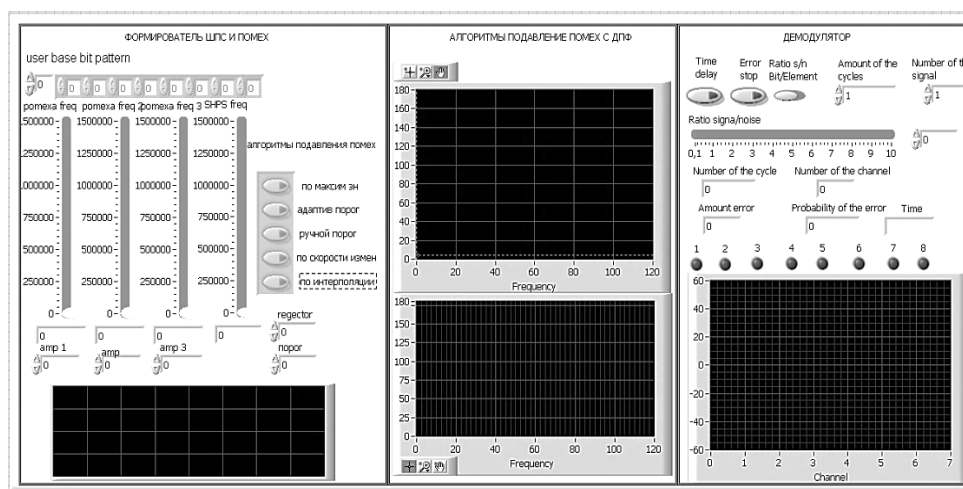


Рис. 2. Панель управления виртуального прибора

Для анализа эффективности алгоритмов подавления сосредоточенных по спектру помех в среде LabVIEW разработано несколько моделей устройства подавления помех. Структура УПП определяется используемым алгоритмом (рис. 3-6). Предполагается, что подавление помех в УПП осуществляется на высокой частоте, превышающей полосу частот, занимаемую ШПС, путём вырезания участка спектра сигнала, пораженного помехой. Для этого в каждом алгоритме осуществляется дискретное прямое преобразование Фурье (ДПФ) для перевода сигнала в частотную область и обратное преобразование Фурье (ДОПФ) для восстановления временной формы принимаемого сигнала. Алгоритмы отличаются между собой только способом обнаружения помехи, который и определяет их эффективность.

Алгоритм с адаптивным порогом. В данном алгоритме подавление помех осуществляется путём удаления спектральных составляющих, превышающих порог (рис. 3а, б).

При формировании порога определяется среднее значение амплитуды огибающей спектра смеси сигнала и помех, а также количество узкополосных помех, которое учитывается переменным поправочным коэффициентом.

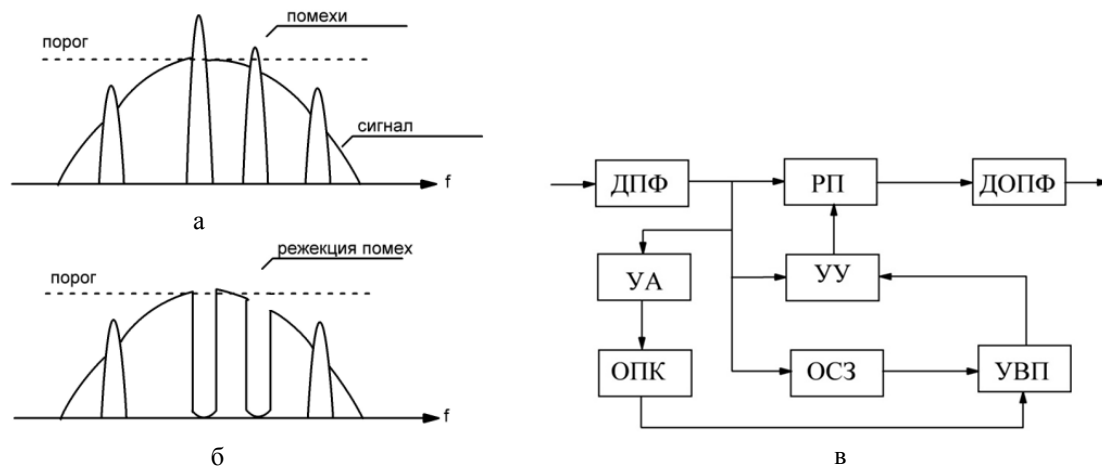


Рис. 3. Структура алгоритма с адаптивным порогом

Структура алгоритма с адаптивным порогом представлена на рис. 3в. С выхода устройства ДПФ спектральные составляющие смеси сигнала и помех поступают на входы устройства анализа (УА), режектора помех (РП) и устройства управления (УУ) режектором помех. УА обнаруживает спектральные составляющие с максимальным амплитудным значением и выдает информацию устройству определения поправочного коэффициента (ОПК) о количестве обнаруженных максимальных спектральных составляющих. Устройство ОПК вычисляет значение поправочного коэффициента. Устройство определения среднего значения (ОСЗ) формирует среднее значение огибающей спектра смеси сигнала и помех, которое поступает на устройство вычисления порога (УВП). УВП с учётом поправочного коэффициента вычисляет текущее значение порога, которое подаётся на вход УУ. В УУ производится сравнение значений амплитуд спектральных составляющих с порогом. Если значение амплитуды спектральных составляющих превышает значение порога, то принимается решение о наличии помехи, и УУ формирует управляющую команду на блок РП, который вырезает спектральные составляющие помех. Спектральные составляющие сигнала с подавленной узкополосной помехой с выхода РП поступают на блок ДОПФ, где восстанавливается исходный вид сигнала.

Алгоритм, учитывающий скорость изменения спектра. Алгоритм позволяет оценивать скорость изменения огибающей спектра смеси сигнала и помех [3]. Если разность между соседними спектральными составляющими превышает максимальное значение скорости изменения огибающей спектра, зависящего от вида ШПС (рис. 4а), то принимается решение о наличии помех и осуществляется их режекция (рис. 4б).

Структура алгоритма по скорости изменения спектра представлена на рис. 4в. На выходе устройства ДПФ формируются спектральные составляющие входной смеси сигнала и помех, которые поступают на устройство вычитания соседних спектральных составляющих (УВСС) и РП. Вычисленная разность подается на вход УУ, на другой вход УУ с выхода устройства формирования порога (УФП) поступает максимальное значение скорости изменения огибающей спектра, определяемое видом ШПС. УУ сравнивает принятые значения: если разность спектральных составляющих больше значения, полученного с УФП, то принимается решение о наличии помехи и УУ формирует команду на подавление помехи для РП. Исходный вид сигнала восстанавливается в ДОПФ.

