

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Ульяновский государственный университет

УДК 656.7:658.012.011.56

ВГК ОКП

№ госрегистрации 01201150118

от 12.01.2011

Инв. № 117

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Ульяновского

государственного университета

_____ Б.М. Костишко

« ____ » _____ 2011 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

По договору № 13.G25.31.0063 от 22.10.2010 года между обществом с ограниченной ответственностью "Авиакомпания Волга-Днепр" и министерством образования и науки Российской Федерации об условиях предоставления и использования субсидии на реализацию комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения,

шифр «2010-218-02-068»

по теме **«АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И
ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ И
ПРОИЗВОДСТВЕ ВОЗДУШНЫХ ПЕРЕВОЗОК»**, этапу

«Технический проект»

(промежуточный, 1)

Проректор по научной работе
и информационным
технологиям

В.Н. Голованов

Руководитель темы

А.А. Бутов

Ульяновск 2011

Список исполнителей:

Руководитель темы:	Подпись	Ф.И.О.	Разделы
В.н.с., д.ф.-м.н., профессор	_____ подпись, дата	Бутов Александр Александрович	(1 – 2, введение, заключен ие)
Исполнители:			
С.н.с., к.ф.-м.н., доцент	_____ подпись, дата	Савинов Юрий Геннадьевич	(1 – 2)
М.н.с., к.ф.-м.н.	_____ подпись, дата	Раводин Кирилл Олегович	(1 – 2)
С.н.с., к.ф.-м.н., доцент	_____ подпись, дата	Волков Максим Анатольевич	(1 – 2)
М.н.с., к.ф.-м.н.	_____ подпись, дата	Волков Артем Анатольевич	(1 – 2)
С.н.с., к.ф.-м.н., доцент	_____ подпись, дата	Санников Игорь Алексеевич	(1 – 2)
С.н.с., к.ф.-м.н.	_____ подпись, дата	Бурмистрова Валентина Геннадьевна	(1 – 2)
М.н.с., к.ф.-м.н.	_____ подпись, дата	Бажанова Татьяна Валентиновна	(1 – 2)
С.н.с., к.ф.-м.н., доцент	_____ подпись, дата	Богданов Андрей Юрьевич	(1 – 2)
С.н.с., д.ф.-м.н., профессор	_____ подпись, дата	Леонтьев Виктор Леонтьевич	(1 – 2)

С.н.с., д.ф.-м.н., профессор	_____	Кемер Александр Робертович	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., д.т.н., профессор	_____	Полянсков Юрий Вячеславович	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., к.ф.-м.н., доцент	_____	Кондратьев Алексей Евгеньевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
В.н.с., д.ф.-м.н., профессор	_____	Андреев Александр Сергеевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., к.т.н., доцент	_____	Николаев Анатолий Викторович	(1 – 2)
	подпись, дата		
Н.с.	_____	Максимова Оксана Игоревна	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Кондратьева Анна Сергеевна	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., к.т.н., доцент	_____	Федотов Леонид Викторович	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., д.ф.-м.н.	_____	Дмитриенко Герман Вячеславович	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., к.т.н., доцент	_____	Ионов Владимир Васильевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., д.ф.-м.н., доцент	_____	Седова Наталья Олеговна	(1 – 2)
	подпись, дата		
В.н.с., д.ф.-м.н., доцент	_____	Перегудова Ольга Алексеевна	(1 – 2)
	подпись, дата		

М.н.с.	_____	Белозор Сергей Иванович	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Власов Иван Владимирович	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Глотов Геннадий Михайлович	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., к.б.н.	_____	Глухова Наталья Владимировна	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Горностаев Вячеслав Викторович	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Дударин Павел Владимирович	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., к.т.н.	_____	Дятлов Андрей Юрьевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., к.б.н.	_____	Евстигнеев Дмитрий Александрович	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с.	_____	Завершинский Владимир Витальевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Иванова Людмила Ильинична	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Кузнецов Максим Алексеевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., д.т.н.	_____	Куклев Евгений Алексеевич	(1 – 2)
	подпись, дата		

М.н.с.	_____	Ланде Алексей Анатольевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., к.т.н.	_____	Лебедев Алексей Михайлович	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Лёвушкин Дмитрий	(1 – 2)
	подпись, дата	Владимирович	
М.н.с.	_____	Лукьянова Екатерина	(1 – 2)
	подпись, дата	Сергеевна	
М.н.с.	_____	Макаров Валерий Петрович	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Мартиянов Анатолий	(1 – 2)
	подпись, дата	Яковлевич	
Г.н.с., д.т.н.	_____	Махутов Николай Андреевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Меронен Оксана Евгеньевна	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., д.т.н.	_____	Орлов Александр Иванович	(1 – 2)
	подпись, дата		
Стажер- исследователь	_____	Пахомова Ольга Валерьевна	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Роткин Дмитрий	(1 – 2)
	подпись, дата	Владимирович	
С.н.с., д.м.н.	_____	Рузов Виктор Иванович	(1 – 2)
	подпись, дата		

С.н.с., д.т.н.	_____	Рухлинский Виктор Михайлович	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., к.т.н.	_____	Рябов Георгий Константинович	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Савченко Виктор Петрович	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., к.т.н.	_____	Сарайский Юрий Николаевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Сидоров Константин Евгеньевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
Стажер- исследователь	_____	Сорокина Юлия Александровна	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., к.т.н.	_____	Сурина Елеонора Ильдаровна	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Трилесский Роман Владимирович	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Умурзаков Алексей Юрьевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Частухин Николай Алексеевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., д.м.н.	_____	Чунтул Александр Васильевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Шамшин Андрей Николаевич	(1 – 2)
	подпись, дата		

М.н.с.	_____	Юсупов Артур Джигангерович	(1 – 2)
	подпись, дата		
Стажер- исследователь	_____	Железнов Олег Владимирович	(1 – 2)
	подпись, дата		
Стажер- исследователь	_____	Логинов Вячеслав Романович	(1 – 2)
	подпись, дата		
Стажер- исследователь	_____	Егоров Александр Геннадьевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
Стажер- исследователь	_____	Абрамов Михаил Сергеевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
Стажер- исследователь	_____	Бахурский Игорь Юрьевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Соловьев Михаил Михайлович	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Гаврилова Мария Сергеевна	(1 – 2)
	подпись, дата		
Стажер- исследователь	_____	Корчагина Ирина Александровна	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., к.ф.-м.н.	_____	Хрусталев Сергей Александрович	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Чумнов Сергей Николаевич	(1 – 2)
	подпись, дата		
С.н.с., к.ф.-м.н.	_____	Рудкевич Марина Владимировна	(1 – 2)
	подпись, дата		

М.н.с.	_____	Штраус Анна Леонидовна	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Хайрулин Фархад Радикович	(1 – 2)
	подпись, дата		
М.н.с.	_____	Зайкин Михаил	(1 – 2)
	подпись, дата	Александрович	
Стажер- исследователь	_____	Горбунов Игорь	(1 – 2)
	подпись, дата	Владимирович	
Нормоконтролер	_____	Рыжова Неля Викторовна	
	подпись, дата		

Реферат

Отчет 691 с., 1 ч., 188 рис., 44 табл., 84 источников, 12 прил.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ, АВИАЦИОННОЕ СОБЫТИЕ, ИНЦИДЕНТ, АВИАЦИОННОЕ ПРОИСШЕСТВИЕ, ОЦЕНИВАНИЕ РИСКОВ, БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЕТОВ, ДЕРЕВО СИТУАЦИЙ, ФАКТОР.

В отчете представлены результаты исследований, выполненных по второму этапу договора № 13.G25.31.0063 от 22.10.2010 года между обществом с ограниченной ответственностью "Авиакомпания Волга-Днепр" и Министерством образования и науки Российской Федерации об условиях предоставления и использования субсидии на реализацию комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения, шифр «2010-218-02-068».

Объектами исследования являются:

в первом разделе – методы оперативного и долгосрочного прогнозирования и предотвращения авиационных событий при организации и производстве воздушных перевозок;

во втором разделе – методы расчетов рисков для безопасности в стоимостной и натуральной форме на основе анализа информации об эксплуатационной деятельности авиакомпании и формирование рекомендаций по управленческим решениям с оценкой их эффективности на основе расчета предотвращенного ущерба;

Целями работы:

первого раздела является разработка методов, обеспечивающих на третьем этапе создание алгоритмов и комплекса программ:

1) оперативных прогнозов вероятностей авиационных событий в предстоящем полете с указанием факторов опасности (угроз) и их сочетаний и возможностью

корректировки прогноза с учетом предлагаемых вариантов управленческих решений;

2) оперативного прогнозирования вероятностей авиационных событий в предстоящем полете на основании степени выполнения нормативных требований;

3) долгосрочных прогнозов периодов критической вероятности авиационных происшествий с указанием факторов опасности (угроз) и их сочетаний и возможностью корректировки прогноза с учетом набора управленческих решений;

4) долгосрочного прогнозирования вероятностей авиационных происшествий на основании степени выполнения нормативных требований;

второго раздела является разработка методов, обеспечивающих на третьем этапе создание алгоритмов и комплекса программ расчета рисков для безопасности:

1) количественная оценка рисков для безопасности полетов в стоимостной и натуральной форме на основе анализа информации об эксплуатационной деятельности авиакомпании и формирование рекомендаций по управленческим решениям с оценкой их эффективности на основе расчета предотвращенного ущерба;

2) экспертного оценивания и применение полученных результатов для построения оперативных и долгосрочных прогнозов вероятностей возникновения авиационных событий, оценивания рисков для безопасности в стоимостной и натуральной форме.

Методы, используемые на втором этапе:

по первому разделу – оперативное прогнозирование авиационных событий осуществляется на основе анализа причинно-следственных связей (условно представленных в форме деревьев событий и их возможных соотношений) факторов опасностей систем «Человек», «Машина» и «Среда», их источников и, собственно, авиационных событий. Оценивание осуществляется для квазистационарных случаев при оперативном прогнозировании на основе робастных устойчивых классических методов.

Долгосрочное прогнозирование заключается в определении интервалов времени с критическими уровнями вероятностей возникновения авиационных происшествий по факторам «Человек», «Машина» и «Среда», а также в оценивании

с требуемой периодичностью вероятности возникновения авиационных происшествий в течение заданного интервала времени (глубины прогнозирования).

Построение оценок вероятностей для факторов «Человек», «Машина» и «Среда» (с последующими коррекциями для учета их взаимодействия и процессов адаптации) и оценок совокупных событий при построении долгосрочных прогнозов осуществляется на основе анализа оценок функций распределения событий. Разработанные методы реализованы на основе траекторных принципов в их сочетании с непараметрическим и корреляционным анализом (при формировании оценок функций распределения при формировании компенсаторов точечных процессов на основе эмпирических данных). Также при разработке алгоритмов построения долгосрочных прогнозов используются методы стохастического имитационного моделирования с разработкой соответствующих процедур, обеспечивающих адекватность.

При разработке методов оперативного и долгосрочного прогнозирования вероятностей возникновения авиационных событий на основе степени выполнения нормативных требований использованы применяемые в области управления качеством методы сбора и анализа данных, предусмотренные МС ИСО/ТО 10017: контент-анализ требований стандартов (частота и/или место повторения требований в системе) IOSA; интервьюирование исполнителей функций управления безопасностью, для которых действуют настоящие требования; аудит для установления степени выполнения требования и возможности измерения результата его выполнения; матричный анализ для установления взаимосвязи требований.

по второму разделу – при разработке методики количественного оценивания рисков для безопасности полетов в стоимостной и натуральной форме на основе анализа информации об эксплуатационной деятельности авиакомпании применяются методы классического и экспертного оценивания. При этом обработка результатов экспертного оценивания проводится методами согласования (например, метод люсианов и др.) и усреднения (например, медиана Кемени и др.). Оценка эффективности управленческих решений осуществляется на основе расчета предотвращенного ущерба классическими методами усреднений, траекторными

непараметрическими и параметрическими методами. Выбор управленческих решений проводится на основе решения оптимизационных задач при заданных ограничениях для соответствующих факторов «Человек», «Машина» и «Среда». В подзадачах функционалы потерь формируются со значениями в денежной и натуральной форме, отвечающей совокупным потерям от прогнозируемых авиационных событий, а также затрат на реализацию управленческих решений. Потери для каждого класса рисков авиационных событий (ввиду различий в толковании их глубины и уровня развития) рассчитываются на основе взвешенных оценок страховых выплат и экспертных заключений.

Инструментарий, использованный на втором этапе: персональные компьютеры, подключенные к сети Internet; базы данных авиакомпаний; ГОСТ 7.32-2001.

В ходе выполнения работ на втором этапе **получены следующие результаты:**

по первому разделу – разработаны методы оперативного прогнозирования вероятностей авиационных событий в предстоящем полете с указанием факторов опасности (угроз) на основе анализа причинно-следственных связей в трехфакторной модели «Человек-Машина-Среда» (технические характеристики систем воздушного судна, характеристики летного экипажа и показатели искусственной и естественной среды). При прогнозировании учитываются сочетания факторов опасности и предусмотрена возможность корректировки прогноза с учетом предлагаемых вариантов управленческих решений, а также прогнозирование на основании степени выполнения нормативных требований.

Разработанные методы оперативного прогнозирования в предположениях квазистационарности системы, включающей в себя элементы трехфакторной модели «Человек», «Машина», «Среда», представлены в форме алгоритмизуемой последовательности действий и вычислений по приведенным формулам, обращением к конкретизированным данным с указанием соответствующих источников информации. Методы предназначены для оценивания вероятностей

возникновения авиационных событий при допущениях взаимного влияния факторов.

Разработаны методы долгосрочного прогнозирования периодов критической вероятности авиационных происшествий с указанием факторов опасности (угроз) и их сочетаний и возможностью корректировки прогноза с учетом набора управленческих решений, с предусмотренной возможностью прогнозирования на основании степени выполнения нормативных требований. Методы включают оценивание вероятностей возникновения авиационных происшествий (как по факторам «Человек», «Машина», «Среда», так и по их комбинациям) на заданной глубине прогнозирования, оценивание вероятностей ошибок построения прогнозов. Методы основаны на классических подходах, траекторных (непараметрических и параметрических) и на использовании имитационного стохастического моделирования. Предусмотрена проверка адекватности долгосрочного прогнозирования и компонент методов.

по второму разделу – разработаны методы количественного оценивания рисков для безопасности полетов в стоимостной и натуральной форме на основе анализа информации об эксплуатационной деятельности авиакомпании и формирование рекомендаций по управленческим решениям с оценкой их эффективности на основе расчета предотвращенного ущерба.

Приведены методы экспертного оценивания параметров с различными способами их представления, а также описание применения этих методов при построении оперативных и долгосрочных прогнозов вероятностей возникновения авиационных событий, оценивания рисков для безопасности в стоимостной и натуральной форме.

Результаты, полученные в ходе выполнения второго этапа НИОКР, соответствуют утвержденным техническим требованиям к результатам выполнения комплексного проекта и календарному плану.

Основные конструктивные технологические и технико-эксплуатационные показатели (характеристики): высокая точность прогнозов при допустимо низких ошибках второго рода для оперативных прогнозов и

многофакторность допустимо точных долгосрочных прогнозов на основе разработанных на втором этапе проекта методов.

Степень внедрения – проведены теоретические и имитационные модельные исследования, которые являются основой для построения на третьем этапе проекта алгоритмов и комплекса программ для прогнозирования и предотвращения авиационных событий при организации и производстве воздушных перевозок.

Рекомендации по внедрению результатов НИОКР: Результаты отчета являются основой для использования на третьем этапе при разработке алгоритмов и комплекса программ оперативного и долгосрочного прогнозирования и предотвращения авиационных событий, а также для оценивания рисков для безопасности.

Область применения – разработанные теоретические методы могут использоваться при создании автоматизированных систем прогнозирования отказов и разрушений в многокомпонентных технических системах, взаимодействующих со средой и включающих человеческий фактор.

Экономическая эффективность или значимость работы: разработанные теоретические методы являются основой для построения алгоритмов функционирования автоматизированных систем прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий с целью снижения экономических рисков, представленные в денежной и натуральной форме.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования.

Методы прогнозирования и предотвращения авиационных событий при организации и производстве воздушных перевозок, а также оценивания рисков для безопасности допускают развитие в направлениях использования дополнительных математических методов, развития и использования систем адаптации как для данной, так и иных областей применения, включая также модификации системы управления безопасностью полетов, выявление структур сложных причинно-следственных связей, сложных составных последовательностей развития авиационных событий.

Содержание

Содержание	15
Нормативные ссылки	18
Определения, обозначения и сокращения	22
Введение	46
Раздел 1 Разработка методологии оперативного и долгосрочного прогнозирования вероятности авиационного происшествия.....	51
1.1 Методы прогнозирования. Классификация методов прогнозирования.....	51
1.2 Метод оперативного прогнозирования.....	61
1.2.1 Описание метода оперативного прогнозирования, основанного на анализе деревьев событий.....	61
1.2.2 Описание метода оперативного прогнозирования по фактору «Машина»	69
1.2.3 Описание метода оперативного прогнозирования по фактору «Человек»	83
1.2.4 Методы оперативного прогнозирования по фактору «Среда».....	88
1.3 Метод долгосрочного прогнозирования.....	122
1.3.1 Метод долгосрочного прогнозирования по фактору «Машина»	123
1.3.2 Методы долгосрочного прогнозирования по фактору «Человек»	146
1.3.3 Методы долгосрочного прогнозирования по фактору «Среда».....	160
1.3.4. Совокупный долгосрочный прогноз по факторам «Человек», «Машина», «Среда».....	203
1.4 Подробное описание расчета некоторых параметров фактора «Среда»	208
1.4.1 Модуль АС разработки взлетно-посадочных характеристик.....	208
1.4.2 Модель АС разработки аэропорта экстренной посадки.....	222
1.4.3 АСАРАБИ - автоматизированная система анализа рисков авиационной безопасности в Интернете	232
1.5 Методология предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок на основе определения степени выполнения нормативных требований.....	261
1.5.1 Общие положения	261

1.5.2 Входные данные	262
1.5.3 Методология оперативного прогнозирования вероятности авиационного происшествия на основании степени выполнения нормативных требований (фактор «Среда искусственная» фактор опасности «Нормативная документация»).....	270
1.5.4. Методология долгосрочного прогнозирования вероятности авиационного происшествия на основании степени выполнения нормативных требований (фактор «Среда искусственная» фактор опасности «Нормативная документация»).....	298
Раздел 2 Разработка методологии расчета рисков по данным эксплуатационной деятельности	301
2.1 Краткий обзор подходов к оцениванию рисков по данным эксплуатационной деятельности.....	301
2.2 Метод количественной оценки риска авиационных событий, основанный на статистическом анализе данных страховых выплат	308
2.3 Построение и анализ функционала потерь на примере моделирования потока отказов двигателя.....	313
2.4 Метод расчета риска авиационных событий, основанный на экспертном оценивании величины ущерба.....	323
2.5 Альтернативный метод оценки риска, основанный на моделировании вероятностей наступления авиационных событий.....	323
2.6 Определение перечня проводимых управленческих решений на основе оценки эффективности мероприятий по предотвращению авиационных происшествий	328
2.7 Оценка затрат на реализацию мероприятий по предотвращению авиационных происшествий.	333
2.8 Мероприятия ПАП за счет обучения и повышения квалификации персонала авиакомпаний.	334
2.9 Разработка методологии экспертного оценивания.....	339
2.9.1 Цели и задачи экспертного оценивания в разрабатываемой автоматизированной системе	339

2.9.2 Математические алгоритмы экспертного оценивания	340
Заключение.....	355
Список использованных источников	358
Приложение А Наименования основных событий	366
Приложение Б Деревья авиационных событий.....	367
Приложение В Резервирование технических систем	458
Приложение Г Факторы опасности	462
Приложение Д Виды турбулентности. Оценка интенсивности турбулентности	557
Приложение Е Классификация туманов. Методы прогнозирования туманов	572
Приложение Ж Прогнозирование обледенений ВС	588
Приложение И Столкновение ВС с птицами	624
Приложение К Описание активных вулканов. История и прогнозирование извержений.....	647
Приложение Л Листинг кода и окна ввода программы для расчета прогноза по фактору «Среда естественная»	657
Приложение М Методика определения количества разладок и оценок углов наклона	667
Приложение Н Математические определения и теоремы, используемые в отчете .	673

Нормативные ссылки

В настоящем отчете о научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 7.32-2001. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления [Текст]. – Введ. 01.07.2002. – М.: Стандартинформ, 2008 г.

ГОСТ Р 22.0.02–94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий [Текст]. – Введ. 01.01.1996. – М.: Изд-во стандартов, 2000 г.

ГОСТ Р 22.0.05–94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения [Текст]. – Введ. 01.01.1996. – М.: Изд-во стандартов, 1996 г.

ГОСТ Р 22.0.07–95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров [Текст]. – Введ. 01.01.1997. – М.: Изд-во стандартов, 1996 г.

ГОСТ Р 22.0.08–96. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Взрывы. Термины и определения [Текст]. – Введ. 01.07.1997. – М.: Изд-во стандартов, 2000 г.

ГОСТ Р 22.1.02–97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения [Текст]. – Введ. 01.01.1997. – М.: Изд-во стандартов, 2000 г.

ГОСТ Р 22.10.01–2001. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Оценка ущерба. Термины и определения [Текст]. – Введ. 01.01.2002. – М.: Изд-во стандартов, 2001 г.

ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Текст]. – Введ. 01.07.1990. – М.: Стандартинформ, 2005 г.

ГОСТ 34.601-90. Автоматизированные Системы. Стадии Создания [Текст]. – Введ. 01.01.92. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1992 г.

ГОСТ Р 51333–99. Безопасность машин. Основные принципы конструирования. Термины, технологические решения и технические условия [Текст]. – Введ. 01.07.2000. – М.: Изд-во стандартов, 2000 г.

ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем [Текст]. – Введ. 2003–09–01. – М.: Изд-во стандартов, 2003 г.

РД 08–120–96. Методические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов [Текст]. – Введ. 12.06.1996. – М.: НТЦ Промышленная безопасность, 2001 г.

РД 03–418–2001. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов [Текст]. – Введ. 01.10.2001. – М.: НТЦ Промышленная безопасность, 2001 г.

РД 03–496–2002. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах [Текст]. – Введ. 29.10.2002. . – М.: НТЦ Промышленная безопасность, 2002 г.

ГОСТ Р 50779.10-2000. Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения [Текст]. – Введ. 01.07.2001. – М.: Стандартиформ, 2008 г.

ГОСТ Р 51901–2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем [Текст]. – Введ. 2005-09-01. – М. : Изд-во стандартов, 2005 г.

ГОСТ Р 51901.1–2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем [Текст]. – Введ. 2005-09-01. – М. : Изд-во стандартов, 2005 г.

ГОСТ Р 51901.2–2005. Менеджмент риска. Системы менеджмента надежности [Текст]. – Введ. 2005–09–01. – М. : Стандартиформ, 2005 г.

ГОСТ Р 51901.3–2007. Менеджмент риска. Руководство по менеджменту надежности [Текст]. – Введ. 2008-09-01. – М. : Стандартиформ, 2008 г.

ГОСТ Р 51901.4–2005. Менеджмент риска. Руководство по применению при проектировании [Текст]. – Введ. 2006–02-01. – М. : Стандартиформ, 2005 г.

ГОСТ Р 51901.5–2005. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности [Текст]. – Введ. 2006-02-01. – М. : Стандартиформ, 2005 г.

ГОСТ Р 51901.6–2005. Менеджмент риска. Программа повышения надежности [Текст]. – Введ. 2006–02–01. – М. : Стандартиформ, 2005 г.

ГОСТ Р 51901.10–2009. Менеджмент риска. Процедуры управления пожарным риском на предприятии [Текст]. – Введ. 2010-12-01. – М. : Стандартиформ, 2010 г.

ГОСТ Р 51901.11–2005. Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство [Текст]. – Введ. 2006-01-01. – М. : Стандартиформ, 2006 г.

ГОСТ Р 51901.12–2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов [Текст]. – Введ. 2008-09-01. – М. : Стандартиформ, 2008 г.

ГОСТ Р 51901.13–2005. Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей [Текст]. – Введ. 2005–09–01. – М. : Стандартиформ, 2005 г.

ГОСТ Р 51901.14–2007. Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности [Текст]. – Введ. 2008-09-01. – М. : Стандартиформ, 2008 г.

ГОСТ Р 51901.15–2005. Менеджмент риска. Применение марковских методов [Текст]. – Введ. 2006-02-01. – М. : Стандартиформ, 2006 г.

ГОСТ Р 51901.16-2005. Менеджмент риска. Повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки [Текст]. – Введ. 2006-01-01. – М. : Стандартиформ, 2005 г.

ГОСТ Р ИСО/МЭК 13335-1-2006. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Часть 1. Концепция и модели менеджмента безопасности информационных и телекоммуникационных технологий [Текст]. – Введ. 2007-06-01. – М. : Стандартиформ, 2007 г.

ГОСТ Р ИСО 15265-2006. Основы стратегии оценки риска для предупреждения стресса и дискомфорта в термальных рабочих средах [Текст]. – Введ. 2007-01-01. – М. : Стандартиформ, 2006 г.

ГОСТ Р ИСО/МЭК 16085-2007. Менеджмент риска. Применение в процессах жизненного цикла систем и программного обеспечения [Текст]. – Введ. 2008-09-01. – М. : Стандартиформ, 2008 г.

ГОСТ Р ИСО 17666-2006. Менеджмент риска. Космические системы [Текст]. – Введ. 2007-01-01. – М. : Стандартиформ, 2006 г.

ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения [Текст]. – Введ. 2003-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 2002 г.

ГОСТ Р 52806-2007. Менеджмент рисков проектов. Общие положения [Текст]. – Введ. 2010-01-01. – М. : Стандартиформ, 2010 г.

ГОСТ Р МЭК 61160-2006. Менеджмент риска. Формальный анализ проекта [Текст]. – Введ. 2007-01-01. – М. : Стандартиформ, 2006 г.

Р 50.1.068-2009. Менеджмент риска. Рекомендации по внедрению. Часть 1. Определение области применения [Текст]. – Введ. 2010-12-01. – М. : Стандартиформ, 2010 г.

Р 50.1.069-2009. Менеджмент риска. Рекомендации по внедрению. Часть 2. Определение процесса менеджмента риска [Текст]. – Введ. 2010-12-01. – М. : Стандартиформ, 2010 г.

Р 50.1.070-2009 Менеджмент риска. Рекомендации по внедрению. Часть 3. Обмен информацией и консультации [Текст]. – Введ. 2010-12-01. – М. : Стандартиформ, 2010 г.

РД 50-34.698-90. Автоматизированные системы требования к содержанию документов [Текст]. – Введ. 01.01.92. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1992 г.

Определения, обозначения и сокращения

В настоящем отчете о научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе применяются следующие сокращения:

AFTN – Aeronautical Fixed Telecommunications Network.

AMDAR – Aircraft Meteorological Data Relay.

ARMS – Airline Risk Management Solutions.

ASDA – Accelerate Stop Distance Available (Располагаемая дистанция прерванного взлета).

ATIS – Automatical Terminal Information Service.

CATS – Causal model for Air Transport Safety.

CRM – Customer relationship management (управление ресурсами экипажа).

EASA – European Aviation Safety Agency.

ERC – Event Risk Classification.

GPS – Global positioning system.

GUI – Graphical User Interface.

ICAO – International Civil Aviation Organization (Международная организация гражданской авиации – ИКАО).

IOSA – IATA Operating Safety Audit (программа аудита эксплуатационной безопасности авиакомпаний Международной ассоциации воздушного транспорта).

IP – internet protocol.

LDA – landing distance available (располагаемая посадочная дистанция).

METAR – METeorological Aerodrome Report.

NASA – National Aeronautics and Space Administration.

NCAR – National Center for Atmospheric Research.

NCEP – National Centers for Environmental Prediction.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration.

NOTAM – Notice to Airmen.

RSS – Really Simple Syndication.

SARPS – Standards And Recommended Practices, Стандарты и Рекомендуемая практика.

SEC – Security (безопасность).

SID – standard instrument departure (стандартная процедура вылета по приборам).

SIGMET – significant meteorological information (существенная метеорологическая информация).

SRM – Safety Risk Management.

SWL – Significant Weather at the Low levels.

SWM – Significant Weather at the Middle levels.

TAF – Terminal Aerodrome Forecast.

TAMDAR – Tropospheric Airborne Meteorological Data Reporting.

TCP – Transmission Control Protocol.

TODA – Take-off Distance Available (Располагаемая взлетная дистанция).

TORA – Take-off Run Available (Располагаемая длина разбега).

UDP – User Datagram Protocol.

V1 – скорость принятия решения.

Vr – скорость подъема.

XML – eXtensible Markup Language.

а/д – аэродром.

АБ – авиационная безопасность.

АК – авиакомпания.

АК ВД – ООО «Авиакомпания Волга-Днепр».

АМСГ – авиационная метеорологическая станция (гражданская).

АНВ – акт незаконного вмешательства.

АНО – аэронавигационное обеспечение.

АП – авиационное происшествие.

АРЗ – авиационный ремонтный завод.

АС – автоматизированная система.

АСАРАБИ – автоматизированная система анализа рисков авиационной безопасности в Интернете.

АСОБП – автоматизированная система обеспечения безопасности полетов воздушных судов.

АТ – авиационная техника.

АТС – авиационно-транспортная система.

АХР – авиационно-химические работы.

БД – база(ы) данных.

БП – безопасность полётов.

БП и ПАП – безопасность полетов и предотвращение авиационных происшествий.

БПР – база примеров решений.

БПС – база примеров ситуаций.

ВДФО – входные данные фактора опасности.

ВМО – Всемирная метеорологическая организация.

ВП – воздушное пространство.

ВПП – взлетно-посадочная полоса.

ВПХ – взлетно-посадочные характеристики.

ВС – воздушное судно.

ВС АС – воздушное судно авиакомпании.

ВСВ – Всемирное Скоординированное Время.

ВСУ – вспомогательная силовая установка.

ГА – гражданская авиация.

ГДУ – газодинамическая устойчивость.

ГИКП по ОУП и ПАП – группа информационно-консультационной поддержки по оперативному управлению перевозкой и предотвращению авиационных происшествий.

ГИКП по ПАП – группа информационно-консультационной поддержки по предотвращению авиационных происшествий.

ГрК – группа компаний.

ГС – гидравлическая система.

ГСМ – горюче-смазочные материалы.

ГТД – газотурбинный двигатель.

ГУ – Государственное учреждение.

ЕТР – Европейская территория России.

ЗУ – задача управления.

ИАС – инженерно-авиационная служба.

ИС НТ ПАП – информационная система нормативных требований по предотвращению авиационных происшествий.

ИСО (ISO) – Международная организация по стандартизации (International Standartization Orgaization).

ИФО – источники фактора опасности.

КВС – командир воздушного судна.

КЗ – коэффициент значимости.

КПН – конструктивно-проектные недостатки.

КПТ – кольцевые полосы торможения.

КС – компьютерная система.

КТ – контрольная точка.

ЛВС – локальная вычислительная сеть.

ЛПР – лицо, принимающее решение.

ЛС – летная служба.

МОО – модуль определения оптимальности и отбора вариантов решения.

МПС – модуль поиска соответствий.

МСУ – модель системы управления.

МУВ – модуль управления вычислениями.

МЦ АУВД – Московский Центр Автоматизированного Управления Воздушным Движением.

НД – нормативная документация.

НИОКР – научно-исследовательская опытно-конструкторская, проектная, изыскательская, технологическая работа.

НПП ГА – Наставление по Производству Полетов в Гражданской Авиации.

НТ – нормативные требования.

ОА – открытый архив.

ОАМ – отдел авиационной метеорологии.

ОВД – организация воздушного движения.

ОЗП – осенне-зимний период.

ОУ – оперативное управление.

ПАП – предотвращение авиационных происшествий.

ПДС – производственно-диспетчерская служба.

ПКШ – прибор контроля шума.

ПЛАВ – глобальная полулагранжевая модель среднесрочного прогноза погоды.

ПО – программное обеспечение.

ПОС – противообледенительная система.

ППО – противопожарное оборудование.

ППР – поддержка принятия решения.

ППР АС ОАЭП – поддержка принятия решения автоматизированной системы определения аэродрома экстренной посадки.

ПРАПИ – правила расследования авиационных происшествий и инцидентов с гражданскими ВС в Российской Федерации.

РАН – Российская академия наук.

РД – рулежная дорожка.

Рк – руководство.

РЛС – радиолокационная станция.

РЛЭ – руководство по летной эксплуатации.

РООП ГА – руководство по орнитологическому обеспечению полетов в гражданской авиации.

РПП – руководство по производству полётов.

РУБП – руководство по управления безопасностью полётов.

РУД – рукоятка управлением двигателем.

САБ – служба авиационной безопасности.

СанПиН – санитарные правила и нормы.

САО – служба аэронавигационного обеспечения.

САУ – система автоматического управления.

СКиАУ – служба качества и административного управления.

СОК – средства объективного контроля.

СОП – служба организации перевозок.

СТ и АМ – служба спецтранспорта и аэродромной механизации.

СТП – стандарт предприятия.

СУ – система управления.

СУБП – система управления безопасностью полётов.

СУР – система управления риском.

ТО – техническое обслуживание.

ТО АТ – техническое обслуживание авиационной техники.

ТС – топливная система.

ТЯН – турбулентность в ясном небе.

УВД – управление воздушным движением.

ФАП – Федеральные авиационные правила.

ФГУП – Федеральное государственное унитарное предприятие.

ФО – фактор опасности.

ЦЗ – центр закупок.

ЦОАПИ – центр обработки и анализа полетной информации.

ЦУВП – центр управления воздушными перевозками.

ЧГП – чартерные грузовые перевозки.

ЧМИ – человеко-машинный интерфейс.

В настоящем отчете о НИОКР применяют следующие термины с соответствующими определениями, представленными в таблице 1:

Таблица 1 – Термины и определения.

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
---------------	--------------------

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
Аварийная ситуация	Особая ситуация, характеризующаяся значительным ухудшением характеристик, или достижением (превышением) предельных ограничений, или физическим утомлением, или такой нагрузкой экипажа, что уже нельзя полагаться на то, что он выполнит свои задачи полностью.
Авария	Авиационное происшествие без человеческих жертв.
Авиационное происшествие	Незапланированное событие или ряд событий, которые привели к гибели, травмам или профессиональным заболеваниям людей, ущербу или потере оборудования или собственности, или к нанесению ущерба окружающей среде.
Авиационное происшествие без человеческих жертв	Авиационное происшествие, не повлекшее за собой человеческих жертв или пропажи без вести кого-либо из пассажиров или членов экипажа.
Авиационное происшествие с человеческими жертвами	Авиационное происшествие, приведшее к гибели или пропаже без вести кого-либо из пассажиров или членов экипажа. К катастрофам относятся также случаи гибели кого-либо из лиц, находившихся на борту, в процессе их аварийной эвакуации из ВС.
Авиационное событие	<p>Включает:</p> <ul style="list-style-type: none"> • авиационные происшествия; • авиационные инциденты (серьезные авиационные инциденты); • производственные происшествия (повреждения воздушного судна на земле и чрезвычайные происшествия).
Авиационный	Событие, связанное с использованием воздушного

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
инцидент	судна, которое имело место с момента, когда какое-либо лицо вступило на борт с намерением совершить полет, до момента, когда все лица, находившиеся на борту с целью полета, покинули воздушное судно, и обусловленное отклонениями от нормального функционирования воздушного судна, экипажа, служб управления и обеспечения полетов, воздействием внешней среды, могущее оказать влияние на безопасность полетов, но не закончившееся авиационным происшествием.
Автоматизированная система	Комплекс технических, программных, других средств и персонала, предназначенный для автоматизации различных процессов. Термин автоматизированная, в отличие от термина автоматическая подчеркивает сохранение за человеком-оператором некоторых функций, либо наиболее общего, целеполагающего характера, либо не поддающихся автоматизации.
Безопасность полетов	Состояние, при котором риск причинения вреда лицам или нанесения ущерба имуществу снижен до приемлемого уровня и поддерживается на этом либо более низком уровне посредством непрерывного выявления угроз для безопасности и управления связанными с ними рисками.
Вероятность	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Вероятность ошибки второго рода	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
Вероятность ошибки первого рода	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Взвешенное среднее арифметическое	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Вред (англ. harm)	Физический ущерб или урон здоровью, имуществу или окружающей среде.
Выборочная дисперсия	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Выборочная ковариация	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Выборочная медиана	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Выборочный коэффициент корреляции	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Гамма-распределение	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Давление среды	Совокупность условий среды, играющих неблагоприятную или благоприятную роль на рассматриваемый процесс. Давление среды всегда действует в сторону установления определенного состояния равновесия между различными компонентами рассматриваемой системы.

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
Дерево ситуаций	Выделение вариантов развития возможных аварийных ситуаций и аварий, представленных в виде дерева.
Дисперсия (случайной величины)	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Доверительный интервал	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Долгосрочный прогноз	Имеет период упреждения от года до пятнадцати - двадцати лет.
Значение оценки	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Имитационное моделирование	Здесь – как правило, компьютерное имитационное моделирование, включающее в себя, в том числе и стохастическое: программная реализация псевдослучайных процессов, удовлетворяющих заданному набору требований адекватности реальному объекту.
Интенсивность отказов	По ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
Инцидент (англ. incident)	Опасный эпизод с незначительными последствиями, который мог бы привести к большим потерям. Это незапланированное событие, которое может вылиться в авиационное происшествие, или уже привело к незначительному ущербу, и указывает – но не обязательно определяет - на опасность или на опасное состояние.
Катастрофическая ситуация	Особая ситуация, для которой принимается, что при ее возникновении предотвращение гибели людей

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
	оказывается практически невозможным.
Квазистационарный процесс	Процесс, протекающий в ограниченной системе и распространяющийся в ней так быстро, что за время распространения этого процесса в пределах системы её состояние не успевает измениться. Поэтому при рассмотрении процесса можно пренебречь временем его распространения в пределах системы.
Квантиль	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Ковариация	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Компенсация процесса с разладками	Внешнее изменение поведения траекторий случайного процесса, как правило, после моментов разладки, обеспечивающее увеличение вероятности нахождения траекторий процесса в заданной области.
Компетентность эксперта	Способность эксперта выносить на базе профессиональных знаний, интуиции и опыта достоверные суждения об объекте прогнозирования. Количественная мера компетентности эксперта называется коэффициентом компетентности.
Корректирующее действие	Действие, предпринятое для устранения причины обнаруженного несоответствия или другой нежелательной ситуации.
Коррекция рисков	Процедура, включающая в себя анализ риска, оценку риска, (оценку выраженности и серьезности опасности) и возможные действия по уменьшению нежелательных

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
	последствий (управление риском).
Корреляция	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Коэффициент корреляции	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Люсиан	Это последовательность испытаний Бернулли. В общем случае испытания имеют различные вероятности успеха.
Математическое ожидание (случайной величины)	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Медиана	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Нарушение	Преднамеренное отступление от установленных норм, правил, ограничений, не вызванное необходимостью выполнения полетного задания по специальному разрешению или интересами БП.
Независимость (случайных величин)	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Номограмма	График, позволяющий определить результат вычислений графическим путем, без дополнительных расчетов, с помощью специальных таблиц, представляющих собой значения переменных и результирующей величины.
Обледенение ВС	Отложение льда на поверхности самолета при полете в

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
	капельножидких или смешанных облаках при отрицательных температурах или в переохлажденном дожде, мокром снеге и мороси, а также на земле.
Общее программное обеспечение	Часть программного обеспечения АС, представляющая собой совокупность программных средств, разработанных вне связи с созданием данной АС. Обычно ОПО АС представляет собой совокупность программ общего назначения, предназначенных для организации вычислительного процесса и решения часто встречающихся задач обработки информации.
Объем выборки	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Опасное событие (англ. hazardous event)	Событие, которое может причинить вред.
Опасность (англ. hazard)	Любое существующее или потенциально возможное состояние, которое может привести к травме, болезни или смерти человека; нанести ущерб или привести к потере системы, оборудования, или собственности; или – нанести ущерб окружающей среде. Опасность – источник потенциального вреда или ситуация с потенциальной возможностью нанесения вреда. Опасность – это условие, которое является предпосылкой к авиационному происшествию или инциденту.
Оперативный прогноз	Оперативный прогноз имеет период упреждения до десяти дней. Оперативные прогнозы основаны на предположении о том, что в прогнозируемом периоде не произойдет

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
	существенных изменений в исследуемом объекте, как количественных, так и качественных. В них преобладают детально-количественные оценки ожидаемых событий.
Особая ситуация	Ситуация, характеризующаяся как «Усложнение условий полета», «Сложная ситуация», «Аварийная ситуация», «Катастрофическая ситуация».
Остаточный риск (англ. substitute risk)	Непреднамеренный риск, возникший как следствие применения средств контролирования рисков, влияющих на безопасность полетов.
Отказ	По ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. По типу отказы подразделяются на: отказы функционирования (выполнение основных функций объектом прекращается); отказы параметрические (некоторые параметры объекта изменяются в недопустимых пределах). По своей природе отказы могут быть: случайные, обусловленные непредусмотренными перегрузками, дефектами материала, ошибками персонала или сбоями системы управления и т. п.; систематические, обусловленные закономерными и неизбежными явлениями, вызывающими постепенное накопление повреждений: усталость, износ, старение, коррозия и т. п.
Отклонение	Расхождение фактического и установленного значения параметра.
Относительная частота	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
Оценивание (параметра)	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Оценка	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Ошибка	Неправильное восприятие, оценка, решение или действие, повлекшее несоответствие или событие.
Ошибка второго рода	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Ошибка первого рода	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Параметр	Измеряемая количественная или качественная характеристика эксплуатационной деятельности, связанной с обеспечением безопасности полетов.
Период упреждения прогноза	Промежуток времени, на который разрабатывается прогноз.
Плотность вероятности (англ. probability density)	См. Плотность распределения (вероятностей).
Плотность распределения (вероятностей)	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Повреждение воздушного судна на земле	Событие, связанное с обслуживанием, хранением и транспортировкой воздушного судна, при котором судну причинены повреждения, не нарушающие его

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
	силовые элементы и не ухудшающие летно-технические характеристики, устранение которых возможно в эксплуатационных условиях.
Последствие	Окончательный результат проявления угрозы для безопасности.
Предвестник инцидента	<p>Событие или опасное отклонение, которое может оказать влияние или создать угрозу БП и связанное с использованием ВС, его эксплуатацией, обслуживанием, хранением или транспортировкой, но не попадающее под классификацию и определение авиационного события и вызванное одним из следующих обстоятельств:</p> <ul style="list-style-type: none"> - отказ, неисправность или отклонение от нормального функционирования ВС, его двигателей, систем, агрегатов, узлов и элементов конструкции; - опасное воздействие внешней среды, химически активных или вредных веществ; - преднамеренные или ошибочные действия должностных или посторонних лиц. <p>Предвестники подлежат внутреннему расследованию.</p>
Предотвращение АП	Выявление и устранение или уклонение от аварийных факторов (угроз).
Предупреждающее действие	Действие, предпринятое для устранения причины потенциального несоответствия или другой потенциально нежелательной ситуации.
Приемлемый уровень риска	Численное значение уровня риска, при котором не требуется никаких корректирующих действий.
Прогноз	Обоснованное суждение о возможном состоянии объекта в будущем или альтернативных путях и сроках достижения

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
	этих состояний. По времени упреждения прогнозы подразделяются на оперативные, краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные.
Прогнозирование	Процесс разработки прогноза. Этап прогнозирования - часть процесса разработки прогнозов, характеризующаяся своими задачами, методами и результатами. Деление на этапы связано со спецификой построения систематизированного описания объекта прогнозирования, сбора данных, с построением модели, верификацией прогноза.
Прогнозирующая система	Система методов и средств их реализации, функционирующая в соответствии с основными принципами прогнозирования. Средствами реализации являются экспертная группа, совокупность программ и т. д. Прогнозирующие системы могут быть автоматизированными и неавтоматизированными.
Производственные происшествия	Производственные происшествия подразделяются на: - повреждения воздушного судна на земле; - чрезвычайные происшествия.
Процесс с разладками	Случайные процессы с одиночными либо множественными разладками – это процессы со скачкообразными изменениями в случайные моменты времени (как правило - ненаблюдаемое) параметров в распределениях.
Разладки множественные	При исследовании сложных систем могут возникать ситуации, когда случайные процессы, описывающие поведение объекта, имеют не одну, а несколько разладок. Оценивают как моменты разладок, так и их количество,

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
	которое также заранее может быть неизвестным.
Распределение (вероятностей)	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Распределение Вейбулла	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Распределение Эрланга	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Реальное время	Режим работы автоматизированной системы обработки информации и управления, при котором учитываются жёсткие ограничения на временные характеристики функционирования.
Риск	Мера количественного многокомпонентного измерения опасности с включением величины ущерба от воздействия угроз для безопасности, вероятности возникновения этих угроз и неопределенности в величине ущерба и вероятности.
Риск, влияющий на безопасность полетов (англ. safety risk)	Комбинация предсказуемой серьезности и вероятности потенциального влияния опасной ситуации.
Серьезность, тяжесть (англ. severity)	Последствия или влияние опасной ситуации, выраженные в степени потерь или нанесенного ущерба.
Серьезный авиационный	Авиационный инцидент, обстоятельства которого указывают на то, что едва не имело место авиационное

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
инцидент	происшествие.
Система управления безопасностью полетов	Совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов (методов, правил и процедур) предназначенная для разработки политики и целей в области предотвращения АП и обеспечения приемлемого уровня БП и достижения этих целей посредством скоординированной деятельности по управлению организацией.
Системный риск	Уровень (в денежных единицах), который случайная величина ожидаемого ущерба (или убытков) от событий, связанных с безопасностью в АТС, превышает с заданной вероятностью (определенным порядком квантиля).
Сложная ситуация	Особая ситуация, характеризующаяся заметным ухудшением характеристик или выходом одного или нескольких параметров за эксплуатационные ограничения, но без достижения предельных ограничений, уменьшением способности экипажа справиться с неблагоприятными условиями (возникшей ситуацией) как из-за увеличения рабочей нагрузки, так и из-за условий, понижающих эффективность действий экипажа.
Случайная величина	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Специальное программное обеспечение автоматизированной системы	Часть программного обеспечения АС, представляющая собой совокупность программ, разработанных при создании данной АС.

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
Среднее арифметическое	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Статистика	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Статистическое прогнозирование	Научная и учебная дисциплина, к основным задачам которой относятся разработка, изучение и применение современных математико-статистических методов прогнозирования на основе объективных данных; развитие теории и практики вероятностно-статистического моделирования экспертных методов прогнозирования; методов прогнозирования в условиях риска и комбинированных методов прогнозирования с использованием совместно экономико-математических и эконометрических (как математико-статистических, так и экспертных) моделей.
Точка росы	Температура, при которой воздух достиг бы состояния насыщения при данном влагосодержании и неизменном давлении.
Требование	Потребность или ожидание, которое установлено, обычно предполагается или является обязательным.
Тренд	Долговременная тенденция изменения исследуемого временного ряда. Тренды могут быть описаны различными уравнениями – линейными, логарифмическими, степенными и т. д. Фактический тип тренда устанавливаются на основе подбора его функциональной модели статистическими методами либо сглаживанием исходного

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
	временного ряда.
Триггер (англ. trigger)	Это хранимая процедура особого типа, которую пользователь не вызывает непосредственно, а исполнение которой обусловлено наступлением определенного события (действием).
Туман	Помутнение приземного слоя воздуха из-за наличия взвешенных в нем капель воды или кристаллов льда или смеси тех и других, при котором горизонтальная дальность видимости становится меньше 1 км. Если взвешенные в воздухе мельчайшие капли воды, кристаллы льда или их смесь снижают дальность видимости лишь до 1 км или более 1 км, то такое явление называют дымкой.
Турбулентность	Трехмерное нестационарное движение, в котором вследствие растяжения вихрей создается непрерывное распределение пульсаций скорости в интервале длин волн от минимальных, определяемых вязкими силами, до максимальных, определяемых граничными условиями течения.
Угроза для безопасности	Состояние, условие или объект, обладающий потенциальной возможностью нанести травму персоналу, причинить ущерб оборудованию или конструкции, вызвать уничтожение материалов или понизить способность авиационно-транспортной системы осуществлять предписанную функцию.
Управление риском (англ. risk control)	Шаги, сделанные для устранения опасности или смягчения ее последствий путем уменьшения серьезности и/или вероятности риска, связанного с соответствующими опасностями.

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
Управление риском в отношении БП	Процесс, направленный на определение угроз, которые могут оказать влияние на безопасность полетов и управление связанными с этими угрозами (рисками).
Условное математическое ожидание	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Условное распределение (вероятностей)	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Усложнение условий полета	Особая ситуация, характеризующаяся незначительным ухудшением характеристик (без достижения выхода их за эксплуатационные или предельные ограничения) или незначительное увеличение рабочей нагрузки на экипаж.
Фактор	Любое условие, явление, обстоятельство, отказ системы авиационной или наземной техники, агрегатов, по которым выявлена связь с авиационным происшествием, инцидентом или другим видом классифицируемых событий.
Функция распределения	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Частота	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.
Чрезвычайное происшествие	Событие, связанное с эксплуатацией воздушного судна, но не относящееся к авиационному происшествию, при котором наступило одно из следующих последствий: <ul style="list-style-type: none"> • гибель кого-либо из находившихся на борту

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
	<p>воздушного судна в результате умышленных или неосторожных действий самого пострадавшего или других лиц, не связанная с функционированием воздушного судна;</p> <ul style="list-style-type: none"> • гибель какого-либо лица, самовольно проникшего на воздушное судно и скрывавшегося вне зон, куда открыт доступ пассажирам и членам экипажа; • гибель членов экипажа или пассажиров в результате неблагоприятных воздействий внешней среды после вынужденной посадки воздушного судна вне аэродрома; • гибель или телесные повреждения со смертельным исходом любого лица, находящегося вне воздушного судна, в результате непосредственного контакта с воздушным судном, его элементами или газо-воздушной струей силовой установки; • разрушение или повреждение воздушного судна на земле, повлекшее нарушение прочности его конструкции или ухудшение летно-технических характеристик в результате стихийного бедствия или нарушения технологии обслуживания, правил хранения или транспортировки; • угон воздушного судна, находящегося на земле или в полете, или захват такого судна в целях угона.
Экспертная группа	<p>Коллектив экспертов, сформированный по определенным правилам для решения поставленной задачи прогноза. Частным случаем экспертной группы выступает экспертная комиссия.</p>

Продолжение таблицы 1

<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
Экспертная оценка	Суждение эксперта или экспертной группы относительно поставленной задачи прогноза. В случае группы экспертов используется термин «коллективная экспертная оценка».
Экспоненциальное распределение	По ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения.

Введение

В отчете второго этапа проекта приводятся разработанные методы, позволяющие осуществлять оперативное и долгосрочное прогнозирование возникновения авиационных событий на основе анализа причинно-следственных связей факторов опасности по системам «Человек», «Машина», «Среда» и данных, включающих в себя технические характеристики систем воздушного судна, характеристики летного экипажа и показатели искусственной и естественной среды, а также экспертные оценки используемых в расчетах параметров, не допускающих статистического оценивания. В отчете содержится описание методов оценивания рисков для безопасности в денежной и натуральной форме, а также оценивания эффективности управленческих решений и разработанных методов их оптимального выбора.

В проекте осуществляется решение задач оценивания вероятностей возникновения авиационных событий в режиме оперативного прогнозирования, долгосрочного оценивания вероятностей авиационных происшествий, а также связанных с ними рисков в натуральной и денежной форме. Классические вероятностные методы фильтрации и экстраполяции в данной ситуации не применимы. Рассматриваемые объекты являются нестационарными и допускают существенные изменения количественных характеристик в случайные (неизвестные) моменты времени, что принято называть разладками, и функционируют в форме составной системы (далее принята терминология «Человек-Машина-Среда»). Модели такого рода объектов не получили развития, допускающего учет нестационарного поведения, разладок и многофакторности. При этом существенным является непосредственное применение непараметрических методов и их использование в траекторных моделях. Это является существенным при меняющихся параметрах искусственной и естественной среды в АТС, что требует применения конструкций построения прогнозов в терминах распределений. При исследовании факторов «Машина» и «Человек» методы учитывают специфику, но представляют собой модификации разработанных и единообразно записанных

методов прогнозирования и оценивания. В качестве отдельной задачи рассматривается количественное оценивание рисков в денежной и натуральной форме, поскольку оно требует привлечения априорной информации о стоимостях возможных ущербов и страховых выплат при наступлении авиационных событий, а также экспертно оцениваемых последствиях этих событий. Решение научно-технической проблемы оценивания и прогнозирования осуществлено в виде комплекса методов для оперативного и долгосрочного прогнозирования, а также оценивания рисков для безопасности. При этом оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы построения деревьев событий является вполне однозначной. И причиной этому служит высокий уровень априорной проработанности применяемых в данном разделе этапа проекта методов анализа. А именно, анализ событий, приводящих к отказам, повреждениям или нарушениям тех или иных систем, на основе применения описаний в терминах деревьев событий является фундаментально разработанным, но, тем не менее, актуальным способом построения прогнозов. Этот способ апробирован именно для аналогичных или близких по структуре систем. Необходимо учитывать, что прогнозирование в таких системах осуществляется различными, в том числе, вероятностными методами. Данный подход в анализе факторов опасностей и их источников на основе представления причинно-следственных связей факторов в форме деревьев, возникающих в авиационных и космических системах, является проверенным и восходит к началу 60-х годов 20 века, а завершение теоретических обоснований и прикладных исследований приходится к концу двадцатого столетия.

Основанием для выполнения работ является договор между ООО «Авиакомпания Волга-Днепр» и Министерством образования и науки РФ №13.G25.31.0063. Работы осуществляются за счет федерального финансирования по постановлению Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2010, № 16, ст. 1905) и по результатам открытого публичного конкурса

по отбору организаций на право получения субсидий на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства в соответствии с решением конкурсной комиссии Минобрнауки России (протокол от 12 октября 2010 г.) по проекту «Автоматизированная система прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок» шифр 2010-218-02-068.

Исходными данными для разработки темы являются материалы исследуемой авиакомпания, а также международные и национальные нормативные документы, обеспечивающие функционирование АС прогнозирования и предотвращения авиационных событий, статистические данные внешних открытых источников.

В соответствии с техническими требованиями к результатам выполнения комплексного проекта проведение данного исследования необходимо для построения оптимальных алгоритмов функционирования АС и комплекса программ прогнозирования и предотвращения авиационных событий на третьем этапе. Оперативное и долгосрочное прогнозирование вероятностей возникновения авиационных событий, связанных с ними рисков для безопасности в денежной и натуральной форме, а также оценка эффективности набора управленческих решений является частью обеспечения безопасности полетов и предотвращения авиационных происшествий. На практике такое оценивание во многих авиакомпаниях осуществляется на уровне узкого прецедентного экспертного оценивания, что является недостаточным. Разработанная в ходе проекта АС позволит автоматизировать процедуры прогнозирования авиационных событий и количественного оценивания рисков для безопасности на основе представленных в отчете математических методов. Методы представлены в алгоритмизируемой форме.

Проведение исследований по определению причинно-следственных связей факторов опасности в системе «Человек-Машина-Среда» и разработка соответствующих структур их формального представления (в форме деревьев событий) необходимо для структурированного и контролируемого формирования систем оперативного и долгосрочного прогнозирования авиационных событий.

Результаты, полученные в ходе выполнения второго этапа НИОКР, являются

новыми, оригинальными и соответствуют утвержденным техническим требованиям к результатам выполнения комплексного проекта.

В настоящее время актуальность проводимого исследования обусловлена необходимостью автоматизации и повышению точности прогнозирования возникновения авиационных событий и оценивания их рисков в денежной и натуральной форме с возможностью их коррекции с учетом необходимых управленческих решений.

Заявленная в технических требованиях АС и программное обеспечение, направленное на прогнозирование и предотвращение авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок, позволяющее осуществлять оценку и принятие решений при поступлении данных в реальном времени в условиях неполной информации на основе математического и стохастического имитационного моделирования с учетом факторов «Человек-Машина-Среда» и количественной оценки рисков прямых аналогов не имеет.

В качестве аналогов можно считать системы, реализованные на основе стандартных методов накопления и обработки статистической информации об отказах, нарушениях и авиационных событиях с их причинах, а также автоматизированные системы, в которых риск оценивается группой экспертов. По отношению к разрабатываемой АС данные методы обладают такими недостатками, как невозможность оценки ситуации в реальном времени, сложность превентивного управления предотвращением негативной ситуации и невозможность принятия решений в условиях информационной неопределенности, у ряда систем – отсутствие многофакторного анализа, либо анализа взаимодействия этих факторов.

Таким образом, актуальной и новой является разработка методов оперативного и долгосрочного прогнозирования авиационных событий, количественной оценки рисков в АТС в денежной и натуральной форме с учетом факторов «Человек», «Машина», «Среда» и их взаимодействия.

Целями второго этапа является разработка методов:

- 1) оперативного прогнозирования вероятностей авиационных событий в предстоящем полете с указанием факторов опасности (угроз) и их сочетаний и

возможностью корректировки прогноза с учетом предлагаемых вариантов управленческих решений, а также на основании степени выполнения нормативных требований;

2) долгосрочного прогнозирования периодов критической вероятности авиационных происшествий с указанием факторов опасности (угроз) и их сочетаний и возможностью корректировки прогноза с учетом набора управленческих решений, с возможностью анализа степени выполнения нормативных требований;

3) количественного оценивания рисков для безопасности полетов в стоимостной и натуральной форме на основе анализа информации об эксплуатационной деятельности авиакомпаний и формирование рекомендаций по управленческим решениям с оценкой их эффективности на основе расчета предотвращенного ущерба;

4) экспертного оценивания и применения полученных результатов для построения оперативных и долгосрочных прогнозов вероятностей возникновения авиационных событий, оценивания рисков для безопасности в стоимостной и натуральной форме.

Задачей второго этапа является разработка методов прогнозирования вероятностей возникновения авиационных событий и оценивания рисков для безопасности в алгоритмизуемой форме.

Отчет включает в себя титульный лист, список исполнителей, реферат, содержание, перечень определений, обозначений и сокращений, введение, два раздела, заключение, список использованных источников и приложения.

Результаты второго этапа проекта являются основой для разработки алгоритмов и комплекса программ для оперативного и долгосрочного прогнозирования, а также оценивания рисков и предотвращения авиационных событий.

Раздел 1 Разработка методологии оперативного и долгосрочного прогнозирования вероятности авиационного происшествия

1.1 Методы прогнозирования. Классификация методов прогнозирования

Одной из основных задач разрабатываемой АС является прогнозирование вероятностей возникновения авиационных событий, что является важной задачей в планировании деятельности авиационных перевозок. В настоящий момент в литературе встречается большое количество определений прогноза и других понятий в области прогнозирования.

Так, Т. А. Дуброва в [1] под прогнозом понимает научно обоснованное описание возможных состояний объектов в будущем, а также альтернативных путей и сроков достижения этого состояния. Похожее определение понятия встречается также в [2, 3]. М. Мескон в [4] определяет прогнозирование как метод планирования, в котором предсказание будущего опирается на накопленный опыт и текущие предположения относительно будущего. В настоящем проекте используется определение прогноза из [1], приведённое в списке определений, обозначений и сокращений.

Прогнозирование как метод познания будущего существует с древнейших времен, когда возможность наступления природного явления (например, солнечного затмения) предсказывалась экспертом (шаманом, вождём племени, старостой). Постепенно появлялись новые методы прогнозирования, начиная с общенаучных, действительных для всех наук (анализ и синтез, экстраполяция и интерполяция, индукция и дедукция, аналогия, гипотеза, эксперимент и т.д.) и заканчивая меж- (интер-) и частнонаучными, пригодными лишь для нескольких или даже только для одной науки. Уже к 1970-м гг. число методов прогнозирования превысило 100 (а к 2000 году оно выросло до 200 [2, 5]), из которых наиболее распространены 10-15: экстраполяция, моделирование (имитационное, операциональное, аналитическое и др.), опрос экспертов, историческая аналогия, метод прогнозных сценариев и т.д.

[3]. Наличие большого количества различных методов прогнозирования вызвало необходимость их классификации.

Возможны несколько классификаций методов прогнозирования. В качестве важнейших факторов классификации могут выступать:

- цель прогноза,
- период упреждения (отрезок времени от момента, для которого имеются последние статистические данные об изучаемом объекте, до момента, к которому относится прогноз [1]),
- тип информации,
- характер внешних условий,
- объект прогнозирования,
- масштаб и т.д.

По масштабу прогнозы подразделяют на глобальные (предсказывающие мировые события, изменения), государственные, отраслевые, региональные, местные, личные прогнозы и т.д. [2].

По времени упреждения прогнозирование разделяется на пять видов:

- Текущее (также называют оперативным). Для данного вида прогнозирования характерен малый период упреждения, позволяющий исследователю предполагать неизменность количественных и качественных структурных характеристик объекта наблюдения, что дает возможность сделать качественный прогноз, не прибегая при этом к сложным моделям [2]. Как правило, оперативными считаются все прогнозы с периодом упреждения менее одного месяца.
- Краткосрочное. Прогнозы этого вида рассчитываются на перспективу количественных изменений исследуемого объекта. Период упреждения краткосрочных прогнозов изменяется от одного месяца (иногда нескольких) до года.
- Среднесрочное прогнозирование охватывает перспективу между краткосрочным и долгосрочным, учитывая, главным образом, возможность

количественных изменений. К среднесрочным обычно относят прогнозы с периодом упреждения от года до 5 лет.

- Долгосрочное прогнозирование рассчитывается на перспективу количественных и качественных изменений исследуемого объекта. Время упреждения долгосрочных прогнозов свыше 5 лет.
- Сверхдолгосрочное (иногда называют также дальнесрочным). Период упреждения более 20-25 лет. Данный вид прогнозов рассчитывается на перспективу общих качественных изменений объекта [2, 4].

Необходимо заметить, что временная градация прогнозов относительна, и период упреждения существенно зависит от объекта применения метода прогнозирования. К примеру, для прогнозирования режимов энергопотребления в электросетях в работе [6] долгосрочным считается прогноз на несколько месяцев, в то время как в космологии таковым может являться прогноз на миллионы лет вперед [3]. В разрабатываемой АС интерес представляют только оперативные и долгосрочные прогнозы. Периоды их упреждения указаны в разделе определений, сокращений и обозначений.

В зависимости от объектов прогнозирования принято разделять прогнозы на научно-технические, экономические, социальные, военно-политические и т.д. Однако такая классификация носит условный характер, т. к. между этими прогнозами, как правило, существует множество прямых и обратных связей [1]. Наибольший интерес в тематике разрабатываемой АС представляют научно-технические прогнозы, которые в узком смысле охватывают перспективы состояния материалов и режима работы механизмов, машин, приборов, электронной аппаратуры, всех явлений техносферы, а в широком (в смысле перспектив развития научно-технического прогресса) охватывают также перспективные проблемы развития науки, ее структуры, сравнительной эффективности различных направлений исследования, дальнейшего развития научных кадров и учреждений, а также перспективные проблемы техники (системы «человек-машина»), точнее, управляемых аспектов научно-технического прогресса в промышленности,

строительстве, городском и сельском хозяйстве, на транспорте и связи, включая систему информации [3].

При классификации по целям прогнозирования выделяют следующие подходы к разработке прогнозов: целевой, поисковый и нормативный, а также их разновидности.

Суть целевого прогноза состоит в целеполагании желаемых состояний, он прогнозирует, какое именно состояние объекта желательно (цель) и почему [2]. При целевом прогнозе происходит построение по определенной шкале оценочной функции распределения предпочтительности по категориям (например, это могут быть категории: нежелательно, менее желательно, более желательно, рационально). Эта функция позволяет оценивать итоговый результат. Перед тем, как определить меру предпочтения, разрабатывают прогнозы возможных состояний процесса или явления в будущем. Это прогноз целей или совокупности целей. Сложность данного вида прогноза состоит в том, что цель (ради которой система создаётся) всегда находится вне системы. Сложная система реализует некоторое множество целей, находящихся в однозначном соответствии с условиями функционирования. Это соответствие устанавливается функционально – декомпозиционным представлением. Цель может быть формализована в виде критерия, который в свою очередь конструируется на базе параметров эффекта, являющихся, чаще всего, ненаблюдаемыми переменными.

Поисковый прогноз в наиболее общем виде выглядит как условное продолжение в будущее тенденций развития изучаемых явлений, закономерности развития которых в прошлом и настоящем достаточно хорошо известны [3]. Он отвечает на вопрос, что вероятнее всего произойдет (в каком состоянии окажется исследуемый объект) при условии сохранения существующих тенденций. При этом абстрагируются от возможных решений, способных существенно изменить наметившиеся тенденции развития объекта. Поисковый прогноз должен выдавать не только тренд некоторой характеристики, но также верхние и нижние границы этой характеристики, которые позволяют оценить максимальные отклонения тренда и, тем самым, прогноз уточнить [3]. Поисковый

прогноз является основой для методов интер- и экстраполяции, в т. ч. метода линейной регрессии, а также прогнозирования по аналогии.

Нормативный прогноз определяет пути и сроки достижения возможных состояний и явлений, принятых в качестве целей [2]. Решение прогнозной задачи должно обеспечивать выполнение этой цели (достижения заданного состояния) в заданные сроки с указанием необходимых для её достижения средств (множества альтернативных вариантов). В этом смысле ориентация прогноза во времени может происходить от будущего к настоящему. Сам процесс прогнозирования начинается от конечного желаемого состояния и заканчивается настоящим состоянием. Использование нормативных методов прогнозирования обычно обусловлено недостаточной информацией о развитии объекта в прошлом.

Программный прогноз предназначен для исследования возможных путей и мер по достижению поставленных целей и позволяет сформулировать гипотезу о возможных взаимовлияниях различных факторов, указать гипотетические сроки и очередность достижения промежуточных целей на пути к главной, выполняется в рамках определенной проблемы в условиях поставленной цели [7].

Проектный прогноз позволяет определить приоритетность образцов того или иного явления в будущем, содействует отбору оптимальных вариантов, перспектив проектирования на основе, которая затем реализует реальные проектные работы [2].

При классификации по времени осуществления прогноза выделяют прогноз в реальном времени, этапный прогноз и прогноз, неограниченный по времени.

Прогноз в реальном масштабе времени – это прогноз, который реализуется настолько быстро, чтобы воздействовать на процесс во времени его протекания [2]. Цель управления в реальном масштабе времени – не допустить выхода объекта прогнозирования из области управляемых или допустимых состояний с вероятностью не менее заданной за время реализации цикла операций управления. Естественно, при таком прогнозировании нужно

учитывать динамику объекта управления, что является серьёзным недостатком для объектов сложной структуры.

Этапный прогноз – это прогноз, при котором решение принимается в течение одного этапа жизненного (или другого) цикла, а реализуется в течение другого этапа прогнозного цикла [2].

Ещё одним типом прогнозов являются прогнозы, неограниченные по времени принятия решения. Как следует из названия, при таком прогнозе время на прогнозирование и принятие решения практически не ограничено временными рамками. Этот тип прогноза характерен, например, для проблем появления новых технологических и других возможностей [2].

При классификации по степени определенности условий методы прогнозирования классифицируются на: методы с детерминированными условиями; случайными (имеющими известное вероятностное распределение); неопределенными условиями, в том числе условиями, в которых противодействует разумный противник [2].

По уровню глубины проблемы (предполагаемой степени изменения объекта прогнозирования в течение периода упреждения) выделяют методы:

- функционального прогнозирования;
- структурного прогнозирования;
- параметрического прогнозирования;
- комплексные методы прогнозирования.

Классифицируя методы прогнозирования по степени формализации условий, выделяют методы, использующие [8]:

- формализованную информацию (статистические данные);
- слабо формализованную информацию (например, перспективные разработки в области);
- неформализованную информацию (опыт, знания, интуиция экспертов).

Соответственно разнятся методы обработки этой информации, условно разделяемые на количественные (для формализованных данных) и качественные

(для слабо и неформализованных данных) [9]. Качественные (или экспертные) методы прогнозирования строятся на использовании мнения специалистов в соответствующих областях знаний. Количественные методы основываются на обработке числовых массивов данных и делятся на казуальные (или причинно-следственные) и методы анализа временных рядов [4]. Казуальные методы применяются в тех случаях, когда прогноз связан с большим числом взаимоувязанных факторов. Отыскание математических (уравнений или неравенств) и других зависимостей между ними и составляет суть казуального метода. Анализ временных (динамических или хронологических) рядов связан с оценкой последовательности значений отдельных показателей во времени [10].

По степени достоверности знания, используемые при подготовке прогнозов, делятся на достоверные (знания, полученные из официальных источников), знания относительной достоверности (полученные из случайных источников), знания в условиях с возможным умышленным искажением информации.

При классификации по типу информации, используемой при прогнозировании, можно выделить следующие методы [2]:

- экспертное прогнозирование (интуитивная информация);
- функционально-логическое прогнозирование (предметная информация);
- структурное прогнозирование (блок-схемы, графы и т.п.);
- математическое прогнозирование (использует знание математических зависимостей между параметрами и статистические данные о параметрах);
- прогнозирование по аналогии (данные всех типов);
- комплексное прогнозирование (данные всех типов).

В основе прогнозирования лежат три взаимодополняющих источника информации о будущем [3]:

- оценка перспектив развития, будущего состояния прогнозируемого явления на основе опыта, чаще всего при помощи аналогии с достаточно хорошо известными сходными явлениями и процессами;

- условное продолжение в будущее (экстраполяция) тенденций, закономерности развития которых в прошлом и настоящем достаточно хорошо известны;
- модель будущего состояния того или иного явления, процесса, построенная сообразно ожидаемым или желательным изменениям ряда условий, перспективы развития которых достаточно хорошо известны.

В соответствии с этим существуют три дополняющих друг друга способа разработки прогнозов [3]:

- анкетирование (интервьюирование, опрос) – опрос населения, экспертов с целью упорядочить, объективизировать субъективные оценки прогнозного характера [3]. Особенно большое значение имеют экспертные оценки. Опросы населения в практике прогнозирования применяются редко, т. к. допустимы не для каждого объекта прогнозирования;
- экстраполирование и интерполирование – построение динамических рядов развития показателей прогнозируемого явления на протяжении периодов основания прогноза в прошлом и упреждения прогноза в будущем;
- моделирование – построение поисковых и нормативных моделей с учетом вероятного или желательного изменения прогнозируемого явления на период упреждения прогноза по имеющимся данным о масштабах и направлении изменений [3]. Несмотря на то, что наиболее эффективной прогнозной моделью считается система уравнений, при прогнозировании имеют значение все возможные виды моделей в широком смысле этого термина: сценарии, имитационные модели, графы, матрицы, подборки показателей, графические изображения и т.д.

Перечисленные факторы классификации являются одними из важнейших для выбора метода прогнозирования, однако только этими факторами множество параметров классификации не ограничивается. Кроме того, следует заметить, что все перечисленные классификации условны, т. к. современные методы прогнозирования часто находятся на пересечении нескольких типов. Экспертная оценка обязательно включает в себя элементы экстраполяции и моделирования.

Процесс экстраполяции невозможен без элементов оценки и моделирования. Моделирование подразумевает предварительную оценку и экстраполирование. В связи с этим для каждого прогноза желательно привлекать возможно больше данных по смежным направлениям. Как показывает опыт, при прочих равных условиях степень достоверности прогноза всегда прямо пропорциональна степени полноты используемого материала по другим отраслям [3].

Другим важнейшим способом повышения эффективности прогноза является его верификация, то есть определение степени достоверности, точности и обоснованности прогноза [3]. Абсолютная верификация прогноза, т.е. установление степени его соответствия действительному состоянию объекта в прогнозируемом будущем, на практике возможна лишь к завершению периода упреждения. Но уже на заключительных стадиях разработки прогноза возможна и желательна относительная (предварительная) верификация – определение степени соответствия прогноза требованиям современной науки, его достоверности – вероятности осуществления, предсказанного для заданного доверительного интервала точности, обоснованности (в смысле соответствия теории и практики) [3]. Опыт показывает, что верифицированные таким образом прогнозы не только имеют очень высокую степень оправдываемости (до 95-96% значений наиболее вероятного тренда), но и служат надежной ориентирующей информацией для управления, дают значительный эффект в смысле оптимизации принятия решений и тем самым полностью оправдывают затраты сил и средств на их разработку.

Таким образом, процедура верификации желательна и обязательна. В сравнительно простых случаях роль этой процедуры фактически играют экспертные опросы. В более сложных случаях требуется специальная процедура по одному из восьми видов верификации [2, 3]:

- 1) разработка прогноза методом, отличным от первоначально использованного;
- 2) сопоставление прогноза с другими, полученными из иных источников информации;
- 3) проверка адекватного прогноза на ретроспективном периоде;

- 4) аналитическое или логическое выведение параллельного прогноза из заранее полученных прогнозов;
- 5) дополнительный опрос экспертов;
- 6) опровержение критических замечаний оппонентов;
- 7) выявление и учет источников возможных ошибок;
- 8) сравнение с мнением, признанным наиболее компетентным.

Одним из оптимальных в плане компромисса между экономичностью и эффективностью при минимальных затратах и минимальном риске субъективных оценок способом является метод коллективного опроса экспертов (желательно, заочный, т. к. он исключает возможность взаимного влияния экспертов, сговора и, тем самым, увеличивает объективность прогноза), что, тем не менее, допускает использование других методов при наличии соответствующих ресурсов. Преимущества данного способа верификации, в частности, делают его удобным принципом проверки состоятельности модели влияния различных факторов (человеческой, технической, естественной природы) на риск возникновения авиационных событий.

Классификация методов прогнозирования и указание предпочтительных способов их верификации позволяют выбрать оптимальный для решения прогнозной задачи вариант, что и было осуществлено при определении необходимых методов экспертного и математического прогнозирования, а также метода сценариев для разработки оперативных и долгосрочных прогнозов авиационных происшествий, которые будут рассмотрены в последующих подразделах отчета.

1.2 Метод оперативного прогнозирования

1.2.1 Описание метода оперативного прогнозирования, основанного на анализе деревьев событий

Пусть задано полное вероятностное пространство (Ω, F, P) с пространством Ω элементарных исходов $\omega \in \Omega$, которые представляют собой (вообще говоря, не фиксируемые в ходе полета) составляющие некоторых событий. Под элементарными исходами $\omega \in \Omega$ понимается неструктурированное множество (мощности континуум) всех возможных реализаций сценариев запланированного полёта. Каждый из этих сценариев осуществляется при своём континуальном наборе цифровых или аналоговых параметров (например, элементы метеорологических условий, «траекторий» действий экипажа как в целом, так и персонально, режимов функционирования узлов и агрегатов ВС и др.). Измеренные и сгруппированные по экспертным оценкам наборы этих векторных или скалярных параметров (входные в АС статистические данные) являются определяющими для соответствующих факторов опасности. Также на вероятностном пространстве задана σ -алгебра F , порожденная элементами множеств авиационных событий A и факторов опасности B . Под авиационным событием понимаем событие $A^j \in A = \{A^1, \dots, A^{14}\}$, которое является одним из 14-ти типов рассматриваемых авиационных событий (см. Приложение А). Наряду с этим допускается разбиение A^j на непересекающиеся подмножества так, что $A^j = \bigcup_{i=1}^K A_i^j$. Атомы разбиения A_i^j могут представлять собой как различные этапы пилотирования (например, взлёт, полёт по маршруту, посадка), так и промежуточные авиационные события (например, выкатывание за КПБ, выкатывание за БПБ).

Для построения оценок вероятностей таких событий на вероятностном пространстве определена мера P , которая задается только на элементах сформированной σ -алгебры F (что не противоречит классической аксиоматике

Колмогорова) как эмпирическая мера событий, вычисленная по частотным характеристикам, экспертно или аналитически.

Алгоритм расчета оценок вероятностей авиационных событий A^j основан на экспертно сформированных для каждого из 14 типов деревьев событий (все построенные деревья представлены в Приложении Б), которые полностью определяются множествами событий $T^j = \{A, \tilde{B}\}$.

Такую структуру образуют множества авиационных событий A и событий \tilde{B} , где $\tilde{B} = \{B^0, B\}$. Событие $B = \bigcup_{i=1}^N B^i$, при условии, что $B^i \cap B^j = \emptyset$ для всех $i \neq j$ (в том смысле, что элемент B_k^i множества событий B^i -го, являющийся таким образом некоторым событием уровня i не может быть никаким событием уровня j).

Таким образом, множество $\{B^1, \dots, B^N\}$ формирует зависимые уровни дерева T^j . В свою очередь элементы этого множества $B_k^i \in \{B_1^i, \dots, B_{N_i}^i\}$, являются набором независимых событий, формирующим для i -го уровня дерева T^j множество B^i . События B_k^i являются факторами опасности, для которых экспертно предполагается условие независимости, позволяющее учитывать, что событие B_m^i может произойти одновременно с событием B_n^i при $m \neq n$.

Следовательно, рассматриваемые деревья событий для последующей алгоритмизации представляются в виде уровневой структуры. На первом уровне располагается оцениваемое авиационное событие A^j , второй уровень может состоять (где это допускается экспертами) из промежуточных событий A_i^j , нижестоящие уровни формируются из факторов опасности – элементов (событий) $B_k^i \in B^i$, которые в свою очередь являются источниками факторов опасности вышестоящих уровней i .

При этом для обеспечения возможности формирования наборов независимых событий (факторов опасности) на каждом уровне и уровней с неповторяющимися наборами событий дерево T^j представляется в виде ориентированного графа с

рёбрами разной длины. Оценка вероятности наступления фактора опасности $B_k^i \in B^i$ для которого соответствующее ему подмножество источников фактора опасности на уровне $(i+1)$ пусто, строится по алгоритмам на основе входных данных (статистическая и другая информация, перечень которой сформирован экспертно), накапливаемых в рассматриваемой авиакомпании индивидуально по факторам «Человек», «Машина», «Среда».

Также при экспертном построении деревьев событий предполагается, что часть данных может быть не учтена экспертами. Неучтённую, совокупно по всему дереву, часть такой информации обозначим фактором опасности $B^0 = \Omega \setminus \bigcup_{i=1}^N B^i$.

Следует отметить, что возможен как случай $B^0 = \emptyset$ (т.е. по мнению экспертов, рассмотрены все возможные факторы опасности), так и случай $B^0 \neq \emptyset$, но с $P(B^0) = 0$. Также отдельно рассмотрен случай $P(B^0) > 0$ для событий $B^0 \neq \emptyset$.

Определим также неучтённую часть информации – событие B_0^i (при этом экспертно предполагается их независимость) по каждому уровню, так что $B^0 = \bigcup_{i=1}^N B_0^i$. Таким

образом, общее множество факторов опасности для дерева событий T^j и примет вид $\tilde{B} = \{B^0, B\}$, где $B = \{B^1, \dots, B^N\}$ – учтенная информация.

При данном описании причинно-следственных связей в дереве T^j применяются рекуррентные расчеты вероятности наступления каждого из учтённых событий через элементарные «шаблоны». Такой «шаблон» представлен в следующих трех вариантах. Для алгоритмизации расчетов также необходимо учитывать, что для каждого фактора опасности B_k^i i -го уровня имеется индивидуальный набор (множество, которое может быть и пустым) его источников на нижестоящем уровне.

Первый вариант – наступление фактора опасности B_k^i обусловлено одновременным наступлением всех его источников B_l^{i+1} (где $i = 1, \dots, N-1$, $l = 1, \dots, N_l$

) этого фактора (логическая операция «И»), которые формируются из множества B_l^{i+1} .

Второй – наступление фактора опасности B_k^i обусловлено наступлением хотя бы одного из источников B_l^{i+1} этого фактора (логическая операция «ИЛИ»).

Третий вариант представляет наступление фактора опасности B_k^i , когда произошел только один из источников B_l^{i+1} этого фактора (логическая операция «исключающее ИЛИ»).

Перечисленные выше варианты «шаблонов» представлены на рисунках 1.1, 1.2 и 1.3, соответственно.

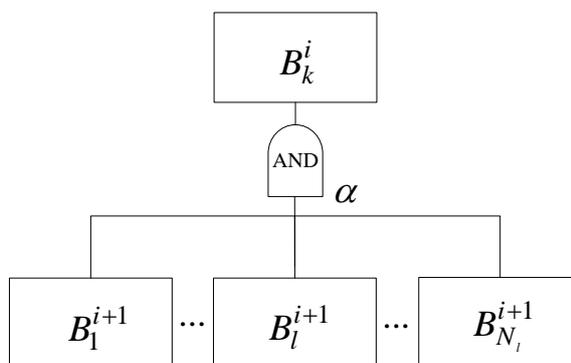


Рисунок 1.1 – Первый вариант «шаблона».

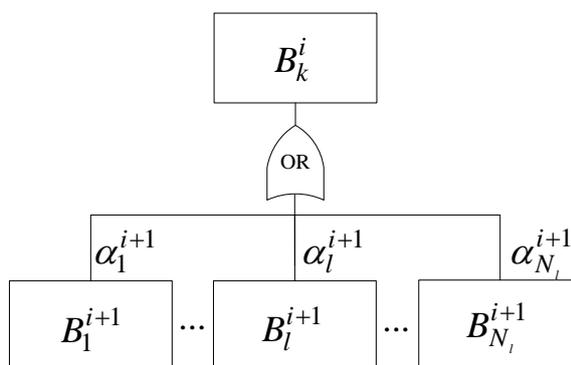


Рисунок 1.2 – Второй вариант «шаблона».

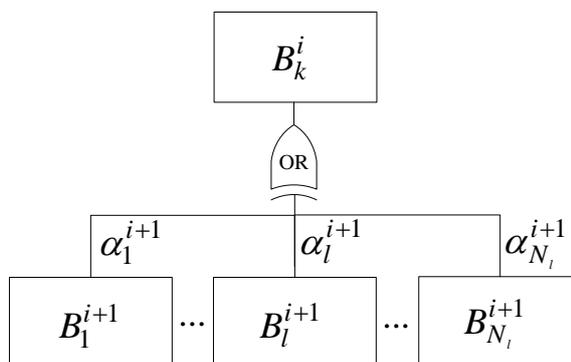


Рисунок 1.3 – Третий вариант «шаблона».

Коэффициенты α и α_l^{i+1} , где $i=1, \dots, N-1$, а $l=1, \dots, N_i$ имеют смысл передаточных (весовых) коэффициентов и определяются по одному из трёх следующих способов.

Первый способ.

а) Пусть экспертно установлено, что $B^{i+1} = \emptyset$ (т.е. по мнению экспертов, источники $B_1^{i+1}, \dots, B_{N_i}^{i+1}$ для фактора опасности B_k^i охватывают все возможные события, влияющие на него). Тогда при известных частотах $\mu(B_k^i)$ и $\mu(\bigcap_{l=1}^{N_i} B_l^{i+1})$ (рассчитанных по статистике авиакомпании или из других источников за определенный экспертами один и тот же интервал времени) возникновения событий, где $\mu(\bigcap_{l=1}^{N_i} B_l^{i+1})$ определяет частоту события, при котором одновременно наступают все B_l^{i+1} , передаточный коэффициент определяется как:

$$\alpha = P(B_k^i | \bigcap_{l=1}^{N_i} B_l^{i+1}) = \frac{P\left(B_k^i \cap \left(\bigcap_{l=1}^{N_i} B_l^{i+1}\right)\right)}{P\left(\bigcap_{l=1}^{N_i} B_l^{i+1}\right)} = \frac{P(B_k^i)}{P\left(\bigcap_{l=1}^{N_i} B_l^{i+1}\right)}. \quad (1.1)$$

Последнее равенство выполняется при условии $B_k^i \subseteq (\bigcap_{l=1}^{N_l} B_l^{i+1})$, которое не противоречит постановке задачи, т.к. одновременное наступление всех событий B_l^{i+1} может и не повлечь наступление события B_k^i . Тогда получим, что

$$\alpha = \frac{\mu(B_k^i)}{\mu(\bigcap_{l=1}^{N_l} B_l^{i+1})}. \quad (1.2)$$

Для определения передаточных коэффициентов α_l^{i+1} необходимо дополнительно наличие статистической информации о частоте событий $\mu(B_k^i \cap B_l^{i+1})$ (т.е. отношении числа событий, когда происходят и B_k^i , и B_l^{i+1} к общему числу событий B_k^i , и B_l^{i+1}). Тогда по формуле условной вероятности получим:

$$\alpha_l^{i+1} = P(B_k^i | B_l^{i+1}) = \frac{P(B_k^i \cap B_l^{i+1})}{P(B_l^{i+1})} = \frac{\mu(B_k^i \cap B_l^{i+1})}{\mu(B_l^{i+1})}, \quad (1.3)$$

где $k \neq 0$ и $l \neq 0$.

б) Пусть экспертно установлено, что событие $B_0^i \neq \emptyset$ может происходить с частотой $\mu(B_0^i) \neq 0$ (но близкой к нулю $\mu(B_0^i) \ll 1$). Тогда передаточный коэффициент α определяется как:

$$\alpha = 1 - P(B_k^i \setminus \bigcup_{l=1}^{N_l} B_l^{i+1}) = 1 - P(B_0^{i+1}) = 1 - \mu(B_0^{i+1}). \quad (1.4)$$

Для определения передаточных коэффициентов α_l^{i+1} в этом случае, также можно воспользоваться соотношением (1.3), но при $l = 0, 1, \dots, N_l$.

Второй способ.

В условиях отсутствия какой бы то ни было статистической информации о числе рассматриваемых событий или частотах их возникновения, передаточные коэффициенты α и α_l^{i+1} устанавливаются экспертно. При этом эксперты оценивают (где это возможно) в какой доле случаев эти события могут возникнуть. Данные оценки уточняются при появлении новой информации у экспертов или статистики в рассматриваемой авиакомпании. Подробно о методах построения экспертных оценок см. техническое задание на разработку базы данных экспертных оценок.

Третий способ.

В случае, когда первый или второй способ для определения коэффициентов α и α_l^{i+1} являются неприменимыми, по причинам отсутствия статистической информации или экспертных оценок тех или иных событий, используется нейронная сеть [11 - 13]. Применение нейронной сети в данном случае возможно, т.к. «настройка» передаточных коэффициентов (с ограничением по параметрам $0 \leq \alpha$, $\alpha_l^{i+1} \leq 1$) осуществляется по известным выходам факторов опасности B_k^i с известными входами источников факторов опасности B_l^{i+1} .

Алгоритм расчетов оценок вероятностей событий предполагает автоматизированный выбор (в зависимости от полноты имеющихся входных данных) способ расчета передаточных коэффициентов α и α_l^{i+1} . Таким образом, часть коэффициентов в дереве событий может быть рассчитана аналитически (при наличии входных статистических данных), а оставшиеся выставлены экспертно, либо настроены с помощью нейронной сети. Перейдем к описанию формул для расчета оценок вероятностей факторов опасности B_k^i .

Для случая, когда в дереве событий рассматривается ситуация, представленная на рисунке 1.1 оценка вероятности определяется по следующей формуле:

$$P(B_k^i) = \alpha \cdot \prod_{l=1}^{N_l} P(B_l^{i+1}). \quad (1.5)$$

Здесь используется классическая формула умножения вероятностей событий B_l^{i+1} при условии их независимости.

Для случая, представленного на рисунке 1.2, оценка вероятности определяется по формуле появления хотя бы одного события:

$$P(B_k^i) = 1 - \prod_{l=0}^{N_l} (1 - \alpha_l^{i+1} \cdot P(B_l^{i+1})). \quad (1.6)$$

При выполнении расчетов согласно выражению (1.6) каждое из $(2^n - n - 1)$ слагаемых умножается на одно из произведений $\alpha_j^{i+1} \cdot \alpha_k^{i+1}$, $j \neq k$; $\alpha_j^{i+1} \cdot \alpha_k^{i+1} \cdot \alpha_m^{i+1}$, $j \neq k \neq m$; и т.д. передаточных коэффициентов. При этом экспертно допускается (для уменьшения количества коэффициентов, оцениваемых экспертно или по другим причинам) установление только значимых парных или тройных пересечений событий B_l^{i+1} с одним коэффициентом α_l^{i+1} .

Для случая, представленного на рисунке 1.3, оценка вероятности (для независимых событий) определяется по следующей формуле:

$$P(B_k^i) = \sum_{l=0}^{N_l} \frac{\alpha_l^{i+1} \cdot P(B_l^{i+1})}{1 - \alpha_l^{i+1} \cdot P(B_l^{i+1})} \cdot \left(\prod_{j=0}^{K_i} (1 - \alpha_j^{i+1} \cdot P(B_j^{i+1})) \right). \quad (1.7)$$

1.2.2 Описание метода оперативного прогнозирования по фактору «Машина»

Оценки вероятностей возникновения авиационных событий (из утвержденных 14 групп событий) при построении оперативного прогноза вычисляются на основе методов обобщения формул полной вероятности по построенным деревьям событий с учетом передаточных коэффициентов, определяемых экспертно или на основе статистики авиационных событий. Подробное описание метода вычисления оценок вероятностей приведено в разделе 1.2.1. Ниже приводится пример расчета оценки вероятностей возникновения событий по описанным в разделе 1.2.1 формулам.

При вычислении оценок вероятностей параметров фактора «Машина» учитываются повышающие коэффициенты старения планера и двигателей, которые определяются экспертами или на основе статистики отказов систем ВС. Параметр $K^{ПЛ}$ – отвечает за старение планера. Параметр $K^{СУ}$ – отвечает за старение двигателей. В таблицах 1.1 и 1.2 приведены экспертно установленные значения этих коэффициентов.

Таблица 1.1 – Коэффициенты $K^{ПЛ}$ старения планера.

Налет АН-124-100, часы	Значение $K^{ПЛ}$
0 – 4000	1
4000 – 8000	1,01
8000 – 12000	1,04
12000 – 16000	1,05
16000 – 20000	1,1
20000 - 24000	1,15

В АС предполагается расчет этих коэффициентов на основе статистики отказов систем ВС (при отсутствии данных определяется экспертно).

При осуществлении посадки основными факторами опасности являются:

- отказ реверса,
- отказ системы торможения шасси,
- отказ системы управления интерцепторами.

Экспертно устанавливается распределение эффективности торможения при посадке между приведенными факторами опасности факторами.

Таблица 1.2 – Коэффициенты $K^{СУ}$ старения двигателя.

Налет двигателя Д18Т серия 3, часы	Значение $K^{СУ}$
0 – 12000	1
12000 – 16000	1,1
16000 – 18000	1,2
18000 – 20000	1,3
20000 – 22000	1,4
22000 - 24000	1,5

Эффективность систем торможения шасси – 60 % (в системе торможения шасси имеется 5 блоков БУПТ, поэтому отказ одного блока снижает эффективность торможения на 12 %).

Эффективность реверса – 30 % (на АН-124-100 имеется 4 двигателя, и, соответственно, 4 системы реверса, поэтому отказ одного двигателя или одной системы реверса снижает эффективность торможения на 7,5%).

Эффективность системы управления самолетом (интерцепторы) – 10 %. Отказ блока БУКИ вызывает отказ работы всех интерцепторов, т.е. эффективность торможения снижается на 10%. Если на крыльях не поднимаются один или несколько тормозных интерцепторов, то эффективность торможения снижается пропорционально потерянной площади неработающих интерцепторов.

При вычислении оценок вероятностей возникновения событий по причине фактора «Машина» – «учитывается коэффициент K^P – увеличения частоты отказа

систем планера и двигателей в течение первых T часов эксплуатации после прохождения ТО или проведения ремонта двигателей, агрегатов (в примере $T = 20$ часов). Значение коэффициента K^P определяется экспертно или на основе статистики отказов. (В примере $K^P = 1,1$). При расчете используется индикаторная функция I^T , принимающая только два значения: 0 или 1. Индикаторная функция $I^T = 1$, если после крайнего ремонта или ТО до планируемого полета наработка не превышает T часов; $I^T = 0$ во всех остальных случаях.

В таблице Г.1 приложения Г приведены факторы опасности и источники факторов по отказам технических систем ВС. При расчетах оценок вероятностей возникновения событий используется накопленная в авиакомпании или привлеченная внешняя статистика отказов систем и подсистем ВС, а также степень резервирования, представленная в таблице В.1 приложения В.

Приведем пример вычисления оценок вероятностей при оперативном прогнозировании для события выкатывания для Ан-124-100.

Оценка вероятности возникновения фактора опасности – отказ хотя бы одной системы реверса:

$$p^r = 1 - \left(1 - 0,075 \cdot p_1^r\right) \cdot \left(1 - 0,075 \cdot p_2^r\right) \cdot \left(1 - 0,075 \cdot p_3^r\right) \cdot \left(1 - 0,075 \cdot p_4^r\right) \cdot \left(1 - \left(p^{\text{ЭС}} + p^{\text{ЭС}(T)}\right)^4\right) = 0,000375. \quad (1.8)$$

Коэффициент 0,075 соответствует потере эффективности торможения от отказа одного реверса, степень 4 введена из-за четырехкратного резервирования электросистемы ВС (экспертно).