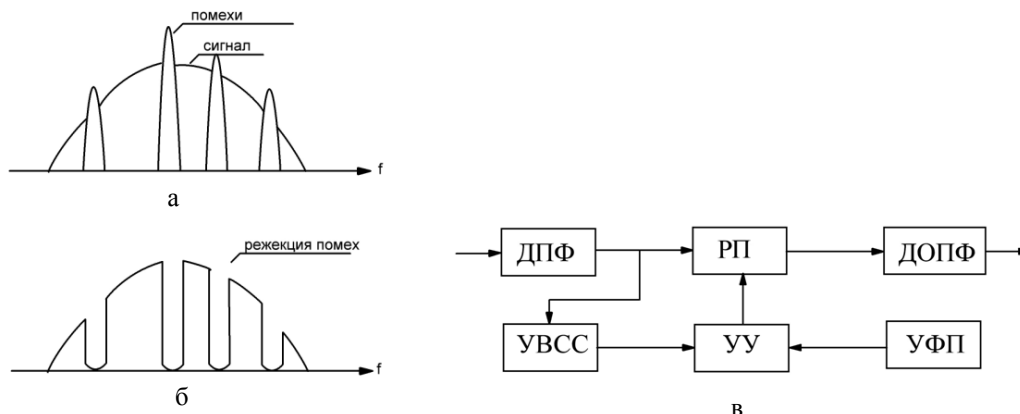


Рис. 4. Структура алгоритма по скорости изменения спектра

Алгоритм с интерполяцией огибающей спектра. При моделировании используется дискретное преобразование Фурье, следовательно, спектр имеет дискретный характер, поэтому частота синусоидальной помехи может попадать между дискретными отсчетами спектра сигнала. Это приводит к тому, что при обнаружении и вырезании помехи не происходит удаление спектральных составляющих сигнала, поражённых помехой, что в реальной ситуации невозможно и результаты моделирования будут недостоверны.

Для устранения этого недостатка используется алгоритм с интерполяцией огибающей спектра. Алгоритм позволяет сформировать разность между спектральными составляющими смеси сигнала и помех и восстановленной огибающей спектра (рис. 5а). Полученная разность спектральных составляющих сравнивается с порогом, определяется интервал зон режекции и вырезается часть спектра, поражённого помехой (рис. 5б). После этого осуществляется обратное дискретное преобразование Фурье и формируется сигнал с подавленной узкополосной помехой.

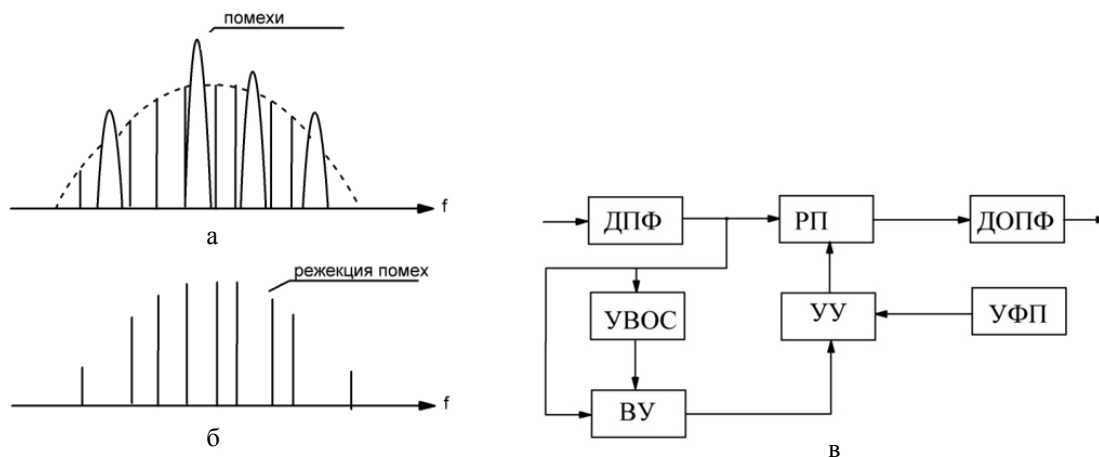


Рис. 5. Структура алгоритма с интерполяцией огибающей

Структура алгоритма с интерполяцией огибающей представлена на рис. 5в. На выходе устройства ДПФ формируется спектр смеси сигнала и помех. Амплитудные значения спектральных составляющих входного сигнала поступают одновременно на РП, устройство восстановления огибающей спектра сигнала (УВОС), которое выполняет интерполяцию спектральных составляющих сигнала, и на вычитающее устройство (ВУ). С выхода ВУ разность между спектральными составляющими смеси сигнала и помех и восстановленной огибающей спектра поступает на УУ, где происходит сравнение полученной разности с порогом, зависящим от формы спектра сигнала. УУ формирует управляющую команду РП, подавляющему спектральные составляющие помех. Далее в ДОПФ восстанавливается исходный вид сигнала.

Алгоритм с определением максимального значения спектральных составляющих. Данный алгоритм определяет максимальные амплитудные значения спектральных составляющих смеси сигнала и помех (рис. 6а). Устройство вторичной обработки формирует управляющую команду об искажении сигнала. На основании этого принимается решение о том, что максимальные спектральные составляющие являются помехами и осуществляется их режекция (рис. 6б), в результате чего формируется сигнал с подавленной узкополосной помехой.

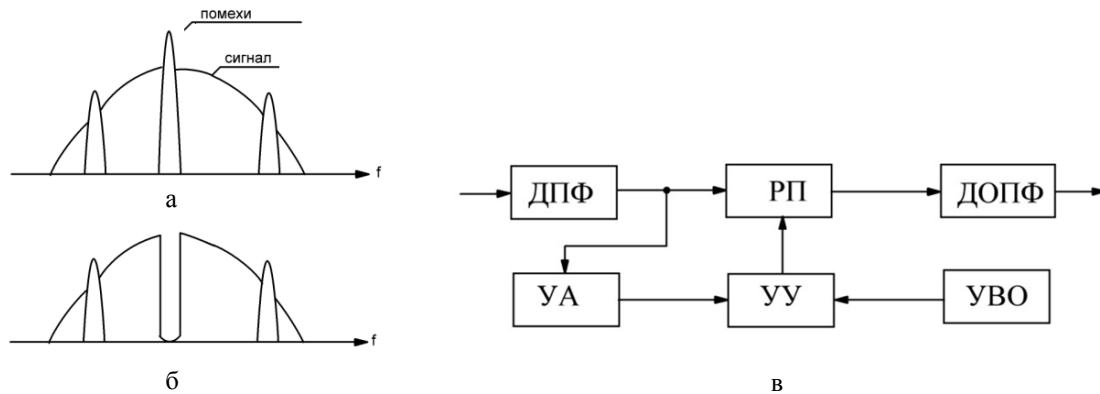


Рис. 6. Структура алгоритма с определением максимального значения спектральных составляющих