1) Оценка вероятности отказа реверса СУ1:

$$p_1^r = 1 - \left(1 - \left(p^{\text{СУ1}} + p^{\text{СУ1}(T)}\right)\right) \cdot \left(1 - \left(p^{\text{P1}} + p^{\text{P1}(T)}\right)\right) \cdot \left(1 - p^{\text{НЛЭ}}\right). \quad (1.9)$$

1.1) $p^{СУ1}$ – оценка вероятности отказа СУ1 в случае, когда после ремонта или ТО наработка СУ1 больше Т часов

$$p^{СУ1} = K^{СУ} \cdot \frac{N^{отказов\ СУ1}}{N^{полетов\ СУ1}}, \quad (1.10)$$

где $N^{отказов\ СУ1}$ – число отказов СУ1 за все время эксплуатации, $N^{полетов\ СУ1}$ – число полетов СУ1 за все время эксплуатации.

Величина $p^{СУ1(T)}$ – оценка вероятности отказа СУ1 в случае, когда после ремонта или ТО наработка СУ1 не больше Т часов

$$p^{СУ1(T)} = I^T \cdot K^P \cdot \frac{N^{отказов\ СУ1}}{N^{полетов\ СУ1}}. \quad (1.11).$$

1.2) Величина p^{P1} – оценка вероятности отказа подсистем реверса СУ1, когда после ремонта или ТО наработка СУ1 больше Т часов

$$p^{P1} = K^{ДВ} \cdot \frac{N^{отказов\ P1}}{N^{полетов\ СУ1}}, \quad (1.12)$$

где $N^{отказов\ P1}$ – число отказов подсистем реверса СУ1 за все время эксплуатации, $N^{полетов\ СУ1}$ – число полетов СУ1 за все время эксплуатации.

Величина $p^{P1(T)}$ – оценка вероятности отказа подсистем реверса СУ1 в случае, когда после ремонта или ТО наработка СУ1 не больше Т часов.

$$p^{P1(T)} = I^T \cdot K^P \cdot \frac{N^{отказов\ P1}}{N^{полетов\ СУ1}}. \quad (1.13)$$

1.3) Величина $p^{НЛЭ}$ – оценка вероятности неправильной летной эксплуатации СУ или реверса

$$p^{НЛЭ} = \frac{N^{НЛЭ\ КВС}}{N^{полетов\ КВС}}, \quad (1.14)$$

где $N^{НЛЭ\ КВС}$ – число самовыключений или выключений СУ по причине неправильных действий КВС, $N^{полетов\ КВС}$ – число полетов КВС экипажа.

Оценки вероятностей отказа реверса p_2^r, p_3^r, p_4^r двигателей СУ2, СУ3, СУ4 вычисляются аналогично.

1.4) Величина $p^{ЭС}$ – оценка вероятности отказа электросистемы ВС в случае, когда после ремонта или ТО наработка ВС больше Т часов

$$p^{ЭС} = K^{ПЛ} \cdot \frac{N^{отказов\ ЭС}}{N^{полетов\ ВС}}, \quad (1.15)$$

где $N^{отказов\ ЭС}$ – число отказа ЭС ВС за все время эксплуатации, $N^{полетов\ ВС}$ – число полетов ВС за все время эксплуатации.

Величина $p^{ЭС(T)}$ – оценка вероятности отказа ЭС ВС в случае, когда после ремонта или ТО наработка ВС не больше Т часов.

$$p^{ЭС(T)} = I^T \cdot K^P \cdot \frac{N^{отказов\ ЭС}}{N^{полетов\ ВС}}. \quad (1.16)$$

2) Оценка вероятности возникновения фактора опасности – отказ системы торможения хотя бы одной опоры шасси:

$$p^s = 1 - \left(1 - \left(p^{GC} + p^{GC(T)} \right)^4 \right) \cdot \left(1 - 0,12 \cdot \left(p^{\text{ЭС}} + p^{\text{ЭС}(T)} \right) \right) \cdot \left(1 - 0,1 \cdot \left(p^{\text{Ш}} + p^{\text{Ш}(T)} \right) \right) \cdot \left(1 - 0,1 \cdot p^{\text{ПП}} \right) = 0,000165 . \quad (1.17)$$

Степень 4 введена из-за наличия независимых четырех гидросистем, коэффициент 0,12 введен из-за наличия 5 БУПТ (а на все опоры приходится 60% эффективности торможения), коэффициент 0,1 введен из-за наличия десяти основных опор, коэффициент 0,1 определен как средняя доля потери эффективности торможения из-за разрыва пневматиков (экспертно).

2.1) Величина p^{GC} – оценка вероятности отказа гидросистемы ВС в случае, когда после ремонта или ТО наработка ВС больше T часов

$$p^{GC} = K^{ПЛ} \cdot \frac{N^{\text{отказов } GC}}{N^{\text{полетов } BC}} , \quad (1.18)$$

где $N^{\text{отказов } GC}$ – число отказа GC BC за все время эксплуатации, $N^{\text{полетов } BC}$ – число полетов BC за все время эксплуатации.

Величина $p^{GC(T)}$ – оценка вероятности отказа GC BC в случае, когда после ремонта или ТО наработка BC не больше T часов.

$$p^{GC(T)} = I^T \cdot K^P \cdot \frac{N^{\text{отказов } GC}}{N^{\text{полетов } BC}} . \quad (1.19)$$

2.2. Величина $p^{\text{Ш}}$ – оценка вероятности отказов подсистем шасси BC в случае, когда после ремонта или ТО наработка BC больше T часов

$$p^{Ш} = K^{ПЛ} \cdot \frac{N^{отказов Ш}}{N^{полетов ВС}}, \quad (1.20)$$

где $N^{отказов Ш}$ – число отказов подсистем шасси ВС за все время эксплуатации, $N^{полетов ВС}$ – число полетов ВС за все время эксплуатации.

Величина $p^{Ш(T)}$ – оценка вероятности отказов подсистем шасси ВС в случае, когда после ремонта или ТО наработка ВС не больше T часов.

$$p^{Ш(T)} = I^T \cdot K^P \cdot \frac{N^{отказов Ш}}{N^{полетов ВС}}. \quad (1.21)$$

2.3) Величина $p^{РП}$ – оценка вероятности разрыва пневматиков на ВС

$$p^{РП} = \frac{N^{разрывов ПН}}{N^{полетов ВС}}, \quad (1.22)$$

где $N^{разрывов ПН}$ – число разрывов пневматиков на ВС за все время эксплуатации, $N^{полетов ВС}$ – число полетов ВС за все время эксплуатации.

3) Оценка возникновения вероятности фактора опасности – отказ системы управления интерцепторами:

$$p^c = 1 - \left(1 - \left(p^{ГС} + p^{ГС(T)} \right)^4 \right) \cdot \left(1 - \left(p^{ЭС} + p^{ЭС(T)} \right)^4 \right) \cdot \left(1 - \left(p^{СУС} + p^{СУС(T)} \right) \right) = 0,000375 \quad (1.23)$$

Степень 4 выбрана из-за четырехкратного резервирования ГС и ЭС (экспертно).

3.1) Величина $p^{СУИ}$ – оценка вероятности отказов подсистем управления интерцепторами ВС в случае, когда после ремонта или ТО наработка ВС больше T часов

$$p^{СУИ} = K_{ПЛ} \cdot \frac{N^{отказов\ СУИ}}{N^{полетов\ ВС}}, \quad (1.24)$$

где $N^{отказов\ СУИ}$ – число отказов подсистем управления интерцепторами за все время эксплуатации, $N^{полетов\ ВС}$ – число полетов ВС за все время эксплуатации.

Величина $p^{СУИ(T)}$ – оценка вероятности отказов подсистем управления интерцепторами в случае, когда после ремонта или ТО наработка ВС не больше T часов

$$p^{СУИ(T)} = I^T \cdot K^P \cdot \frac{N^{отказов\ СУИ}}{N^{полетов\ ВС}}. \quad (1.25)$$

В приведенных выражениях (1.8) – (1.25) в качестве оценок вероятностей возникновения событий отказов технических систем используются частоты их появления (по данным накопленной авиакомпанией или привлеченной внешней статистики отказов технических систем) за выбранный администратором АС предшествующий интервал времени анализа. Наряду с этим, ниже приводится предусмотренный в АС альтернативный способ вычисления оценок вероятностей возникновения таких событий. Этот способ учитывает время актуальности для случившихся отказов и инцидентов, по причине отказа технических систем, а также коэффициенты затухания для частотных характеристик. Выбор способа вычисления оценок производится по результатам опытной эксплуатации АС.

По статистической информации об отказах систем и подсистем ВС из базы данных «Надежность» авиакомпании, а также из базы данных о случившихся

инцидентах (схема базы данных представлена на рисунке 1.4) формируется матрица S (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Статистическая матрица S случившихся отказов и инцидентов.

$i \setminus j$	Номера систем и подсистем, где могут встретиться «1»				Номера систем и подсистем, в которых нет «1», а есть только «0» и «0.5»	
	1	2		k	...	N
1						
2						
...				S_{ij}		
T						

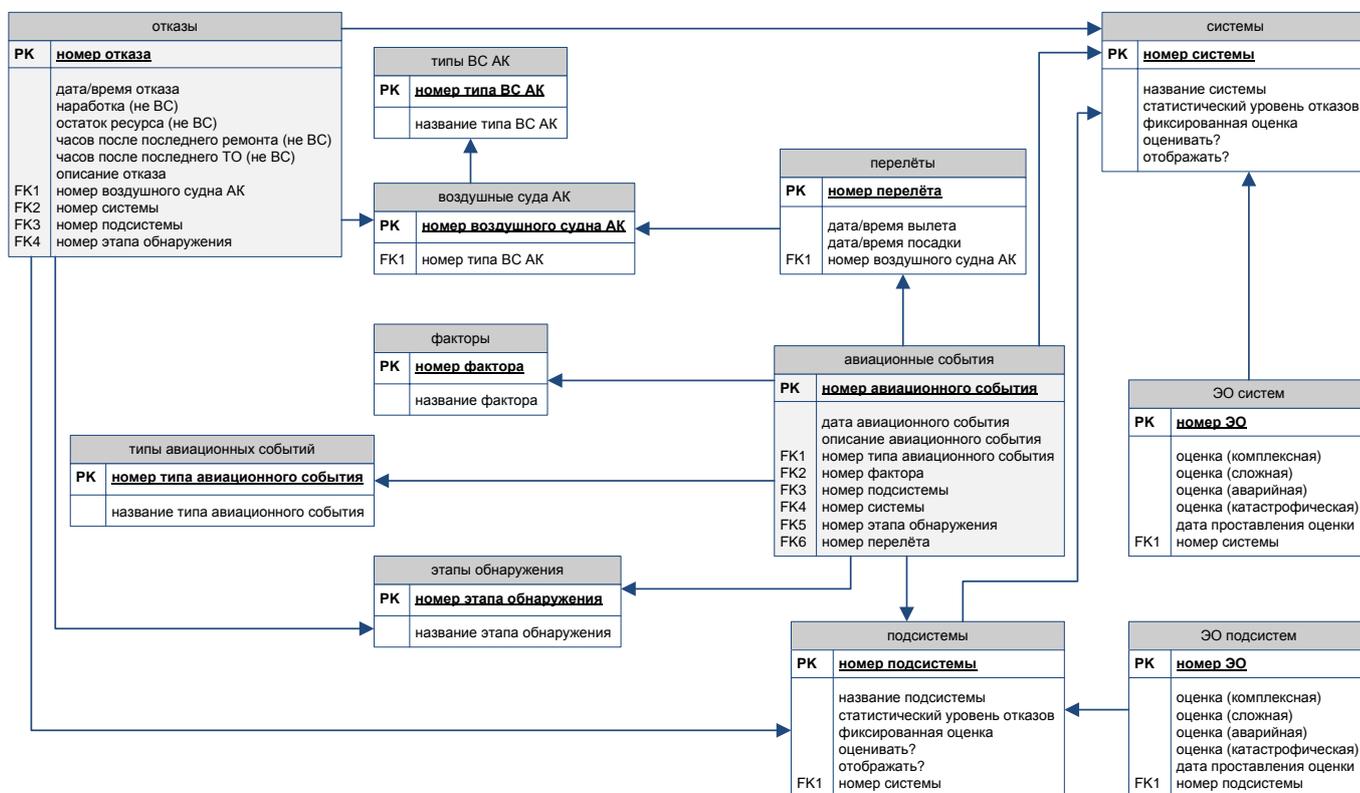


Рисунок 1.4 – Схема базы данных отказов и инцидентов по фактору «Машина».

Столбцы матрицы отвечают за номера систем и подсистем $j=1,\dots,N$ (параметр N – их число) выбранного типа ВС, а номера строк матрицы соответствуют датам $i=1,\dots,T$ (T – текущее время). Для каждого типа ВС, эксплуатируемого в авиакомпании, строится своя матрица. В случае если отказ привел к инциденту, в соответствующей ячейке матрицы ставится «1». Если произошел отказ, не приведший к инциденту, тогда ставится «0.5». Если ничего не произошло, тогда ставится «0». Для выделения систем и подсистем, по причине которых возникали инциденты, соответствующие столбцы на этапе представления информации пользователю смещаются влево. Проставленные значения 0, 1 или 0.5, вообще говоря, не фиксированные и могут быть изменены администратором АС в ходе ее отладки (они показывают значимость случившегося отказа или инцидента). При этом должно быть выполнено ограничение: $0 \leq S_{ij} \leq 1$. Таким образом, получается следующий вид матрицы:

Элементы матрицы S принимают следующие значения для i -той даты и j -той системы или подсистемы:

$$S_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{нет событий;} \\ 0.5, & \text{отказ, не приведший к инциденту,} \\ 1, & \text{инцидент.} \end{cases} \quad (1.26)$$

В таблице 1.4 приводится пример заполнения части матрицы S для периода в один месяц. Серым цветом в таблице 1.4 выделены столбцы с номерами систем или подсистем ВС, определенного типа, по которым зафиксированы инциденты за предшествующий период эксплуатации ВС.

Учитывая разреженность данной матрицы, в памяти строится горизонтальное подмножество данной таблицы, строки которой имеют следующий вид,

дата	система/подсистема	S_{ij}
------	--------------------	----------

и содержит только даты, в которые имел место инцидент или отказ, т.е. S_{ij} равняется 1 или 0.5.

В матрице содержатся данные об отказах и инцидентах за выбранный администратором АС предшествующий период (не менее одного года). Предшествующий период случившихся отказов также выбирается в процессе опытной эксплуатации АС. Блок-схема алгоритма формирования матрицы S представлена на рисунке 1.5.

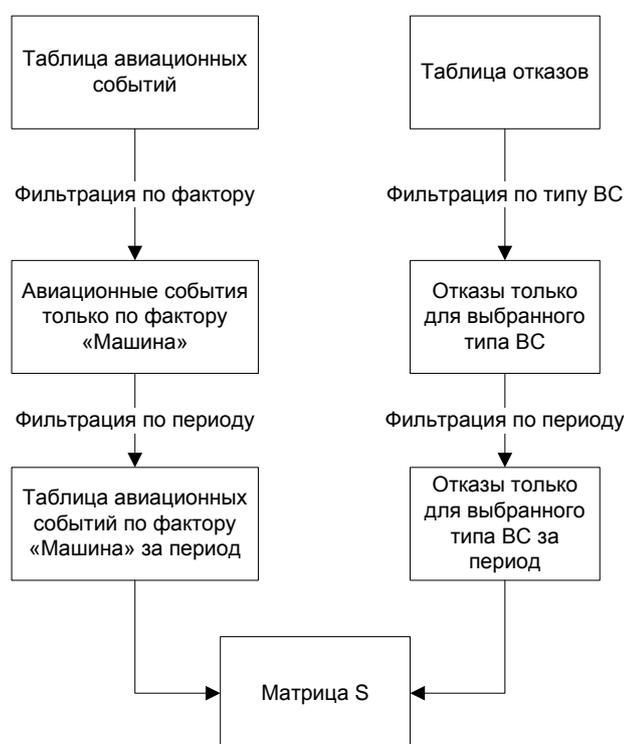


Рисунок 1.5 – Алгоритм формирования матрицы S .

Для заполненной матрицы S строится матрица H (ее столбцы как в матрицы S), состоящая из строк $(h_{i1}, h_{i2}, \dots, h_{iN})$, $i = 1, \dots, M(T)$, где число строк матрицы H : $M(T) = T - b$. Параметр b соответствует длине интервала усреднения (в днях), который имеет значение времени актуальности случившегося отказа. Схема преобразования матрицы S в матрицу H приведена на рисунке 1.6.

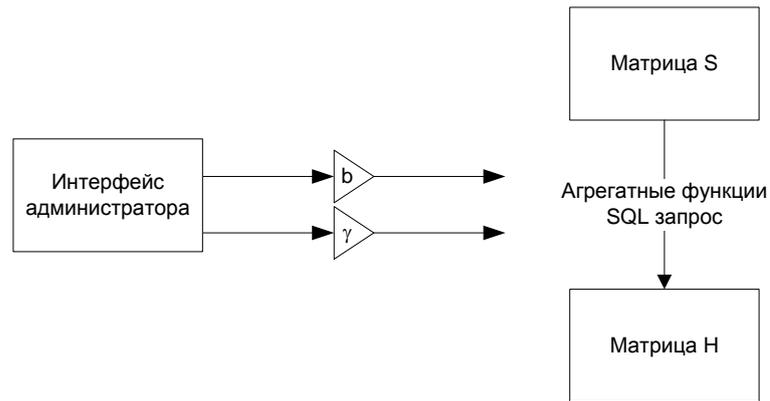


Рисунок 1.6 – Схема преобразования матрицы S в матрицу H .

Элементы h_{ij} матрицы H – являются усредненным уровнем отказов для каждого момента времени до построения прогноза и вычисляются по следующей формуле:

$$h_{ij} = \frac{\sum_{k=i-b}^{i-1} \gamma_{i-k} \cdot s_{kj}}{\sum_{k=i-b}^{i-1} \gamma_{i-k}}, \quad \text{для } i > b, \quad j = 1, \dots, N, \quad (1.27)$$

где γ_n являются коэффициентами затухания, вид которых приведен в формуле 1.28.

Коэффициенты затухания отвечают за влияние случившегося ранее отказа на событие в текущий момент времени. Приведенная формула (1.27) является модификацией скользящего среднего [14] с коэффициентами затухания γ_n . Длина интервала усреднения (здесь $b=30$ дней – выбранной условно «предыстории» – даны в качестве примера, а также для удобства разделения инцидентов и отказов по месяцам) устанавливается в процессе отладки АС. Следовательно, число строк матрицы H равны $M(t) = t - 30$.

Таблица 1.4 – Пример заполнения части матрицы S .

дата	система/подсистема								
	0275	0276	...	0272	0273	0278	0321	0322	...
2011.01.01	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.02	0.5	0	...	0.5	0	0	0	0	...
2011.01.03	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.04	0	0.5	...	0	0.5	0	0	0	...
2011.01.05	0.5	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.06	0	0.5	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.07	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.08	0	1.0	...	0.5	0	0.5	0	0	...
2011.01.09	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.10	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.11	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.12	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.13	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.14	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.15	0	0	...	0	0	0.5	0	0	...
2011.01.16	0.5	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.17	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.18	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.19	0.5	0.5	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.20	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.21	0.5	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.22	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.23	0	0	...	0	0	0	0.5	0	...
2011.01.24	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.25	1.0	0	...	0	0	0	0	0.5	...
2011.01.26	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.27	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.28	0	0	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.29	0	0.5	...	0	0.5	0	0	0	...
2011.01.30	0	0.5	...	0	0	0	0	0	...
2011.01.31	0	0	...	0	0	0	0	0	...

В качестве первого приближения рассматриваются коэффициенты затухания экспоненциального типа:

$$\gamma_n = e^{-\lambda \cdot n}, \quad (1.28)$$

где λ – параметр, влияющий на скорость затухания, и его значения выбираются в процессе отладки АС (тип функции в процессе отладки АС может быть изменен). При этом за время $1/\lambda$ коэффициент значимости отказа технической системы уменьшается в e раз.

Например, для случая, если параметры формулы (1.28) $\lambda = 1$, получим следующий ряд значений коэффициентов затухания γ_n : $\gamma_1 = 0,367879441$, $\gamma_2 = 0,135335283$, $\gamma_3 = 0,049787068$ и т.д.

С учётом вычисленных значений параметров в формуле (ммм.20) получаем следующий вид части строки матрицы H , элементы строки которой в примере таблицы 1.5 соответствуют дате 31.01.2011.

Таблица 1.5 – Пример заполнения части строки матрицы H .

дата	система/подсистема								
	0275	0276	...	0272	0273	0278	0321	0322	...
2011.02.01	0,0025	0,2516	...	5,14E-11	0,0676	5,63E-08	0,0002	0,0012	...

Таким образом, на момент времени t заполняется

$$S_{t+1} = (S_{t+1,1}, S_{t+1,2}, \dots, S_{t+1,N}). \quad (1.29)$$

Затем вычисляется соответствующая строка матрицы H

$$h_{M+1} = (h_{M+1,1}, h_{M+1,2}, \dots, h_{M+1,N}), \quad (1.30)$$

значения которой являются оценками вероятностей возникновения событий отказов с учетом коэффициентов затухания. Значения строки h_{M+1} используются в качестве оценок вероятностей возникновения событий отказов технических систем ВС при вычислениях в оперативном прогнозировании.

Наряду с расчетом оценок вероятностей возникновения событий на основе обобщений формул полной вероятности по построенным деревьям в АС предусмотрен альтернативный способ оценивания уровня угрозы возникновения авиационных инцидентов, описание которого приведено в отчете первого этапа. Выбор метода оценивания вероятностей возникновения событий проводится на этапе опытной эксплуатации АС.

1.2.3 Описание метода оперативного прогнозирования по фактору «Человек»

Рассмотренные в разделе 1.2.1 методы оперативного прогнозирования, основанные на анализе деревьев событий применяются и для построения оценок вероятностей факторов опасности по фактору «Человек». Разработанная структура деревьев событий предполагает, что на нижнем уровне располагаются факторы опасности (являющиеся в свою очередь источниками факторов верхнего уровня) B_l^{i+1} входными данными для которых служит вектор или скаляр состояний (параметров) $\Phi_l = (\varphi_l^1, \dots, \varphi_l^{M_l})$. Количественный и качественный состав этого вектора, влияющего на возникновение соответствующего ему фактора опасности, полностью определяется на основе методов экспертных оценок. При этом сами значения φ_l^j в Φ_l являются не экспертными, а наблюдаемыми статистическими или регистрационными характеристиками (например, налёт КВС к текущему моменту времени, возраст, усредненные данные средств объективного контроля и т.п.).

Следовательно, для построения оценки вероятности наступления фактора опасности B_l^{i+1} , необходимо сопоставить вектору параметров $\Phi_l = (\varphi_l^1, \dots, \varphi_l^{M_l})$ по выбранному правилу меру $P(B_l^{i+1})$, которую будем называть оценкой вероятности события B_l^{i+1} . Таким образом в скалярном случае, элементы φ_l^j могут принимать различные целые или действительные значения (например: $\{0,1\}$, $\{\pm 1,0\}$, $[0;1] \subset \mathbf{R}$ и другие).

В расчётах также учитывается, что эти оценки могут являться как оценками индивидуального состояния члена экипажа (например, относящимися только к пилоту – метеоминимум КВС), так и интегральными (для параметров, которые относятся ко всем членам экипажа – возраст, налёт и др.).

Если в расчетах строится оценка вероятности события B_l^{i+1} по интегральному показателю состояния экипажа, то вектор параметров формализуется для каждого члена экипажа. При этом элементы $\Phi_l = (\varphi_l^1, \dots, \varphi_l^{M_l})$ представляют собой вектора $\varphi_l^j = (\varphi_l^{1,1}, \dots, \varphi_l^{1,S})$, где S – общее количество должностей в анализируемом экипаже.

При этом экспертно определяется вес $\nu_n \geq 0$ для n -ой должности члена экипажа так, что верно условие нормировки:

$$\sum_{n=1}^S \nu_n = 1, \quad (1.31)$$

где величина S – количество возможных должностей в экипаже. В случае, когда в экипаже находятся несколько человек с одинаковыми должностями, вес должности ν_n изменяется обратно-пропорциональным их количеству.

Для определения оценок вероятности при аналоговых или дискретных значениях параметров, в предположении о равномерном распределении вероятности наступления B_l^{i+1} в зависимости от φ_l^j , применяется следующий метод.

а) Если экспертно установлено, что при значении параметра $\varphi_l^1 = a$ вероятность наступления события B_l^{i+1} минимальна, а при $\varphi_l^1 = b$ – максимальна, то потребуем выполнения условия

$$0 \leq \tilde{\varphi}_l^1 \leq 1, \quad (1.32)$$

где

$$\tilde{\varphi}_l^1 = \frac{\varphi_l^1 - a}{b - a}. \quad (1.33)$$

б) Если экспертно установлено, что при значении параметра $\varphi_l^1 = a$ вероятность наступления события B_l^{i+1} максимальна, а при $\varphi_l^1 = b$ – минимальна, то потребуем выполнения условия (1.32), где

$$\tilde{\varphi}_l^1 = 1 - \frac{\varphi_l^1 - a}{b - a} = \frac{b - \varphi_l^1}{b - a}. \quad (1.34)$$

Тогда для выполнения условия нормировки для всех компонент вектора Φ_l потребуем, чтобы неравенство:

$$0 \leq \tilde{\varphi}_l^j \leq \frac{1}{M_l} \quad (1.35)$$

было верно как для выражения (1.33), так и для (1.34). Следовательно, для случая а) получим

$$\tilde{\varphi}_l^j = \frac{\varphi_l^j - a}{b - a} \cdot \frac{1}{M_l}, \quad (1.36)$$

а для случая б) получим

$$\tilde{\varphi}_l^j = \frac{b - \varphi_l^j}{b - a} \cdot \frac{1}{M_l}, \quad (1.37)$$

где $j = 1, 2, \dots, M_l$.

Тогда получим, что

$$0 \leq \sum_{j=1}^{M_l} \tilde{\varphi}_l^j \leq 1. \quad (1.38)$$

При выполнении условий (1.31) и (1.38) оценка вероятности наступления фактора опасности B_l^{i+1} (применительно ко всем членам экипажа) рассчитывается по следующей формуле (аналог формулы полной вероятности):

$$P(B_l^{i+1}) = \sum_{n=1}^S \nu_n \cdot \left(\sum_{j=1}^{M_l} \tilde{\varphi}_l^{j,n} \right). \quad (1.39)$$

где $\tilde{\varphi}_l^{j,n}$ – наблюдаемое значение параметра φ_l^j для члена экипажа в должности n , для которого также выполнено условие (1.35). Если в рассматриваемом экипаже находятся несколько человек с одинаковыми должностями, то величина S в выражении (1.39) увеличивается на их количество (что не противоречит выполнению условия (1.31) с учетом комментария к нему). Следует отметить, что при выполнении условий (1.31) и (1.38) верно неравенство $0 \leq P(B_l^{i+1}) \leq 1$.

Если предположение о равномерности распределения вероятности наступления B_i^{i+1} в зависимости от значений φ_i^j с точки зрения экспертов не применимо, то для определения оценок вероятности применяется следующий метод.

Пусть значение параметра $\varphi_i^j \in [a, b]$, тогда необходимо экспертно задать K непересекающихся интервалов $[a = \Delta_0^j, \Delta_1^j), \dots, [\Delta_{2k-2}^j, \Delta_{2k-1}^j = b]$, где $k = 2, 4, 6, \dots$, попадание в которые наблюдаемой величины φ_i^j означает качественное изменение в смешанной функции распределения вероятности наступления события B_i^{i+1} в интервале $(\Delta_{2k-2}^j, \Delta_{2k-1}^j)$. Каждому такому интервалу соответствуют величины $\delta_t^j \geq 0$, где $t = 1, \dots, K = (\frac{k-2}{2} + 2)$, и для которых выполняется условие:

$$\sum_{t=1}^K \delta_t^j = 1. \quad (1.40)$$

Эти величины определяют экспертные оценки доли тех случаев, при которых наступление события B_i^{i+1} обусловлено тем, что $\varphi_i^j \in (\Delta_{2k-2}^j, \Delta_{2k-1}^j)$.

Тогда, очевидно, что при наблюдаемом значении параметра φ_i^j для него имеется экспертная оценка δ_t^j при фиксированном значении t . Следовательно, в данной постановке эта задача сводится к предыдущей, при $\delta_t^j \sim \tilde{\varphi}_i^j$ (или $\delta_t^{j,n} \sim \tilde{\varphi}_i^{j,n}$), для $j = 1, 2, \dots, M_l$, а $n = 1, \dots, S$.

В некоторых случаях значение параметра φ_i^j (или $\varphi_i^{j,n}$) может принимать изолированные (дискретные) значения. Этот случай также сводится к рассмотренному выше, при условии, что экспертные оценки δ_t^j (или $\delta_t^{j,n}$) выставляются для каждого из этих значений.

1.2.4 Методы оперативного прогнозирования по фактору «Среда»

Построение оперативного прогноза по фактору «Среда» основано на «дереве авиационного события», в котором указаны причинно-следственные связи. При оперативном прогнозировании используется прогноз погоды по аэродрому на 24/30 часов в кодовой форме ТАФ, автоматически поступающий и «распознающий» АС.

По фактору «Среда Естественная» были выявлены следующие факторы опасности: недостаточное эколого-орнитологическое обеспечение, эколого-орнитологические условия, недостатки в организации воздушного движения, службы организации перевозок, службы спецтранспорта и аэродромной механизации, службы авиационной безопасности, службы горюче-смазочных материалов, инженерно-авиационной службы, производственно-диспетчерской службы, в работе персонала авиационной метеорологической станции (гражданской), в работе персонала авиационного ремонтного завода, в работе персонала аэродромных служб, недостатки других служб гражданской авиации, военно-политические или террористические угрозы в районе аэродрома, фактический коэффициент сцепления ниже переданного, сложная специфика передачи информации о состоянии ВПП, не оправдавшийся метеопрогноз, увеличение посадочной дистанции, неровная поверхность ВПП, неблагоприятные метеорологические условия (в соответствии с ФАП 128), опасные метеорологические явления (в соответствии с РПП часть А), температурное воздействие, попадание в зону турбулентности, наличие песчаных бурь, вулканического пепла, состояние ВПП неудовлетворительно.

Каждый фактор опасности имеет свои источники, которые также являются факторами опасности. В разработанной структуре деревьев событий предполагается, что на нижнем уровне располагаются факторы опасности (являющиеся в свою очередь источниками факторов верхнего уровня) B_l^{i+1} входными данными для которых служит вектор или скаляр состояний (параметров) $\Phi_l = (\varphi_l^1, \dots, \varphi_l^{M_l})$.

Факторы опасности и их источники, разработанные на данный момент, представлены в таблице Г.3. в приложении Г.

В разрабатываемой АС предусмотрено добавление и удаление (присвоение им нулевых весовых коэффициентов) других факторов опасности и их источников.

Как описано в параграфе 1.2.1 источники фактора опасности связаны с факторами опасности через весовые коэффициенты (полученные тремя способами).

Фактор «Среда» разделяется на «Среда Искусственная» и «Среда Естественная».

«Среда Искусственная» включает: недостатки в организации воздушного движения, службы организации перевозок, службы спецтранспорта и аэродромной механизации, службы авиационной безопасности, службы горюче-смазочных материалов, инженерно-авиационной службы, производственно-диспетчерской службы, в работе персонала авиационной метеорологической станции (гражданской), в работе персонала авиационного ремонтного завода, в работе персонала аэродромных служб, недостатки других служб гражданской авиации, военно-политические или террористические угрозы в районе аэродрома.

К «Среде Естественной» можно отнести неблагоприятные метеорологические условия (в соответствии с ФАП 128), опасные метеорологические явления (в соответствии с РПП часть А); эколого-орнитологические условия, температурное воздействие:

Рассмотрим отдельно каждый фактор опасности.

Каждая, из рассматриваемых служб, в АС имеет свои особенности, например, члены оцениваемой службы могут быть мало обучены, небрежны в работе, халатно относиться к заданиям и т.д. Прогнозирование недостатков в работе служб как при оперативном, так и при долгосрочном прогнозе имеет одну структуру. Предлагается оценивать каждую службу как интегральный показатель оценок экспертов.

Каждые из недостатков служб представлены в таблице Г.3 приложения Г в столбце «Входные данные источников фактора».

Факторы опасности недостатков служб оцениваются экспертами (предположительно раз в полгода). Случаев глобальных изменений в организации

одной из структур аэропорта в АС не предусмотрено. Однако, администратор, узнав об изменении ситуации в аэропорту, имеет возможность (в рамках разрабатываемой АС) приглашать экспертов, заполнявших оценки этих показателей ранее, изменять значения своих оценок.

Приведем построение формальной математической модели, позволяющей осуществить формирование методики определения «Недостатки в ОВД».

Рассмотрим вероятностное пространство (Ω, F, P) . Пространство элементарных исходов Ω представляет собой множество всех возможных сценариев развития событий, анализируемых в модели. Оценивается вероятность события (фактора опасности) B^{S_1} .

Предполагается, что данный ФО может привести к различным авиационным событиям, а вероятность его наступления различен в разных аэропортах и при изучении конкретного авиационного события (что отличает от долгосрочного прогнозирования). Оценим вероятность P события B^{S_1} , которое порождено набором других факторов опасности (его в дальнейшем для удобства будем называть источниками фактора опасности). Источниками фактора опасности являются недостатки работы ОВД, перечисленные в таблице Г.3 приложения Г. Каждый источник фактора опасности определяется входными данными $\varphi_i^{S_1}$ (представляющим собой скалярный или (чаще) векторный набор статистических показателей (характеристик)) и коэффициентом значимости β_i .

Входные данные каждого i -го источника s_1 -го фактора опасности предлагаются r экспертами (как было описано выше) в диапазоне $\varphi_i^{S_1lj} \in [0...100]$, $j = 1, \dots, r$ для l -го аэродрома. При этом значение $\varphi_i^{S_1l}$ устанавливается равным:

$$\varphi_i^{S_1l} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \varphi_i^{S_1lj}. \quad (1.41)$$

Оценка вероятности i -го источника s_1 -го фактора опасности $(B_i^{s_1+1})$ вычисляется по следующей формуле:

$$\hat{P}(B_i^{s_1+1}) = \frac{\phi_i^{s_1 l}}{100}. \quad (1.42)$$

Коэффициенты значимости (передаточные коэффициенты) i -го источника фактора опасности $B_i^{s_1+1}$ также предлагаются r экспертами (как было описано выше) в диапазоне $\beta_i^j \in [0...1]$, $j = 1, \dots, r$ считаются равными:

$$\beta_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \beta_i^j \quad (1.43)$$

Данные коэффициенты значимости носят условный характер значимости для авиационного события.

Оценка вероятности $\hat{P}(B^{s_1})$ определяется как:

$$\hat{P}(B^{s_1}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \phi_i^{s_1 l} \cdot \beta_i}{\sqrt{\sum ((\phi_i^{s_1 l})^{1/\lambda})^\lambda \sum ((\beta_i)^{1/\gamma})^\gamma}}. \quad (1.44)$$

Данная оценка действительно лежит в интервале от 0 до 1 (согласно неравенству Гельдера) [14]. Коэффициенты λ и γ выбираются из значимости входных данных или коэффициентов значимости источников факторов опасности, для этих коэффициентов выполняются выражения:

$$\lambda + \gamma = 1, \lambda \in [0,1], \gamma \in [0,1]. \quad (1.45)$$

На данный момент в разрабатываемой АС $\lambda = \gamma = 1/2$, у администратора имеется возможность в дальнейшем менять эти коэффициенты значимости в зависимости от статистики или экспертных оценок и влияние наличия или значимости. Значение коэффициентов λ и γ в долгосрочном прогнозе и оперативном отличается.

Недостатки остальных служб рассматриваются аналогично, но у каждой службы имеются свои источники опасности. Источники недостатков службы организации перевозок, производственно-диспетчерской службы, авиационной метеорологической станции (гражданской), инженерно-авиационной службы, службы горюче-смазочных материалов, персонала авиационного ремонтного завода, службы спецтранспорта и аэродромной механизации, службы авиационной безопасности, аэродромной службы, других служб гражданской авиации

Приведем математическую модель, позволяющую осуществить формирование методики определения следующих факторов опасности:

- **фактический коэффициент сцепления ниже переданного:** плохое оборудование аэродрома для измерения коэффициента сцепления, несвоевременное измерение коэффициента сцепления, халатность аэродромных служб;

- **состояние ВПП неудовлетворительное:** Недостатки в работе аэродромной службы по подготовке ВПП, Сложная специфика передачи информации о состоянии ВПП, Фактический коэффициент сцепления ниже переданного;

- **несообщение об опасных препятствиях/условиях экипажу аэродромными службами:** Недостаточная работа служб ОВД во взаимодействии с другими службами, Недостатки в работе аэродромной службы по подготовке ВПП.

Рассмотрим вероятностное пространство (Ω, F, P) . Пространство элементарных исходов Ω представляет собой множество всех возможных сценариев развития событий, анализируемых в модели. Оценивается вероятность события

(фактора опасности из приведенных выше) B^{S_2} .

Предполагается, что данный ФО может привести к различным авиационным событиям, а вероятность его наступления различна в разных аэропортах. Оценим вероятность P события B^{S_2} , которое порождено набором других факторов опасности (его в дальнейшем для удобства будем называть источниками фактора опасности). Источники фактора опасности приведены в таблице Г.3. Каждый источник фактора опасности определяется входными данными $\varphi_i^{S_2}$ (представляющим собой скалярный или (чаще) векторный набор статистических показателей (характеристик)) и коэффициентом значимости α_i .

Входные данные каждого i -го источника s_2 -го фактора опасности предлагаются r экспертами (как было описано выше) в диапазоне $\varphi_i^{S_2lj} \in [0...100]$, $j=1, \dots, r$ для l -го аэродрома. При этом значение $\varphi_i^{S_2l}$ устанавливается равным:

$$\varphi_i^{S_2l} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \varphi_i^{S_2lj}. \quad (1.46)$$

Оценка вероятности i -го источника s_2 -го фактора опасности ($B_i^{S_2+1}$) вычисляется по следующей формуле:

$$\hat{P}(B_i^{S_2+1}) = \frac{\varphi_i^{S_2l}}{100}. \quad (1.47)$$

Коэффициенты значимости i -го источника фактора опасности B^{S_2} также предлагаются r экспертами (как было описано выше) в диапазоне $\alpha_i^j \in [0...1]$, $j=1, \dots, r$ и считаются равными:

$$\alpha_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \alpha_i^j . \quad (1.48)$$

Оценка вероятности $\hat{P}(B^{S_2})$ определяется как:

$$\hat{P}(B^{S_2}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \phi_i^{S_2^l} \cdot \alpha_i}{\sqrt{\sum ((\phi_i^{S_2^l})^{1/\lambda})^\lambda \sum ((\alpha_i)^{1/\gamma})^\gamma}} . \quad (1.49)$$

Данная оценка действительно лежит в интервале от 0 до 1 (согласно неравенству Гельдера) [14]. Коэффициенты λ и γ выбираются из значимости входных данных или коэффициентов значимости источников факторов опасности, для этих коэффициентов выполняются выражения:

$$\lambda + \gamma = 1, \lambda \in [0,1], \gamma \in [0,1]. \quad (1.50)$$

На данный момент в разрабатываемой АС $\lambda = \gamma = 1/2$, у администратора имеется возможность в дальнейшем менять эти коэффициенты значимости и эти коэффициенты у всех факторов опасности отличается.

Факторы опасности:

- **неоправдавшийся прогноз погоды;**
- **попадание в зону опасного метеоявления;**
- **неблагоприятные метеоусловия ;**
- **попадание в зону песчаной бури;**
- **попадание в зону интенсивности (турбулентность);**
- **сложная специфика передачи информации о состоянии ВПП**

в АС оценивается экспертно. Эксперт предлагает значение в процентах по сложности передачи информации коэффициента сцепления. Такая ситуация часто наблюдается в аэропортах Канады. Считается, что значение этого фактора высока в

аэропортах с быстроменяющейся погодой. Входными данными для этого источника является набор r экспертных оценок $\phi^{S_3lj} \in [0...100]$, $j = 1, \dots, r$ для l -го аэродрома.

При этом значение ϕ^{S_3l} устанавливается равным:

$$\phi^{S_3l} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \phi^{S_3lj}. \quad (1.51)$$

Оценка вероятности этого фактора опасности (B^{S_3}) вычисляется по следующей формуле:

$$\hat{P}(B^{S_3k}) = \frac{\phi^{S_3l}}{100}. \quad (1.52)$$

Фактор опасности **«Недостаточное орнитологическое обеспечение аэродрома»**, включает в себя следующие недостатки (которые в дальнейшем будем называть источниками фактора опасности): недостаточное качество орнитологического оборудования, неиспользование орнитологического оборудования, отсутствие орнитологического оборудования.

Фактор опасности **«Эколого-орнитологические условия»** определяется по источникам: наличие массовых скоплений птиц, наличие миграционных путей птиц, наличие массовых кормовых перелетов птиц, наличие источников корма.

Аналогично предыдущим схемам, ФО «Недостаточное орнитологическое обеспечение аэродрома» и ФО «Эколого-орнитологические условия» оцениваются экспертно:

- эксперту предлагается перечень оцениваемых источников фактора опасности (недостаточное качество орнитологического оборудования, неиспользование орнитологического оборудования, отсутствие орнитологического оборудования или наличие массовых скоплений

птиц, наличие миграционных путей птиц, наличие источников корма); он проставляет коэффициенты значимости для каждого источника; далее в АС осуществляется усреднение коэффициента значимости по всем экспертам, заполнявших оценки по этому фактору;

- следующий шаг эксперта заключается в расстановке статистических данных по каждому предложенному источнику фактора опасности для конкретного аэропорта, т.е. эксперт заносит информацию (в процентах) о выполнении данных источников в каждом аэропорту.

При подсчете оценки вероятности фактора опасности используется уже усредненные (по количеству участвующих экспертов) оценки «статистики» (наличие недостатков) и коэффициентов значимости для каждого аэропорта, что также осуществляется в АС.

Значение факторов опасности «Недостаточное орнитологическое обеспечение аэродрома» и «Эколого-орнитологические условия» определяются как интегральные оценки по всем источникам (недостаткам) факторов опасности. Процедура оценивания рассматриваемых факторов при оперативном прогнозе несколько отличается от оценивания при долгосрочном, но в разрабатываемой АС эксперт будет заносить оценки (один раз в полгода) одновременно и для оперативного, и долгосрочного прогнозов. В случае неожиданных изменений в организациях аэропорта, экспертам будет предложено изменить свои оценки.

Приведем построение формальной математической модели, позволяющей осуществить формирование методики определения фактора опасности «Недостаточное орнитологическое обеспечение аэродрома».

Рассмотрим вероятностное пространство (Ω, F, P) . Пространство элементарных исходов Ω представляет собой множество всех возможных сценариев развития событий, анализируемых в модели. Оценивается вероятность события (фактора опасности «Недостаточное орнитологическое обеспечение аэродрома») B^{S_4} и события (фактора опасности «Эколого-орнитологические условия») B^{S_5} .

Предполагается, что данные факторы опасности могут привести к

авиационному событию связанному «столкновение с птицами», но вероятность их наступления различна в разных аэропортах.

Оценим вероятность P события B^{S_4} , которое порождено набором других факторов опасности (источниками фактора опасности). В настоящем рассмотрении ими будут являться все вышеперечисленные недостатки орнитологического обеспечения аэродрома.

Каждый источник фактора опасности $\varphi_i^{S_4}$ определяется входными данными, образующими векторный набор статистических показателей (характеристик) и коэффициентом значимости α_i . Примерный перечень того, что может подразумеваться под входными данными, в разрабатываемой АС представлен в виде подсказок для экспертов. Например, для источника «Недостаточное качество орнитологического оборудования» рассматриваемого фактора опасности подсказка будет следующей: наличие аудиотелескопов, биоакустических установок, ультразвуковых установок, лазерных установок, механических птицеотпугивателей, ружей, ракетниц, газовых пушек, пиротехнических средств, трещоток, зеркальных шаров, сетей, тушек мертвых птиц и т.д. (см. таблицу 1.6)

Таблица 1. 6 – Факторы опасности, приводящие к авиационному событию «Столкновение с птицами» и их источники.

ФО	Источники ФО	Входные данные источников ФО	Для каких птиц характерно	Наличие данных птиц в данном аэропорту (да/нет)	Для каких типов ВС опасен данный вид птиц (%)								
					А	И	Л	Т	U	Boeing			
Недостатки орнитологического обеспечения аэродрома	Недостаточное качество орнитологического оборудования	Наличие аудиотелескопов											
		Наличие биоакустических установок	чайки, бакланы, голуби, воробьи, скворцы, грифы, вороны и птицы отряда вороновых										

Продолжение таблицы 1. 6

ФО	Источники ФО	Входные данные источников ФО	Для каких птиц характерно	Наличие данных птиц в данном аэропорту (да/нет)	Для каких типов ВС опасен данный вид птиц (%)									
					А	И	Л	Т	Boeing					
			(сороки, галки), ласточки											
		Наличие ультразвуковых установок	голуби, сороки, чайки, скворцы, воробьи, вороны											
		Наличие лазерных установок	любых видов птиц											
		Наличие механических птицеотпугивателей	чайки, голуби, скворцы, ласточки, воробьи											
		Наличие ружей												

Продолжение таблицы 1. 6

ФО	Источники ФО	Входные данные источников ФО	Для каких птиц характерно	Наличие данных птиц в данном аэропорту (да/нет)	Для каких типов ВС опасен данный вид птиц (%)										
					А	И	Л	Т	U	Boeing					
		Наличие ракетниц													
		Наличие газовых пушек													
		Наличие пиротехнических средств													
		Наличие трещоток													
		Наличие зеркальных шаров													
		Наличие сетей													
		Наличие тушек мертвых птиц													
	Неиспользование														

Продолжение таблицы 1. 6

ФО	Источники ФО	Входные данные источников ФО	Для каких птиц характерно	Наличие данных птиц в данном аэропорту (да/нет)	Для каких типов ВС опасен данный вид птиц (%)									
					А	И	Л	Т	Boeing					
	орнитологического оборудования													
	Отсутствие орнитологического оборудования													
Эколого-орнитологические условия	Наличие массовых скоплений птиц опасных для ВС	Наличие гнездовых колоний	грачи и ткачиковые (на деревьях близ полей)	Да	+	+	-	-						
			скворцы (на скалах близ мест, богатых саранчовыми)	Нет										

Продолжение таблицы 1. 6

ФО	Источники ФО	Входные данные источников ФО	Для каких птиц характерно	Наличие данных птиц в данном аэропорту (да/нет)	Для каких типов ВС опасен данный вид птиц (%)									
					А	И	Л	Т	Boeing					
			береговые ласточки	Да	+	+	+	+						
			галки	Нет										
			щурки	Нет										
			воробьи (на обрывах)	Нет										
			чайки	Да	+	+	+	+						
			крачки (на отмелях или зарастающих озёрах)	Нет										
			пингвины	нет										
			пеликаны	Да	+	+	+	+						

Продолжение таблицы 1. 6

ФО	Источники ФО	Входные данные источников ФО	Для каких птиц характерно	Наличие данных птиц в данном аэропорту (да/нет)	Для каких типов ВС опасен данный вид птиц (%)									
					А	И	Л	Т	Boeing					
			цапли	нет										
			семейство чистиковых (на скалах по берегам морей)	нет										
			альбатросы	нет										
			...											
		наличие дневок	совы											
			голуби											
			...											
		наличие ночевок	совы											
			голуби											
			...											

Продолжение таблицы 1. 6

ФО	Источники ФО	Входные данные источников ФО	Для каких птиц характерно	Наличие данных птиц в данном аэропорту (да/нет)	Для каких типов ВС опасен данный вид птиц (%)										
					А	И	Л	Т	U	Boeing					
		наличие зимовок	грачи												
			...												
	Миграционные пути птиц	Наличие весенних перелетов	грачи (февраль - апрель)												
скворцы (март, когда на полях появляются проталины)															
ласточки (в последних числах апреля или в начале мая)															

Продолжение таблицы 1. 6

ФО	Источники ФО	Входные данные источников ФО	Для каких птиц характерно	Наличие данных птиц в данном аэропорту (да/нет)	Для каких типов ВС опасен данный вид птиц (%)									
					А	И	Л	Т	Boeing					
			журавли											
			соловьи (в первой половине мая)											
			стрижи											
			жаворонки											
			...											
		наличие осенних перелетов	грачи (октябрь)											
			скворцы (в конце лета и осенью, до середины ноября)											

Продолжение таблицы 1. 6

ФО	Источники ФО	Входные данные источников ФО	Для каких птиц характерно	Наличие данных птиц в данном аэропорту (да/нет)	Для каких типов ВС опасен данный вид птиц (%)									
					А	И	Л	Т	U	Boeing				
			ласточки (внезапно с наступлением холодов)											
			журавли											
			соловьи (сентябрь)											
			стрижи											
			жаворонки											
			...											
	Массовые кормовые перелеты птиц	Наличие утренних перелетов	утки											
гуси														
воробьи														

Продолжение таблицы 1. 6

ФО	Источники ФО	Входные данные источников ФО	Для каких птиц характерно	Наличие данных птиц в данном аэропорту (да/нет)	Для каких типов ВС опасен данный вид птиц (%)												
					А	И	Л	Т	U	Boeing							
			кулики														
			...														
		Наличие вечерних перелетов	утки														
			воробьи														
			гуси														
			кулики														
			...														
	наличие свалки	чайки															
		вороны															
		...															
	Источники корма	наличие скотоферм, птицеферм	орлы														
			хищники														
			воробьи														

Продолжение таблицы 1. 6

ФО	Источники ФО	Входные данные источников ФО	Для каких птиц характерно	Наличие данных птиц в данном аэропорту (да/нет)	Для каких типов ВС опасен данный вид птиц (%)												
					А	И	Л	Т	U	Boeing							
			ястребы														
			орлы														
			...														
		наличие элеваторов, зернопотоков	голуби														
			воробьи														
			...														
		наличие рыбных водоемов	чайки				+	-	-	++							
			утки				-	+	+	-							
			поморники														
			крячки														
			гагарообразные														
			поганковые														

Продолжение таблицы 1. 6

ФО	Источники ФО	Входные данные источников ФО	Для каких птиц характерно	Наличие данных птиц в данном аэропорту (да/нет)	Для каких типов ВС опасен данный вид птиц (%)											
					А	И	Л	Т	У	Boeing						
			хищники													
			пеликаны		+	+	+	+								
			альбатросы		+	+	+	+								
			...													
		наличие полей зерновых культур	голуби													
			воробьи													
			...													

Входные данные каждого i -го источника s_4 -го фактора опасности предлагаются r экспертам (как было описано выше) в диапазоне $\phi_i^{s_4lj} \in [0...100]$, $j = 1, \dots, r$ для l -го аэродрома. При этом значение $\phi_i^{s_4l}$ устанавливается равным:

$$\phi_i^{s_4l} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \phi_i^{s_4lj} . \quad (1.53)$$

Оценка вероятности i -го источника s_4 -го фактора опасности ($B_i^{s_4}$) вычисляется по следующей формуле:

$$\hat{P}(B_i^{s_4}) = \frac{\phi_i^{s_4l}}{100} . \quad (1.54)$$

Коэффициенты значимости i -го источника фактора опасности B^{s_4} также предлагаются r экспертам (как было описано выше) в диапазоне $\alpha_i^j \in [0...1]$, $j = 1, \dots, r$ без привязки к аэродрому и считаются равными:

$$\alpha_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \alpha_i^j . \quad (1.55)$$

Оценка вероятности $\hat{P}(B^i)$ определяется как:

$$\hat{P}(B^{s_4}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \phi_i^{s_4l} \cdot \alpha_i}{\sqrt{\sum ((\phi_i^{s_4l})^{1/\lambda})^2 \sum ((\alpha_i)^{1/\gamma})^2}} . \quad (1.56)$$

Данная оценка действительно лежит в интервале от 0 до 1 (согласно

неравенству Гельдера) [14]. Коэффициенты λ и γ выбираются из значимости входных данных или коэффициентов значимости источников факторов опасности, для этих коэффициентов выполняются выражения:

$$\lambda + \gamma = 1, \lambda \in [0,1], \gamma \in [0,1]. \quad (1.57)$$

На данный момент в разрабатываемой АС $\lambda = \gamma = 1/2$, у администратора имеется возможность в дальнейшем менять эти коэффициенты значимости.

Теперь оценим вероятность P второго события B^{S_5} (фактора опасности «Эколого-орнитологические условия»), которое порождено набором других факторов опасности (источниками фактора опасности). В настоящем рассмотрении ими будут являться все вышеперечисленные недостатки эколого-орнитологических условий.

Каждый источник фактора опасности $\varphi_i^{S_5}$ определяется входными данными, образующими векторный набор статистических показателей (характеристик) и коэффициентом значимости α_i . Подсказка, что может подразумеваться под входными данными для источников ФО «Эколого-орнитологические условия», в разрабатываемой АС будет (см. таблицу Г.3):

- для источника «наличие массовых скоплений птиц опасных для ВС»: наличие гнездовых колоний, дневок, ночевок, зимовок;
- для источника «наличие миграционных путей птиц»: наличие весенних и/или осенних перелетов;
- для источника «наличие массовых кормовых перелетов птиц»: наличие утренних/вечерних перелетов;
- для источника «источники корма»: наличие свалок, скотоферм, птицеферм, элеваторов, зернопотоков, рыбных прудов, полей зерновых культур.

Входные данные каждого i -го источника S_5 -го фактора опасности предлагаются r экспертам (как было описано выше) в диапазоне $\phi_i^{S_5 l j} \in [0...100]$, $j = 1, \dots, r$ для l -го

аэродрома. При этом в разрабатываемой АС подразумевается, что значения $\varphi_i^{s_5}$ для источника ФО «наличие миграционных путей птиц» выбираются исходя из значимости входных данных «наличие весенних/осенних перелетов», и что вероятности наличия весеннего перелета и осеннего перелета одинаковые и равны 50%. В настоящий момент в разрабатываемой АС данные показатели $\varphi_i^{s_5}=50$, но у администратора имеется возможность в дальнейшем менять их значения. Остальные значения $\phi_i^{s_5^l}$ устанавливаются по формуле (1.53).

Оценка вероятности i -го источника s_5 -го фактора опасности ($B_i^{s_5}$) вычисляется аналогично выше изложенному по формуле (1.54).

Коэффициенты значимости i -го источника фактора опасности $B_i^{s_5}$ также предлагаются r экспертам (как было описано выше) в диапазоне $\alpha_i^j \in [0...1]$, $j = 1, \dots, r$ без привязки к аэродрому и считаются аналогично по формуле (1.55).

Оценка вероятности $\hat{P}(B^{s_5})$ определяется аналогично по формулам (1.56-1.57).

При оперативном прогнозировании используется информация по метеопрогнозу, т.е. в момент прогнозирования нам известны: вид осадков, скорость и направление ветра, опасные метеоявления (представленные в метеопрогнозе ТЕМРО), видимость, облачность.

В параграфе 1.4.1 разработан модуль программы расчета взлетно-посадочных характеристик. При определении необходимой длины пробега используются данные по погодным условиям, а также коэффициент сцепления. В АС рассчитывается коэффициент сцепления на основе прогноза ($\tilde{\phi}_i^{s_6^l}$) и экспертно ($\tilde{\phi}_i^{s_6^l}$). Прогнозируемый коэффициент сцепления в АС определяется по таблице 1.7, вид осадка определяется из основного прогноза.

Таблица 1.7 – Зависимость коэффициента сцепления от состояния поверхности ВПП.

Цифра кода, характеризующая вид осадков на ВПП	Состояние поверхности ВПП	Ориентированный коэффициент сцепления
1	Влажно	0,55
2	Мокро или отдельные участки стоячей воды	0,45
3	Сухой снег	0,45
4	Уплотненный или укатанный снег	0,40
5	Мерзлый снег	0,40
6	Иней или морозь	0,35
7	Мокрый снег	0,30
8	Слякоть	0,30
9	Лед	Менее 0,3

Таблица 1.8 – Зависимость коэффициента сцепления от скорости ветра для АН-124-100.

Скорость ветра (м/с)	Ориентированный коэффициент сцепления
8	0,4-0,49
12	0,5-0,59
15	$\geq 0,6$

Эксперт раз в полгода для l -го аэропорта и месяца устанавливает значения возможных коэффициентов сцепления $\tilde{\phi}_i^{S_0^l j} \in [0...1]$ (где $j = 1, \dots, r$, r - количество

экспертов, $i=1,\dots,12$ - номер месяца года). Тогда оценка прогнозирования коэффициента сцепления в l -ом аэропорту в i - месяце равна

$$\tilde{\phi}_i^{s_l} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \phi_i^{s_l^j} \quad (1.58)$$

Предполагается, что экспертный коэффициент сцепления является средним за месяц наблюдаемым в этом аэропорту. Прогнозируемый коэффициент сцепления определяется по формуле

$$\phi_i^{s_l} = \beta_1 \tilde{\phi}_i^{s_l} + \beta_2 \tilde{\phi}_i^{s_l}, \quad (1.59)$$

где $\beta_1 = 14/15$, $\beta_2 = 1/15$. В АС также предусмотрена возможность для администратора АС поменять коэффициенты β_1 β_2 при адаптации АС.

По таблице 1.8 определяется допустимая скорость ветра. Попутная составляющая ветра (даже если она не выходит за пределы ограничений), увеличивает вероятность выкатывания. В АС при определении факторов опасности используется разность между скоростью ветра в метеопрогнозе и скоростью ветра, определенной по таблице 1. 8.

Рассмотрим прогнозирование вероятности фактора опасности «**увеличение длины пробега**». Он, как и многие другие, является интегральной оценкой по источникам фактора опасности, которые в свою очередь, также являются факторами опасности. Источниками этого фактора (как видно из таблицы Г.3) являются: располагаемая дистанция меньше потребной для этого экипажа, снижение тяги реверса двигателя (разреженности воздуха), снижение тяги реверса двигателя.

В первых двух источниках рассчитывается необходимая длина ВПП (в модуле АС, описанном в параграфе 1.4.1), где используется прогнозируемый коэффициент сцепления и данные метеопрогноза. Для определения оценки вероятности этих ФО учитывается также длина перелетов пилота и малый опыт (которые определяются в

параграфе 1.2.1).

Опишем математическую модель расчета ФО «располагаемая дистанция меньше потребной для этого экипажа», «снижение тяги реверса двигателя (разреженность воздуха)».

Рассмотрим вероятностное пространство (Ω, F, P) . Пространство элементарных исходов Ω представляет собой множество всех возможных сценариев развития событий, анализируемых в модели. Оценивается вероятность события (в данном случае источника фактора опасности из приведенных выше) $B_i^{S_6}$, где m - номер фактора опасности, i - номер источника фактора опасности.

Оценим вероятность P события $B_i^{S_6}$, которое порождено набором входных данных (приведены в таблице 1.6). Входные данные φ_i представляют собой скалярный или (чаще) векторный набор статистических показателей (характеристик).

Оценка вероятности источника фактора опасности «располагаемая дистанция меньше потребной для этого экипажа» (в настоящей математической модели обозначаем $B_1^{S_6}$) осуществляется на основе компонент вектора φ_1 . Первая компонента является разностью между необходимой дистанцией и фактической, вторая функцией распределения перелета пилота и третья - прогнозируемым коэффициентом сцепления.

На рисунке 1.7 представлена «кривая дожития» $G_r(y)$ (т.е. построенная на основании единица минус функция распределения перелетов пилота) перелетов пилота.

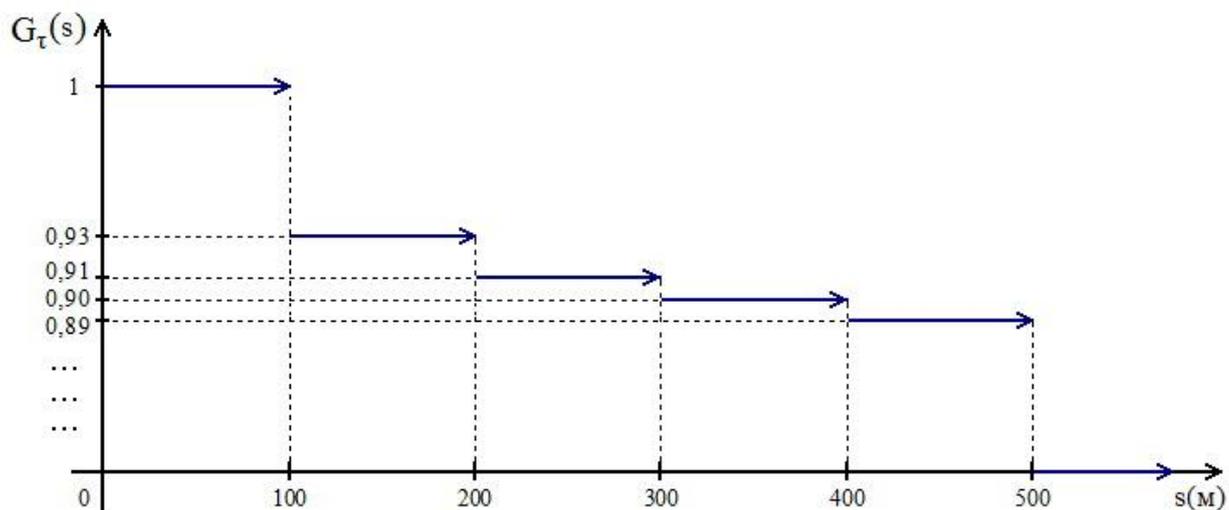


Рисунок 1.7 - Кривая дожития перелета пилота.

Оценка вероятности перелететь пилоту с $G_{\tau}(y)$ представлена на рисунке 1.8 и рассчитывается по формуле:

$$P\{\text{перелететь}\} = I(x - y = 0) \cdot G_{\tau}(y) + I(x < y) \cdot G_{\tau}(y_{\min}) + \\ + I(x > y) \cdot G_{\tau}(y_{\max}), \quad (1.60)$$

где x - разность между потребной и фактической дистанцией, y - длина возможного перелета, $y_{\min} \leq y \leq y_{\max}$.

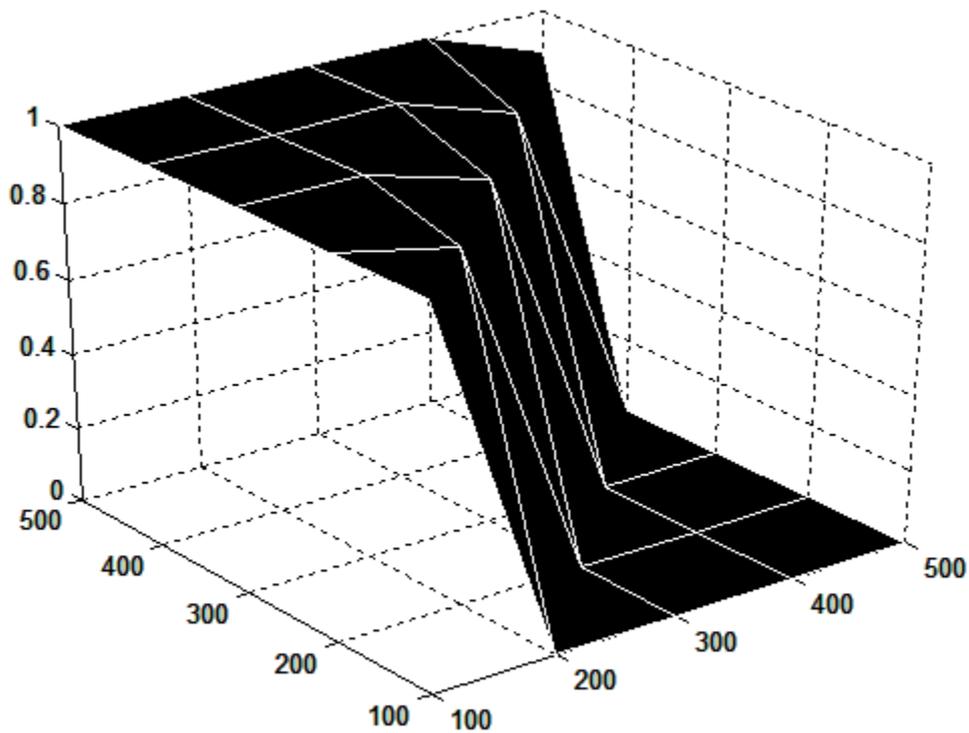


Рисунок 1.8 – Изменение вероятности перелета пилота. По оси x откладывается возможный перелет (в м), по оси y – разность между фактической и потребной дистанцией (в м), по оси z – вероятность перелета.

Вектор входных данных имеет вид:

$$\phi_1^{s_6} = (P\{\text{перелететь}\}; \phi_i^{s_6 l}; V) \quad (1.61)$$

где $\phi_i^{s_6 l}$ прогнозируемый коэффициент сцепления, рассчитанный по формуле 1.59, V .- разность скорости ветра по метеопрогнозу и скорости ветра определенной по таблице 1. 8.

Оценка вероятности источника фактора опасности $B_1^{s_6}$ оценивается по формуле

$$\hat{P}(B_1^{s_6}) = P\{\text{перелететь}\} +$$

$$+(1 - P\{\text{перелететь}\})^\alpha (I\{\phi_i^{S_6^l} \in [0; \hat{\phi}]\} + I\{\phi_i^{S_6^l} \in (\hat{\phi}; 1]\}) \cdot M), \quad (1.62)$$

где $\hat{\phi}$ - нижняя граница разрешенного коэффициента сцепления (устанавливается по руководству конкретного типа ВС и в АС это закладывается), M - индикатором «ветра»: $M = I(V > 0)$, коэффициент α настраивается в АС при адаптации.

Оценка вероятности источника фактора опасности снижение тяги реверса двигателя (разреженность воздуха)» (в настоящей математической модели обозначаем $B_2^{S_6}$) осуществляется на основе компонент вектора ϕ_2 . Первая компонента является разностью между необходимой дистанцией и фактической, вторая функцией распределения перелета пилота и третья - малый опыт пилота, четвертая - высота над уровнем моря.

Вероятность перелететь для этого источника фактора опасности рассчитывается по формуле 1.60. Расчет «наличия малого опыта» приводится в параграфе 1.2.1. Вектор входных данных будет иметь вид:

$$\phi_2^{S_6} = (P\{\text{перелететь}\}; P\{\text{малый опыт}\}; I(h \geq 1000)) \quad (1.63)$$

Оценка вероятности источника фактора опасности B_2^m будет рассчитывается по формуле

$$\hat{P}(B_2^{S_6}) = P\{\text{перелететь}\} \cdot P\{\text{малый опыт}\} \cdot I(h \geq 1000), \quad (1.64)$$

где h - высота над уровнем моря.

Входными данными для источника фактора опасности «снижение тяги реверса двигателя» $B_3^{S_6}$ является вектор $\phi_3^{S_6}$:

$$\phi_2^{S_6} = (I(h \geq 1000); I(t^0 \geq 20^0)), \quad (1.65)$$

где h - высота над уровнем моря аэропорта, t^0 по прогнозу.

Оценка вероятности источника фактора опасности $B_3^{S_6}$ будет рассчитываться как

$$\widehat{P}(B_3^{S_6}) = P\{I(t^0 \geq 20^0)\} \cdot P\{I(h \geq 1000)\}. \quad (1.66)$$

Тогда оценка вероятности фактора опасности B^{S_6} будет рассчитывается по формуле

$$\widehat{P}(B^{S_6}) = 1 - (1 - \widehat{P}(B_1^{S_6}))(1 - \widehat{P}(B_2^{S_6}))(1 - \widehat{P}(B_3^{S_6})) \quad (1.67)$$

Если уровень факторов опасности «воздействие попутной составляющей ветра», «боковая составляющая скорости ветра более допустимой», «горизонтальная видимость недопустимая для посадки в данном аэродроме», «нижняя граница облаков недопустимая для посадки в данном аэродроме», «сильное температурное воздействие» являются критическими (данные по этим ФО определяются из погодных условий), то АС выдает максимальную угрозу для выполнения посадки на аэродроме.

Фактор опасности «преждевременная посадка» в АС рассчитывается по источнику фактора опасности «касание земли шасси до порога ВПП». Оценка вероятности этого источника фактора опасности (в настоящей математической модели обозначаем $B_1^{S_7}$, где s_7 - номер фактора опасности) осуществляется на основе компонент вектора $\varphi_1^{s_7}$. Первая компонента является малый опыт, вторая функцией распределения недолетов пилота и третья – превышение над уровнем

моря.

$$\varphi_1^{s_7} = (P\{\text{недолет}\}; P\{\text{малый опыт}\}; I(h \geq 1000)), \quad (1.68)$$

где $P\{\text{недолет}\}$ рассчитывается аналогично $P\{\text{перелета}\}$.

Оценка вероятности фактора опасности определяется как

$$\hat{P}(B_1^{s_7}) = P\{\text{недолет}\} \cdot P\{\text{малый опыт}\} \cdot I(h \geq 1000) \quad (1.69)$$

Факторы опасности «неблагоприятные метеорологические условия» и «осадки» определяются на основании прогноза погоды данного аэродрома. Наличие и вид осадков являются источником при определении прогнозируемого коэффициента сцепления. Если в основном прогнозе имеются опасные метеорологические явления, то при оперативном прогнозе АС выдает информацию о максимальной угрозе производства посадки на данном аэродроме и необходимо принять решение о целесообразности выполнения рейса (если аэродром является аэродромом загрузки/выгрузки) или о замене аэродрома (если аэродром является аэродромом технической посадки). «Опасные метеорологические явления», которые предусмотрены прогнозом временами (ТЕМРО) и с определенной вероятностью и должны ранжироваться по возможной угрозе риска.

Рассмотрим вероятностное пространство (Ω, F, P) . Пространство элементарных исходов Ω представляет собой множество всех возможных сценариев развития событий, анализируемых в модели. Оценивается вероятность событий (факторов опасности, из приведенных выше) B^{S_k} , $k = 8, 9$.

Предполагается, что данный ФО может привести к различным авиационным событиям (или быть сопутствующей причиной), а оценивание вероятности его наступления предложено ниже. Если осадки или неблагоприятные условия описаны в основном прогнозе, то оценка их вероятности в АС принимается равной 1, в прогнозе ТЕМРО оценка вероятности появления содержится и используется в АС

для расчетов. Обозначим оценку вероятности осадков или неблагоприятных условий $q_i \in [0;1]$, где $i = 1, \dots, n$, n - количество либо осадков, либо неблагоприятных условий. Каждый вид осадков и неблагоприятного условия имеют свои шкалы значимости, которые в модели будем называть коэффициентами значимости α_i . Данные коэффициенты заносят в АС эксперты Коэффициенты значимости i -го вида осадков (или неблагоприятного условия) предлагаются r экспертами в диапазоне $\alpha_i^j \in [0...1]$, $j = 1, \dots, r$ и считаются равными:

$$\alpha_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \alpha_i^j . \quad (1.70)$$

Оценим вероятность P события B^{S_k} . Вектор входных данных для этих факторов опасности имеет вид $\phi^{S_k} = (\phi_1^{S_k}, \dots, \phi_n^{S_k})$, где n - количество либо осадков, либо неблагоприятных условий. Переменные $\phi_i^{S_k}$, $i = 1, \dots, n$ принимают значение 1, если осадки или неблагоприятные условия наблюдаются в прогнозе, 0 если в прогнозе отсутствуют.

$$\hat{P}(B^{S_k}) = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i \cdot \phi_i^{S_k} \quad (1.71)$$

Определение факторов опасности (акты незаконного вмешательства, террористическая угроза, военная угроза, политическая нестабильность, описанного в таблице Г.3) события «Военно-политические или террористические чрезвычайная ситуация в районе аэропорта» подробно описаны в разделе 1.4.3 и реализовано в программном модуле «Автоматизированная система анализа рисков авиационной безопасности в интернете».

1.3 Метод долгосрочного прогнозирования

Задача долгосрочного прогнозирования заключается в определении интервала времени (длина интервала задается администратором АС, минимальное ее значение составляет один месяц) с критическим уровнем вероятности возникновения авиационных происшествий по причине факторов «Человек», «Машина», «Среда», т.е. с уровнем, превышающим заданное администратором АС значение. Глубина прогноза также выбирается администратором (в тестовом режиме 3 года).

При расчете долгосрочного прогноза вначале вычисляются вероятности возникновения АП по каждому из факторов «Человек», «Машина», «Среда», а затем по формуле:

$$p^D = 1 - (1 - p_{\text{Ч}}^D) \cdot (1 - p_{\text{С}}^D) \cdot (1 - p_{\text{М}}^D) \quad (1.72)$$

получается совокупный долгосрочный прогноз.

В случае превышения p^D установленного критического уровня осуществляется дезинтеграция по каждому фактору для последующего предъявления набора управленческих решений по снижению вероятности возникновения событий, заложенных в АС. При этом каждое управленческое решение из списка имеет стоимость, оцененную экспертно либо на основе стоимости ранее проводимых работ с учетом инфляционного коэффициента. Управление рисками в этом случае происходит путем оптимизации затрат, связанных с уменьшением угрозы по каждому из факторов «Человек», «Машина», «Среда» с указанием причин повышения опасности возникновения АП. Ниже приведено более подробное описание определения момента пересечения вероятностью возникновения авиационного происшествия установленного критического уровня.

Эффективность управленческих решений осуществляется путем оценивания соотношения затраченных средств на них и снижения интенсивности возникновения событий, на которые направлены мероприятия. В качестве начального приближения

(до экспертной оценки) снижение интенсивности возникновения событий оценивается по результатам воздействия на нее ранее проведенных мероприятий по предотвращению подобных ситуаций.

Методика выбора оптимальных управленческих решений на примере оценивания мероприятий по снижению интенсивности отказов двигателей приведена в разделе описания метода оценки рисков для безопасности полетов.

1.3.1 Метод долгосрочного прогнозирования по фактору «Машина»

Доля авиационных происшествий по причинам отказа авиатехники, исходя из данных российской статистики, составляет около 10%, а доля авиационных инцидентов – около 70% (при этом около 60% инцидентов по фактору «Машина» приходится на отказы двигателей). Увеличение числа событий по причине фактора «Машина» обусловлено старением парка самолетов, эксплуатируемых авиакомпаниями в Российской Федерации. К тому же в последнее время все больше возникает проблем с надежностью комплектующих изделий, их высокой стоимостью и плохо налаженной системой восстановления отказавших изделий. Это свидетельствует о значимости данного фактора при оценивании вероятности возникновения такого рода событий.

Для процессов накопления авиационных происшествий требуются отдельные способы описания и построения прогнозов, не только из-за малых выборок в статистике, но и не возможности, именно ввиду этого аппроксимаций распределениями типа пуассоновского с соответствующими модификациями. Однако, для случаев частот, соответствующих интенсивностям событий ряда типов, аппроксимацию случайных времен между появлениями авиационных происшествий в моделях необходимо рассматривать в качестве первого (начального) шага приближения. В частности, элементы прогнозирования, связанные с оцениванием в том или ином виде, могут заключаться в построении оценок частот появления событий (на указанном пользователем системы временном интервале), оценок вероятностей появления хотя бы одного события в интервале, а также нахождении

условных математических ожиданий случайно меняющихся во времени частот и условных вероятностей (при условиях дополнительной информации о времени и условиях возникновения событий по тем или иным факторам). Отдельной задачей, являющейся актуальной при долгосрочном прогнозировании, представляется обнаружение тех (или таких) интервалов времени, в течение которых условная вероятность авиационного события (особенно – авиационного происшествия) представляется угрожающе высокой. Естественно, возникают следующие (главные в этой постановке) задачи: а) что понимается в качестве высокой вероятности в соотношении с интервалом времени – какой продолжительности; как это оценивать и какие условия при этом учитывать. Так, если (абстрактно) рассматривать интервал времени бесконечной длины, то вероятность наступления любого события следует принимать равной единице и любой критический уровень вероятности будет превзойден. Тем самым нахождение интервалов с заведомо высокой вероятностью авиационного события была бы решена тривиально и бессмысленно. Поэтому, ниже приводится теоретический материал, позволяющий не только избежать этот «парадокс», но и проводить при разработках методов и алгоритмов прогнозирования построение таких процедур, которые бы приводили к выявлению опасных факторов и служили целям предотвращения авиационных происшествий.

Приведем математическое описание метода долгосрочного прогнозирования по фактору «Машина». Предположим, что долгосрочный прогноз строится с текущего момента времени s до момента $s+T$ с дискретностью Δ . В качестве первого приближения значение $T=3$ года и $\Delta=1$ месяц. Уровни значений T и Δ устанавливаются ЛПР и вводятся в АС администратором. Ставится задача для долгосрочного прогнозирования: когда в течение периода времени от s до $s+T$ вероятность возникновения авиационного происшествия пересечет установленный критический уровень.

В классической схеме определяется вероятностная модель (Ω, F, P) , а в случае изучения динамики событий во времени (случайный процесс) описывается стохастический базис (см. приложение Н) $(\Omega, F, \mathbf{F} = (F_t)_{t \geq 0}, P)$, где Ω –

пространство элементарных событий ω , F – σ -алгебра, порожденная подмножествами Ω , F – неубывающий поток σ -алгебр F_t , P – вероятностная мера. При этом возникновение авиационного происшествия происходит в случайный момент времени $\tau = \tau(\omega) \geq 0$, который является случайной величиной, а относительно стохастического базиса – моментом остановки (в случае P -п.н. конечности) [15].

Пусть процесс $\pi_s(t)$ является условной «мгновенной» вероятностью возникновения авиационного происшествия после текущего момента времени s в интервале времени от t до $t + \Delta$ при условии наблюдения до момента s при $\Delta > 0$

$$\pi_s(t) = P \{ \tau \in [t; t + \Delta] | F_s \}. \quad (1.73)$$

Тогда обозначим σ – это первый момент достижения границы C^{kp} вероятностью $\pi_s(t)$ возникновения авиационного происшествия в течение интервала времени Δ при условии априорной (известной) информации до момента времени s :

$$\sigma = \inf \{ t : t \geq s, \pi_s(t) \geq C^{kp} \}. \quad (1.74)$$

Если в качестве события, рассматриваемого при долгосрочном прогнозировании, исследуется марковский момент τ его наступления, то при отсутствии априорной информации о типе функции распределения $F_\tau(x)$ задача построения критериев о поведении вероятности появления события в интервале $[s, s + T]$ представляется нетривиальной.

Для соотношения $s \leq \tau \leq s + T$

$$P \{ s \leq \tau \leq s + T \} = F_\tau(s) - F_\tau(s + T). \quad (1.75)$$

Вероятность $P\{s \leq \tau \leq s + T\}$ возникновения события в интервале времени $[s, s + T]$, вообще говоря, не может служить в качестве повода для принятия решения об опасности ситуации, поскольку при $T \rightarrow \infty$ такая вероятность заведомо стремится (кроме вырожденных распределений) к единице. Таким образом, необходимо соотносить эту вероятность со временем, за которое функция распределения соответствующим образом увеличивается.

Для формирования критериев идентификации такого рода опасностей предлагается характеристика $w_s^T(\Delta)$ для интервалов времени, определяемых величиной Δ :

$$w_s^T(\Delta) = \sup_{s \leq t \leq s+T} P\{t \leq \tau \leq t + \Delta | F_s\}. \quad (1.76)$$

Величина $w_s^T(\Delta)$ является локализацией известного модуля непрерывности пространства непрерывных функций **C**.

Заметим, что

$$w_s^T(\Delta) = \sup_{s \leq t \leq s+T} \pi_s(t). \quad (1.77)$$

Тогда задача долгосрочного прогнозирования сводится к нахождению вероятности

$$P\{w_s^T(\Delta) \geq C^{kp} | F_s\}. \quad (1.78)$$

При этом выполняется равенство следующих множеств

$$V = \{w_s^T(\Delta) \geq C^{kp}\} = \{\sigma \in [s; s + T]\}. \quad (1.79)$$

Поэтому задача прогнозирования равноценна нахождению следующей условной вероятности:

$$P \{V|F_s\} \quad (1.80)$$

или

$$P \{\sigma \in [s; s + T]|F_s\}. \quad (1.81)$$

Таким образом, ответом на вопрос: когда «мгновенная» вероятность $\pi_s(t)$ возникновения события достигнет установленного критического уровня C^{kp} при условии наблюдения до момента времени s (т.е. в каком периоде Δ в течение интервала прогнозирования $[s; s + T]$ вероятность достигнет C^{kp}) – является момент σ (или в $\left[\frac{\sigma - s}{\Delta} \right]$ период, где $[*]$ – целая часть числа).

Соблюдение критерия достижения «мгновенной» вероятности C^{kp} не влечет вывода об отсутствии скачка считающего число событий процесса, поскольку соблюдение критерия на интервале $[s; s + T]$ означает, что скачок все же может произойти с «накопленной» вероятностью. Тогда в случае вычисления «мгновенной» вероятности $\pi_s(t)$ возникновения события в каждом интервале длины Δ с момента s до $s + T$ может произойти, что значение этой вероятности и не достигнет уровня C^{kp} в каждом Δ , в то время как «накопленная» вероятность возникновения события за весь интервал $[s; s + T]$ может превысить C^{kp} . Это значит, что вероятность скачка точечного процесса за малые промежутки времени является незначительной, а за большой промежуток времени может приближаться к 1 (рисунок 1.9 и 1.10).

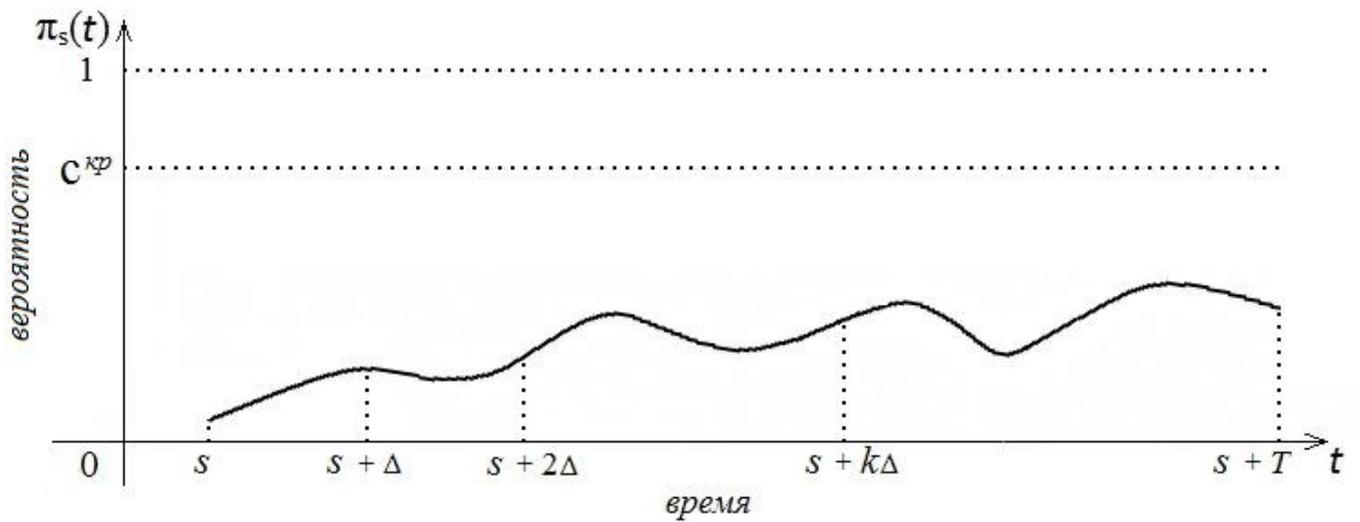


Рисунок 1.9 – Достижение «мгновенной» вероятности $\pi_s(t)$ возникновения события установленного критического уровня.

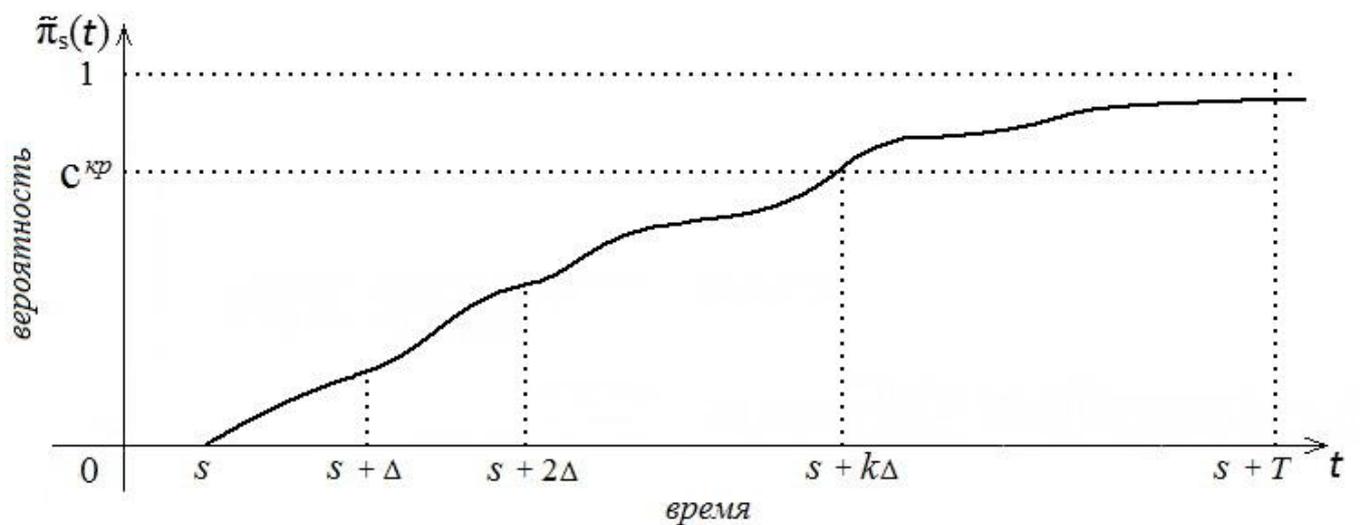


Рисунок 1.10 – Достижение «накопленной» вероятности $\tilde{\pi}_s(t)$ возникновения события установленного критического уровня.

Для единообразия изложения наряду с процессом $\pi_s(t)$ удобно ввести промежуточное обозначение $\tilde{\pi}_s(t)$, сводящееся далее к условной функции распределения $F_s(t)$ [14].

Тогда «накопленная» вероятность $\tilde{\pi}_s(t)$ возникновения события определяется по формуле:

$$\tilde{\pi}_s(t) = \begin{cases} \mathbf{P}\{\tau \in [s, t] | F_s\}, & \text{при } t \geq s \\ 0, & \text{при } t < s \end{cases} \quad (1.82)$$

В этом случае в качестве результата выводятся вероятности $\tilde{\pi}_s(t)$ при $t \in [s; s + T]$ с дискретностью Δ , т.е. получается ряд значений: $\tilde{\pi}_s(s) = 0$, $\tilde{\pi}_s(s + \Delta)$, $\tilde{\pi}_s(s + 2\Delta)$, ..., $\tilde{\pi}_s(s + T)$.

Определим момент ζ_s как первый момент достижения границы C^{kp} «накопленной» вероятностью $\tilde{\pi}_s(t)$ возникновения авиационного происшествия в течение интервала времени Δ при условии априорной (известной) информации до момента времени s :

$$\zeta_s = \inf\{t : t > s, \tilde{\pi}_s(t) \geq C^{kp}\}. \quad (1.83)$$

Тогда задача долгосрочного прогнозирования заключается в определении (указании) интервала критической вероятности

$$J = [s; \zeta_s] \quad (1.84)$$

т.е. вычисление момента ζ_s , а также определение величины

$$\mathbf{P}\{\zeta_s \in [s; s + T] | F_s\}, \quad (1.85)$$

совпадающей по значению с

$$I\{\tilde{\pi}_s(s + T) \geq C^{kp}\}. \quad (1.86)$$

При этом вероятность

$$\mathbf{P}\{\zeta_s \in [s; s + T]\} \quad (1.87)$$

оценивается методами имитационного стохастического моделирования. Для каждой j -ой из m псевдослучайных реализаций точечных процессов с найденной по оценкам интенсивностью $\hat{\alpha}_s$ считающего число событий процесса (нахождение оценки $\hat{\alpha}_s$ приведено в выражениях 1.104-1.106 и в приложении М) устанавливаются значения

$$I\{\tilde{\pi}_s^{(j)}(s+T) \geq C^{kp}\} \quad (1.88)$$

и осуществляется их усреднение

$$\hat{P}\{\zeta_s \in [s; s+T]\} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m I\{\tilde{\pi}_s^{(j)}(s+T) \geq C^{kp}\}, \quad (1.89)$$

где величина m выбирается из соображений значения среднеквадратичного отклонения ответа меньшего, чем на 10% от значения оценки вероятности.

Следует отметить, что в общем случае для построения совокупного долгосрочного прогноза в ситуации, когда момент $\{\zeta_s \in [s; s+T]\}$ необходима декомпозиция по факторам «Человек», «Машина», «Среда» для соответствующих управленческих решений после анализа ситуации ЛПР. При этом по приведенным формулам с заменой момента возникновения события АП τ на τ_k , $\tilde{\pi}$ на $\tilde{\pi}^k$, ζ_s на ζ_s^k ($k = 1$ – соответствует фактору «Машина», $k = 2$ – фактору «Человек», $k = 3$ – фактору «Среда») осуществляется вычисление всех приведенных оценок. Описание метода построения совокупного долгосрочного прогноза по трем факторам приведено ниже в разделе 1.3.4.

Значит ответом на вопрос долгосрочного прогнозирования: когда «накопленная» вероятность $\tilde{\pi}_s(t)$ возникновения события достигнет установленного критического уровня C^{kp} при условии наблюдения до момента времени s (т.е. через сколько периодов Δ в течение интервала прогнозирования $[s; s+T]$ вероятность

достигнет C^{kp}) – является момент ζ_s (или через $\left[\frac{\zeta_s - s}{\Delta} \right]$ периодов, где $[*]$ – целая часть числа).

Определим вероятность ошибки оценивания при долгосрочном прогнозировании. Заметим, что

$$P \{s \leq \zeta_s \leq s + T | F_s\} = I\{\zeta_s \in [s; s + T]\}, \quad (1.90)$$

где $I\{\cdot\}$ является индикаторной функцией с $I\{a\} = 1$ при выполнении события a и $I\{a\} = 0$ при невыполнении события a .

Значит, следующие множества совпадают:

$$V = \{\zeta_s \in [s; s + T]\} = \{\tilde{\pi}_s(s + T) \geq C^{kp}\}. \quad (1.91)$$

Выпишем обратное множество для V :

$$\bar{V} = \{\tilde{\pi}_s(s + T) < C^{kp}\}, \quad (1.92)$$

это множество ω , для которых уровень критической вероятности C^{kp} оказался не превышен.

Для $\omega \in \bar{V}$ роль ошибки имеет смысл вероятность тех исходов, при которых авиационное происшествие в момент τ тем не менее произошло. Следовательно, в качестве условной (при условии наблюдений до момента времени s , т.е. F_s) вероятности ошибки следует рассматривать:

$$\rho_s^1 = \tilde{\pi}_s(s + T) \cdot I(\bar{V}) + \varepsilon_m \quad (1.93)$$

и

$$\rho_s^2 = (1 - \tilde{\pi}_s(s+T)) \cdot I\{V\} + \varepsilon_m, \quad (1.94)$$

где ε_m – погрешность имитационного моделирования, поскольку сами вероятности $\tilde{\pi}_s(t)$ при построении долгосрочного прогноза вычисляются по результатам имитационного стохастического моделирования ($I\{\cdot\}$ – индикаторная функция). Для каждой j -ой из m псевдослучайных реализаций точечных процессов вычисляются величины $\rho_s^{1(j)}$ и $\rho_s^{2(j)}$, после чего осуществляется их усреднение:

$$\hat{E} \rho_s^1 = E\{\tilde{\pi}_s(s+T) \cdot I(\bar{V}) + \varepsilon_m\} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \rho_s^{1(j)} \quad (1.95)$$

и

$$\hat{E} \rho_s^2 = E\{(1 - \tilde{\pi}_s(s+T)) \cdot I\{V\} + \varepsilon_m\} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \rho_s^{2(j)} \quad (1.96)$$

Оценки (1.95) и (1.96) являются аналогами ошибок первого и второго рода [14].

Для удобства последующего восприятия сделаем замену условной вероятности $\tilde{\pi}_s(t)$ на условную функцию распределения $F_s(t)$.

$$F_s(t) = \tilde{\pi}_s(t) = \begin{cases} P\{\tau \in [s, t] | F_s\}, & \text{при } t \geq s \\ 0, & \text{при } t < s \end{cases} \quad (1.97)$$

Функция $F_s(t)$ – это непрерывная по t условная функция распределения момента первого после момента времени s скачка в считающем авиационные события заданного одного уровня и одного класса события (предвестники, инциденты, аварии, катастрофы)

$$F_s(t) = P \{ \tau \leq t | F_s \}. \quad (1.98)$$

Эта функция распределения определяется из оценки компенсатора в семимартингальном разложении Дуба-Мейера процесса индикатора скачка, происходящего после момента времени s . Обозначим этот процесс как $X = (X_t)_{t \geq 0}$ с $X_t = I(\tau \leq t)$, где $I\{\cdot\}$ – индикаторная функция. При этом вариант разложения Деллашери (см. приложение Н) в условной форме имеет вид для $t \geq s$

$$X_t = X_s + g_s(t \wedge \tau) + m_s(t), \quad (1.99)$$

где $(m_s(t))_{t \geq s}$ – мартингал при $t \geq s$ с нулевым начальным условным средним любых приращений вида

$$E\{m_s(t) - m_s(u) | F_u\} = 0 \quad (1.100)$$

при $s \leq u \leq t$. Процесс $g_s(\tau \wedge t)$ – условный компенсатор процесса X , где $\tau \wedge t = \min\{\tau, t\}$ и функция $g_s(t)$ имеет вид

$$g_s(t) = \int_s^t \frac{dF_s(x)}{1 - F_s(x)} = -\ln(1 - F_s(t)) \quad \text{при } t \geq s \quad (1.101)$$

и

$$g_s(t) = 0 \quad \text{при } t \leq s. \quad (1.102)$$

Тогда условная функция распределения момента первого скачка после момента s ($t \geq s$ при условии наблюдений F_s) определяется по формуле

$$F_s(t) = 1 - \exp\{-g_s(t)\}. \quad (1.103)$$

Заметим, что эмпирические функции распределения отличаются для долгосрочного прогнозирования от интерполяционных для них оценок, поскольку считающий число авиационных событий процесс нестационарен и компенсатор его нелинеен.