Структура алгоритма представлена на рис. 6в. Амплитудные значения спектральных составляющих входной смеси сигнала и помех с выхода ДПФ поступают в устройства анализа (УА) и на вход РП. УА обнаруживает спектральные составляющие с максимальными амплитудными значениями. С УА сигнал подаётся на первый вход УУ, а на его второй вход поступает информация об искажении сигнала от устройства вторичной обработки (УВО). УУ формирует управляющую команду режекции на блок РП, в результате чего формируется сигнал с подавленной узкополосной помехой. Спектральные составляющие с выхода РП поступают на блок ДОПФ, где восстанавливается исходный вид сигнала.

Эффективность алгоритмов исследовалась при разных значениях отношения сигнал/шум и различном количестве узкополосных помех. Результаты исследований представлены в виде зависимости вероятности ошибки принимаемого сигнала от отношения сигнал/шум и при наличии одной помехи (рис. 7). Режекция помех производилась на частотах с отклонением 5% (рис. 7а), 10% (рис. 7б), 15% (рис. 7в), 30% (рис. 7г) относительно несущей частоты сигнала. Для проверки работоспособности модели канала и сравнительного анализа эффективности алгоритмов построены зависимости вероятности ошибки принимаемого сигнала без подавления помех (кривые 6) и при отсутствии помех (кривые 3). Характер изменения вероятности ошибки принимаемого сигнала не противоречит теоретическим данным [1].

Из полученных результатов следует, что наиболее эффективными являются алгоритмы с определением максимального значения спектра (кривые 1) и адаптивным порогом (кривые 5), так как позволяют получить минимальное значение вероятности ошибки.

Худшими характеристиками обладает алгоритм, учитывающий скорость изменения огибающей спектра (кривые 2), так как неравномерный характер изменения огибающей приводит к дополнительным ошибкам при анализе. Повышение точности алгоритма возможно путём сглаживания огибающей спектра.

Для адекватной оценки работы алгоритма с интерполяцией огибающей (кривые 4) необходимо увеличить объём анализируемой информации, что приведёт к существенному усложнению программной модели и требует дополнительных исследований.

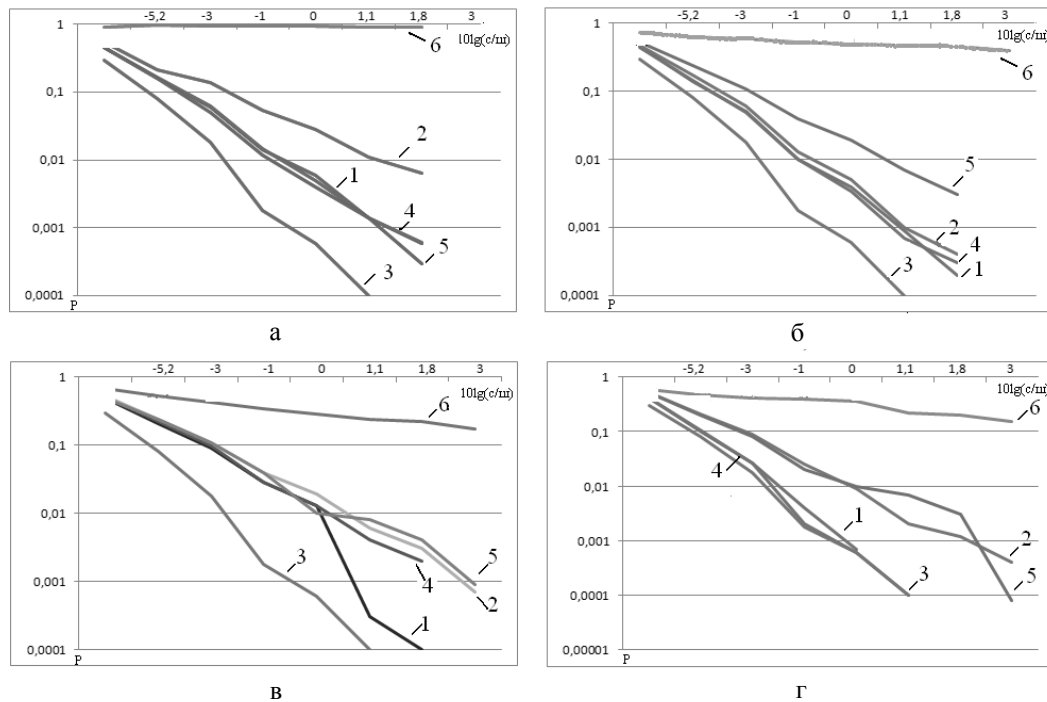


Рис. 7. Зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум

Эффективность подавления помех можно повысить при использовании данных алгоритмов совместно с каскадным кодированием информации и оценкой качества принимаемого сигнала на внутреннем этапе декодирования каскадного кода. В этом случае в качестве внешнего кода целесообразно использовать код Рида-Соломона над полем $GF(M)$, а в качестве внутреннего – M -ичный ШПС. M -канальный корреляционный приёмник ШПС будет выполнять функцию декодера внутреннего кода. Используя дополнительно оценку качества принимаемого ШПС и алгоритм декодирования внешнего кода с учётом стираний принимаемых символов, можно компенсировать ошибки алгоритмов подавления помех и снижение эффективности работы УПП при большом количестве помех. Также введение обратной связи с детектора качества принимаемого ШПС на устройство управления УПП позволит повысить вероятность обнаружения и подавления помех на этапе первичной обработки сигнала.

Таким образом, применение устройств и эффективных алгоритмов подавления помех позволит обеспечить высокую помехозащищённость каналов передачи информации спутниковых линий связи гражданской авиации и тем самым повысить качество управления воздушным движением по каналам дальней и глобальной радиосвязи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. - М.: Радио и связь, 1985.
2. Патрикеев О.В. Формирование случайных циклических кодов с улучшенными корреляционными свойствами // Исследования по геомагнетизму, аэронавигации и физике Солнца. - Новосибирск: Наука, 1995. - Вып. 103. - С. 219 - 224.
3. Пат. 2132592 Российская Федерация, МПК 6Н 04В 1/10 А. Устройство подавления узкополосных помех / Патрикеев О.В., Парахин С.Б., Снигирёв А.Н.; патентообладатель Иркутское высшее военное авиационное инженерное училище. - № 98106133/09; заявл. 30.03.1998 г.; опубл. 27.06.1999 г.