В рамках проведенного анализа динамики выявленных повреждений, неисправностей и отказов систем двигателей парка самолетов авиакомпании установлено, что процесс накопления таких событий (являющимися моментами остановки) представляет собой точечный процесс с меняющимися интенсивностями возникновения событий на различных интервалах часов налета (на рисунках 1.11 и 1.12 приведены процессы накопления повреждений и отказов в двигателях). В связи с этим одна из задач долгосрочного прогнозирования по фактору «Машина» (при условии стационарности на заданном интервале времени процесса изменения часов налета ВС) сводится к решению задачи экстраполяции процесса накопления событий. При этом оцениваются тренды процессов накопления событий для определения скорости нарастания событий, а также оцениваются моменты изменения интенсивностей (моменты разладок) и число этих моментов. Изменение вероятностей появления событий определяется на основе вычисляемых изменений в функциях распределений вероятностей событий по трендам компенсаторов точечных процессов. Для оценки числа разладок в точечном процессе применяется кусочно-линейная аппроксимация его компенсатора.

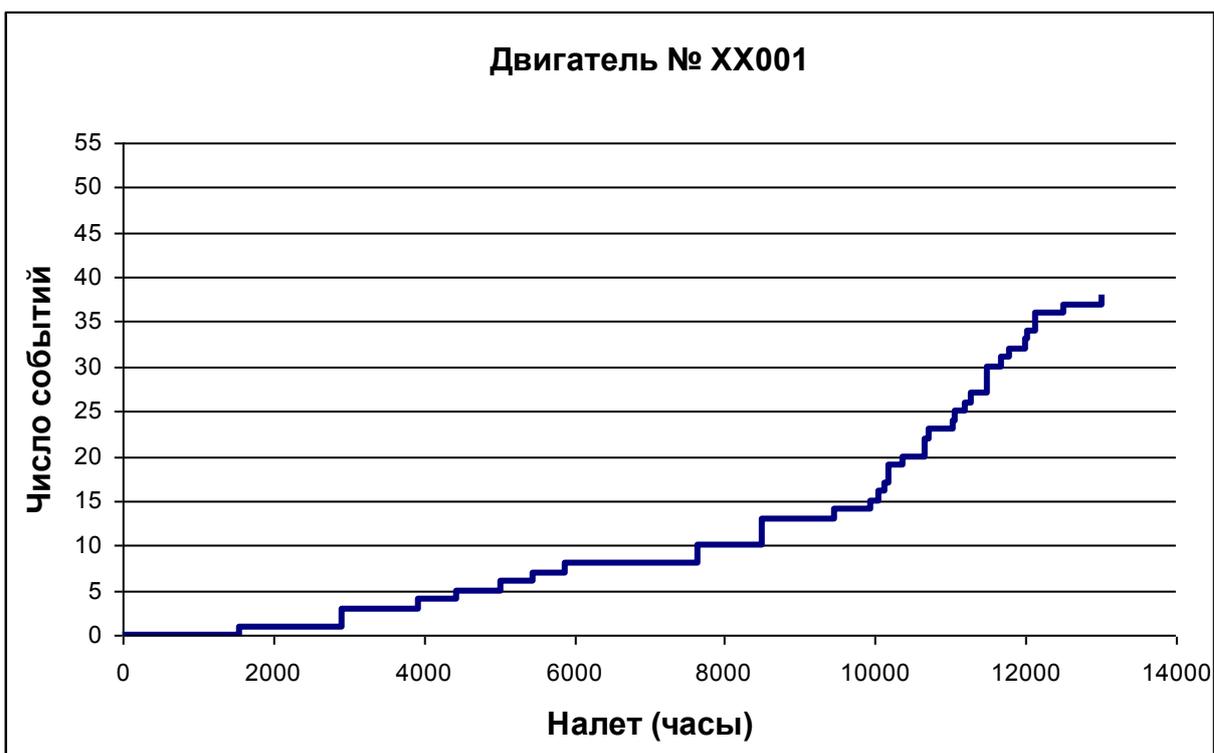


Рисунок 1.11 – Процесс накопления обнаруженных повреждений, неисправностей и отказов двигателя № XX001.

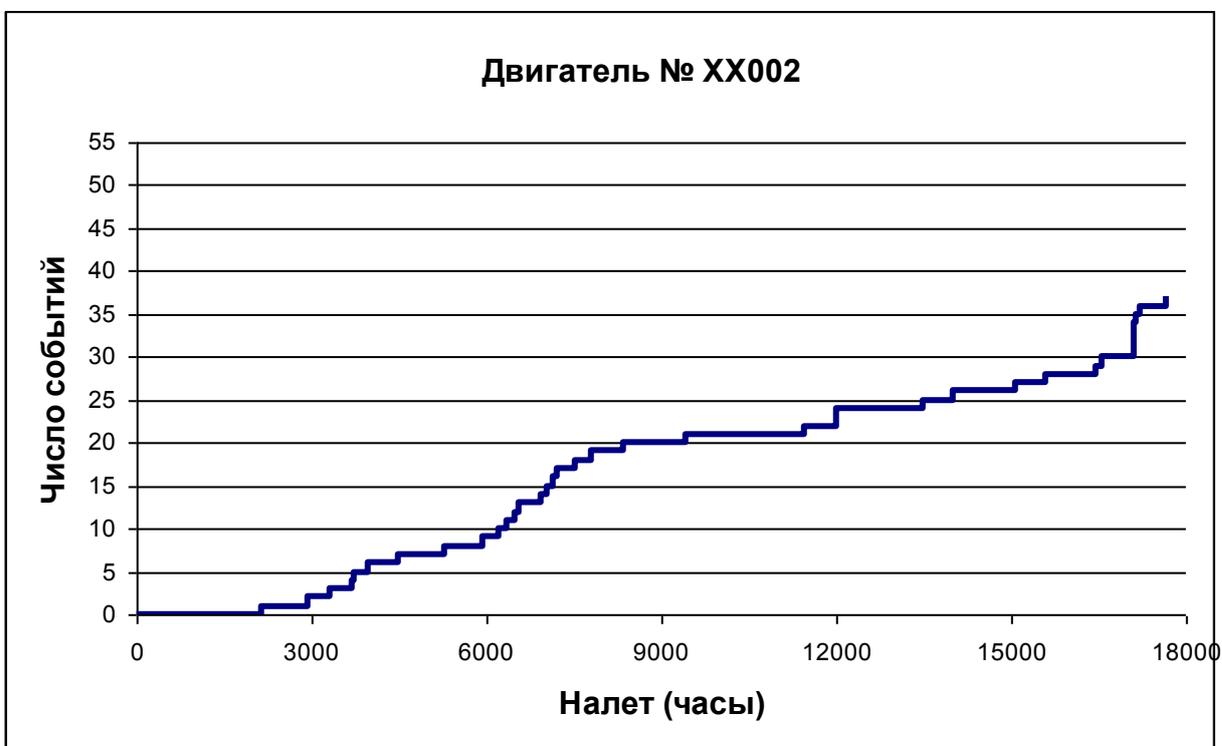


Рисунок 1.12 – Процесс накопления обнаруженных повреждений, неисправностей и отказов двигателя № XX002.

Более 80% событий, связанных с повреждением или неисправностью авиационной техники, обнаруживаются на земле при проведении регламентных работ. При долгосрочном прогнозировании важным считается предсказание событий отказов технических систем (особенно систем двигателей) в полете, при этом не следует забывать о том, что обнаруженное повреждение или неисправность на земле можно рассматривать как причину или как само несостоявшееся авиационное событие в полете. При этом ремонт авиационного двигателя является дорогостоящим и поэтому событие – отказ двигателя в полете – можно рассматривать как серьезный инцидент или АП. Также следует отметить, что существенный рост интенсивности обнаружения повреждений или неисправностей на земле в итоге отражает рост интенсивности возникновения авиационных событий в полете. Это подтверждается приведенными ниже эмпирическими наблюдениями.

Независимо от того, где обнаружено повреждение: на земле во время регламентных работ или в полете, на устранение его последствий или ремонт узлов и агрегатов поврежденных технических систем ВС затрачиваются материальные, человеческие и временные ресурсы, что влечет простой ВС и экономические потери авиакомпаний. Поэтому при прогнозировании важными являются обе задачи: оценка момента возникновения отказов систем в полете и повреждений технических систем на земле. Также по соотношению случившихся отказов технических систем ВС в полете и обнаруженных повреждений при проведении регламентных работ оценивается деятельность инженерно-авиационной службы авиакомпании.

В проведенном анализе процессов накопления событий повреждений, обнаруженных на земле и в полете выявлена явная корреляция этих процессов (на рисунках 1.13 и 1.14 представлены процессы накопления событий повреждений и отказов по двигателям). Это позволяет применять экстраполяционные методы к совокупному процессу повреждений и отказов, содержащему достаточное число точек для построения достоверной оценки момента наступления события. Прогнозирование моментов возникновения повреждений и отказов обеспечивает

возможность определения интервала времени в долгосрочной перспективе, в котором событие может произойти с высокой вероятностью, что с применением баз данных экспертных оценок по фактору «Машина» позволит оценивать вероятность наступления авиационного события по причине отказов систем двигателя или планера ВС.

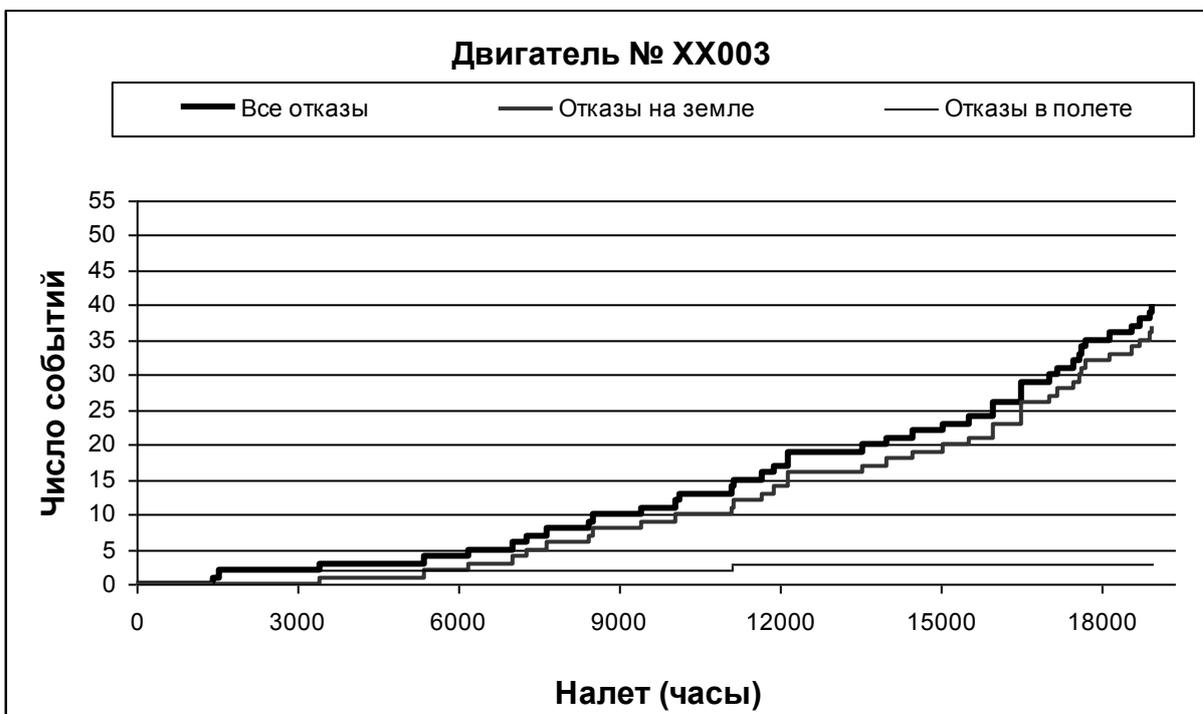


Рисунок 1.13 – Процессы накопления обнаруженных повреждений, неисправностей и отказов двигателя № XX003.

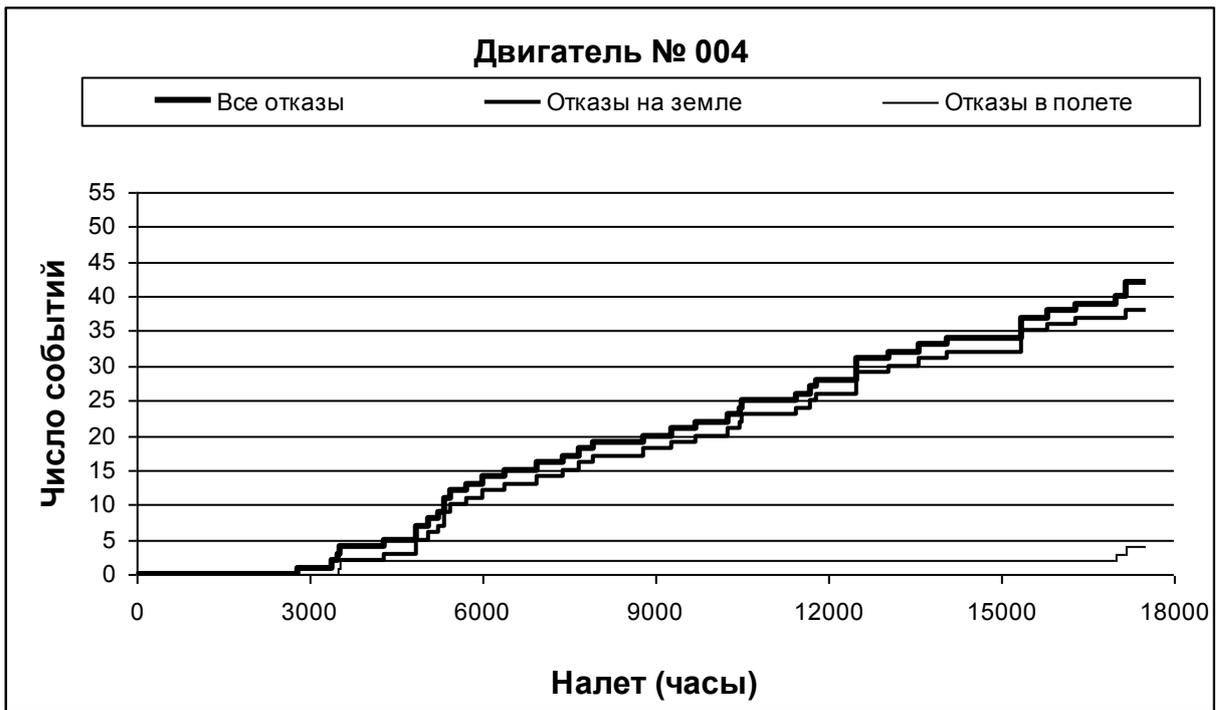


Рисунок 1.14 – Процессы накопления обнаруженных повреждений, неисправностей и отказов двигателя № XX004.

Пусть процесс $N = (N_t)_{t \geq 0}$ – точечный считающий процесс числа повреждений, неисправностей и отказов двигателей, обнаруженных на земле во время выполнения регламентных работ и во время полета (обозначим неубывающую последовательность моментов $\{\tau_i, i=1,2,\dots\}$ – моменты возникновения отказов двигателей в полете). Тогда N допускает семимартингальное представление в соответствии с разложением Дуба-Мейера с

$$N_t = N_0 + \tilde{N}_t + m_t^N, \quad (1.104)$$

где $\tilde{N}_t = (\tilde{N}_t)_{t \geq 0}$ – компенсатор процесса N , $m^N = (m_t^N)_{t \geq 0}$ – мартингал.

По предположению об интенсивностях возникновения повреждений и отказов предполагается, что

$$\tilde{N}_t = \int_0^t f_u du, \quad (1.105)$$

где $f = (f_t)_{t \geq 0}$ – случайная функция с кусочно-линейными непрерывными траекториями (т.е. ломаными) с

$$f_t(k, \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k) = \sum_{i=0}^k \alpha_i I(\eta_i < u \leq \eta_{i+1}), \quad (1.106)$$

где η_0, \dots, η_k – моменты разладок с $\eta_0 = 0$, а $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k$ – углы наклона ломаной между моментами разладок (рисунок 1.15 и 1.16).

Оценка $\hat{\alpha}_s = \alpha_{\tau_k}$ – угол наклона ломаной после последнего перед текущим моментом времени s события τ_k отказа двигателя в полете (при неизвестных значениях углов наклона ломаной α_i). Методика определения количества \hat{k} разладок и оценок углов $\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \dots, \hat{\alpha}_k$ наклона ломаной приведена в приложении М.

Следует отметить, что полученная указанным методом оценка угла наклона последнего до момента наблюдения s линейного участка ломаной в компенсаторе считающего процесса является оценкой максимального правдоподобия, состоятельна и асимптотически нормальна при нормировке ошибки оценивания величинами

$$\left(\frac{s - \tau_k}{\hat{\alpha}_s} \right)^{1/2} = \left(\frac{s - \tau_k}{\hat{\alpha}_{\tau_k}} \right)^{1/2} \quad (1.107)$$

В соответствии с приложением М, результатом в публикации [16] и материалами отчета первого этапа.

Рассуждения об оценках компенсаторов точечных процессов ведутся в предположении квазистационарности. Оно вытекает из эмпирических наблюдений, по которым среднее расстояние между моментами разладок

$$E(\eta_{i+1} - \eta_i) > T, \quad (1.108)$$

где T – глубина интервала долгосрочного прогноза.

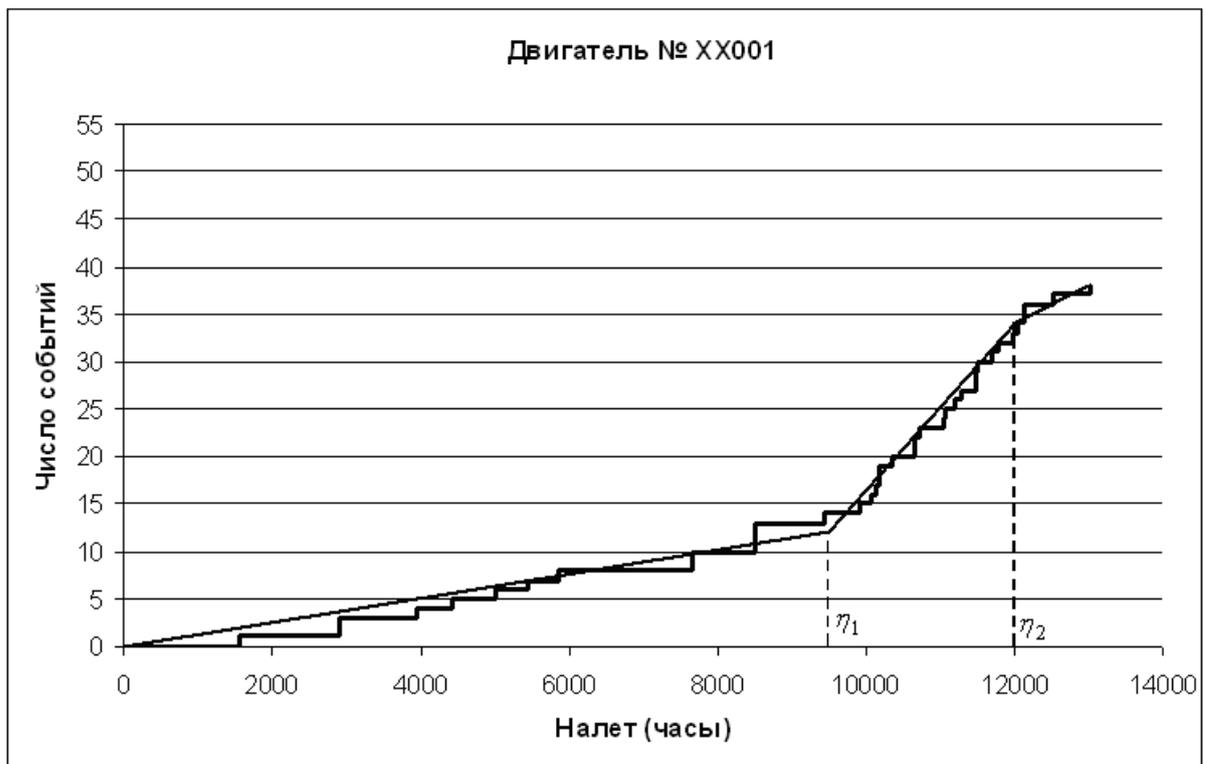


Рисунок 1.15 – Кусочно-линейная аппроксимация процесса $N = (N_t)_{t \geq 0}$, считающего число событий повреждений и отказов двигателя с двумя разладками в компенсаторе.

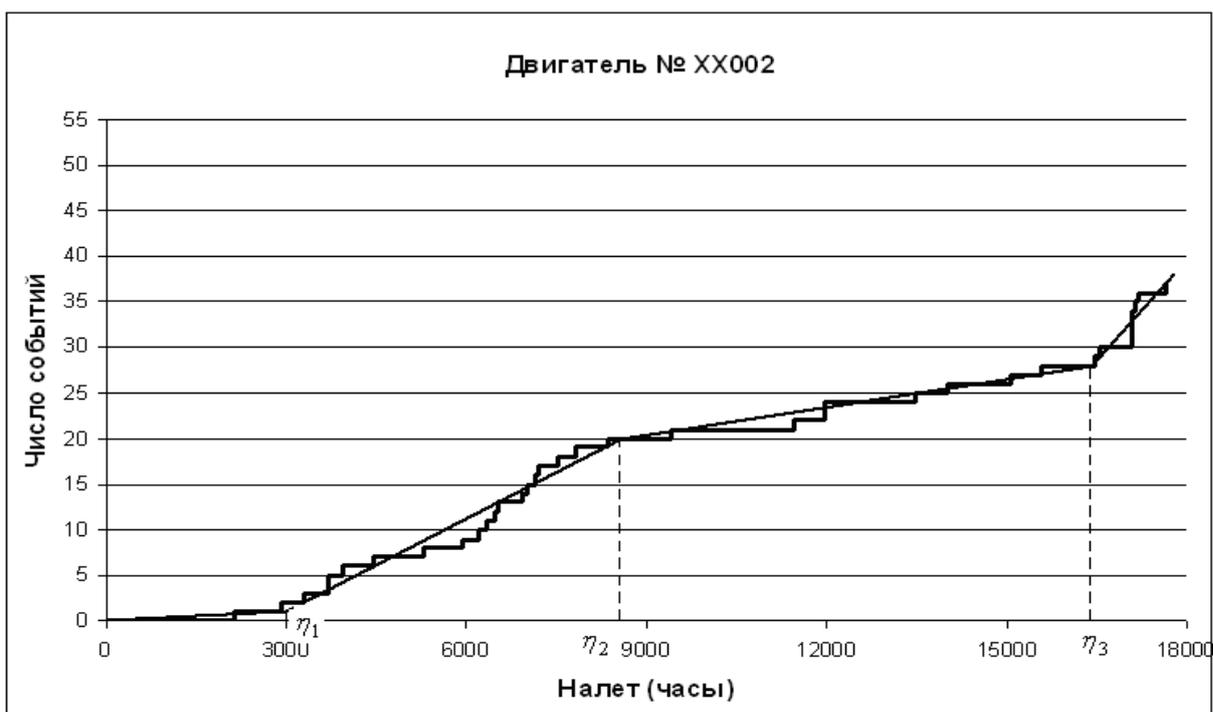


Рисунок 1.16 – Кусочно-линейная аппроксимация процесса $N = (N_t)_{t \geq 0}$, считающего число событий повреждений и отказов двигателя с тремя разладками в компенсаторе.

Например, для процесса возникновения повреждений и отказов двигателей математическое ожидание $E(\eta_{i+1} - \eta_i)$ составляет величина порядка 6 лет, при рассматриваемой глубине построения долгосрочного прогноза $T = 3$ года. В рамках этого предположения возможность анализа отказов двигателей в полете в момент его возникновения τ после времени $s \geq 0$ основана на использовании статистической информации о доле таких событий в общем числе N_t повреждений и отказов, обнаруженных на земле и в полете. Если за промежуток времени $T^1 \geq T$ у двигателя происходит в среднем $E^{\text{эмп}}(N_{T^1})$ повреждений и отказов, то число отказов в полете предполагается равным в среднем

$$z^{\text{эмп}} = \frac{T^1}{E^{\text{эмп}}(\tau_{i+1} - \tau_i)}. \quad (1.109)$$

Следовательно, отношение h интенсивностей числа скачков

$$h = \frac{z^{\varepsilon mn}}{E^{\varepsilon mn}(N_T)} \quad (1.110)$$

определяется как

$$h = \frac{T_1}{E^{\varepsilon mn}(N_{T_1}) \cdot E^{\varepsilon mn}(\tau_{i+1} - \tau_i)}. \quad (1.111)$$

Эта величина h является передаточным коэффициентом при определении интенсивности процесса с одним скачком (отсчитывающим возникновение отказа двигателя в полете) по известной оценке интенсивности скачков повреждений и отказов на земле и в полете в момент s при предположении квазистационарности процессов на интервале $[s; s + T]$. Таким образом, получается, что для

$$X_t = g_s(t \wedge \tau) + m_s(t), \quad (1.112)$$

и его условного компенсатора при $t \geq s > 0$

$$\tilde{X}_t = g_s(t \wedge \tau) = \int_s^{t \wedge \tau} \frac{dF_s(u)}{1 - F_s(u)} \quad (1.113)$$

справедливо выражение для интенсивности $\psi_s(t)$ скачков процесса, считающего отказы двигателя в воздухе

$$\psi_s(t) = \frac{dg_s(t)}{dt} = \frac{dF_s(t)/dt}{1 - F_s(t)}, \quad (1.114)$$

определенное на основе анализа $N = (N_t)_{t \geq 0}$ – числа повреждений и отказов двигателя на земле и в полете.

$$\psi_s(t) = \hat{\alpha}_s \cdot h. \quad (1.115)$$

Также отметим, что

$$g_s(t) = g_s(s) + \int_s^t \psi_s(u) du. \quad (1.116)$$

Заметим, что из выражения (1.114) следует

$$F_s(t) = 1 - \exp\{-g_s(t)\} \quad (1.117)$$

в принятом здесь предположении нулевых (начальных) значений $F_s(t) = g_s(t) = 0$ при $t \leq s$.

Из формул (1.114), (1.115) и (1.117) получаем, что

$$F_s(t) = 1 - \exp\left\{-\int_s^t \psi_s(u) du\right\}, \quad (1.118)$$

и

$$\begin{aligned} F_s(t) &= 1 - \exp\left\{-\int_s^t \hat{\alpha}_s \cdot h du\right\} = \\ &= 1 - \exp\{-\hat{\alpha}_s \cdot h \cdot (t - s)\}. \end{aligned} \quad (1.119)$$

Следовательно, поскольку $F_s(t) = \tilde{\pi}_s(t)$, получаем

$$\zeta_s = \inf\{t : t > s, 1 - \exp\{-\hat{\alpha}_s \cdot h \cdot (t - s)\} \geq C^{kp}, \quad (1.120)$$

т.е.

$$\zeta_s = s + \frac{1}{\hat{\alpha}_s \cdot h} \cdot \ln\{1 - C^{kp}\}. \quad (1.121)$$

В качестве одного из дополнительных управляющих решений в АС предусмотрен модуль расчета рекомендаций для оптимизации схемы движения двигателей по парку ВС авиакомпании и позициям установки двигателей на ВС (на рисунках 1.17 и 1.18 приведены примеры процесса движения двигателей по парку ВС). Эта оптимизация осуществляется по принципу размещения двигателей (в случае возможности выбора) с меньшими суммарными количествами отказов на позиции, отвечающие большим количеством инцидентов на ВС в порядке их убывания. Эта методика реализуется в автоматизированном режиме, и АС обеспечивает в автоматическом режиме заполнение таблиц числа отказов по номерам двигателей и суммарных количеств инцидентов по причине отказа систем двигателя на ВС по их позициям (независимо от номеров двигателей). Далее ЛПР (в случае наличия выбора) реализует приведенный порядок размещения двигателей на позициях ВС в соответствии с предложенным ранжированием двигателей и их позиций на ВС по частоте отказов.

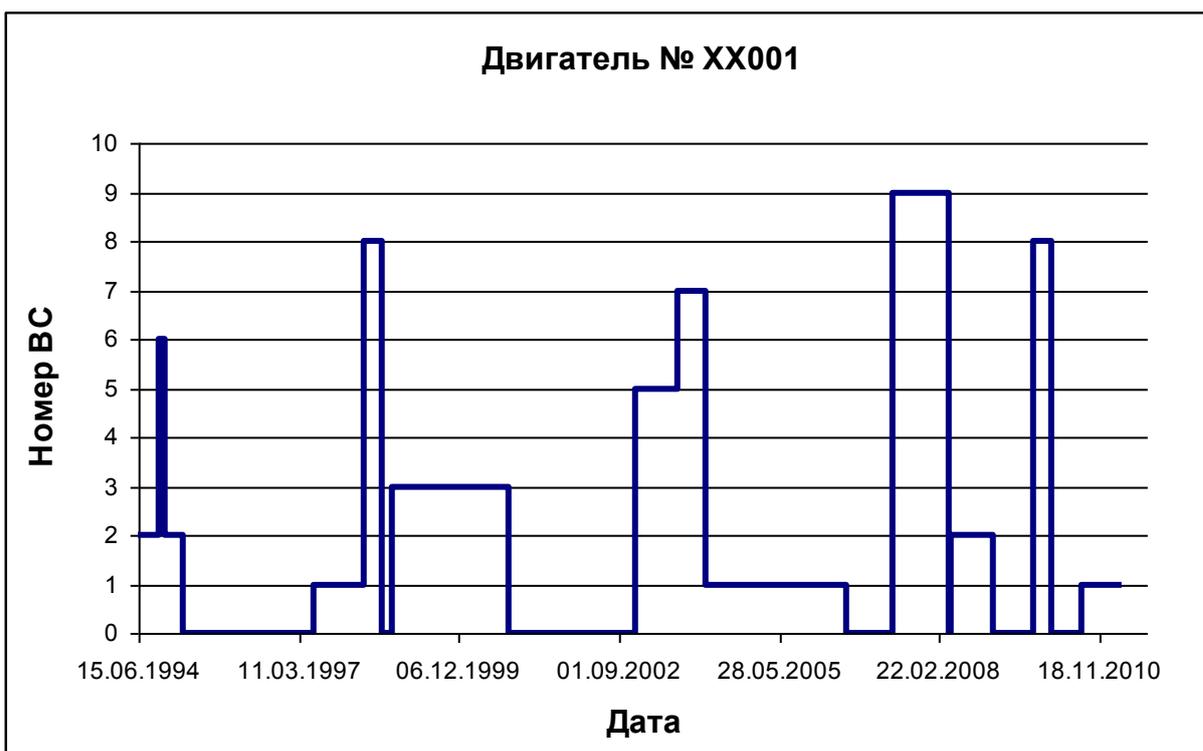


Рисунок 1.17 – Процесс движения двигателя № XX001 по парку ВС, при значении 0 двигатель находится в ремонте.

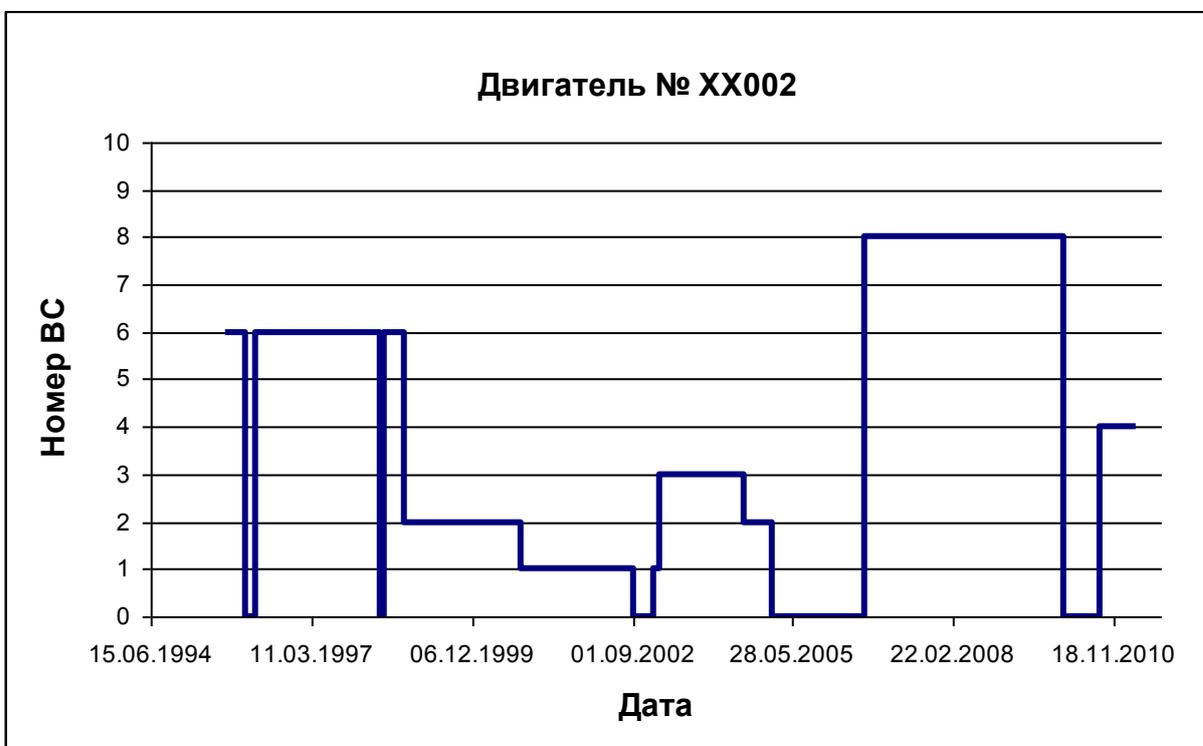


Рисунок 1.18 – Процесс движения двигателя № XX002 по парку ВС, при значении 0 двигатель находится в ремонте.

1.3.2 Методы долгосрочного прогнозирования по фактору «Человек»

Межгосударственный авиационный комитет утверждает, что более чем в 80% случаев к авиационным происшествиям приводят «отклонения в действиях авиационного персонала». При этом сочетание ошибок пилотов, диспетчеров и других специалистов имеют тенденцию к повторению. В большинстве случаев авиационных происшествий «Человеческий фактор» проявил себя через невнимательность, отсутствие взаимодействия и взаимопомощи в экипаже, ошибочные действия при пилотировании и навигации, малый опыт, а также усталость членов экипажа. Очевидно, что там, где работает человек, появляются ошибки. Их частота напрямую зависит от уровня подготовки, квалификации или опыта человека, и, следовательно, от возраста и от интенсивности полётов. Исходя из специфики авиационно-транспортной системы, человеку чаще всего приходится взаимодействовать с машиной.

Приведем классификацию некоторых характерных видов ошибок, допускаемых человеком на различных стадиях взаимодействия в системе «Человек-Машина» [17]:

- ошибки проектирования (в том числе и эргономики) обусловлены неудовлетворительным качеством проектирования;
- операторские ошибки возникают при неправильном выполнении обслуживающим персоналом установленных процедур или в тех случаях, когда правильные процедуры вообще не предусмотрены;
- ошибки технического обслуживания возникают в процессе эксплуатации и обычно вызваны некачественным ремонтом оборудования или неправильным монтажом вследствие недостаточной подготовленности обслуживающего персонала, неудовлетворительного оснащения необходимой аппаратурой и инструментами;

- ошибки управления коллективом возникают при недостаточном стимулировании специалистов, их психологическая несовместимость, не позволяющие достигнуть оптимального качества работы.

Также в системе по фактору «Человек» предусмотрено включение и иных групп.

В долгосрочной перспективе (от одного года до трёх лет) построить достоверную точечную оценку времени или вероятности возникновения тех или иных конкретных ошибок человека практически невозможно. Многие причины, порождающие ошибки, трудно формализуемы и не поддаются количественному анализу. Причём доступ к таким данным зачастую ограничен Федеральным Законом №152 «О персональных данных». Однако анализ таких данных в агрегированном виде позволяет добиться хороших результатов и не противоречит этому закону. При этом удастся учитывать динамику изменений с годами:

- в возрастных характеристиках лётного состава, в смысле анализа зависимостей возраста и статистики случаев авиационных событий и предпосылок к ним у лётного состава;
- в численности и составе летного состава;
- в налёте за крайний месяц (или другой интервал времени, выбираемый экспертно для КВС или других членов экипажа);
- в квалификационных составляющих, в смысле анализа зависимостей времени налёта на ВС и тренажерах.

При отработке различных авиационных ситуаций на тренажере производится сбор динамических и статических показателей летного состава, позволяющих оценивать целый ряд показателей. При этом одними из ключевых оцениваемых показателей являются: скорость реакции, ее изменение в ходе длительной нагрузки, процент правильности принятия решений в различных ситуациях (как штатных, так и нештатных) и другие факторы, вводимые в базу данных разрабатываемой АС по фактору «Человек» (см. перечень входных данных по фактору «Человек» в Приложении Г). Такие данные являются важной компонентой долгосрочного прогнозирования. Собранные данные позволяют провести анализ динамики таких

показателей летного состава на основе разработанных методов оценивания компенсаторов точечных процессов.

При долгосрочном прогнозировании по фактору «Человек» также применяются методы, описанные в разделе методов долгосрочного прогнозирования по фактору «Машина» 1.3.1.

В приведенных, в разделе 1.3.1 обозначениях, процесс N_t является считающим число ошибок (несоответствий или невыдерживаний параметров) члена экипажа по данным средств объективного контроля и данным с тренажера. Очевидно, что среди этих ошибок имелись как ошибки, которые приводили к каким-либо авиационным событиям (как в реальных полётах, так и виртуальных), так и не приводящие к ним в случайные моменты времени τ . В этом случае также можно определить процессы $\pi_s(t)$ и $\tilde{\pi}_s(t)$, которые являются условной «мгновенной» и «накопленной» вероятностями возникновения авиационного события, соответственно.

Тогда при вычислении «мгновенной» вероятности также может произойти ситуация, при которой значение этой вероятности и не достигнет уровня C^{kp} в каждом интервале, в то время как «накопленная» вероятность за весь интервал наблюдения может превысить уровень C^{kp} . Это значит, что вероятность скачка точечного процесса N_t за малые промежутки времени, является на всем промежутке времени незначительной, а за большой промежуток времени может приближаться к 1. Тогда задача долгосрочного прогнозирования также заключается в вычислении момента ζ_s при котором «накопленная» вероятность достигнет критический уровень C^{kp} .

Одними из методов анализа агрегированных данных по фактору «Человек» являются методы распознавания образов профилей – эмпирических «плотностей» распределения исследуемых параметров на глубину от года до 10 лет. При этом эти распределения также могут быть представлены и в виде эмпирических функций распределения (см. рисунок 1.19), что позволяет использовать методы аппроксимации на основе метрики Леви-Прохорова [14].

Пусть известен вектор $\vec{y}_1^{\Delta_1}$ наблюдений за период Δ_1 в год с номером l (например, первый квартал 2011 года), при этом требуется построить прогноз на следующий квартал (или другой определяемый экспертно период) $\vec{y}_1^{\Delta_2}$. Тогда по имеющейся статистике – векторы наблюдений $\vec{x}_1^{\Delta_1}, \dots, \vec{x}_1^{\Delta_n}, \vec{x}_2^{\Delta_1}, \dots, \vec{x}_2^{\Delta_n}, \dots, \vec{y}_1^{\Delta_1}$, методами корреляционного анализа выявляются зависимые с ними за тот же период времени в прошлом. В случае если таких векторов m штук, то задача построения долгосрочного прогноза сводится к процедуре нахождения коэффициентов $\alpha_1, \dots, \alpha_m$ в линейной комбинации векторов. Следовательно, получим для вектора $\vec{y}_1^{\Delta_1}$ следующее выражение:

$$\vec{y}_1^{\Delta_1} = \alpha_1 \cdot \vec{x}_i^{\Delta_1} + \dots + \alpha_m \cdot \vec{x}_j^{\Delta_1},$$

где $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$, а векторы $\vec{x}_i^{\Delta_1}, \dots, \vec{x}_j^{\Delta_1}$ – наблюдения в периоде Δ_1 за годы i, \dots, j .

Найденные коэффициенты линейной комбинации используются для построения оценки на выбранный предстоящий период по известным векторам наблюдений в прошлом, за тот же период как их линейная комбинация. Таким образом, получаем для вектора $\vec{y}_1^{\Delta_2}$ следующее выражение:

$$\vec{y}_1^{\Delta_2} = \alpha_1 \cdot \vec{x}_i^{\Delta_2} + \dots + \alpha_m \cdot \vec{x}_j^{\Delta_2},$$

где $\vec{x}_i^{\Delta_2}, \dots, \vec{x}_j^{\Delta_2}$ векторы наблюдений за период Δ_2 (следующий за периодом Δ_1) в годы i, \dots, j .

Подобный подход имеет место, поскольку в данной линейной схеме оператор сдвига обеспечивает развитие $\vec{x}_k^{\Delta_n}$ при $k \geq 1$.

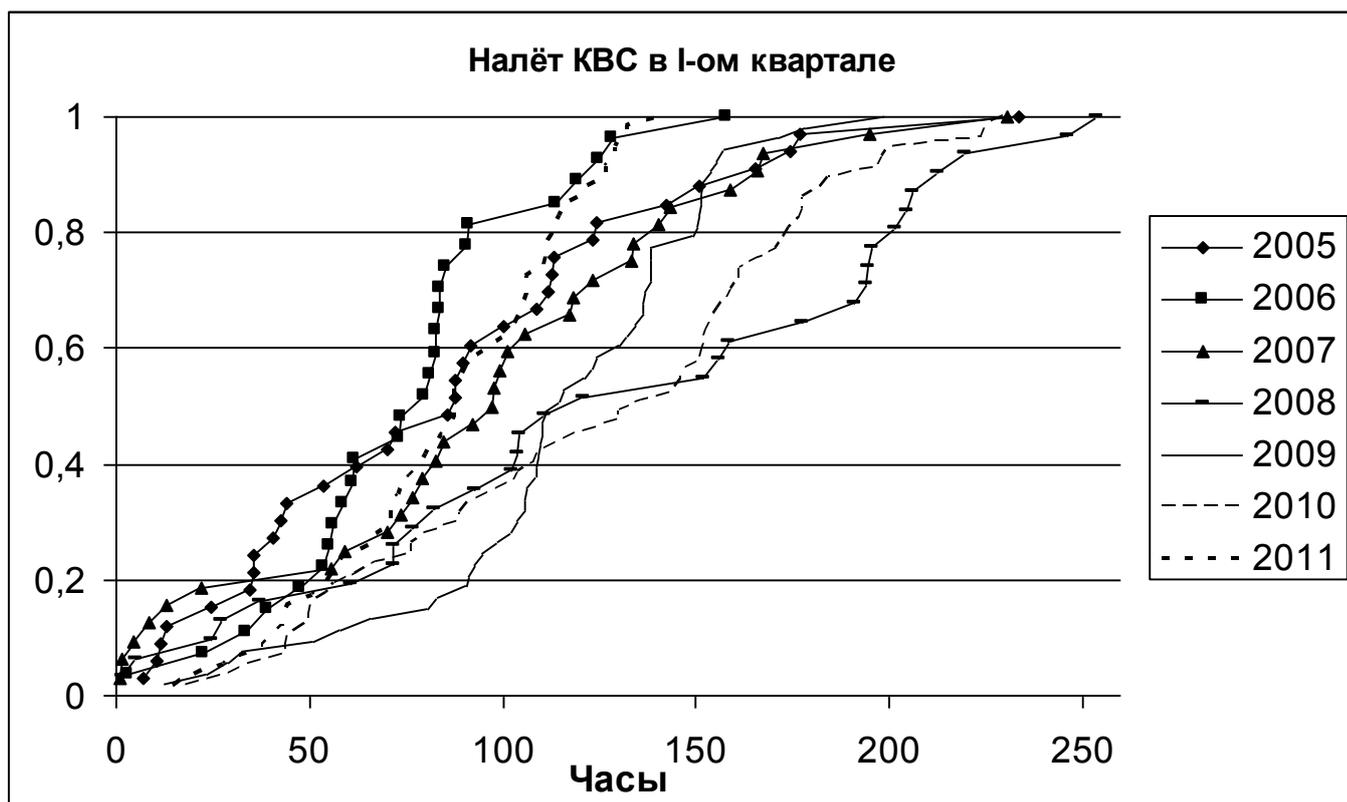


Рисунок 1.19 – Эмпирическая функция распределения налёта КВС в I-ом квартале по годам.

Эти методы позволяют, с одной стороны характеризовать эффективность качества подготовки летного состава (по оценке качественных изменений в наблюдаемых параметрах). С другой стороны – при известном коэффициенте угла наклона в линейном тренде (на интервале времени с момента наступления таких изменений) строить оценки экстраполяции.

Гистограмма распределения налёта на АН-124-100 у КВС за период с 2005-2011 годы представлена на рисунке 1.20.

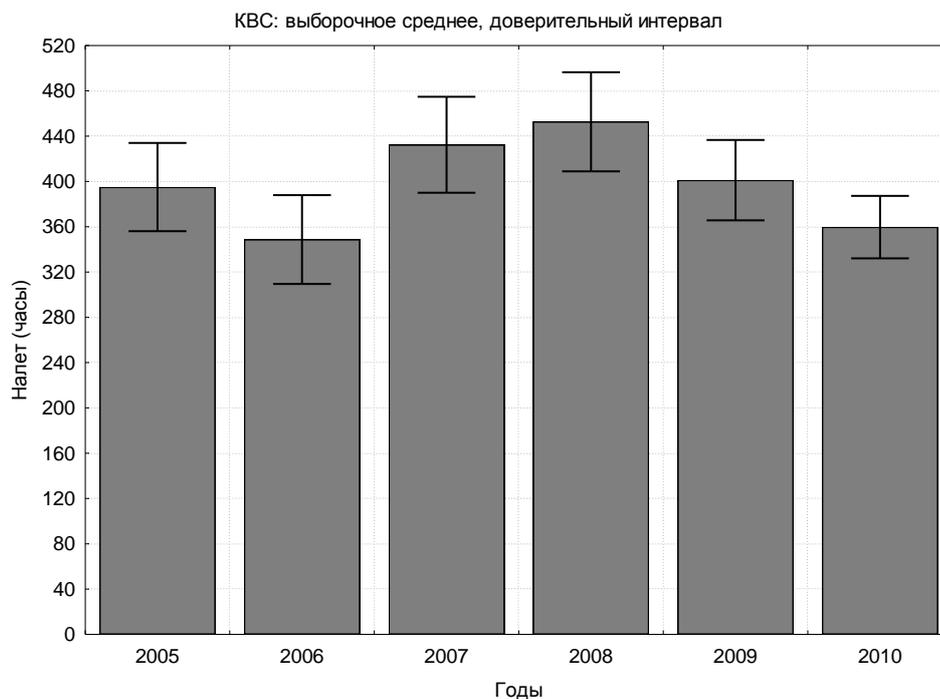


Рисунок 1.20 – Гистограммы налёта КВС по годам.