INTERFERENCE REJECTION IN WIDEBAND RADIO UHF CHANNELS**Skrypnik O.N., Patrikeev O.V., Astrakhantseva N.G.**

Comparative evaluation of the effectiveness of suppression algorithms focused on the spectrum of noise by modeling the broadband noise immunity of the radio channel transmission of discrete information in the graphical programming environment LabVIEW was conducted.

Keywords: spread-spectrum signals, concentrated interference, modeling, interference rejection, broadband communication systems, transmission systems discrete information.

Сведения об авторах

Скрыпник Олег Николаевич, 1959 г.р., окончил Киевское ВВАИУ (1981), профессор, доктор технических наук, заместитель директора Иркутского филиала МГТУ ГА по учебно-научной работе, автор более 80 научных работ, область научных интересов – радионавигация, межсамолетная навигация, комплексная обработка навигационной информации.

Патрикеев Олег Викторович, 1959 г.р., окончил Киевское ВВАИУ (1981), доцент, заведующий кафедрой авиационного радиоэлектронного оборудования Иркутского филиала МГТУ ГА, автор более 50 научных работ, область научных интересов – радиосвязь, широкополосные системы связи, повышение помехозащищённости каналов передачи информации.

Астраханцева Наталья Геннадьевна, окончила Иркутский филиал МГТУ ГА (2013), аспирантка МГТУ ГА, автор 7 научных работ, область научных интересов – радиосвязь, широкополосные системы связи, радионавигация, спутниковые системы навигации.

УДК 621.396.61

ЭКСТРАКЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОЩНЫХ СВЧ ТРАНЗИСТОРОВ

Р.Ю. МАЛАХОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Воскресенским Д.И.

Описана аналитическая нелинейная модель мощного СВЧ транзистора на основе параллельных резонансных контуров с потерями. Предложен метод экстракции параметров мощных СВЧ транзисторов, не требующий использования оптимизационных алгоритмов. Разработана тестовая плата для измерений мощных СВЧ транзисторов в диапазоне 0,5 – 20 ГГц. Достоверность предложенного метода и нелинейной модели подтверждается полученными экспериментальными данными.

Ключевые слова: экстракция, нелинейная модель, тестовая плата.

Введение

Технология активных фазированных антенных решеток (АФАР) на сегодня является доминирующей при построении бортовых радаров, систем радиоэлектронной борьбы и связи [1]. Ключевым элементом АФАР является приёмо-передающий модуль (ППМ), от характеристик которого зависит функционал всей системы. Усилители мощности (УМ), входящие в состав ППМ АФАР, должны обеспечивать заданный уровень выходной мощности, работать в широкой полосе частот и при высоких температурах, обладать высоким коэффициентом полезного действия (КПД) и иметь малые массогабаритные параметры. Ужесточение требований к СВЧ УМ приводит к необходимости разработки новых методов точного моделирования характеристик транзисторов, входящих в их состав.

Исходными данными для проектирования УМ служит измеренная матрица рассеяния (S-параметры) транзистора, представленная разработчиком активного элемента для всего диапазона рабочих частот для типовых значений входной мощности, напряжения питания и смещения. Эти типовые значения выбираются достаточно произвольно и не отражают оптимальных режимов работы транзистора. Нелинейная аналитическая модель мощных СВЧ транзисторов является ключевой для создания УМ с высокими электрическими и энергетическими характеристиками.

В качестве аналитических моделей мощных СВЧ транзисторов используются электрические эквивалентные схемы, состоящие из сосредоточенных элементов, источников тока, напряжения и заряда. Использование методов гармонического баланса или рядов Вольтера позволяет определить внешние характеристики синтезируемой схемы: S-параметры, выходной ток и напряжение, КПД, выходную мощность и т.д. Требуемая точность описания характеристик активного элемента достигается путем увеличения количества элементов, входящих в эквивалентную схему, или введением интегро-дифференциальных уравнений в описание сосредоточенных элементов, что значительно усложняет процесс моделирования и приводит к возрастанию времени, необходимого на расчет схемы.

Экстракция параметров нелинейной модели транзистора обычно осуществляется с помощью комбинированных методов, использующих как аналитические выражения, так и оптимизационные алгоритмы [2 - 4]. Для получения корректных значений номиналов элементов при оптимизации необходимо задать границы изменения оптимизируемых величин, определяемые эмпирически с точки зрения физического смысла того или иного элемента эквивалентной элек-

трической схемы. Определение корректных с физической точки зрения границ требует высокой квалификации разработчика, зависит от типа полупроводникового материала транзистора, его внутренней структуры, технологических разбросов, особенностей изготовления, условий измерения его характеристик. Результаты такой экстракции сильно зависят от начального приближения и без физической интерпретации вызывают нарастающую в процессе оптимизации ошибку, особенно в случае мощного СВЧ транзистора, работающего в широкой полосе частот.

Методика проведения измерений параметров транзистора существенно влияет на результаты моделирования. В случае мощных СВЧ транзисторов необходимо проводить измерения на тестовой плате (ТП), максимально приближенной к рабочему варианту входных и выходных СВЧ-цепей транзистора, иначе погрешности измерений будут неприемлемы.

Возникает задача экстракции параметров мощных СВЧ транзисторов, включающая в себя создание нелинейной аналитической модели исследуемого объекта, разработку ТП для проведения измерений и учет её влияния на результаты моделирования.

Нелинейная модель мощных СВЧ транзисторов

Одним из недостатков существующих аналитических моделей мощных СВЧ транзисторов является использование оптимизационных методов. Увеличение количества элементов, требующих определения (при необходимом увеличении точности моделирования или создании модели многосекционного транзистора), приводит к возрастанию количества глобальных минимумов целевой функции в процессе оптимизации. В статье предлагается метод экстракции параметров мощных СВЧ транзисторов, не требующий использования оптимизационных методов, а также нелинейная модель, необходимая для его реализации.