Доверительный интервал для среднего выборки при неизвестной дисперсии рассчитывается по следующему выражению:

$$\bar{X} - t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1} \frac{S_0}{\sqrt{n}} < a < \bar{X} + t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1} \frac{S_0}{\sqrt{n}},$$

где \bar{X} – выборочное среднее для выборки объема n , $t_{1-\frac{\alpha}{2}}^{n-1}$ – квантиль распределения

Стьюдента с $(n-1)$ степенью свободы уровня $1 - \frac{\alpha}{2}$, а S_0 – исправленная выборочная дисперсия.

В результате анализа корреляционных матриц для КВС и 2-х пилотов по налёту за 2005-2010 гг. (см. таблицу 1.9) по статистическому критерию установлено, что следующие корреляционные взаимосвязи являются значимыми при $p < 0,05$, с коэффициентом корреляции r .

Таблица 1.9 – Корреляционная матрица налёта КВС по годам.

Вероятность p : $P(r = 0) = p$						
КВС	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2005	-	0,766	0,650	0,665	0,009	0,927
2006	0,766	-	0,002	0,807	0,434	0,241
2007	0,650	0,002	-	0,068	0,001	0,998
2008	0,665	0,807	0,068	-	0,004	0,272
2009	0,009	0,434	0,001	0,004	-	0,598
2010	0,927	0,241	0,998	0,272	0,598	-

Также был проведен статистический анализ данных налета по кварталам с 2005 по 2011 годы. Результаты анализа подтвердили состоятельность предложенных методов анализа профилей (в частности, налёта) распределений «плотностей» (гистограмм). Таким образом, достоверно установлено наличие зависимостей, что позволяет применять методы, описанные выше. Корреляционная матрица для КВС представлена в таблице 1.10, для 2-го пилота – в таблице 1.11. Гистограммы налёта КВС по годам в I-ом квартале на рисунках 1.21 – 1.27, гистограммы налёта 2-го пилота по годам во II-ом квартале на рисунках 1.28 – 1.33.

Таблица 1.10 – Корреляционная матрица налёта КВС по годам по I -кварталу.

Вероятность p : $P(r = 0) = p$							
КВС	2005- 1кв	2006- 1кв	2007- 1кв	2008- 1кв	2009- 1кв	2010- 1кв	2011- 1кв
2005-1кв	-	0,013	0,744	0,958	0,893	0,085	0,365
2006-1кв	0,013	-	0,628	0,363	0,241	0,444	0,069
2007-1кв	0,744	0,628	-	0,757	0,190	0,741	0,733
2008-1кв	0,958	0,363	0,757	-	0,968	0,481	0,669
2009-1кв	0,893	0,241	0,190	0,968	-	0,890	0,046
2010-1кв	0,085	0,444	0,741	0,481	0,890	-	0,402
2011-1кв	0,365	0,069	0,733	0,669	0,046	0,402	-

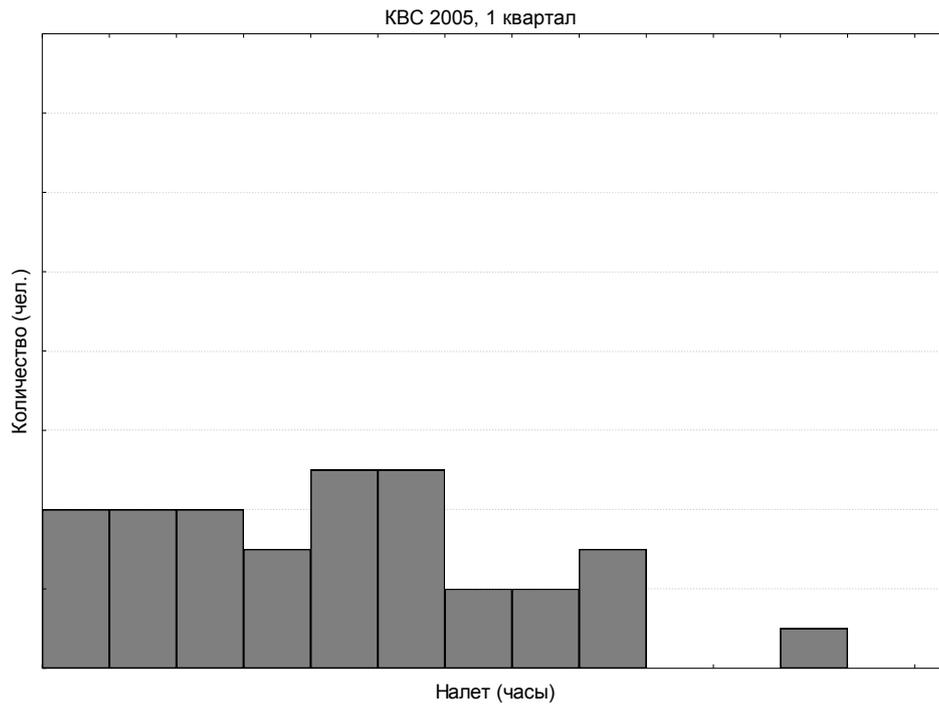


Рисунок 1.21 – Гистограммы налёта КВС за I-й квартал 2005 года.

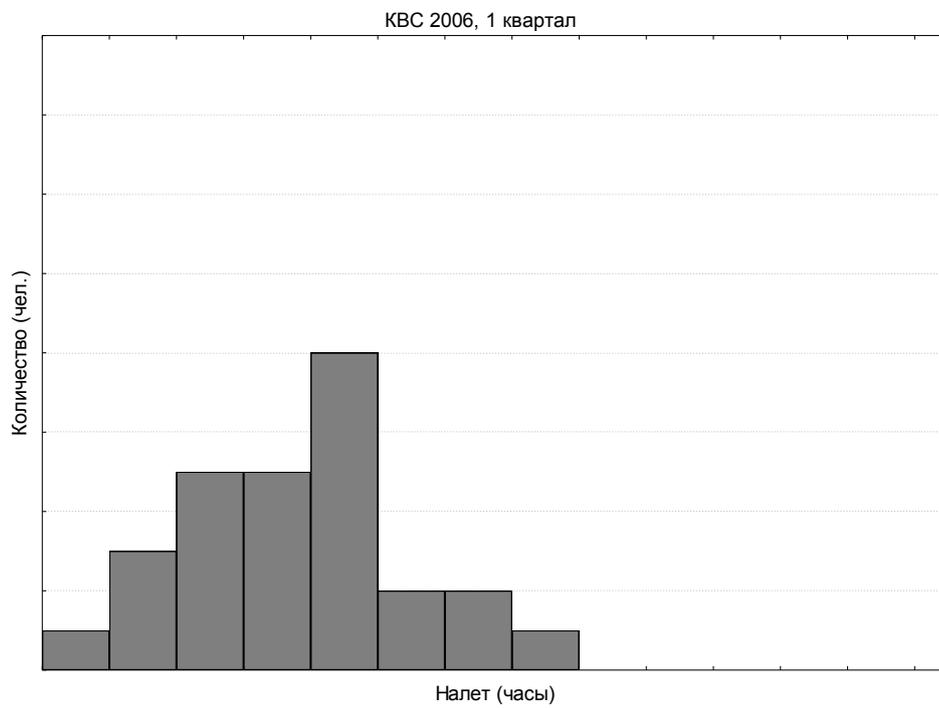


Рисунок 1.22 – Гистограммы налёта КВС за I-й квартал 2006 года.

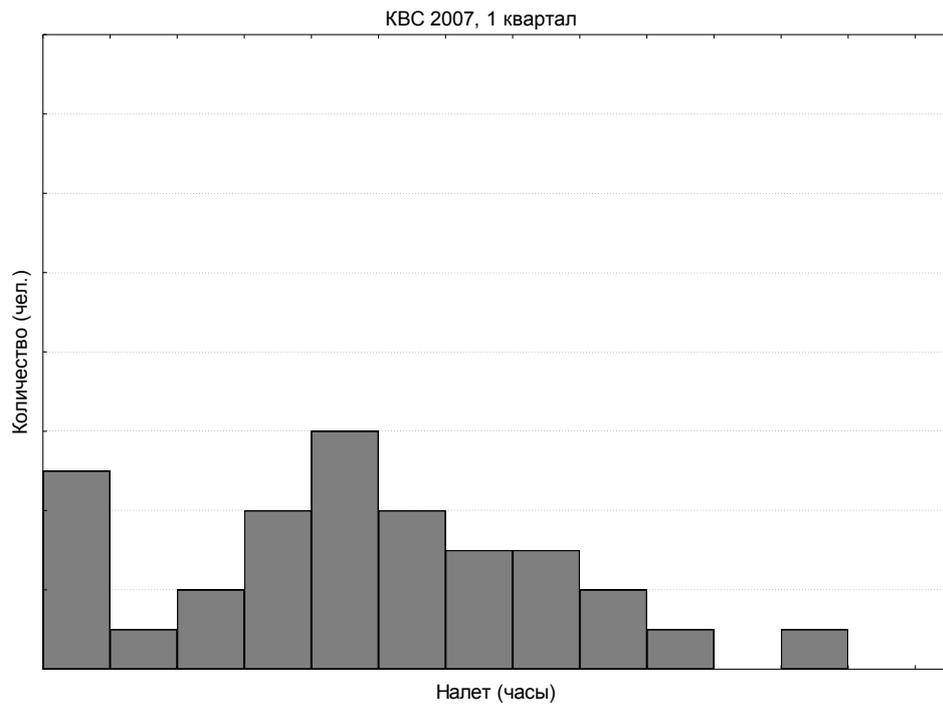


Рисунок 1.23 – Гистограммы налёта КВС за I-й квартал 2007 года.

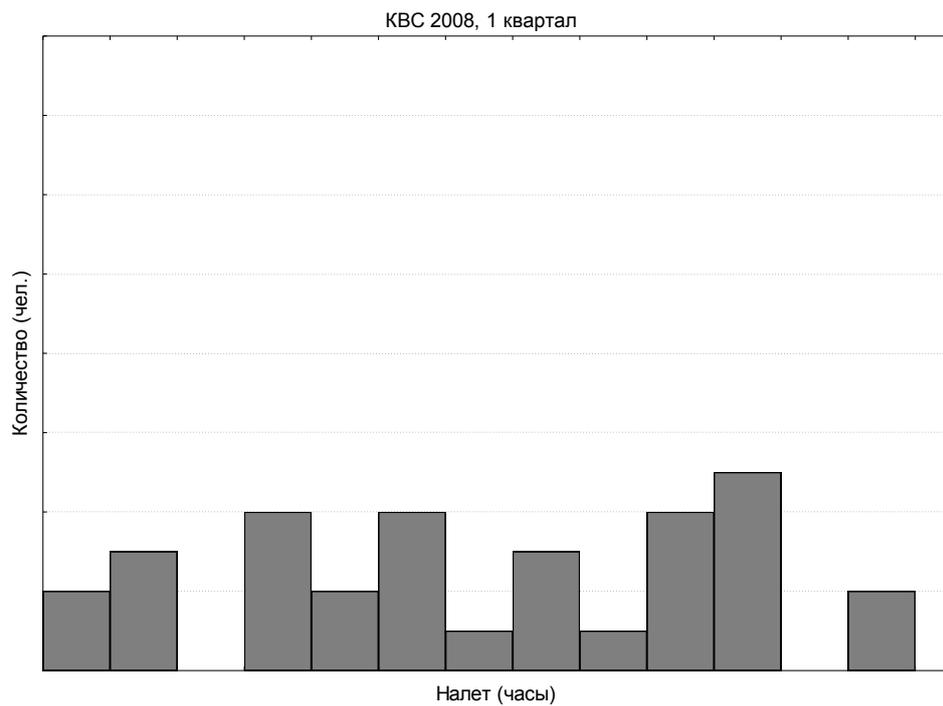


Рисунок 1.24– Гистограммы налёта КВС за I-й квартал 2008 года.

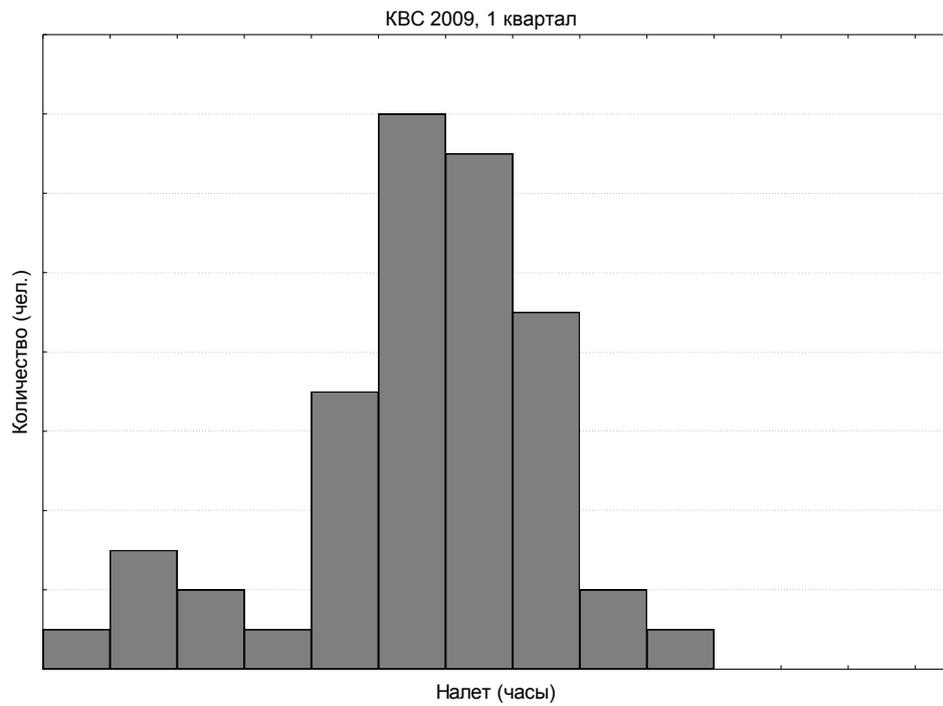


Рисунок 1.25 – Гистограммы налёта КВС за I-й квартал 2009 года.

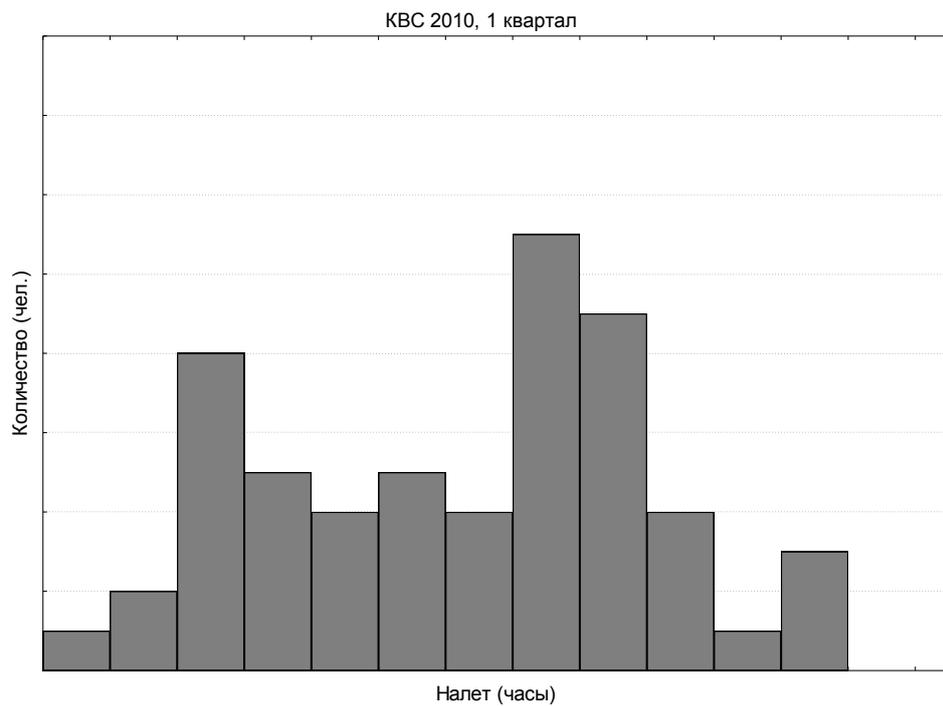


Рисунок 1.26 – Гистограммы налёта КВС за I-й квартал 2010 года.

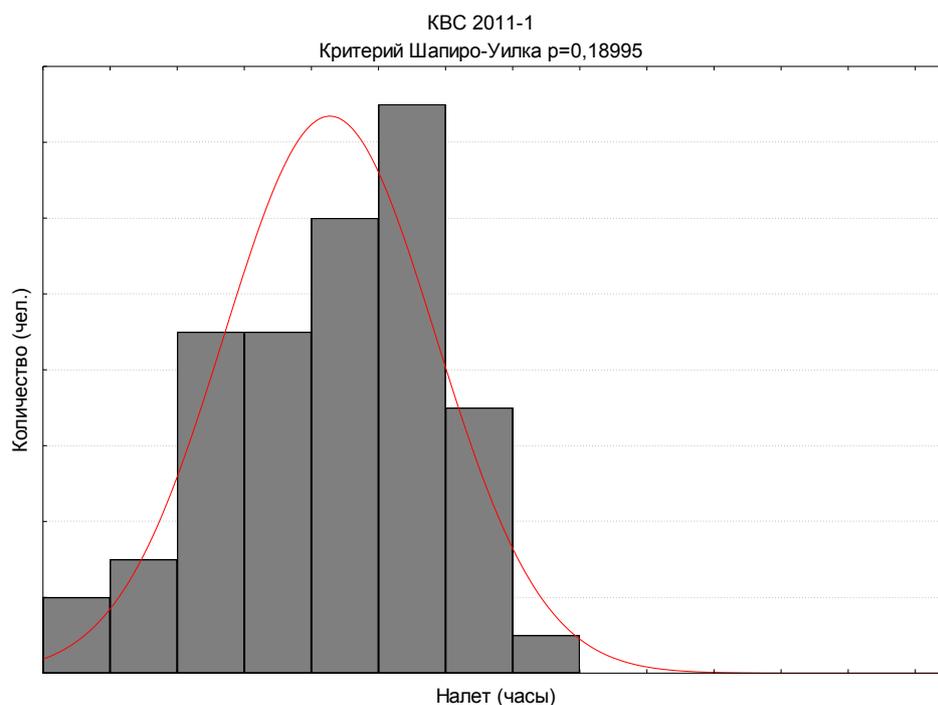


Рисунок 1.27 – Гистограммы налёта КВС за I-й квартал 2011 года.

Таблица 1.11 – Корреляционная матрица налёта 2-го пилота по годам по II-кварталу.

Вероятность $p: P\{ r = 0 \} = p$						
2 ПИЛОТ	2005- 2кв	2006- 2кв	2007- 2кв	2008- 2кв	2009- 2кв	2010- 2кв
2005-2кв	-	0,386	0,722	0,404	0,811	0,753
2006-2кв	0,386	-	0,484	0,233	0,968	0,656
2007-2кв	0,722	0,484	-	0,758	0,682	0,804
2008-2кв	0,404	0,233	0,758	-	0,078	0,006
2009-2кв	0,811	0,968	0,682	0,078	-	0,011
2010-2кв	0,753	0,656	0,804	0,006	0,011	-

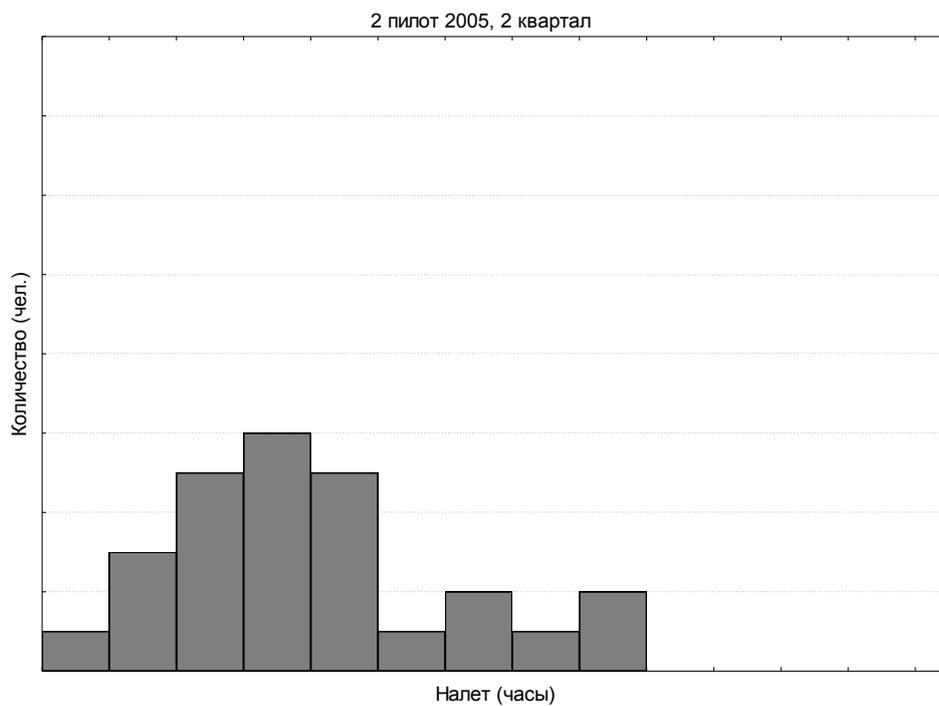


Рисунок 1.28 – Гистограммы налёта 2-го пилота за II-й квартал 2005 года.

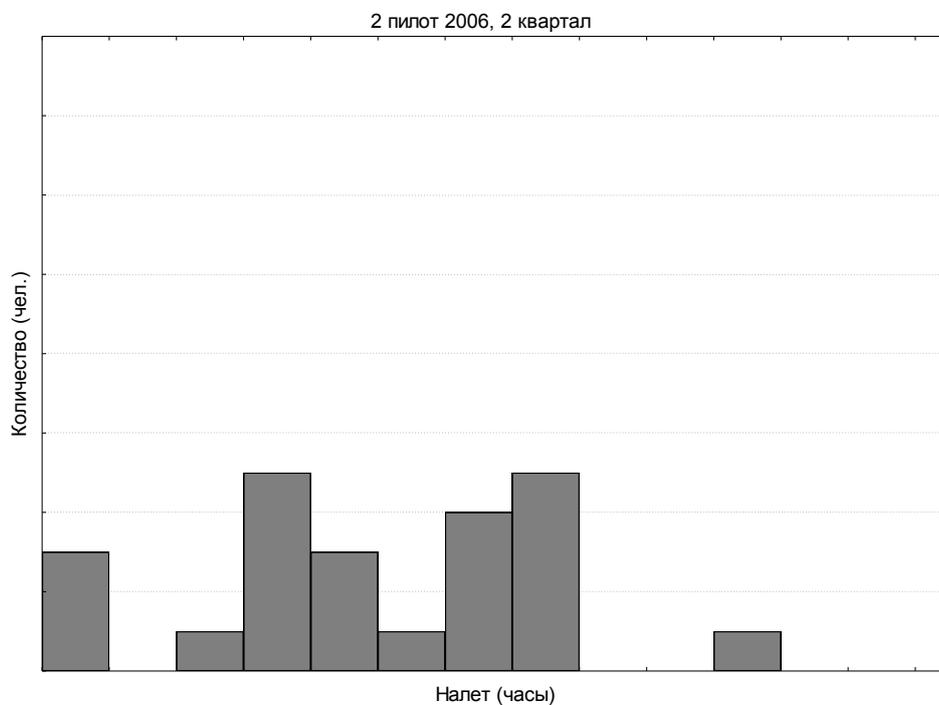


Рисунок 1.29 – Гистограммы налёта 2-го пилота за II-й квартал 2006 года.

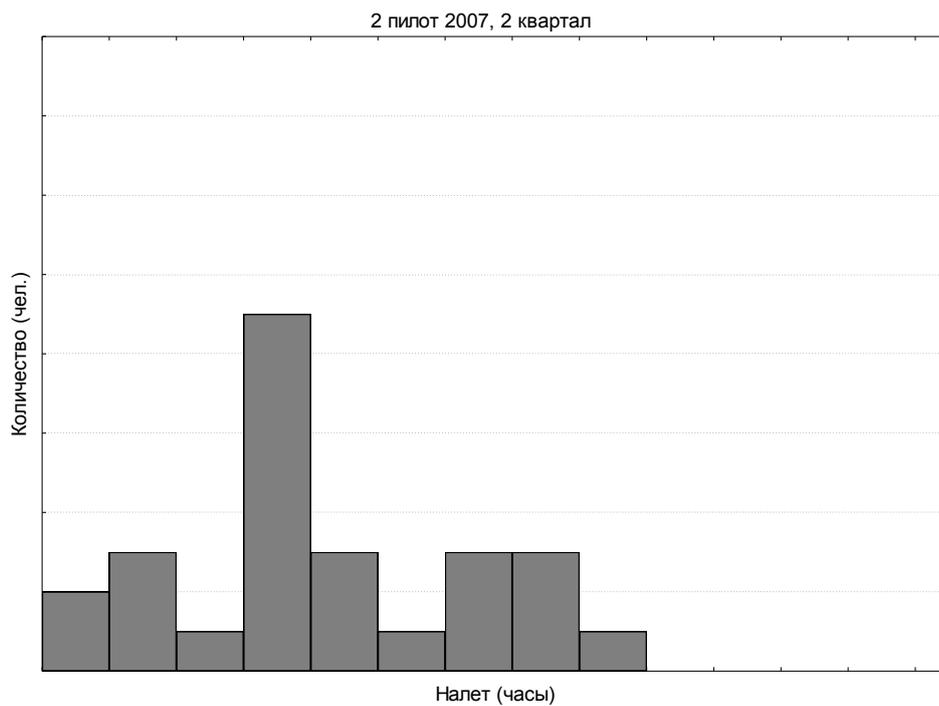


Рисунок 1.30 – Гистограммы налёта 2-го пилота за II-й квартал 2007 года.

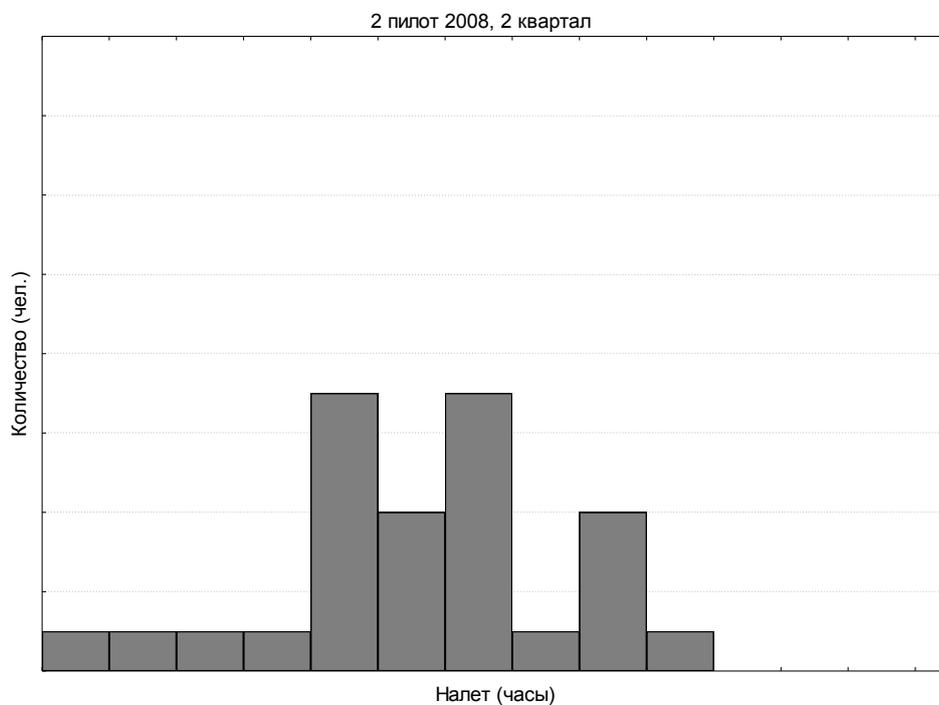


Рисунок 1.31 – Гистограммы налёта 2-го пилота за II-й квартал 2008 года.

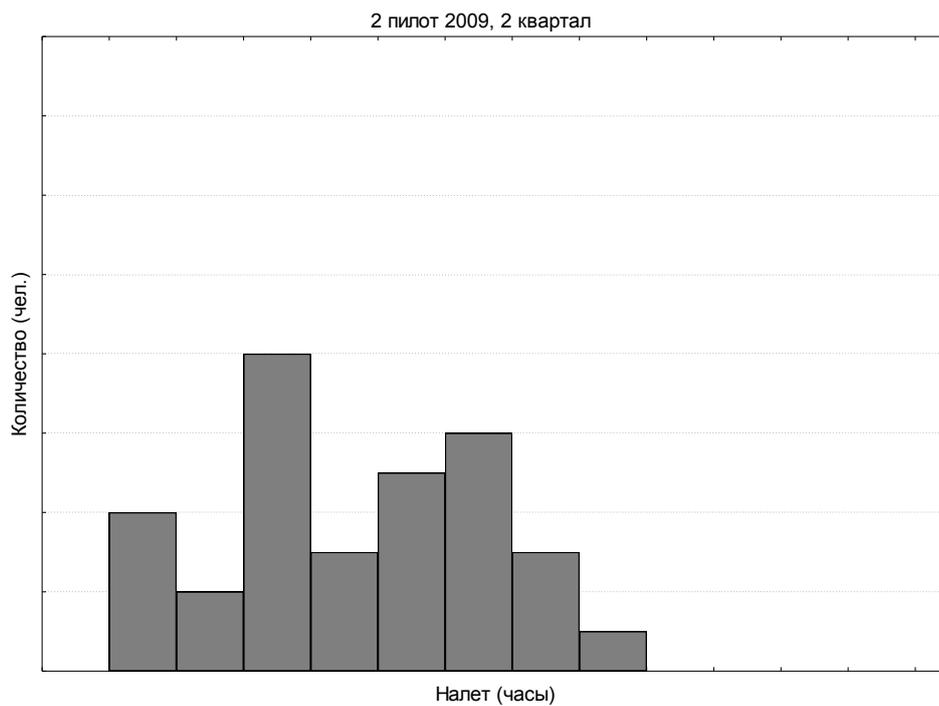


Рисунок 1.32 – Гистограммы налёта 2-го пилота за II-й квартал 2009 года.

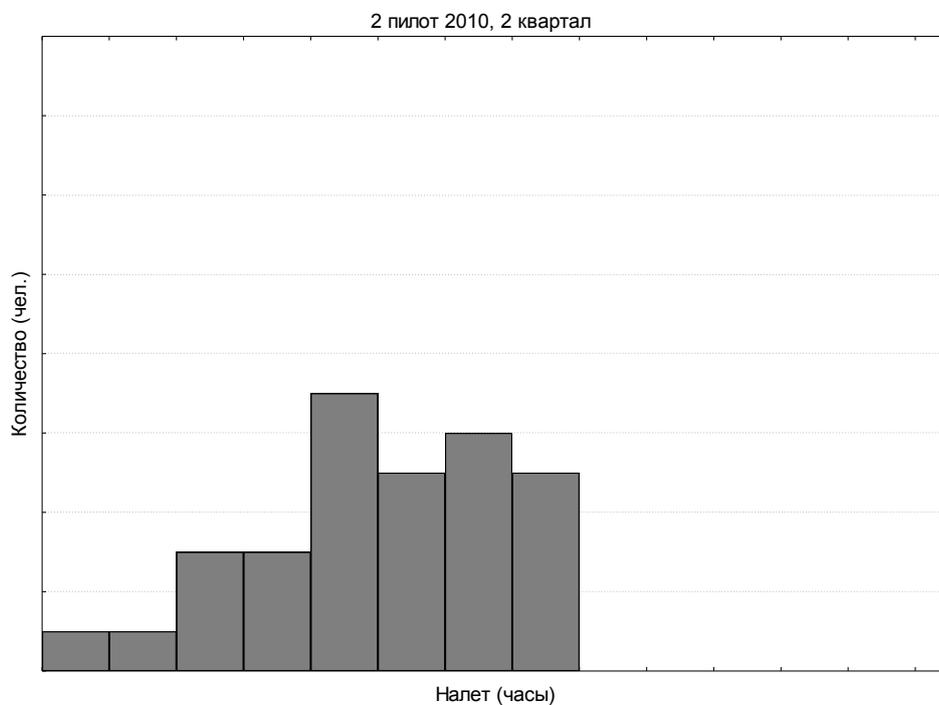


Рисунок 1.33 – Гистограммы налёта 2-го пилота за II-й квартал 2010 года.

1.3.3 Методы долгосрочного прогнозирования по фактору «Среда»

При построении долгосрочного прогноза по фактору «Среда Естественная» невозможно учитывать метеопрогноз, потому что достоверность такого рода прогнозов для больших промежутков времени на сегодняшний день не позволяют их использовать. В связи с этим, в качестве естественных факторов опасности предлагается рассматривать наличие зон турбулентности (интенсивности), вулканического пепла, песчаных бурь, тумана в районе аэродрома, массовых скоплений птиц, миграционных путей, массовых кормовых перелетов, источников корма, возможности обледенение ВС, повышение температуры на аэропорте взлета и посадки выше стандартных значений снижения тяговооруженности в районе аэродрома и в радиусе от 8 км от КТА в соответствии с их сезонной цикличностью и других известных периодических явлений.

По фактору «Среда Искусственная» в разрабатываемой АС предусмотрено учитывать следующие факторы опасности: недостатки в организации воздушного движения, службы организации перевозок, службы спецтранспорта и аэродромной механизации, службы авиационной безопасности, службы горюче-смазочных материалов, инженерно-авиационной службы, производственно-диспетчерской службы, в работе персонала авиационной метеорологической станции (гражданской), в работе персонала авиационного ремонтного завода, в работе персонала аэродромных служб, недостатки других служб гражданской авиации, военно-политические или террористические угрозы в районе аэродрома. При этом факторы опасности «Среды Искусственной» оцениваются экспертами (предположительно раз в полгода). Случаев глобальных изменений в организации одной из структур аэропорта в АС не предусмотрено. Однако, администратор, узнав об изменении ситуации в аэропорту, имеет возможность (в рамках разрабатываемой АС) приглашать экспертов, заполнявших оценки этих показателей ранее, изменять значения своих оценок.

При рассмотрении факторов опасности по «Среде Естественной» важным является прогноз изменения температуры, точки росы на отдельном аэродроме.

Рассмотрим математическую модель «Изменения температуры». Предполагается, что процесс значений температуры $X = (X_t)_{t \geq 0}$ является наблюдаемым. При этом сезонные изменения температуры предполагаются с некоторой (оцениваемой, но изначально не измеряемой, следовательно, не наблюдаемой) скоростью $Y = (Y_t)_{t \geq 0}$:

$$\begin{cases} dX_t = Y_t dt + dU_t \\ dY_t = -\lambda(X_t - X_{mid})dt \end{cases} \quad (1.122)$$

с начальными значениями X_0 и оцениваемым Y_0 . Здесь переменная λ определяет циклические изменение периодов сезона и находится (в первом линейном приближении) из соотношения:

$$\lambda = \omega^2, \quad T = \frac{2\pi}{\omega},$$

где T - есть длина цикла. Среднее значение температуры за год определяется переменной X_{mid} .

Процесс $U = (U_t)_{t \geq 0}$ определяет волатильность значений температуры и (в первом линейном приближении) является процессом Орнштейна-Уленбека (т.е. стационарным гауссовским шумом с экспоненциально затухающей корреляционной функцией):

$$dU_t = -\mu U_t dt + \sigma dW_t, \quad U_0 = 0 \quad (1.123)$$

Дисперсия процесса $U = (U_t)_{t \geq 0}$ равна:

$$D_U(t) = D_U \cdot (1 - e^{-2\mu t}), \quad (1.124)$$

где $D_U = \frac{\sigma^2}{2\mu}$. Оценкой дисперсии является экспериментально определяемая (в силу эргодичности процесса Орнштейна-Уленбека) величина квадратичного уклонения, полученного по формуле:

$$D = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{[TN]} (\tilde{X}_{t_i} - x_i)^2 \Delta, \quad (1.125)$$

где x_i - экспериментальные значения за рассматриваемый период, $\Delta = \frac{1}{N}$ и N - дискретность разбиения с $t_{i+1} - t_i = \Delta$. Процесс $\tilde{X} = (\tilde{X}_t)_{t \geq 0}$ является синусоидой и описывается системой:

$$\begin{cases} d\tilde{X}_t = \tilde{Y}_t dt \\ d\tilde{Y}_t = -\lambda(\tilde{X}_t - X_{mid}) dt, \tilde{Y}_0 = Y_0. \end{cases} \quad (1.126)$$

Для проверки адекватности и использования в АС построенной математической модели рассматривается ее дискретный аналог. Переход от системы (1.122)-(1.123), (1.126) к дискретной модели разбивается на два этапа. На первом этапе производится замена непрерывной области $0 \leq t \leq T$ на дискретную – совокупность конечного числа точек $N \in \mathbb{N}, T \in \mathbb{R}^+$. Рассмотрим совокупность точек $\left\{ t_k : t_k = \frac{k}{N}, k = 0, 1, \dots, [N \cdot T] \right\}$, (где $[N \cdot T]$ – целая часть числа $N \cdot T$). Тогда такое множество представляет собой равномерную разностную сетку с шагом

дискретизации $\Delta = \frac{1}{N}$. На втором этапе перехода от непрерывной модели к дискретной строятся дискретные аналоги дифференциальных уравнений (с заменой дифференциала соответствующими конечными разностями). Таким образом, для каждого k происходит имитационное моделирование всех дискретных аналогов построенных процессов ($0 \leq k \leq [NT]$):

$$\begin{cases} \bar{X}_{k+1} = \bar{X}_k + \bar{Y}_k \Delta + \bar{U}_k \\ \bar{Y}_{k+1} = \bar{Y}_k - \lambda(\bar{X}_k - X_{mid}) \Delta \end{cases}, \quad (1.127)$$

$$\bar{U}_{k+1} = \bar{U}_k - \mu \bar{U}_k \Delta + \sigma \varepsilon_k, \quad (1.128)$$

$$\begin{cases} \tilde{\bar{X}}_{k+1} = \tilde{\bar{X}}_k + \tilde{\bar{Y}}_k \Delta \\ \tilde{\bar{Y}}_{k+1} = \tilde{\bar{Y}}_k - \lambda(\tilde{\bar{X}}_k - X_{mid}) \Delta \end{cases} \quad (1.129)$$

с начальными значениями $\bar{X}_0 = X_0$, $\bar{Y}_0 = Y_0$, $\bar{U}_0 = U_0$, $\tilde{\bar{X}}_0 = X_0$, $\tilde{\bar{Y}}_0 = Y_0$ описанными выше. В выражении (1.128) ε_k – последовательность независимых гауссовских случайных величин с нулевым средним и дисперсией $\frac{1}{N}$.

Переменные σ и μ определяются из следующих соображений:

1) параметр μ определяется из предположения, что среднее время установления в переходных режимах температуры или точки росы

$$\tau = \frac{1}{\mu}; \quad (1.30)$$

2) предполагается, что адекватность модели обеспечивается совпадением первых двух моментов и, следовательно

$$D = D_U \quad . \quad (1.131)$$

Так как параметр μ определяется по первому пункту, то из (1.131) определяется σ :

$$\sigma = \sqrt{2D_U \mu} = \sqrt{2D\mu} . \quad (1.132)$$

Адекватность построенной модели (т.е. соответствие имитированных результатов реальным данным, полученных в экспериментах) так же проверяется в АС при ее эксплуатации на основе сопоставления реального изменения температуры за предыдущие 10 лет и модельной кривой.

В рамках дискретного описания модели «Изменение температуры» и в силу теоремы о диффузионной аппроксимации [18], выполняется слабая сходимость $(\bar{X}_{[N,t]}; \bar{\tilde{X}}_{[N,t]}; \bar{Y}_{[N,t]}; \bar{U}_{[N,t]})_{0 \leq t \leq T} \xrightarrow{L} (X_t; \tilde{X}_t; Y_t; U_t)_{0 \leq t \leq T}$ при $N \rightarrow \infty$, и, следовательно, система (1.127)-(1.129) является дискретным аналогом модели (1.122) – (1.123), (1.126). Это утверждение носит теоретический характер, и при выборе реализаций алгоритма долгосрочного прогнозирования по рассматриваемым факторам опасности предполагает настраиваемый (в т.ч. адекватно в процессе эксплуатации) уровень дискретности. Адаптация осуществляется при сравнении модельных и экспериментальных постериорных данных и в случае нарушения приведенных ниже неравенств (1.133)-(1.134) адаптивным последовательным увеличением N (в алгоритме реализовано увеличение в 10 раз).

Выбор дискретности N в моделях (1.127)-(1.129) и объем имитируемых реализаций L осуществлялся для обеспечения уровня отличия дискретной и непрерывной моделей не выше 0.05, т.е.

$$\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L |\bar{X}_{[N \cdot i]} - x_i| < 0.05. \quad (1.133)$$

Дискретизация увеличивается до тех пор, пока изменения финальных характеристик не будут находиться в предварительно заданном доверительном интервале [19].

Для удовлетворения условия (1.133) выбираем значение $N = 10000$.

На рисунках 1.34, 1.35 показано изменение модельной кривой в зависимости от дискретности и определено значение невязки (Таблица 1.12):

$$\varepsilon = |A - \max_{0 \leq k \leq [NT]} |\bar{X}_k - X_{mid}| \leq 0,01, \quad (1.134)$$

где A - значение амплитуды модельной кривой, $0 \leq k \leq [NT]$.

Таблица 1.12 – Зависимость невязки ε от дискретности N .

N	10	10^2	10^3	10^4	10^5
ε	2,33	$2,18 \cdot 10^{-1}$	$2,17 \cdot 10^{-2}$	$2,21 \cdot 10^{-3}$	$2,58 \cdot 10^{-4}$

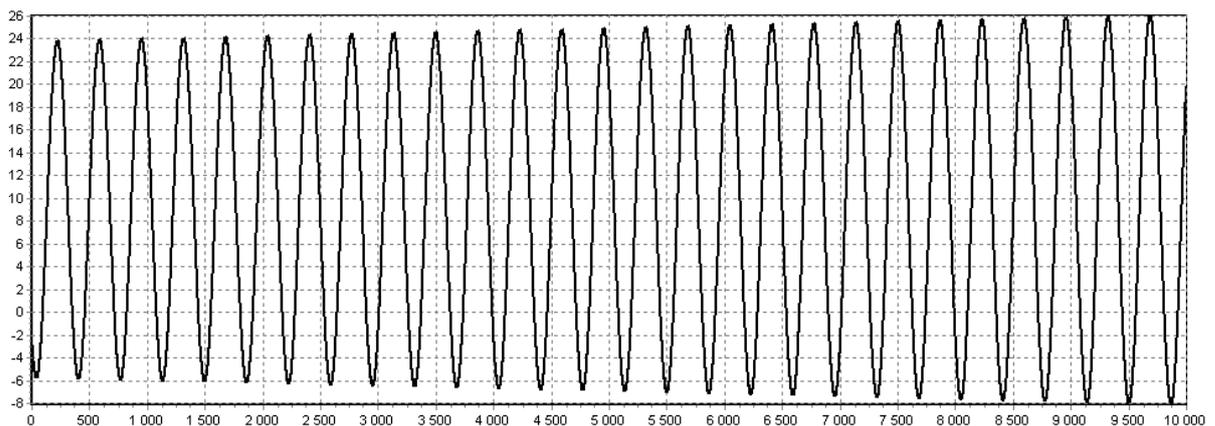


Рисунок 1.34 – Траектория процесса \bar{X}_k в соответствии с системой (1.129)

при дискретности модели $N = 10$ и параметрах: $X_0 = -2$; $Y_0 = -0,17$; $\lambda = 2,98 \cdot 10^{-4}$;

$$T = 10000; X_{mid} = 9.$$

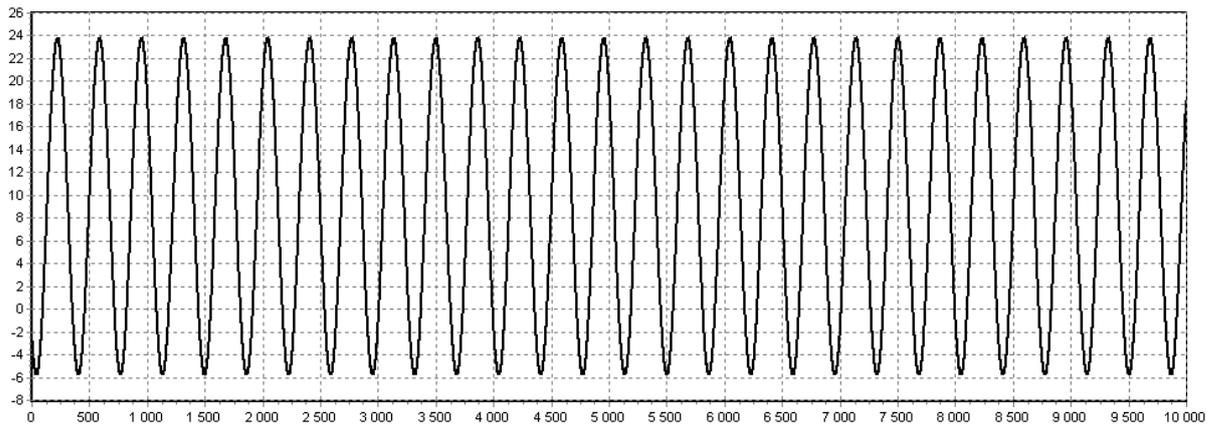
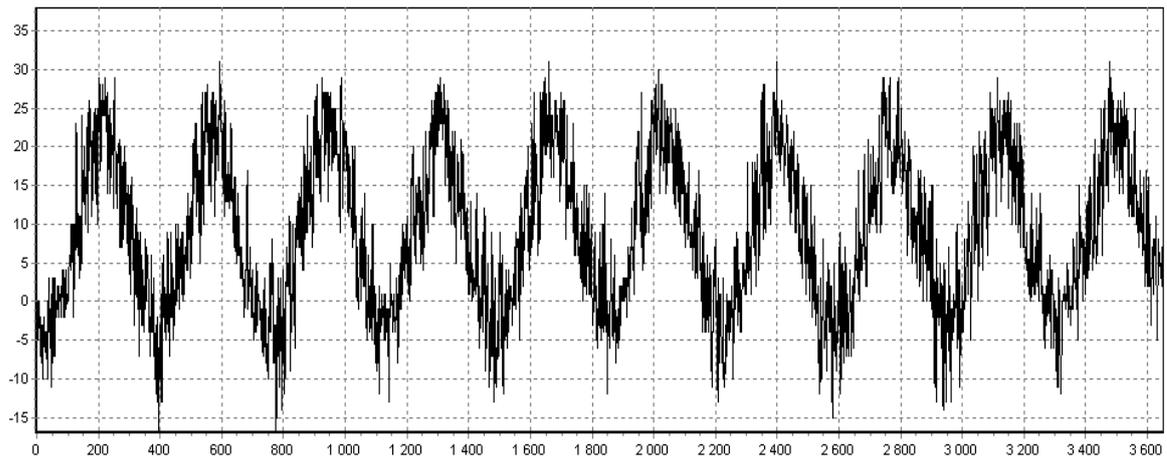
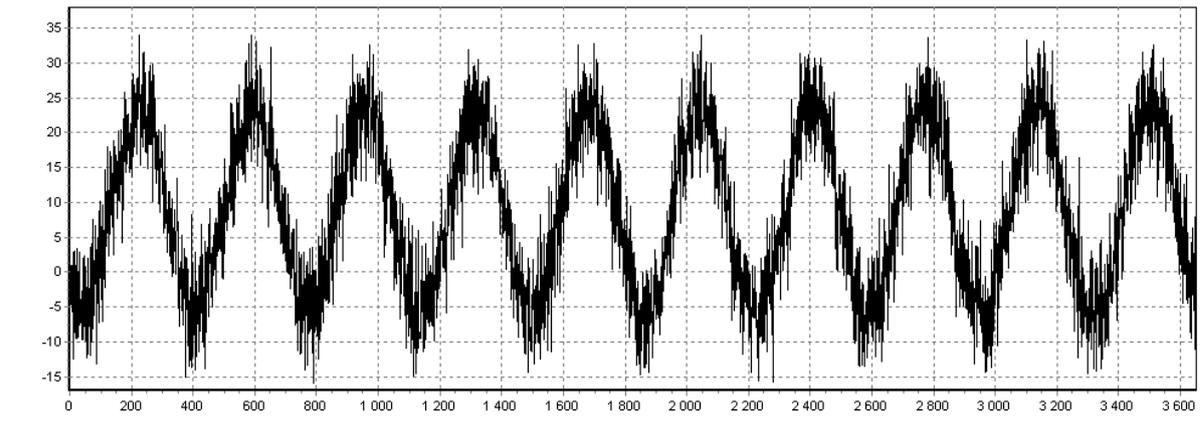


Рисунок 1.35 – Траектория процесса \tilde{X}_k в соответствии с системой (1.129) при дискретности модели $N = 10000$ и параметрах: $X_0 = -2$; $Y_0 = -0,17$; $\lambda = 2,98 \cdot 10^{-4}$; $T = 10000$; $X_{mid} = 9$.