Традиционный путь построения модели предполагает первоначальную экстракцию искоемых S-параметров транзистора из S-параметров измеренной ТП. Предлагается вначале создать модель объединенного объекта - транзистора на тестовой плате (ТТП), а затем осуществить экстракцию параметров СВЧ транзистора, общая процедура которой показана на рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная процедура экстракции параметров мощного СВЧ транзистора

В качестве модели ТТП используется электрическая эквивалентная схема в виде Т-топологии. Базовыми составляющими модели являются параллельные резонансные контуры с потерями, элементы которых являются полиномиальными функциями от напряжений затвор-исток и сток-исток. Требуемое количество резонансных контуров в цепях затвора, стока и истока транзистора зависит от конфигурации входной и выходной согласующих цепей ТТП, типа транзистора, рассматриваемого частотного диапазона. В общем виде номиналы элементов резонансных контуров определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} R^i(U_{DS}, U_{GS}) &= \left(\sum_{k=0}^m P_{k,3}^i \cdot U_{DS}^k \right) \cdot \left(\sum_{k=0}^m P_{k,0}^i \cdot U_{GS}^k \right); \\ L^i(U_{DS}, U_{GS}) &= \left(\sum_{k=0}^m P_{k,5}^i \cdot U_{DS}^k \right) \cdot \left(\sum_{k=0}^m P_{k,1}^i \cdot U_{GS}^k \right); \\ C^i(U_{DS}, U_{GS}) &= \left(\sum_{k=0}^m P_{k,4}^i \cdot U_{DS}^k \right) \cdot \left(\sum_{k=0}^m P_{k,2}^i \cdot U_{GS}^k \right); \end{aligned} \quad (1)$$

$$P_{m \times 6}^i = \begin{bmatrix} RG_0^i & CG_0^i & LG_0^i & RG_0^i & CD_0^i & LD_0^i \\ RG_1^i & CG_1^i & LG_1^i & RD_0^i & CD_1^i & LD_1^i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ RG_m^i & CG_m^i & LG_m^i & RD_m^i & CD_m^i & LD_m^i \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где i – номер резонансного контура; U_{DS} – напряжение между контактами сток-исток, В; U_{GS} – напряжение между контактами затвор-исток, В; P^i – матрица полиномиальных коэффициентов размерности $m \times 6$.

Последовательно соединённые резисторы с индуктивностями в ветвях Т-топологии моделируют СВЧ контактные площадки, металлизации стока, истока, затвора. В них же включаются соединительные перемычки для многосекционных транзисторов. Параллельно соединённые конденсаторы моделируют паразитные емкости контактов. Индуктивности способствуют увеличению мнимых частей входного и выходного сопротивления с увеличением частоты несущего колебания, а резисторы поднимают активные составляющие сопротивлений.

Нелинейным элементом схемы является генератор постоянного тока, управляемый напряжением. Ток на выходе генератора определяется следующим выражением

$$\begin{aligned} I_{DS}(\omega, U_{DS}, U_{GS}) &= I_{MAX} \cdot a_s \cdot \tanh(c_s \cdot U_{DS}) \cdot \\ &\cdot \left(\tanh \left(b_s \cdot (U_{GS_c}(\omega, U_{DS}, U_{GS}) - \frac{U_{GS_{cut}}}{2}) \right) + 1 \right) \cdot (1 - \alpha_T T) e^{-j\omega\tau}, \end{aligned} \quad (3)$$

где I_{MAX} – максимально возможная величина тока стока, А; a_s – коэффициент пропорциональности тока стока; b_s – коэффициент влияния величины напряжения затвор-исток на ток стока; c_s – коэффициент влияния величины напряжения сток-исток на ток стока; $U_{GS_{cut}}$ – напряжение отсечки, В; T – температура канала транзистора, К; α_T – температурный коэффициент, учитывающий влияние температуры транзистора на максимальную величину тока стока, K^{-1} .

Для GaN рНЕМТ транзисторов на SiC подложке температурный коэффициент обычно лежит в диапазоне $0,001 < \alpha_T < 0,002 K^{-1}$. Для GaAs $0,002 < \alpha_T < 0,003 K^{-1}$. Параметр вре-

менной задержки τ позволяет моделировать сложные нелинейные эффекты транзистора, например, паразитные амплитудные и фазовые модуляции.

Эквивалентная электрическая схема мощного СВЧ транзистора в общем виде представлена на рис. 2.

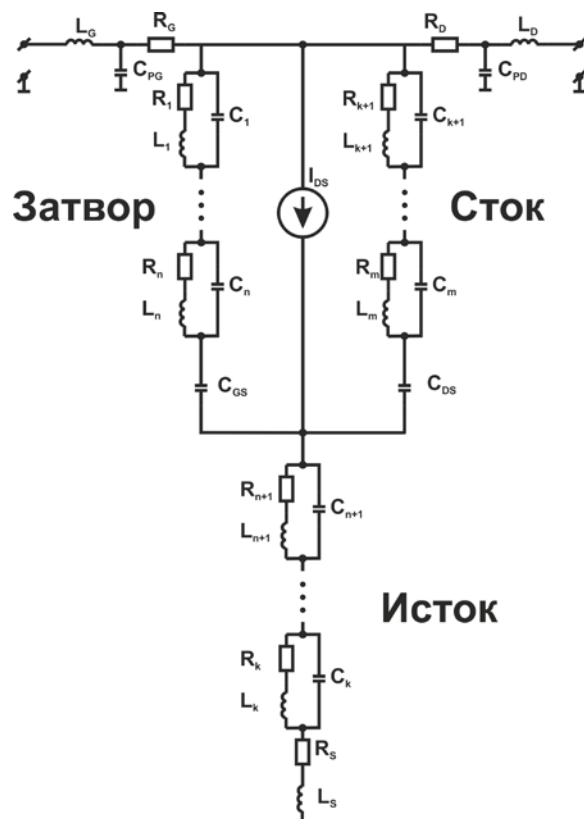


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема мощного СВЧ транзистора

Экстракция параметров мощных СВЧ транзисторов

Исходными данными для экстракции параметров мощного СВЧ транзистора являются результаты измерений внешних характеристик ТТП, включающие в себя:

- набор S-параметров ТТП для требуемого диапазона частот при различных значениях напряжений питания (U_{DS}) и смещения (U_{GS}), измеренный в режиме малого сигнала (амплитуда напряжения входного СВЧ сигнала менее 0,1 В);
- семейство выходных и проходных вольтамперных характеристик (ВАХ);
- гармонический состав выходного тока;
- уровень потребления постоянного тока от источника питания при различных значениях напряжений питания и смещения.

Определение номиналов элементов, моделирующих контактные площадки транзистора, осуществляется на основе S-параметров ТТП, измеренных в “холодном” режиме при $U_{DS} = 0$ [5]. В этом случае возможно существенное упрощение электрической схемы ТТП за счет исключения из неё генератора постоянного тока. На рис. 3а представлена электрическая эквивалентная схема ТТП при $U_{GS} = U_{DS} = 0$, на основе которой осуществляется экстракция сопротивлений и емкостей контактов, а из схемы на рис. 3б при условии $U_{GS} < U_{GS_CUT}$ осуществляется экстракция индуктивностей.

Количество резонансных контуров в электрической схеме ТТП сводится к задаче нахождения экстремумов действительных частей комплексных Z-параметров ТТП. Для этого необходимо найти нули первой частной производной функции $Re(\mathbf{Z}_{nm}(w, U_{DS}, U_{GS}))$. Характер экс-

тремума (максимум или минимум) определяется в соответствии со знаком второй частной производной соответствующей функции.

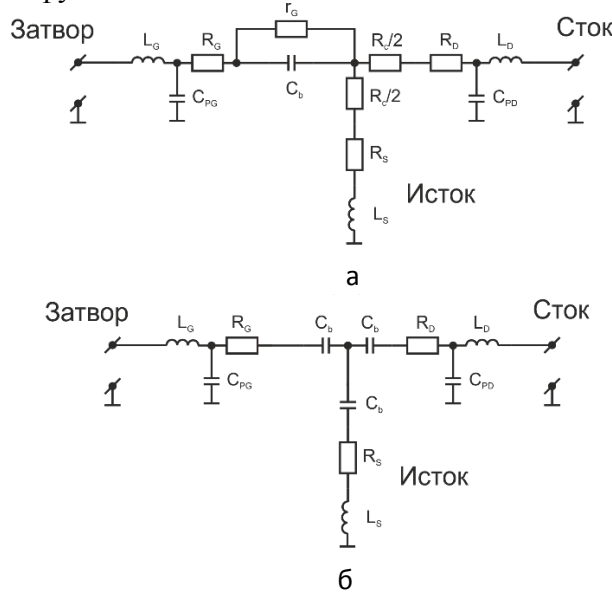


Рис. 3. Электрическая эквивалентная схема ТТП:

а - при $U_{GS} = U_{DS} = 0$; б - при $U_{GS} < U_{GS_CUT}$

Для определения номиналов элементов резонансных контуров необходимо знать:

- резонансную частоту колебания ω_0 , при которой наблюдается максимум $Re(\dot{Z}_{nm}(\omega, U_{DS}, U_{GS}))$;
- значение действительной составляющей $\dot{Z}_{nm}(\omega, U_{DS}, U_{GS})$ на частоте резонанса $Re(\dot{Z}_{nm}(\omega_0, U_{DS}, U_{GS}))$;
- добротность i-резонансного контура (Q_i).

Номиналы элементов резонансных контуров определяются следующими выражениями:

$$R_i(U_{DS}, U_{GS}) = \frac{Re(\dot{Z}_{nm}(\omega_{0i}, U_{DS}, U_{GS}))}{Q_i^2(U_{DS}, U_{GS})}; \quad (4)$$

$$C_i(U_{DS}, U_{GS}) = \sqrt{\frac{1}{\omega_i^2(U_{DS}, U_{GS}) \cdot Re(\dot{Z}_{nm}(\omega_{0i}, U_{DS}, U_{GS})) \cdot R_i(U_{DS}, U_{GS})}}; \quad (5)$$

$$L_i(U_{DS}, U_{GS}) = Re(\dot{Z}_{nm}(\omega_{0i}, U_{DS}, U_{GS})) \cdot R_i(U_{DS}, U_{GS}) \cdot C_i(U_{DS}, U_{GS}), \quad (6)$$

где $R_i(U_{DS}, U_{GS})$ – номинал резистора i-резонансного контура, Ом; $C_i(U_{DS}, U_{GS})$ – номинал конденсатора i-резонансного контура, Ф; $L_i(U_{DS}, U_{GS})$ – номинал индуктивности i-резонансного контура, Гн; $U_{DS}(U_{DS0}, \beta) = \beta(R_D, R_{bias_out}) \cdot U_{DS0}$ – напряжение сток-исток, В; U_{DS0} – постоянное напряжение сток-исток (напряжение питания), В; $\beta(R_D, R_{bias_out})$ – выходной коэффициент ослабления, вызванного активными потерями в цепи подачи смещения и металлизированном контакте стока; R_D – активная составляющая сопротивления металлизированного контакта стока транзистора, Ом; R_{bias_out} – активная составляющая сопротивления цепи подачи питания, Ом; $U_{GS}(U_{GS0}, \alpha) = \alpha(R_G, R_{bias_in}) \cdot U_{GS0}$ – напряжение затвор-исток, В; U_{GS0} – постоянная величина напряжения смещения, В; $\alpha(R_G, R_{bias_in})$ – входной коэффициент ослабления, вызванного активными потерями в цепи подачи смещения и металлизированном контакте затвора; R_G – активная составляющая сопротивления металлизированного контакта затвора транзистора, Ом.

Коэффициенты полиномиальных функций в выражении (2) находятся из решения системы нелинейных уравнений методом наименьших квадратов. Определение порядка полинома происходит итерационным методом исходя из оценки заданной точности аппроксимации резонансных кривых. В качестве оценки сходимости аппроксимирующей функции к исходной зависимости используется критерий смешанной корреляции R^2 .

Верификация нелинейной модели мощных СВЧ транзисторов

Измерения мощных СВЧ транзисторов осуществляют на специальных ТП. Основное назначение таких измерений – оценка уровня выходной мощности, КПД, коэффициента усиления транзистора в режиме большого сигнала.

Для проведения эксперимента была разработана ТП с возможностью ручной настройки. В качестве диэлектрического основания использовался поликор толщиной 250 мкм. Транзисторы устанавливаются на пьедестал шириной 800 мкм из сплава CuMo (МД-40). В качестве СВЧ входа и выхода используются SMA-разъемы 2.4m. Плата предназначена для измерений транзисторов в диапазоне от 500 МГц до 20 ГГц.

Была осуществлена экстракция параметров мощного отечественного GaAs транзистора, составлена его нелинейная модель. С помощью критерия смешанной корреляции R^2 была рассчитана точность моделирования входного и выходного сопротивления транзистора, которая составила $R^2_{IN} = 0,97$ для входного сопротивления и $R^2_{OUT} = 0,86$ для выходного сопротивления. Графики зависимости действительной и мнимой составляющих входного и выходного сопротивления от частоты представлены на рис. 4. Сплошными линиями обозначены результаты моделирования, прерывистыми – экспериментальные данные.