Данная имитационная модель была применена для моделирования показателей температуры и точек росы для аэропортов: Гандер, Богота, Кувейт. Результаты представлены на рисунках 1.36-1.45.

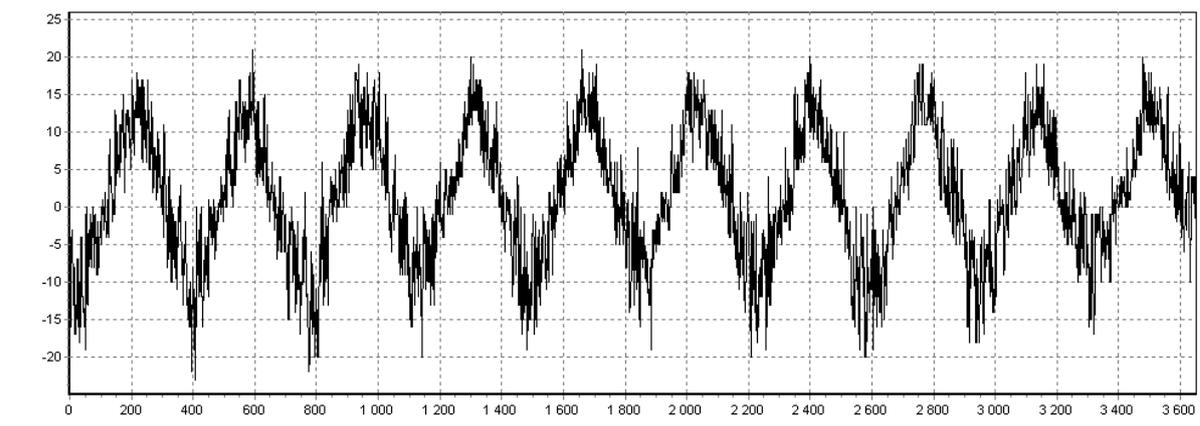


а)

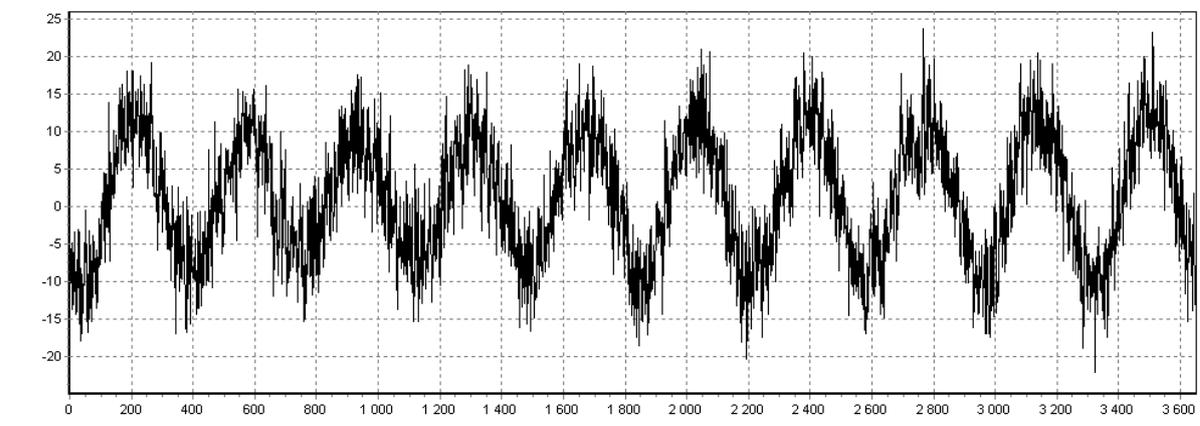


б)

Рисунок 1.36 – Изменение максимальной за сутки температуры в районе аэропорта Гандер за 10 лет (а – экспериментальная кривая, б – модельная кривая).

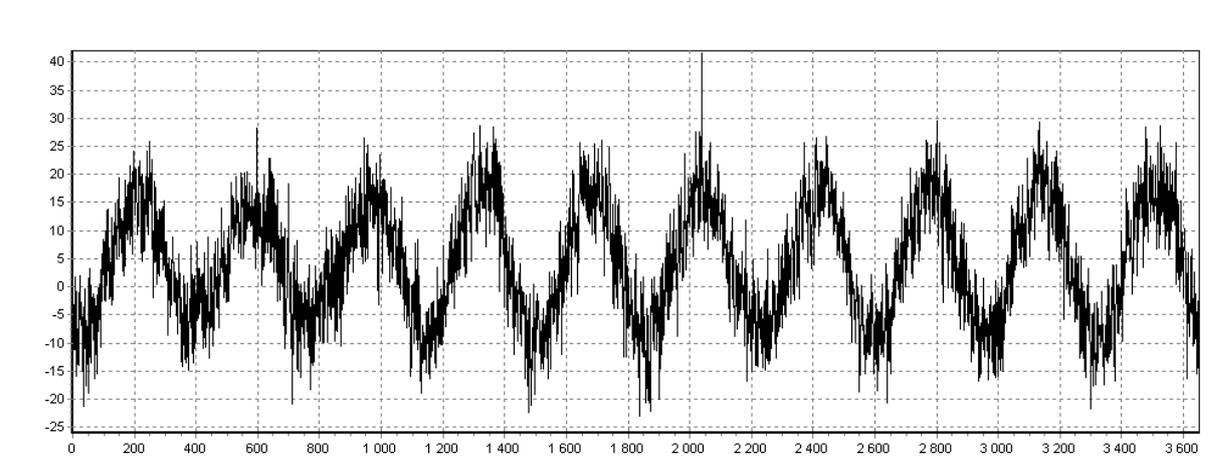


а).

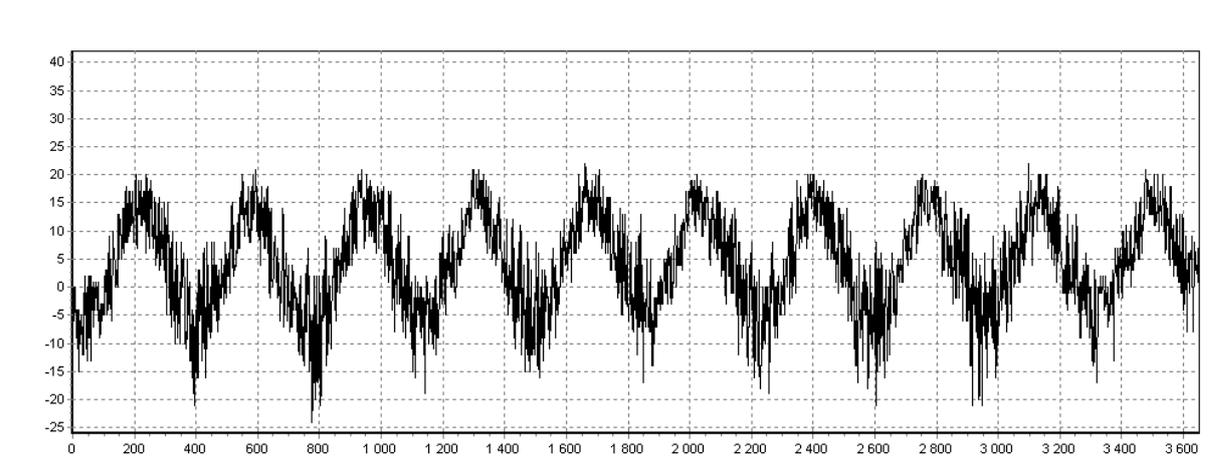


б).

Рисунок 1.37. Изменение минимальной за сутки температуры в районе аэропорта Гандер за 10 лет (а – экспериментальная кривая, б – модельная кривая).

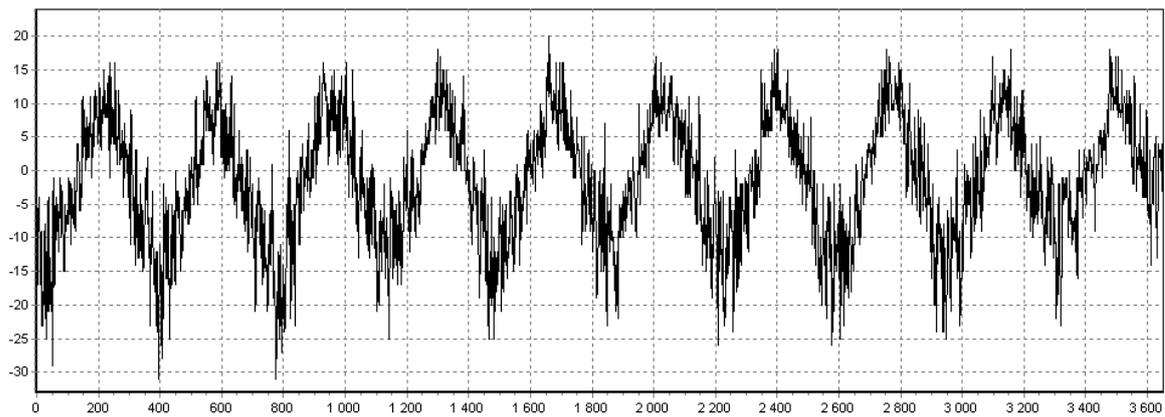


а)

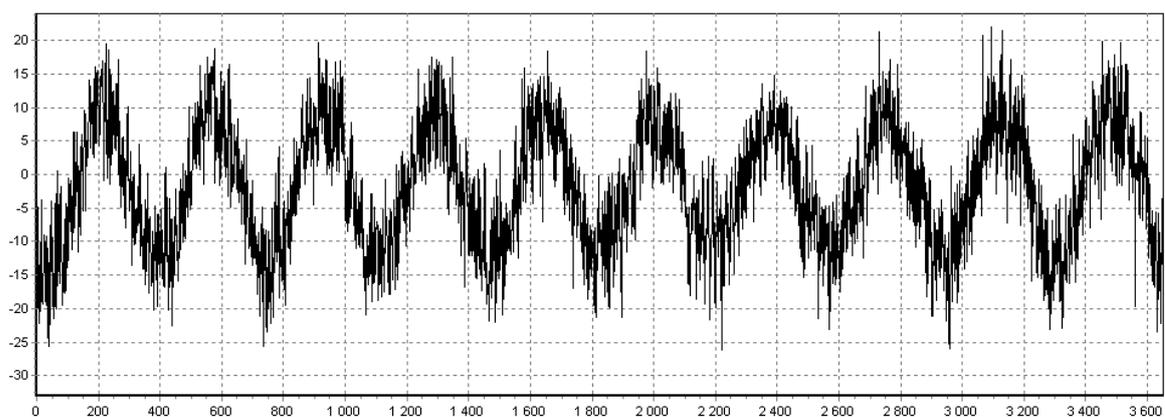


б).

Рисунок 1.38.– Изменение максимального за сутки значения точки росы в районе аэропорта Гандер за 10 лет (а – экспериментальная кривая, б – модельная кривая).

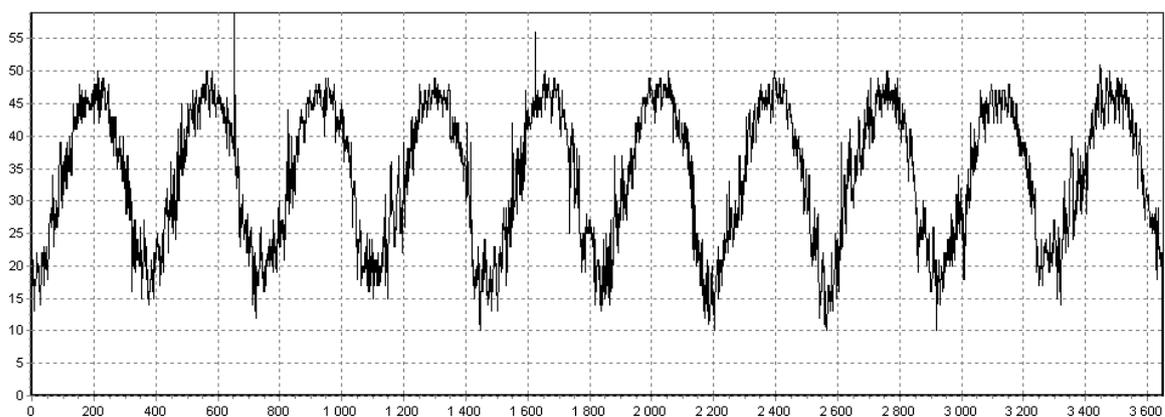


а).

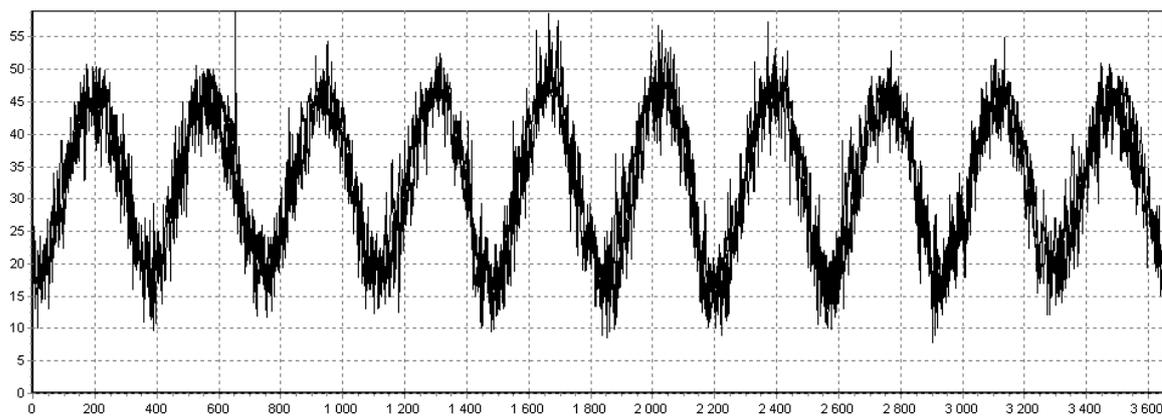


б).

Рисунок 1.39 – Изменение минимального за сутки значения точки росы в районе аэропорта Гандер за 10 лет (а – экспериментальная кривая, б – модельная кривая).

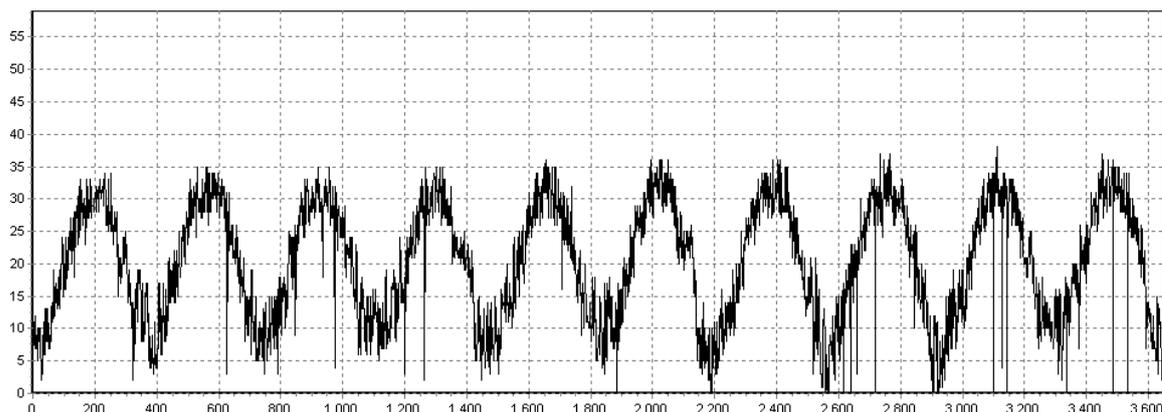


а).

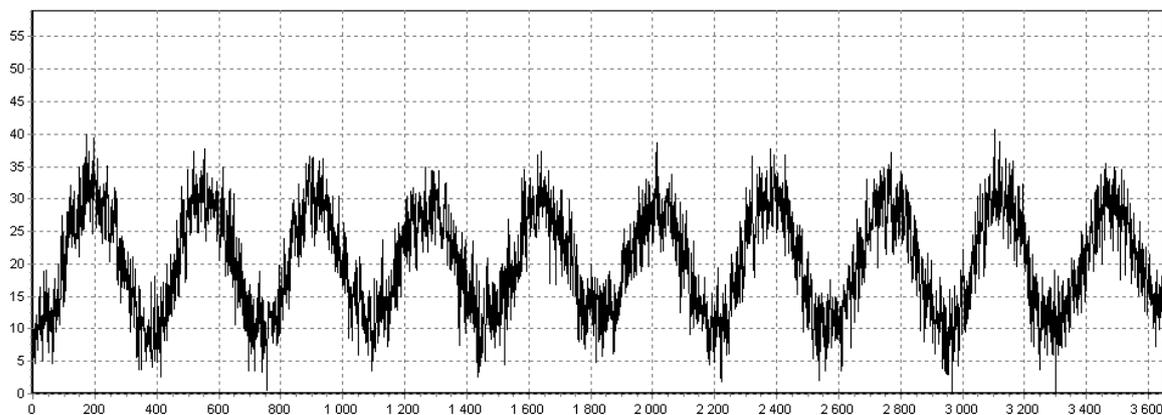


б).

Рисунок 1.40 – Изменение максимальной за сутки температуры в районе аэропорта Кувейт за 10 лет (а – экспериментальная кривая, б – модельная кривая).

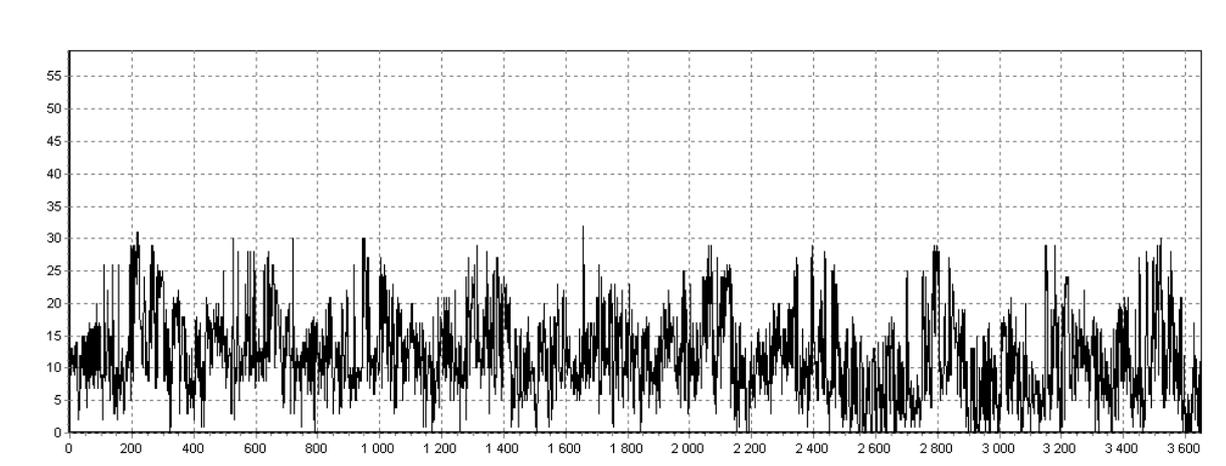


а).

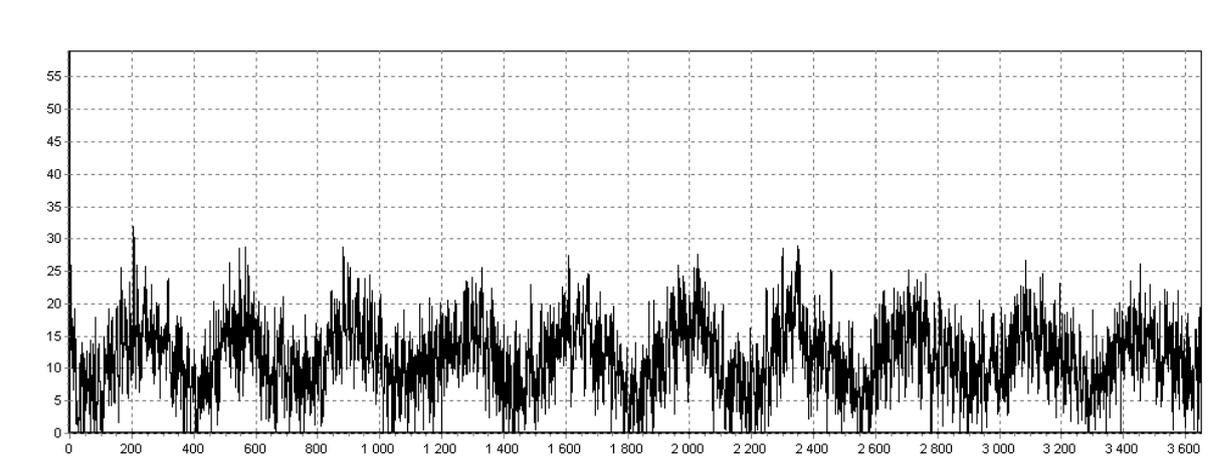


б).

Рисунок 1.41 – Изменение минимальной за сутки температуры в районе аэропорта Кувейт за 10 лет (а – экспериментальная кривая, б – модельная кривая).

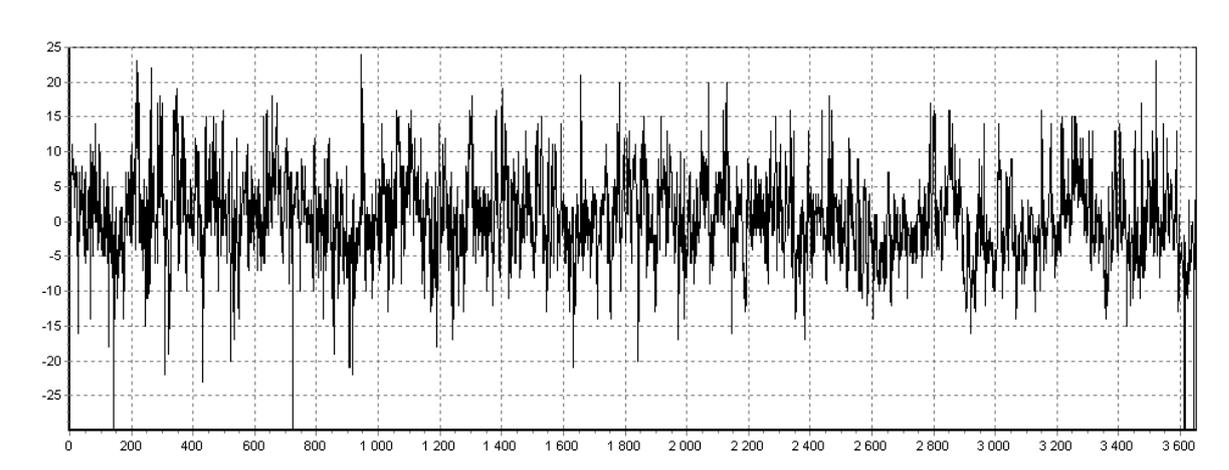


а).

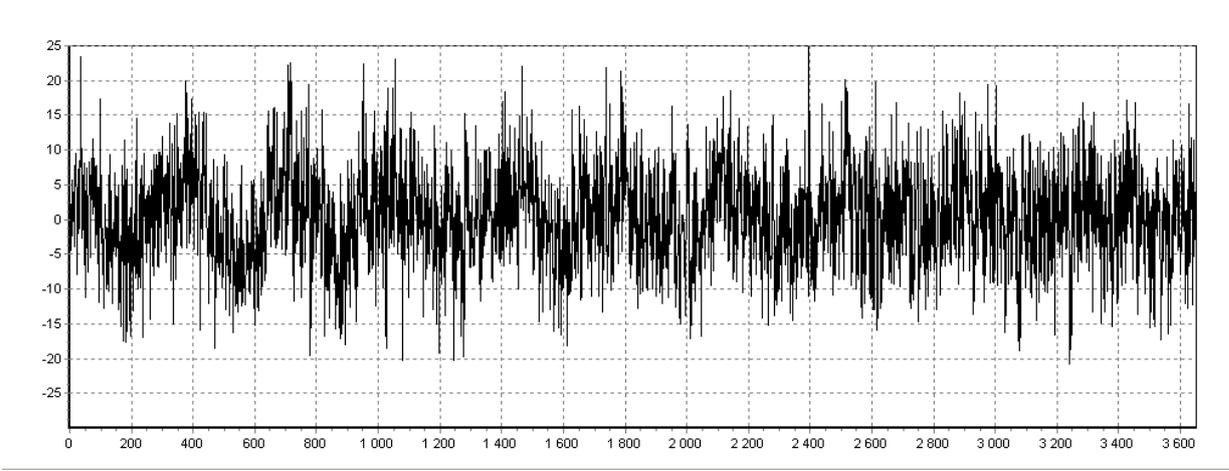


б).

Рисунок 1.42 – Изменение максимального за сутки значения точки росы в районе аэропорта Кувейт за 10 лет (а – экспериментальная кривая, б – модельная кривая).

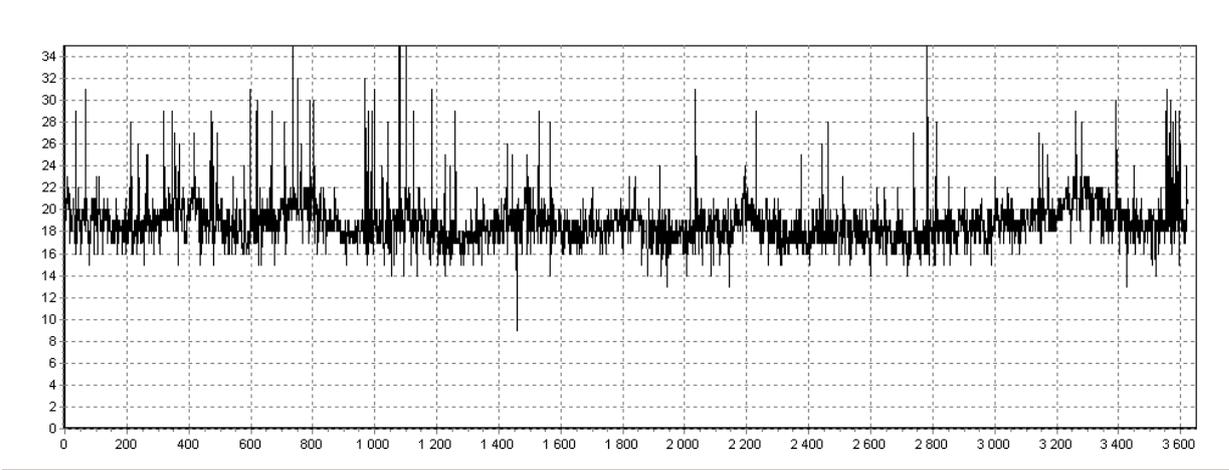


а)

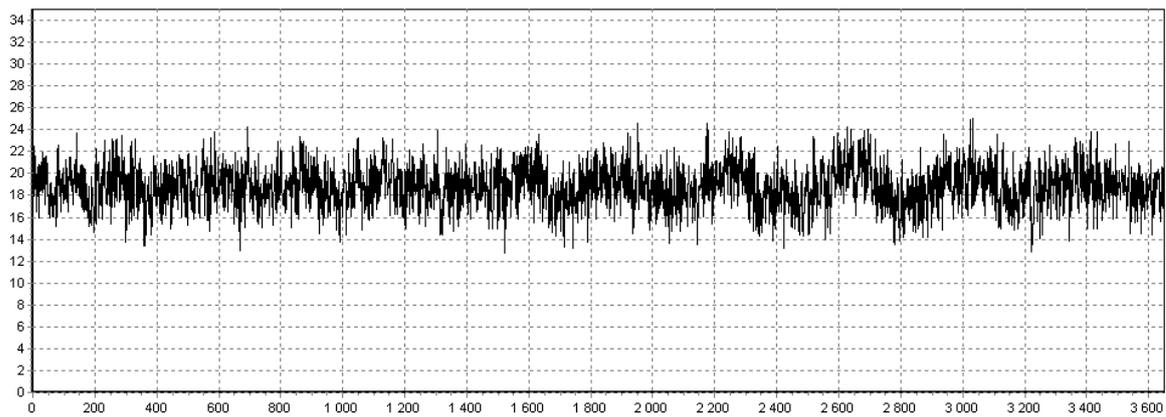


б)

Рисунок 1.43 – Изменение минимального за сутки значения точки росы в районе аэропорта Кувейт за 10 лет (а – экспериментальная кривая, б – модельная кривая).

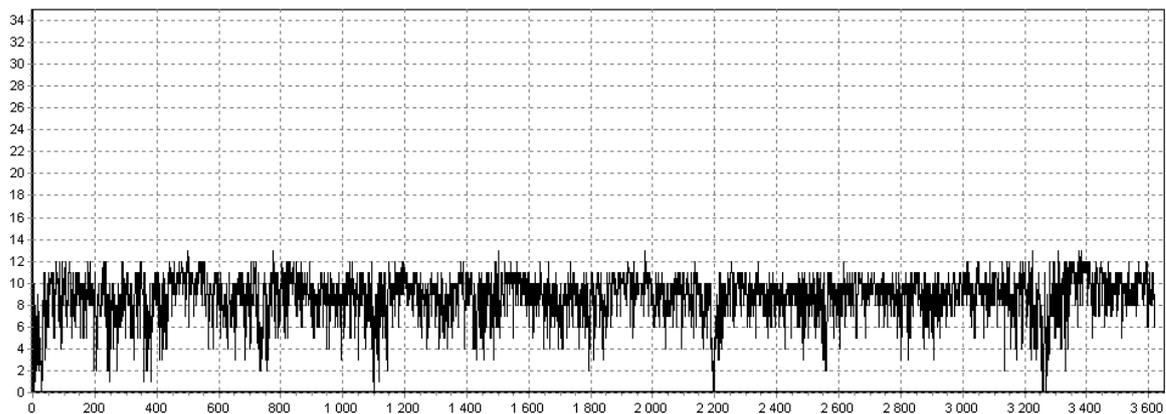


а).



б).

Рисунок 1.44 – Изменение максимальной за сутки температуры в районе аэропорта Богота за 10 лет (а – экспериментальная кривая, б – модельная кривая).



а).



б).

Рисунок 1.45 – Изменение минимальной за сутки температуры в районе аэропорта Богота за 10 лет (а – экспериментальная кривая, б – модельная кривая).

В приложении Л приведен листинг и окна ввода программы данной имитационной модели.

Рассмотрим отдельно факторы опасности «Среды Естественной» учитывающиеся при долгосрочном прогнозировании.

Наличие тумана в районе аэродрома. Прогнозирование периода возможного наличия тумана позволит провести управленческие решения при организации рейса. Наличие тумана с вероятностью q^1 определяют значения процесса:

$$I_t^T = T_t^O - T_t^d, \quad (1.135)$$

где $T^O = (T_t^O)_{t \geq 0}$ - процесс значений температуры за время $t \geq 0$, $T^d = (T_t^d)_{t \geq 0}$ - процесс значений точки росы по времени в градусах Цельсия. Если значение процесса $I^T = (I_t^T)_{t \geq 0}$ меньше либо равно 2^0 , то с (определенной ниже) вероятностью q^1 в районе аэродрома будет наблюдаться туман опасный для взлета и посадки. Значения T_t^O , T_t^d определяются в имитационной модели «Изменения температуры» для каждого аэропорта в зависимости от времени.

Наличие времени возможного тумана при долгосрочном прогнозе является угрозой при взлете и посадке. Результатом прогнозирования по этому фактору опасности является значение индикаторной функции (1 или 0) с определенной вероятностью q^1 .

Приведем более подробное описание определения вероятности q^1 более подробно.

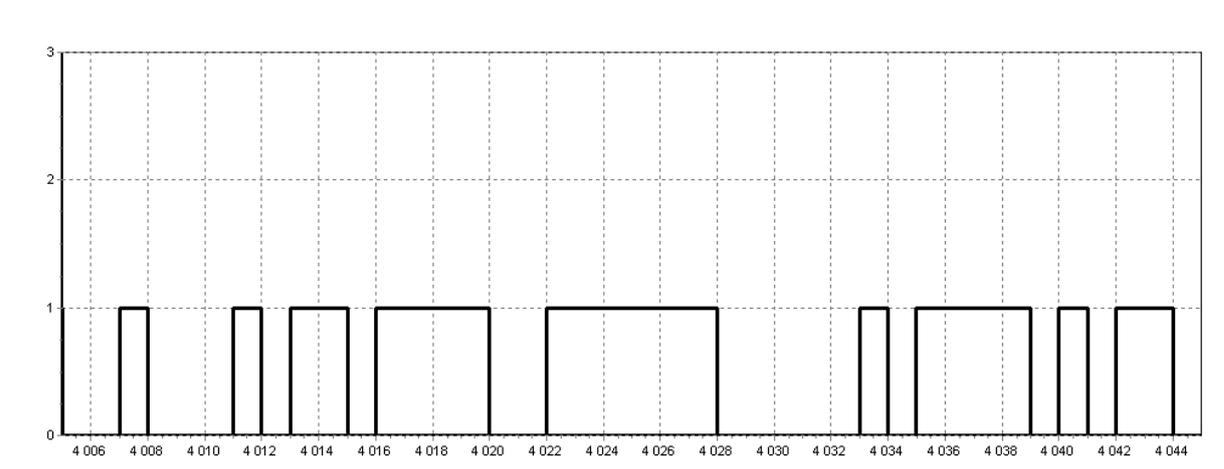
Пусть на стохастическом базисе $B = (\Omega, F, F = (F_t)_{t \geq 0}, P)$ задана функция

$$\varphi_t^1(\omega) = I\{I_t^T \leq 2^0\}, \quad (1.136)$$

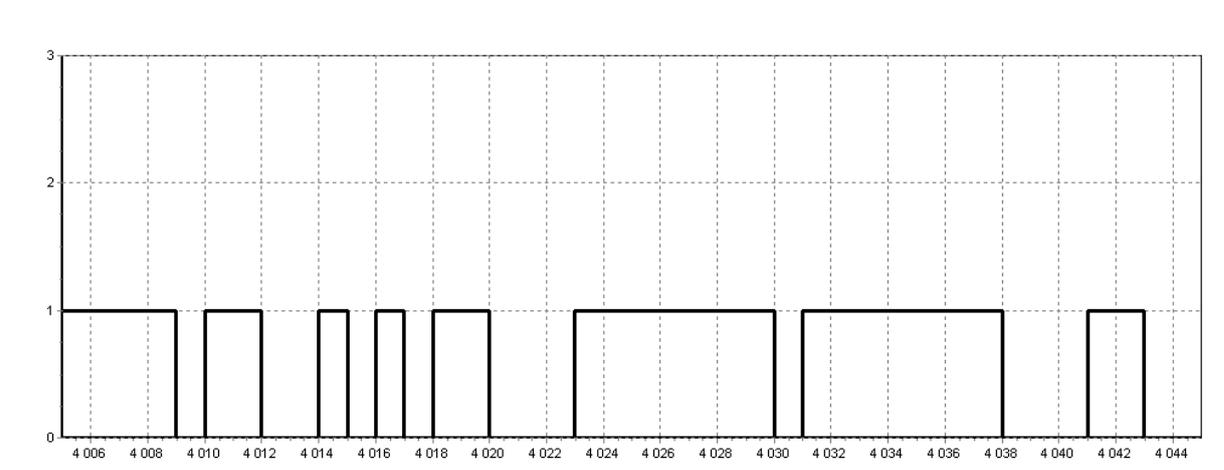
где $I\{\bullet\}$ - индикаторная функция, т.е. $I\{\text{"true"}\} = 1$ и $I\{\text{"false"}\} = 0$. Значения функции I_t^T определяется по формуле (1.135).

Предположим, что на базисе B задан процесс $B^1 = (B_t^1)_{t \geq 0}$ со значениями B_t^1 равными 1, если туман присутствовал в районе аэродрома и 0, если отсутствовал в момент времени t . Процесс B^1 является реализацией (т.е. траекторией, выборкой) процесса телеграфного типа [18]. Известно (при экспертном оценивании, на данный момент определенной $q^{01} = 0,9$ с последующей экспертной корректировкой по регламенту 1 раз в полгода), что для любого $t \in [0; 10 \cdot 365,2]$ $P(\{\varphi_t^1(\omega) = 1\} \cap \{B_t^1 = 1\}) = q^{01}$ и так как процессы T^d , T^o при определении I^T адаптированы к экспертным данным на промежутке $10 \cdot 365,2$ дней, то предполагается, что это соотношение остается справедливым и на участке от t до $t + T$ при долгосрочном прогнозировании (где предполагается, что T не превышала 3 года. В качестве оценки q^1 в алгоритме рассматривается усреднение значений экспертных величин q^{01} по экспертам с последующей корректировкой по регламенту.

На рисунке 1.46 указаны даты возможного наличия в районе аэропорта Гандер тумана, опасного для взлета и посадки. В приложении Л приведен листинг программы, определяющий моменты возможного наличия тумана.



а).



б).

Рисунок 1.46. Возможные моменты наличия в районе аэропорта Гандер тумана, опасного для взлета и посадки. Прогноз производился на год вперед, а показанный промежуток времени составляет 1 месяц. Время суток: а – день, б – ночь.

В приложении Е приведены различные виды тумана и способы его прогнозирования, в связи с которыми был выбран оптимальный критерии определения тумана в разрабатываемой АС.

Возможность обледенения ВС.

Обледенение ВС возможно:

- в облаках (но не всех, а только большой водности - N_s , S_c , S_b и др и при определенных температурах);
- в осадках (опять таки не во всех, а преимущественно переохлажденных);

- в облаках и осадках.

Главное условие образования обледенения – наличие переохлажденных капель и отрицательная поверхность самолета. Обледенение зависит от многих факторов и прежде всего от времени пребывания в «благоприятной» среде. Для прогноза обледенения необходимо знать не только температуру на высотах и в районе аэродрома, но и прогноз облачности, ее вид; прогноз осадков, их фазовое состояние и прежде всего возможность выпадения переохлажденных осадков.

В разрабатываемой автоматизированной системе имеется возможность обнаружения **возможного** слабого обледенения, которое зачастую не приводит к авиационному происшествию, но ухудшает полет. При долгосрочном прогнозировании умеренного и сильного обледенения используется статистика средних уровней сезонных осадков и сезонных периодов с понижением температур ниже нуля. При совпадении участков высокого уровня осадков и высокой вероятностью падения температур с вероятностью равной (оценочно) произведению средних частот первых и вторых событий происходит сильное или умеренной обледенение. Коэффициент значимости этого явления (выставляется экспертами, его алгоритм приведен ниже) в АС предполагается близок к нулю. В АС также предусмотрено прогнозирование других явлений, что позволит прогнозировать обледенение с большей вероятностью.

В приложении Ж указаны алгоритмы определения обледенения. На основании рассмотренной литературы (приложение Ж) в данной АС критериями обледенения будут являться:

«Горный аэродром» (расположенный на местности с пересеченным рельефом и относительными превышениями 500м и более в радиусе 25км от КТА, а также а/д расположенный на высоте 1000м и более над уровнем моря):

-влажность более 90%;

-температура от -15° до -10° .

«Негорный аэродром» (расположенный на местности с пересеченным рельефом и относительными превышениями менее 500м в радиусе 25км от КТА, а также а/д с превышением над уровнем моря менее 1000м):

- влажность более 90%;
- температура от -10^0 до -5^0 .

В АС моменты наличия или отсутствия возможного обледенения ВС определяются значения процесса:

$$\begin{aligned} \varphi_t^2(\omega) = & I(\{I_t^T \leq 2^0\} \cap \{T_t^0 \in [-15; -10]\} \cap \{h \geq 1000\}) + \\ & + I(\{I_t^T \leq 2^0\} \cap \{T_t^0 \in [-10; -5]\} \cap \{h < 1000\}), \end{aligned} \quad (1.137)$$

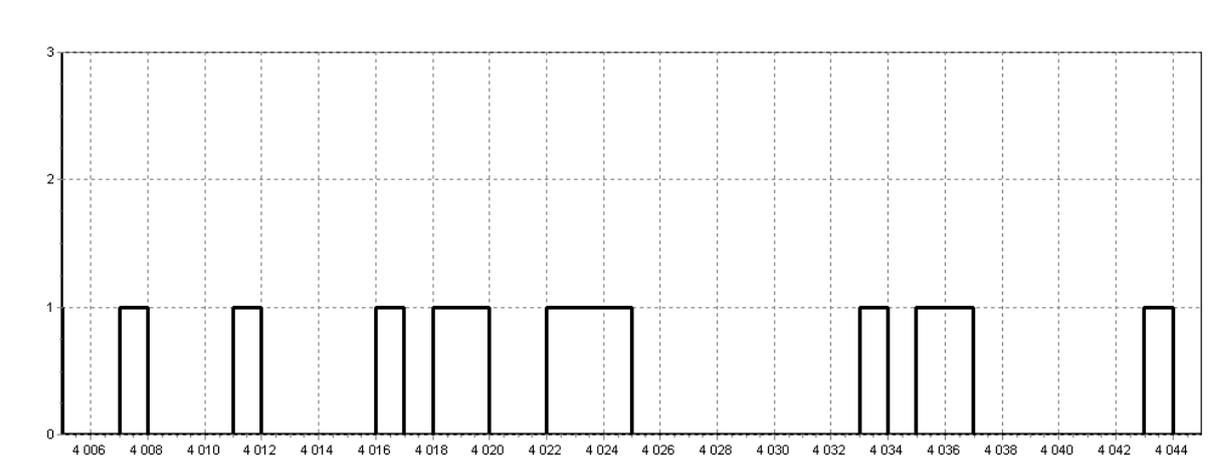
заданного на стохастическом базисе B с определенной вероятностью q^2 .

Наличие времени возможного обледенения в районе аэродрома радиуса 8км при долгосрочном прогнозе является угрозой, как увеличение взлетной массы. Входными данными рассматриваемого фактора опасности являются значение функции φ_t^2 (1 или 0) с определенной ниже вероятностью q^2 в момент времени t .

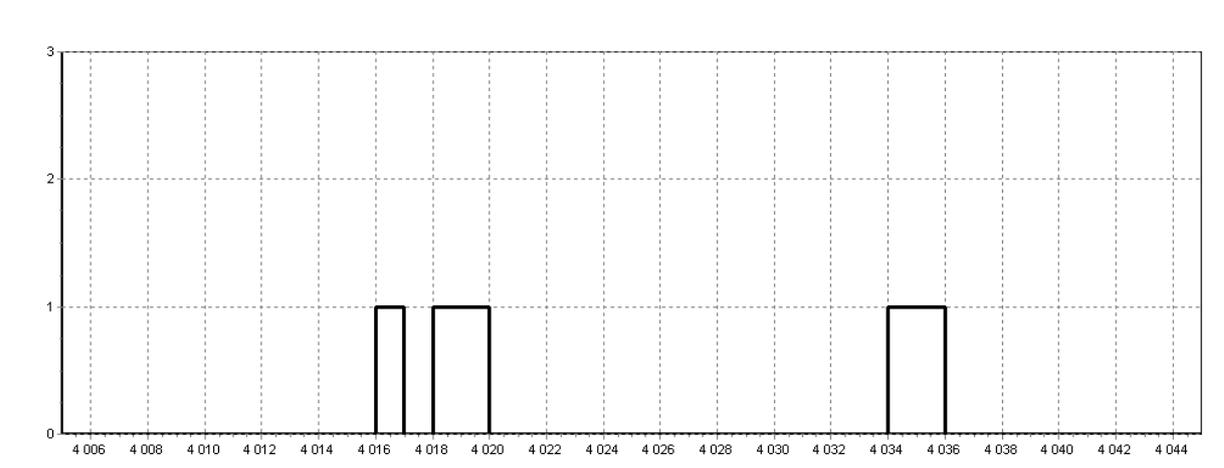
Вероятность q^2 определяется аналогично алгоритму предложенному при определении времени тумана. Предполагается, что на базисе B задан процесс $B^2 = (B_t^2)_{t \geq 0}$ со значениями в момент времени t равными 1, если обледенение ВС в районе аэродрома наблюдалась и 0 при его отсутствии. Процесс B^2 является реализацией (т.е. траекторией, выборкой) процесса телеграфного типа [18]. Известно (при экспертном оценивании, на данный момент определенной $q^{02}=0,6$ с последующей экспертной корректировкой по регламенту 1 раз в полгода), что для любого $t \in [0; 10 \cdot 365,2]$ $P(\{\varphi_t^2(\omega) = 1\} \cap \{B_t^2 = 1\}) = q^{02}$ и так как процессы T^d , T^o адаптированы к экспериментальным данным на промежутке $10 \cdot 365,2$ дней, то предполагается, что это соотношение остается справедливым и на участке от t до $t+T$ при долгосрочном прогнозировании. В качестве оценки q^2 в алгоритме

рассматривается усреднение значений экспертных величин q^{02} по экспертам с последующей корректировкой по регламенту.