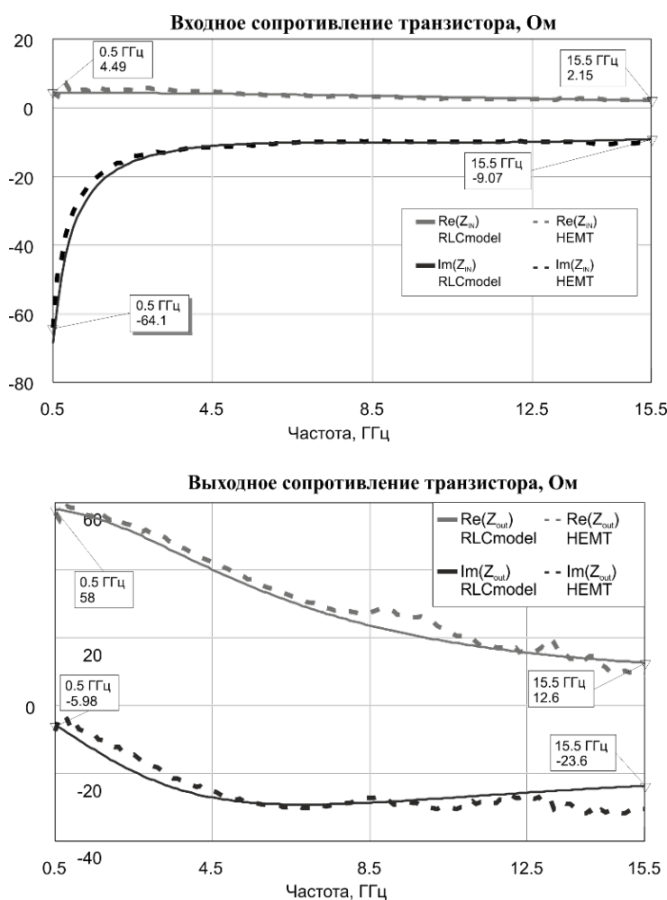


Рис. 4. Входное и выходное сопротивления модели и результатов измерений GaAs транзистора

Выходная мощность, дБ

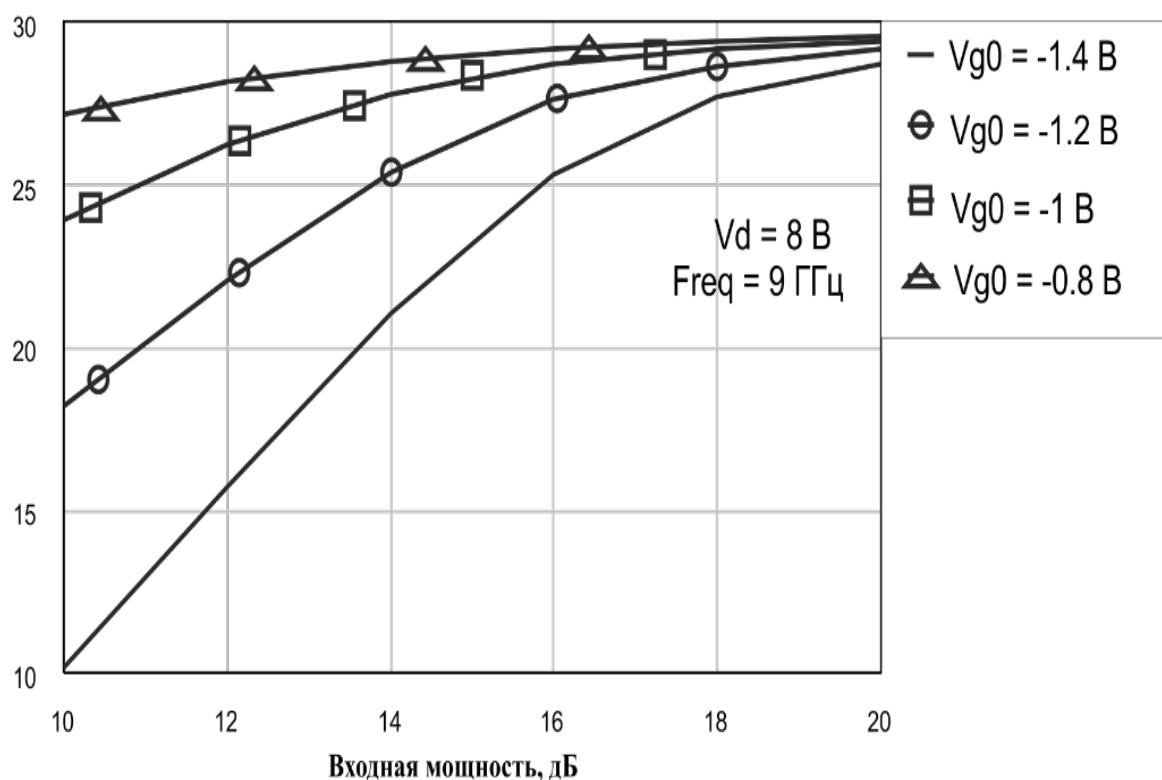


Рис. 5. Динамические характеристики мощного GaAs транзистора

Коэффициент усиления по мощности, дБ

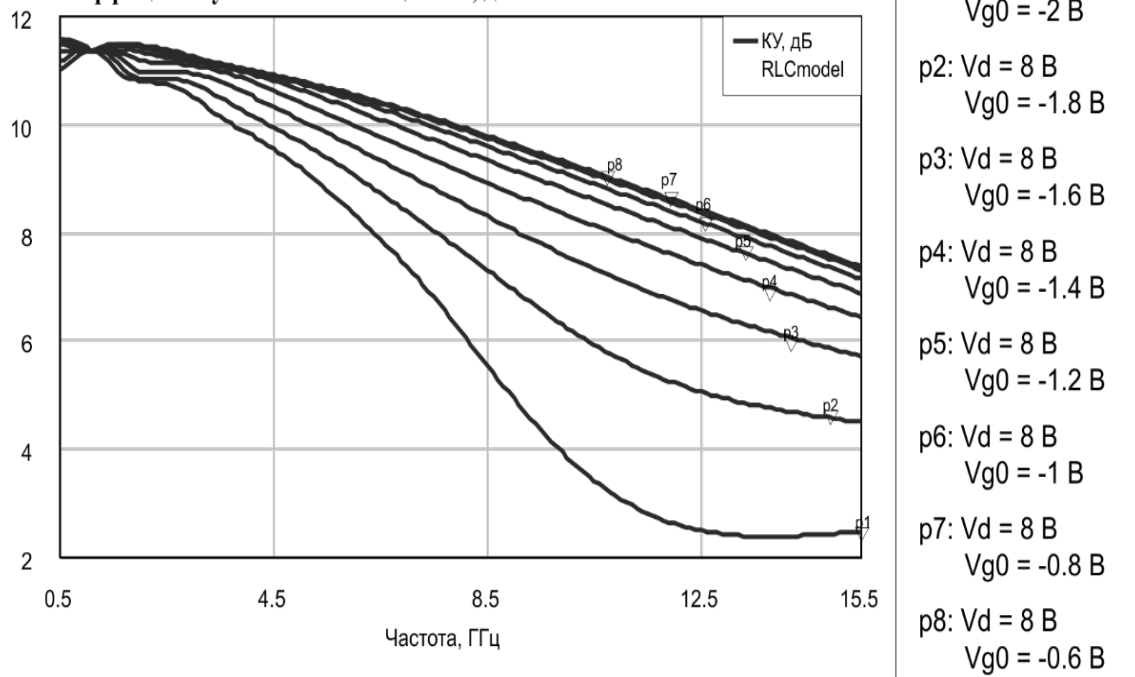


Рис. 6. Коэффициент усиления по мощности GaAs транзистора

Для верификации нелинейной модели была осуществлена настройка согласующих цепей ТТП в частотном диапазоне 8 – 11 ГГц. На рис. 5 показаны динамические характеристики исследуемого транзистора, а на рис. 6 представлены графики зависимости коэффициента усиления по мощности от частоты входного СВЧ сигнала.

Результаты моделирования получили хорошее согласование с полученными экспериментальными данными. Точность моделирования ВАХ мощных СВЧ транзисторов в предложенной модели не уступает существующим аналогам, а точность моделирования входных и выходных сопротивлений в рассматриваемой полосе рабочих частот их превосходит.

В дальнейшем предполагается осуществить экстракцию параметров и создание моделей мощных отечественных и зарубежных GaN транзисторов. Особое внимание будет уделено учету влияния температуры канала транзистора на его выходные характеристики, а также размерным эффектам, возникающим в многосекционных протяженных структурах.

Заключение

Осуществлена экстракция параметров мощного отечественного гетероструктурного GaAs транзистора. Предложенный метод экстракции, не требующий использования оптимизационных алгоритмов, а также соответствующая ему нелинейная модель получили хорошее согласование с экспериментальными данными. Повышение точности моделирования транзисторов позволит улучшить характеристики УМ современных ППМ АФАР, особенно в случае исполнения в виде монолитных интегральных схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малахов Р.Ю., Добычина Е.М. Мощные транзисторы для бортовых радиолокационных систем // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2012. - № 12 (186). - С. 184 – 190.
2. Torres-Rios E., Saavedra C. A new compact nonlinear model improvement methodology for GaN-HEMT, 2014 IEEE 5th Latin American Symposium on Circuits and Systems (LASCAS), Santiago, 2014. Pp. 1 – 4.
3. Marcoux N.L., Fisher C.J., White D., Lachapelle J., Palacios T., Saadat O., Sonkusale S. A new GaN HEMT nonlinear model for evaluation and design of 1–2 watt power amplifiers, 2012 IEEE 55th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), Boise, 2012. Pp. 53 – 56.
4. Chang C., Di Giacomo-Brunel V., Floriot D., Grunenputt J., Hosch M., Blanck H. Nonlinear transistor modeling for industrial 0.25- μm AlGaIn-GaN HEMTs, 2013 European Microwave Conference (EuMC), Nuremberg, 2013. Pp. 1471 – 1474.
5. Dambrine G., Cappy A., Heliodore F., Playez E. A new method for Determining the FET small-signal equivalent circuit, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 36, № 7, 1988. Pp. 1151-1159.

EXTRACTION OF ON-BOARD TRM HIGH-POWER MICROWAVE HEMT PARAMETERS

Malakhov R.Yu.

Analytical nonlinear model of high-power microwave HEMT with parallel resonance circuits was designed. Extraction method of high-power HEMT parameters without optimization usage was proposed and described. Test board for high-power HEMT measurement for 0.5 – 20 GHz frequency band was designed. Reliability of the proposed method and nonlinear model is confirmed by experimental data.

Keywords: extraction, nonlinear model, test board, TRM, AESA.

Сведения об авторе

Малахов Роман Юрьевич, 1989 г.р., окончил МАИ (2011), аспирант МАИ, автор 2 научных работ, область научных интересов – цифровые приемо-передающие модули АФАР, математическое моделирование СВЧ устройств.

Editor-in-chief

Boris Eliseev, Rector, MSTU CA.

Deputy Editor-in-chief

Vadim Vorobyev, Vice Rector for Research and Innovations, MSTU CA.

Executive Secretary

Oksana Feoktistova, Professor, Chair of Safety and Life Activities, MSTU CA.

Member of the chief editorial Board

Olga Garanina, Professor, Chair of Humanitarian and Social-Political Sciences, MSTU CA, Moscow, Russia.

Anatoly Kozlov, Professor, Chair of Technical Operation of Radio/Electronic Systems in Air Transport, MSTU CA, Moscow, Russia.

Vladimir Tchipenko, Head of Chair of Aircraft Aerodynamics, Design and Strength, MSTU CA, Moscow, Russia.

Vladimir Kalugin, Dean, Department of Special Machine Design, Bauman University, Moscow, Russia.

Dmitry Lukin, Professor, Chair of Wave Processes, Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, Russia.

Vasily Shapkin, General Director, State Research Institute of Civil Aviation, Moscow, Russia.

Bruno Lamiscarre, Deputy Dean, French Civil Aviation University (ENAC), France.

Franco Persiani, Director, Interdepartmental Centre of Industrial Research in Aeronautics, University of Bologna, Italy.

Damian Rivas, Professor, Department of Aerospace Engineering, University of Seville, Spain.

ББК 05
Н 34
Св. план 2014 г.

Научный Вестник МГТУ ГА
№ 209

Свидетельство о регистрации в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) ПИ № ФС77-47989 от 27 декабря 2011 г.

Редакторы И.В. Вилкова, Е.В. Гаранина
Компьютерная верстка Т.Н. Котиковой

Подписано в печать 21.10.14 г.

Печать офсетная
18,25 усл. печ. л.

Формат 60х90/8
Заказ № 1879/

15,20 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20
Редакционно-издательский отдел
125493 Москва, ул. Пулковская, д. 6а

Подписной индекс в каталоге Роспечати 84254
© Московский государственный
технический университет ГА, 2014