На рисунке 1.47 приведены возможные моменты обледенения ВС в районе аэродрома.



а).



б).

Рисунок 1.47 – Возможные моменты обледенения ВС в районе аэропорта Гандер. Прогноз производился на год вперед, а показанный промежуток составляет 1 месяц. Время суток: а – день, б – ночь.

Снижение тяговооруженности (снижение мощности двигателя) в районе аэродрома наблюдается в основном на горных аэродромах и при высоких температурах. Стандартным уровнем температуры на высоте 0 м от уровня моря

считается 15^0 . При подъеме на 100 м в высоту стандартная температура понижается на $0,65^0$. Снижение мощности двигателя чаще всего наблюдается на горных аэродромах и при увеличении температуры на 5^0 , поэтому целесообразным считается учитывать этот фактор при долгосрочном прогнозировании только на горных аэродромах и при увеличении температуры на 5^0 и более на всех аэродромах. Наличие или отсутствие данного фактора опасности определяется значениями процесса:

$$\varphi_t^3(\omega) = I(\{T_t^0 \geq 20^0\} \cap \{h \geq 1000\}) . \quad (1.138)$$

Вероятность снижения мощности двигателя в момент времени t в АС предполагается равной величине q^3 , которая является усреднением значений экспертных величин q^{03} по экспертам с последующей корректировкой по регламенту. Значение q^{03} является экспертной оценкой и определяется как $P(\{\varphi_t^3(\omega) = 1\} \cap \{B_t^3 = 1\}) = q^{03}$ для любого $t \in [0; 10 \cdot 365,2]$, где процесс $B^3 = (B_t^3)_{t \geq 0}$ задан на стохастическом базисе B и определяет наличие или отсутствие снижения тяговооружения для любого $t \in [0; 10 \cdot 365,2]$.

Высота аэропорта над уровнем моря (h) в АС заносится полуавтоматически при выборе аэропорта.

Факторы опасности «наличие зон турбулентности (интенсивности)», «наличия вулканического пепла», «наличия песчаных бурь» B^r также определяется экспертно для каждого аэропорта. Эксперт определяет, для каждого аэродрома, возможное наступление турбулентности, вулканического пепла, песчаных бурь в процентах. Входными данными φ_i для этого ФО является процент встречаемости турбулентности (в разрабатываемой АС при долгосрочном прогнозе рассматривается турбулентность термическая, динамическая, орографическая), возможного извержения вулканов в районе аэродрома, появления песчаных бурь. В

приложениях Д, К приведены определения, виды, классификация турбулентности, возможности извержения вулканов.

Оценка вероятности ФО для каждого аэродрома определяется по формуле:

$$\hat{P}(B^r) = \frac{\varphi_i}{100}, \quad (1.139)$$

где φ_i определяется как усреднение оценок экспертов (φ_i^j) наличия турбулентности (каждого из видов и на любой возможной высоте) в районе аэропорта и устанавливается равным:

$$\varphi_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \varphi_i^j. \quad (1.140)$$

Фактор опасности **«Недостаточное орнитологическое обеспечение аэродрома»**, включает в себя следующие недостатки (которые в дальнейшем будем называть источниками фактора опасности): недостаточное качество орнитологического оборудования, неиспользование орнитологического оборудования, отсутствие орнитологического оборудования.

Фактор опасности **«Эколого-орнитологические условия»** определяется по источникам: наличие массовых скоплений птиц, наличие миграционных путей птиц, наличие источников корма.

Источники фактора опасности также являются угрозой возникновения авиационного события.

В разрабатываемой АС при долгосрочном прогнозировании предполагается, что ФО «Недостаточное орнитологическое обеспечение аэродрома» и ФО «Эколого-орнитологические условия» оцениваются экспертно по следующей схеме:

- эксперту предлагается перечень оцениваемых источников фактора опасности (недостаточное качество орнитологического оборудования, неиспользование орнитологического оборудования, отсутствие

орнитологического оборудования или наличие массовых скоплений птиц, наличие миграционных путей птиц, наличие источников корма); он проставляет коэффициенты значимости для каждого источника; далее в АС осуществляется усреднение коэффициента значимости по всем экспертам, заполнявших оценки по этому фактору;

- следующий шаг эксперта заключается в расстановке статистических данных по каждому предложенному источнику фактора опасности для конкретного аэропорта, т.е. эксперт заносит информацию (в процентах) о выполнении данных источников в каждом аэропорту.

При подсчете оценки вероятности фактора опасности используется уже усредненные (по количеству участвующих экспертов) оценки «статистики» (наличие недостатков) и коэффициентов значимости для каждого аэропорта, что также осуществляется в АС.

Значение факторов опасности «Недостаточное орнитологическое обеспечение аэродрома» и «Эколого-орнитологические условия» определяются как интегральные оценки по всем источникам (недостаткам) факторов опасности. Процедура оценивания рассматриваемых факторов при оперативном прогнозе несколько отличается от оценивания при долгосрочном, но в разрабатываемой АС эксперт будет заносить оценки (один раз в полгода) одновременно и для оперативного, и долгосрочного прогнозов. В случае неожиданных изменений в организациях аэропорта, экспертам будет предложено изменить свои оценки.

Приведем построение формальной математической модели, позволяющей осуществить формирование методики определения фактора опасности «Недостаточное орнитологическое обеспечение аэродрома».

Рассмотрим вероятностное пространство (Ω, F, P) . Пространство элементарных исходов Ω представляет собой множество всех возможных сценариев развития событий, анализируемых в модели. Оценивается вероятность события (фактора опасности «Недостаточное орнитологическое обеспечение аэродрома») B^{h_1} и события (фактора опасности «Эколого-орнитологические условия») B^{h_2} .

Предполагается, что данные факторы опасности могут привести к авиационному событию связанному «столкновение с птицами», но вероятность их наступления различна в разных аэропортах.

Оценим вероятность P события B^{h_1} , которое порождено набором других факторов опасности (источниками фактора опасности). В настоящем рассмотрении ими будут являться все вышеперечисленные недостатки орнитологического обеспечения аэродрома.

Каждый источник фактора опасности φ_i определяется входными данными, образующими векторный набор статистических показателей (характеристик) и коэффициентом значимости α_i . Примерный перечень того, что может подразумеваться под входными данными, в разрабатываемой АС представлен в виде подсказок для экспертов. Например, для источника «недостаточное качество орнитологического оборудования» рассматриваемого фактора опасности подсказка будет следующей: наличие аудителескопов, биоакустических установок, ультразвуковых установок, лазерных установок, механических птицеотпугиватели, ружей, ракетниц, газовых пушек, механических средств, пиротехнических средств, трещеток, зеркальных шаров, сетей, тушек мертвых птиц и т.д.

Входные данные каждого i -го источника h_1 -го фактора опасности предлагаются r экспертам (как было описано выше) в диапазоне $\varphi_i^{lj} \in [0...100]$, $j = 1, \dots, r$ для l -го аэродрома. При этом значение φ_i^l устанавливается равным:

$$\varphi_i^l = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \varphi_i^{lj} . \quad (1.141)$$

Оценка вероятности i -го источника h_1 -го фактора опасности $(B_i^{h_1})$ вычисляется по следующей формуле:

$$\hat{P}(B_i^{h_1}) = \frac{\varphi_i^l}{100} . \quad (1.142)$$

Коэффициенты значимости i -го источника фактора опасности B^{h_1} также предлагаются r экспертам (как было описано выше) в диапазоне $\alpha_i^j \in [0...1]$, $j = 1, \dots, r$ без привязки к аэродрому и считаются равными:

$$\alpha_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \alpha_i^j \quad (1.143)$$

Оценка вероятности $\hat{P}(B^i)$ определяется как:

$$\hat{P}(B^{h_1}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \varphi_i^l \cdot \alpha_i}{\sqrt{\sum ((\varphi_i^l)^{1/\lambda})^\lambda \sum ((\alpha_i)^{1/\gamma})^\gamma}} \quad (1.44)$$

Данная оценка действительно лежит в интервале от 0 до 1 (согласно неравенству Гельдера) [14]. Коэффициенты λ и γ выбираются из значимости входных данных или коэффициентов значимости источников факторов опасности, для этих коэффициентов выполняются выражения:

$$\lambda + \gamma = 1, \lambda \in [0,1], \gamma \in [0,1]. \quad (1.145)$$

На данный момент в разрабатываемой АС $\lambda = \gamma = 1/2$, у администратора имеется возможность в дальнейшем менять эти коэффициенты значимости.

Теперь оценим вероятность P второго события B^{h_2} (фактора опасности «Эколого-орнитологические условия»), которое порождено набором других факторов опасности (источниками фактора опасности). В настоящем рассмотрении ими будут являться все вышеперечисленные недостатки эколого-орнитологический условий.

Каждый источник фактора опасности φ_i определяется входными данными, образующими векторный набор статистических показателей (характеристик) и коэффициентом значимости α_i . Подсказка, что может подразумеваться под входными данными для источников ФО «Эколого-орнитологические условия», в разрабатываемой АС будет:

- для источника «наличие массовых скоплений птиц опасных для ВС»: наличие гнездовых колоний, дневок, ночевок, зимовок;
- для источника «наличие миграционных путей птиц»: наличие весенних и/или осенних перелетов;
- для источника «источники корма»: наличие свалок, скотоферм, птицеферм, элеваторов, зернопотоков, рыбных прудов, полей зерновых культур.

Входные данные каждого i -го источника h_2 -го фактора опасности предлагаются r экспертам (как было описано выше) в диапазоне $\varphi_i^{lj} \in [0...100]$, $j = 1, \dots, r$ для l -го аэродрома. При этом в разрабатываемой АС подразумевается, что значения φ_i для источника ФО «наличие миграционных путей птиц» выбираются исходя из значимости входных данных «наличие весенних/осенних перелетов», и что вероятности наличия весеннего перелета и осеннего перелета одинаковые и равны 50%. В настоящий момент в разрабатываемой АС данные показатели $\varphi_i = 50$, но у администратора имеется возможность в дальнейшем менять их значения. Остальные значения φ_i^l устанавливаются по формуле (1.141). Определение сезона (весна или осень, лето или зима) происходит по следующему алгоритму:

1. подсчитывается число k по формуле:

$$k = \frac{X_{\max} - X_{\text{mid}}}{k^*},$$

где X_{\max} - значение максимальной температуры за последние три месяца, X_{mid} - значение средней температуры за последние три месяца, $k^* = 3$ в настоящий момент в АС, но у администратора имеется возможность в дальнейшем менять значение этого параметра в соответствии с мнениями экспертов;

2. если значение температуры X попадает в интервал

$$X_{mid} - k \leq X \leq X_{mid} + k,$$

то это означает, что текущий сезон - весна или осень.

Оценка вероятности i -го источника h_1 -го фактора опасности ($B_i^{h_2}$) вычисляется аналогично выше изложенному по формуле (1.142).

Коэффициенты значимости i -го источника фактора опасности $B_i^{h_2}$ также предлагаются r экспертам (как было описано выше) в диапазоне $\alpha_i^j \in [0...1]$, $j = 1, \dots, r$ без привязки к аэродрому и считаются аналогично по формуле (1.143).

Оценка вероятности $\hat{P}(B^i)$ определяется аналогично по формулам (1.144-1.145).

Вероятность фактора опасности, приводящего к авиационному событию «Столкновение с птицами» B^h , считается по формуле:

$$P(B^h) = P(B^{h_2}) \cdot (1 - P(B^{h_2}))^{1/2}. \quad (1.146)$$

Данная формула была выбрана потому, что чем лучше орнитологическое обеспечение аэродрома (при маленьком значении фактора опасности «Эколого-орнитологические условия»), тем меньше вероятность столкновения ВС с птицами.

Рассмотрим факторы опасности «Среда искусственная»: недостатки в организации воздушного движения, службы организации перевозок, службы спецтранспорта и аэродромной механизации, службы авиационной безопасности, службы горюче-смазочных материалов, инженерно-авиационной службы, производственно-диспетчерской службы, в работе персонала авиационной метеорологической станции (гражданской), в работе персонала авиационного ремонтного завода, в работе персонала аэродромных служб, недостатки других служб гражданской авиации, военно-политические или террористические угрозы в районе аэродрома.

Каждая, из рассматриваемых служб, в АС имеет свои особенности, например, члены оцениваемой службы могут быть мало обучены, небрежны в работе, халатно относиться к заданиям и т.д. Как и при оперативных, так и при долгосрочных прогнозах, предлагается оценивать каждую службу как интегральный показатель оценок экспертов.

В АС имеется возможность оценивать недостатки организации воздушного движения не экспертно, а статистически. Так статистика обычно не всегда полная и достоверная, то в АС предлагается заносить статистику по вероятности невыполнения работ каждой аэродромной службы (рассматриваемых в данной АС) как экспертную оценку. И эти данные использовать как экспертные оценки.

Отличительной чертой оценивания работы служб в долгосрочном прогнозировании по сравнению с оперативным, является рассмотрение работы службы аэродрома в целом без привязки к авиационному происшествию.

Рассмотрим каждую службу в отдельности.

Организация воздушного движения может включать в себя следующие недостатки: аффективные состояния членов ОВД, бездеятельность членов ОВД, выдача неправильных/противоречивых рекомендаций, других команд ОВД, допуск к ОВД диспетчеров не подготовленных к самостоятельной работе, выполнение работы без опыта (члены ОВД), забывчивость членов ОВД, нарушение технологии работы - диспетчер и оператор за 1 пультом, прием и выпуск ВС на неподготовленном/непригодном аэродроме, нарушение порядка использования ВП,

нарушение порядка обеспечения информацией о ВД, нарушение правил и фразеологии радиообмена членами ОВД, нарушение правил эксплуатации РТС и СТО членами ОВД, нарушение установленного порядка приема/передачи информации членами ОВД, нарушения дисциплины в ОВД, нарушения организации воздушного пространства, нарушения организации рабочих мест у членов ОВД, передача/прием ОВД на неустановленных рубежах, нарушения технологии выполнения работ членами ОВД, небрежность членов ОВД, невнимательность членов ОВД, недостаточный контроль руководителя ОВД, недостаточный уровень начальника службы ОВД, не обеспечение полетов ВС РТС и СТО, не своевременная передача метеоинформации диспетчерами, не передача информации о птицах членами ОВД, спрямление маршрута членами ОВД без учета требований безопасности полетов, неправильная передача членами ОВД информации экипажу об условиях погоды, неправильное ведение/неведение графика движения членами ОВД, неправильное опознание местонахождения отметки ВС на экране диспетчером, неправильные действия членов ОВД в аварийной ситуации, неправильный расчет членами ОВД интервалов при догоне, нарушение установленного порядка приема/передачи информации членами ОВД, неправильный расчет членами ОВД интервалов при пересечении эшелона, неправильный расчет членами ОВД интервалов при пересечениях маршрутов, не принятие мер по получению информации, необходимой для ОВД, не проведение инструктажа перед заступлением на дежурство у членов ОВД, несоблюдение инструкций по произв.полетов/технологии работы членами ОВД, несоблюдение правил вертикального эшелонирования членами ОВД, несоблюдение правил продольного эшелонирования членами ОВД, несообщение о движении других ВС диспетчеров ОВД, недостаточное использование средств радиопеленгации членами ОВД, несоответствие подготовки условиям работ у членов ОВД, нет взаимодействия в службе ОВД, неудовлетворительное взаимодействие между органами ОВД ГА, неудовлетворительная организация инструктажа перед дежурством и разбора после дежурства у членов ОВД, неудовлетворительная организация воздушных трасс и МВЛ в районе ответственности ОВД, неудовлетворительная организация работы

диспетчерских смен членов ОВД, неустойчивость навыка у членов ОВД, ОВД без знания фактической воздушной и метеообстановки, оставление рабочего места без подмены членами ОВД, отклонение за пределы воздушных трасс и МВЛ членами ОВД, отсутствие знаний для выполнения работ у членов ОВД, отсутствие взаимодействия между диспетчерами ОВД, отсутствие второго диспетчера (оператора) ОВД за пультом, отсутствие контроля за работой диспетчеров ОВД, отсутствие РЛ контроля за движением ВС при исправных РТС членами ОВД, отсутствие указаний членам ОВД, ошибки в прогнозировании/оценке воздушной обстановки членами ОВД, ошибки в распознавании отметок от ВС на экране РЛС членами ОВД, ошибочное восприятие членами ОВД, ошибочные расчеты членами ОВД, работа с неполным составом смен членов ОВД, разрешение на полет по неустановленной схеме членами ОВД, рассеянность членов ОВД, рубеж приема/передачи ОВД в непросматриваемой зоне РЛК, самоуверенность членов ОВД, совмещение функций в условиях не обеспечивающих БП членами ОВД, стресс психологический членов ОВД, управление ВС не в своей зоне ответственности членами ОВД, утеря/искажение информации при хранении членами ОВД, халатность членов ОВД, чрезмерный объем поступающей информации членам ОВД.

Предусмотрено, что эксперт по фактору «Среда Искусственная» для долгосрочного прогнозирования оценивает отдельно каждую составляющую службы ОВД по следующей схеме:

- эксперту предлагается перечень оцениваемых источников фактора опасности «недостатки в ОВД», он проставляет коэффициенты значимости для каждого источника, далее в АС осуществляется усреднение коэффициента значимости по всем экспертам, заполнявших оценки по этому фактору;
- следующий шаг эксперта заключается в расстановке статистических данных по каждому предложенному источнику фактора опасности для конкретного аэропорта. При оценивании параметров фактора опасности «Недостатки в ОВД» эксперт заносит процент наличия недостатка (предложенного данным параметром) наблюдаемого в рассматриваемом аэропорту. При подсчете оценки вероятности

фактора опасности используется уже усредненная (по количеству участвующих экспертов) оценка статистики для каждого аэропорта, что также осуществляется в АС.

Значение фактора опасности «Недостатки в ОВД» определяется как интегральная оценка по всем недостаткам параметров службы ОВД определяется. Процедура оценивания рассматриваемого фактора при оперативном прогнозе отличается от оценивания при долгосрочном, но в разрабатываемой АС, эксперт будет заносить оценки (один раз в полгода) одновременно и для оперативного, и долгосрочного прогнозов. В случае неожиданных изменений в организациях аэропорта, эксперту будет предложено изменить свои оценки.

Приведем построение формальной математической модели, позволяющей осуществить формирование методики определения «Недостатки в ОВД».

Рассмотрим вероятностное пространство (Ω, F, P) . Пространство элементарных исходов Ω представляет собой множество всех возможных сценариев развития событий, анализируемых в модели. Оценивается вероятность события (фактора опасности) B^k .

Предполагается, что данный ФО может привести к различным авиационным событиям, а вероятность его наступления различна в разных аэропортах. Оценим вероятность P события B^k , которое порождено набором других факторов опасности (его в дальнейшем для удобства будем называть источниками фактора опасности). Источниками фактора опасности являются все вышеперечисленные недостатки работы ОВД. Каждый источник фактора опасности определяется входными данными φ_i (представляющим собой скалярный или (чаще) векторный набор статистических показателей (характеристик)) и коэффициентом значимости α_i .

Входные данные каждого i -го источника k -го фактора опасности предлагаются r экспертами (как было описано выше) в диапазоне $\varphi_i^{lj} \in [0...100]$, $j = 1, \dots, r$ для l -го аэродрома. При этом значение φ_i^l устанавливается равным:

$$\varphi_i^l = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \varphi_i^{lj} . \quad (1.147)$$

Оценка вероятности i -го источника k -го фактора опасности (B_i^k) вычисляется по следующей формуле:

$$\hat{P}(B_i^k) = \frac{\varphi_i^l}{100} . \quad (1.148)$$

Коэффициенты значимости i -го источника фактора опасности B^k также предлагаются r экспертами (как было описано выше) в диапазоне $\alpha_i^j \in [0...1]$, $j = 1, \dots, r$ без привязки к аэродрому и считаются равными:

$$\alpha_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \alpha_i^j \quad (1.149)$$

Оценка вероятности $\hat{P}(B^i)$ определяется как:

$$\hat{P}(B^k) = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \varphi_i^l \cdot \alpha_i}{\sqrt{\sum ((\varphi_i^l)^{1/\lambda})^\lambda \sum ((\alpha_i)^{1/\gamma})^\gamma}} . \quad (1.150)$$

Данная оценка действительно лежит в интервале от 0 до 1 (согласно неравенству Гельдера) [14]. Коэффициенты λ и γ выбираются из значимости входных данных или коэффициентов значимости источников факторов опасности, для этих коэффициентов выполняются выражения:

$$\lambda + \gamma = 1, \lambda \in [0,1], \gamma \in [0,1]. \quad (1.151)$$

На данный момент в разрабатываемой АС $\lambda = \gamma = 1/2$, у администратора имеется возможность в дальнейшем менять эти коэффициенты значимости.

Недостатки остальных служб рассматриваются аналогично, но у каждой службы имеются свои источники опасности. Рассмотрим их более подробно.

Служба организации перевозок имеет следующие недостатки: использование неисправного оборудования, машин и механизмов персоналом СОП, нарушение правил загрузки/разгрузки ВС персоналом СОП, нарушение правил подъезда/отъезда от ВС персоналом СОП, невыполнение инструкций/наставлений персоналом СОП, отсутствие контроля за перевозкой опасных грузов в СОП, халатность персонала СОП, отсутствие контроля за выполнением и качеством работ в СОП, отсутствие руководства выполнением работ в СОП, нарушения технологии выполнения работ персоналом СОП, допуск пассажиров, не прошедших регистрацию и досмотр, персоналом СОП, нарушение правил оформления пассажиров и грузов персоналом СОП.

Производственно-диспетчерская служба имеет следующие недостатки: отсутствие взаимодействия между диспетчерами ПДС, отсутствие контроля за работой диспетчеров ПДС.

Авиационная метеорологическая станция (гражданская) имеет следующие недостатки: неоправдавшийся прогноз погоды АМСГ, несвоевременное составление уточнений к действующему прогнозу персоналом АМСГ, несвоевременное определение опасных метеоявлений персоналом АМСГ.

Инженерно-авиационная служба имеет следующие недостатки: нарушение объемов работ по ТО АТ персоналом ИАС, выполнение работ без соответствующего допуска персоналом ИАС, отсутствие руководства выполнением работ в ИАС, некачественное устранение о/н персоналом ИАС, неправильное оформление, заполнение документации персоналом ИАС, неправильная эксплуатация оборудования, машин и механизмов персоналом ИАС, отсутствие контроля за выполнением и качеством работ в ИАС, некачественное выполнение

оперативного ТО персоналом ИАС, некачественное выполнение периодического ТО персоналом ИАС, выпуск ВС в полет с о/н, влияющими на БП, персоналом ИАС, некачественное выполнение монтажных работ персоналом ИАС, несвоевременное проведение доработок АТ персоналом ИАС, несвоевременное проведение специальных осмотров АТ персоналом ИАС, недостатки в организации работ и контроле в ИАС, невыполнение инструкций, наставлений персоналом ИАС, малый опыт работы на данном месте у персонала ИАС, халатность персонала ИАС, невнимательность персонала ИАС, небрежность персонала ИАС, недостаточный контроль руководителя в ИАС, выполнение работ без опыта персоналом ИАС, недозатяжка персоналом ИАС, некачественная замена агрегатов персоналом ИАС, неустойчивость навыка персонала ИАС, забывчивость персонала ИАС, неправильное оформление/заполнение документации персоналом ИАС, нарушения технологии выполнения работ персоналом ИАС, недостаточная концентрация внимания персонала ИАС.

Служба горюче-смазочных материалов имеет следующие недостатки: неправильная эксплуатация оборудования, машин и механизмов персоналом службы ГСМ, охрана АТ не осуществлялась персоналом службы ГСМ, отсутствие знаний для выполнения работ у персонала службы ГСМ, выполнение работы в состоянии опьянения персоналом службы ГСМ.

Персонал авиационного ремонтного завода имеет следующие недостатки: невыполнение инструкций/наставлений персоналом АРЗ, некачественное выполнение технологического процесса персоналом АРЗ, отклонения от конструкторской/технологической документации персоналом АРЗ, некачественное выполнение монтажных работ персоналом АРЗ, оставление посторонних предметов в системах ВС персоналом АРЗ, отсутствие контроля за выполнением и качеством работ у персонала АРЗ, небрежность персонала АРЗ, халатность персонала АРЗ, недостатки в организации работ и контроле у персонала АРЗ, некачественное проведение доработок АТ персоналом АРЗ, технологический недостаток, отсутствие указаний у персонала АРЗ.

Служба спецтранспорта и аэродромной механизации имеет следующие недостатки: невыполнение инструкций, наставлений персоналом СТ и АМ, отсутствие контроля за выполнением и качеством работ у персонала СТ и АМ, нарушение правил подъезда/отъезда от ВС персоналом СТ и АМ, недостатки в организации работ и контроле у персонала СТ и АМ.

Служба авиационной безопасности имеет следующие недостатки: допуск к работе без инструктажа персонала САБ, выполнение работ без соответствующего допуска персоналом САБ, использование неисправного оборудования, машин и механизмов персоналом САБ, невыполнение инструкций, наставлений персоналом САБ, бесконтрольное проникновение лиц, транспортных средств, животных на территорию аэродрома, досмотр не проводился персоналом САБ, досмотр проведен не в полном объеме/некачественно персоналом САБ, недостатки в распределении функций в САБ, неправильная координация действий САБ с другими службами, халатность персонала САБ, недостаточный контроль руководителя в САБ, недостаточный уровень начальника САБ, стандартные действия персонала САБ.

Аэродромная служба имеет следующие недостатки: нарушение технологий выполнения работ персоналом аэродромной службы, некачественная подготовка ЛП персоналом аэродромной службы, несоблюдение схем расстановки и движения спецтранспорта персоналом аэродромной службы, небрежность персонала аэродромной службы, несвоевременный ремонт ЛП персоналом аэродромной службы, недостатки во взаимодействии персонала аэродромных служб с другими службами, халатность персонала аэродромной службы, самоуверенность персонала аэродромной службы, отсутствие контроля со стороны руководителя аэродромной службы, недостатки в организации и контроле персонала аэродромной службы, отсутствие маркировки аэродрома и препятствий, неверная оценка расстояния до объекта/препятствия персоналом аэродромной службы, несоответствие маркировки аэродрома и препятствия, неполные смены аэродромной службы, некачественная подготовка ВПП персоналом аэродромной службы, размещение ВС на стоянке не по разметке персоналом аэродромной службы.

Другие службы гражданской авиации имеют следующие недостатки: невыполнение указаний руководителя работ у персонала других служб ГА, выполнение работ без допуска персоналом других служб ГА, отсутствие контроля за выполнением и качеством работ у персонала других служб ГА.

Определение факторов опасности (акты незаконного вмешательства, террористическая угроза, военная угроза, политическая нестабильность) события «Военно-политические или террористические чрезвычайная ситуация в районе аэропорта» подробно описаны в разделе 1.4.3 и реализовано в программном модуле «Автоматизированная система анализа рисков авиационной безопасности в интернете».

Приведем математическое описание метода долгосрочного прогнозирования по фактору «Среда». Предполагается, что долгосрочный прогноз строится (также как в параграфе 1.3.1) с текущего момента времени s до момента $s + T$ с шагом Δ . В качестве первого приближения рассматриваются значения $T=3$ года и $\Delta=1$ день. В дальнейшем уровни значений T и Δ устанавливаются ЛПР и вводятся в АС администратором. Ставится задача для долгосрочного прогнозирования: определить, когда в течение периода времени от s до $s + T$ вероятность возникновения авиационного происшествия пересечет установленный критический уровень. Этот момент ζ_s^{cp} достижения критического уровня и является границей интервала критической вероятности $[s; \zeta_s^{cp}]$. Также при долгосрочном прогнозировании решается задача оценивания вероятности того, что авиационное событие произойдет за время T (т.е. момент ζ_s находится на интервале $[s; s + T]$):

$$P\{\zeta_s^{cp} \in [s; s + T]\}.$$

В классической схеме определяется вероятностная модель (Ω, F, P) , а в случае изучения динамики событий во времени (и соответствующих случайных процессов) описывается стохастический базис $(\Omega, F, \mathbf{F} = (F_t)_{t \geq 0}, P)$, где Ω –

пространство элементарных событий ω , F – σ -алгебра, порожденная подмножествами Ω , F – неубывающий поток σ -алгебр F_t , P – вероятностная мера на F . При этом возникновение авиационного происшествия по фактору «Среда» происходит в случайный момент времени $\tau^{cp} = \tau^{cp}(\omega) \geq 0$, который является случайной величиной, а относительно стохастического базиса – моментом остановки (в случае P -п.н. конечности) [15].

Пусть процесс $\pi_s^{cp}(t)$ является условной мгновенной вероятностью возникновения авиационного происшествия после текущего момента времени s в интервале времени от t до $t + \Delta$ при условии наблюдения до момента s при $\Delta > 0$

$$\pi_s^{cp}(t) = P\{\tau \in [t; t + \Delta] | F_s\}. \quad (1.152)$$

Данная вероятность определяется оценкой вероятности наличия тумана, обледенения, снижения тяговооруженности, недостатков работы аэродромных служб, эколого-орнитологическими условиями, недостаточным орнитологическим обеспечением в аэродроме, военно-политической или террористической чрезвычайной ситуацией, наличием вулканов, возможной турбулентностью, песчаными бурями. Данная (совокупная по всем ФО «Среда») вероятность имеет выраженную гармоничную компоненту с периодом в 1 год (связанную с сезонной цикличностью доминирующих в предсказанных метеорологических ФО). Каждый из этих факторов опасности приводит к авиационному событию с определенной вероятностью, которую оценивают эксперты.

Введем обозначения (аналогичные ранее введенным в этом параграфе):

$\hat{P}_s(B^i)$ – оценки вероятностей факторов опасности в момент s приводящих к авиационному событию;

A – авиационное событие;

$$P(A | B^i) = q_1.$$

Тогда $\pi_s^{cp}(t)$ в момент времени s будет определяться как:

$$\pi_s^{cp}(t) = \widehat{P}_s(\cup B^i) = 1 - (1 - q_1 \cdot \widehat{P}_s(B^1))(1 - q_2 \cdot \widehat{P}_s(B^2)) \dots (1 - q_n \cdot \widehat{P}_s(B^n)), \quad (1.153)$$

где n - количество факторов опасности по фактору «Среда».

При вычислении мгновенной вероятности $\pi_s^{cp}(t)$ (изменение ее значений представлено на рисунке 1.48) возникновения события в каждом интервале длины Δ с момента s до $s+T$ может произойти, что значение этой вероятности и не достигнет уровня C^{kp-cp} в каждом Δ , в то время как накопленная вероятность возникновения события за весь интервал $[s; s+T]$ может превысить C^{kp-cp} .

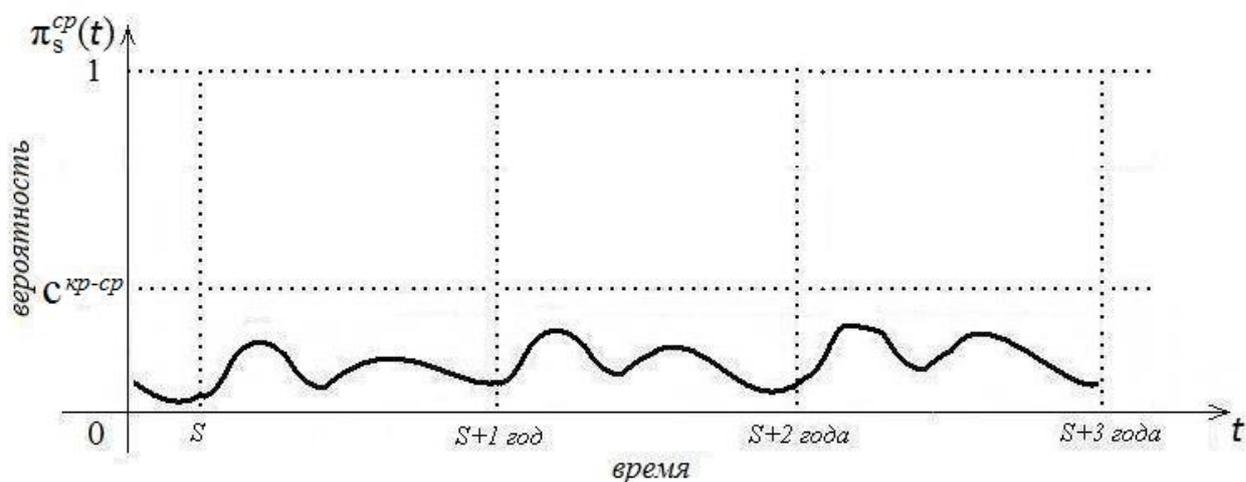


Рисунок 1.48 – Изменение мгновенной вероятности $\pi_s^{cp}(t)$ возникновения авиационного события.

Накопленную вероятность в дальнейшем будем обозначать $\tilde{\pi}_s^{cp}(t)$, которая сводится к условной функции распределения $F_s(t)$.

Тогда накопленная вероятность $\tilde{\pi}_s^{cp}(t)$ возникновения события определяется по формуле:

$$\tilde{\pi}_s^{cp}(t) = \begin{cases} \mathbf{P}\{\tau \in [s, t] | F_s\}, & \text{при } t \geq s \\ 0, & \text{при } t < s \end{cases} \quad (1.154)$$

В этом случае в качестве результата выводятся вероятности $\tilde{\pi}_s^{cp}(t)$ при $t \in [s; s+T]$ с шагом Δ , т.е. получается ряд значений: $\tilde{\pi}_s^{cp}(s) = 0$, $\tilde{\pi}_s^{cp}(s + \Delta)$, $\tilde{\pi}_s^{cp}(s + 2\Delta)$, ..., $\tilde{\pi}_s^{cp}(s + T)$.

Определим момент ζ_s^{cp} как первый момент достижения границы C^{kp-cp} «накопленной» вероятностью $\tilde{\pi}_s^{cp}(t)$ возникновения авиационного происшествия в течение интервала времени $[s; s+T]$ при условии априорной (известной) информации до момента времени s :

$$\zeta_s^{cp} = \inf\{t : t > s, \tilde{\pi}_s^{cp}(t) \geq C^{kp-cp}\}. \quad (1.155)$$

Тогда задачей долгосрочного прогнозирования заключается в определении (указании) интервала критической вероятности

$$J = [s; \zeta_s^{cp}] \quad (1.156)$$

т.е. вычисление момента ζ_s^{cp} , а также определение величины

$$P \{ \zeta_s^{cp} \in [s; s + T] | F_s \}, \quad (1.57)$$

совпадающей по значению с

$$I \{ \tilde{\pi}_s^{cp}(s + T) \geq C^{kp-cp} \}. \quad (1.158)$$

При этом вероятность

$$P \{ \zeta_s^{cp} \in [s; s + T] \} \quad (1.159)$$

оценивается методами имитационного стохастического моделирования. Для каждой j -ой из m псевдослучайных реализаций точечных процессов с коэффициентами (параметрами) имитационной модели, построенной и адаптированной по статистическим данным, обеспечивающим совпадение модельного и эмпирического среднего физических характеристик (с учетом их цикличности) и вторых моментов устанавливаются значения

$$I \{ \tilde{\pi}_s^{cp(j)}(s + T) \geq C^{kp-cp} \} \quad (1.160)$$

и осуществляется их усреднение

$$\hat{P} \{ \zeta_s^{cp} \in [s; s + T] \} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m I \{ \tilde{\pi}_s^{cp(j)}(s + T) \geq C^{kp-cp} \}, \quad (1.161)$$

где величина m выбирается из соображений значения среднеквадратичного отклонения ответа меньшего, чем на 10% от значения оценки вероятности.

Значит ответом на вопрос долгосрочного прогнозирования: когда накопленная вероятность $\tilde{\pi}_s^{cp}(t)$ возникновения события достигнет установленного критического уровня C^{kp-cp} при условии наблюдения до момента времени s (т.е. через сколько периодов Δ в течение интервала прогнозирования $[s; s + T]$ вероятность достигнет

C^{kp-cp}) – является момент ζ_s^{cp} (или через $\left[\frac{\zeta_s^{cp} - s}{\Delta} \right]$ интервалов оценивания, где $[*]$ – целая часть числа).

На рисунке 1.49 представлено изменение накопленной вероятности со временем.

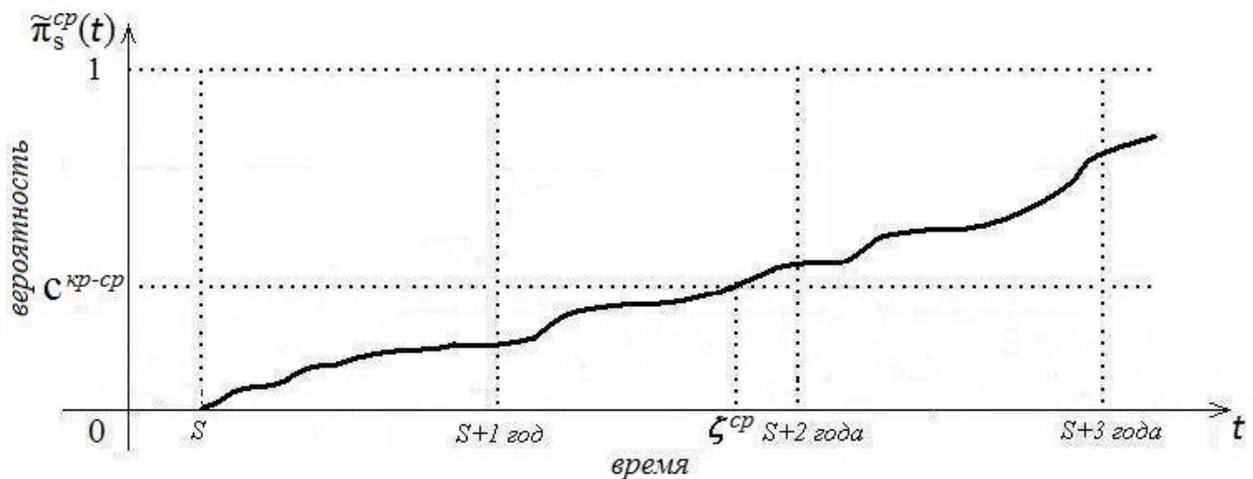


Рисунок 1.49 – Достижение накопленной вероятности $\tilde{\pi}_s^{cp}(t)$ возникновения события установленного критического уровня.

Определим вероятность ошибки оценивания при долгосрочном прогнозировании. Заметим, что

$$P \{s \leq \zeta_s^{cp} \leq s + T | F_s\} = I\{\zeta_s^{cp} \in [s; s + T]\}, \quad (1.162)$$

где $I\{\cdot\}$ является индикаторной функцией с $I\{a\} = 1$ при выполнении события a и $I\{a\} = 0$ при невыполнении события a .

Значит, следующие множества совпадают:

$$V = \{ \zeta_s^{cp} \in [s; s + T] \} = \{ \tilde{\pi}_s^{cp}(s + T) \geq C^{kp-cp} \}. \quad (1.163)$$

Выпишем обратное множество для V :

$$\bar{V} = \{ \tilde{\pi}_s^{cp}(s + T) < C^{kp-cp} \} \quad (1.164)$$

это множество ω , для которых уровень критической вероятности C^{kp-cp} оказался не превышен.

Для $\omega \in \bar{V}$ роль ошибки имеет смысл вероятность тех исходов, при которых авиационное происшествие в момент τ^{cp} тем не менее произошло. Следовательно, в качестве условной (при условии наблюдений до момента времени s , т.е. F_s) вероятности ошибки следует рассматривать:

$$\rho_s^1 = \tilde{\pi}_s^{cp}(s + T) \cdot I(\bar{V}) + \varepsilon_m \quad (1.165)$$

и

$$\rho_s^2 = (1 - \tilde{\pi}_s^{cp}(s + T)) \cdot I\{V\} + \varepsilon_m, \quad (1.166)$$

где ε_m – погрешность имитационного моделирования, поскольку сами вероятности $\tilde{\pi}_s^{cp}(t)$ при построении долгосрочного прогноза вычисляются по результатам имитационного стохастического моделирования ($I\{\cdot\}$ – индикаторная функция). Для каждой j -ой из m псевдослучайных реализаций точечных процессов вычисляются величины $\rho_s^{1(j)}$ и $\rho_s^{2(j)}$, после чего осуществляется их усреднение:

$$\widehat{E} \rho_s^1 = E\{\tilde{\pi}_s^{cp}(s+T) \cdot I(\bar{V}) + \varepsilon_m\} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \rho_s^{1(j)} \quad (1.167)$$

и

$$\widehat{E} \rho_s^2 = E\{(1 - \tilde{\pi}_s^{cp}(s+T)) \cdot I\{V\} + \varepsilon_m\} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \rho_s^{2(j)} \quad (1.168)$$

Оценки (1.167) и (1.168) являются аналогами ошибок первого и второго рода.

ВВВ.1. Липцер Р.Ш., Ширяев А.Н. Статистика случайных процессов. – М.: Наука, 1974.

ВВВ.2 Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Имитационное моделирование характеристик систем с адаптацией к возмущениям» Санникова И.А., Ульяновск: УлГУ, 2003г.

ВВВ.3 Вероятность и математическая статистика: Энциклопедия / Гл. ред. Ю. В. Прохоров. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. – 911с.; ISBN 5-85270-265-X.

ВВВ.4 Ширяев, А. Н. Статистический последовательный анализ / А. Н. Ширяев. – М.: Наука. – 1976. – 272 с.

1.3.4. Совокупный долгосрочный прогноз по факторам «Человек», «Машина», «Среда»

Пусть для трех факторов «Человек», «Машина», «Среда» момент возникновения первого после времени начала анализа $s \geq 0$ авиационного происшествия обозначен символом τ_k , $k = 1, 2, 3$, где $k = 1$ в случае возникновения АП по фактору «Машина», $k = 2$ по фактору «Человек» и $k = 3$ для фактора «Среда». Тогда момент первого по времени авиационного происшествия равен τ и

$$\tau = \min\{\tau_1, \tau_2, \tau_3\}. \quad (1.169)$$

Обозначим для каждого момента $\tau \geq s$, $\tau_k \geq s$, $k = 1, 2, 3$ условную функцию распределения (при условии доступной для анализа информации в обозначении соответствующей σ -алгебры всех до $s \geq 0$ событий F_s).

$$F_s^\tau(t) = P\{\tau \leq t | F_s\} \quad (1.170)$$

и

$$F_s^{\tau_k}(t) = P\{\tau_k \leq t | F_s\} \quad (1.171)$$

при $k = 1, 2, 3$ и с исходными значениями

$$F_s^{\tau_k}(t) = F_s^\tau(t) = 0. \quad (1.172)$$

при $t \leq s$.

Первичный анализ распределений моментов τ, τ_1, τ_2 и τ_3 осуществляется построением соответствующих распределений $F_s^\tau(t)$ и $F_s^{\tau_k}(t)$, $k = 1, 2, 3$. Также построение целесообразно, поскольку в разумном приближении группы событий по факторам «Человек», «Машина» и «Среда» можно считать независимыми и, следовательно, независимы моменты τ, τ_1, τ_2 и τ_3 . Следовательно, независимы и независимы при условии F_s события «отсутствия 4 происшествий по группам»:

$$\{\tau_1 > t\}, \{\tau_2 > t\} \text{ и } \{\tau_3 > t\}. \quad (1.173)$$

При этом для τ , исходя из (ммм.2), имеет место равенство

$$\{\tau > t\} = \{\tau_1 > t\} \cap \{\tau_2 > t\} \cap \{\tau_3 > t\}. \quad (1.174)$$

Отсюда получаем, что

$$P\{\tau > t | F_s\} = \prod_{k=1}^3 P\{\tau_k > t | F_s\}. \quad (1.175)$$

Или в терминах условных функций распределения

$$1 - F_s^\tau(t) = \prod_{k=1}^3 (1 - F_s^{\tau_k}(t)) \quad (1.176)$$

откуда и следует выражение

$$F_s^\tau(t) = 1 - \prod_{k=1}^3 (1 - F_s^{\tau_k}(t)). \quad (1.177)$$

По аналогии с обозначениями из раздела М.1 определяются величины $\tilde{\pi}_s^{\tau_k}(t)$ и $\zeta_s^{\tau_k}$ при $k = 1, 2, 3$

$$\tilde{\pi}_s^{\tau_k}(t) = F_s^{\tau_k}(t) = 1 - \exp\{-\hat{\alpha}_s^{\tau_k} \cdot h^{\tau_k} \cdot (t - s)\}, \quad (1.178)$$

$$\zeta_s^{\tau_k} = s + \frac{1}{\hat{\alpha}_s^{\tau_k} \cdot h^{\tau_k}} \cdot \ln\{1 - (C^{kp})^k\} \quad (1.179)$$

с соответствующими интервалами критической вероятности $[s; s + \zeta_s^{\tau_k}]$, критическими уровнями $(C^{kp})^k$ и ошибками первого $\hat{E} \rho_s^{1(k)}$ и второго рода $\hat{E} \rho_s^{2(k)}$.

Существенную роль при анализе авиационных событий играют также ситуации, при которых до момента времени t происходят одновременно два АП из разных факторов и ситуация, когда до момента t произошли АП всех трех факторов «Человек», «Машина» и «Среда». То есть,

$$\{\tau_{1,2} \leq t\} = \{\tau_1 \leq t\} \cap \{\tau_2 \leq t\} \quad (1.180)$$

или

$$\{\tau_{1,3} \leq t\} = \{\tau_1 \leq t\} \cap \{\tau_3 \leq t\} \quad (1.181)$$

или

$$\{\tau_{2,3} \leq t\} = \{\tau_2 \leq t\} \cap \{\tau_3 \leq t\}, \quad (1.182)$$

а также

$$\{\tau_{1,2,3} \leq t\} = \{\tau_1 \leq t\} \cap \{\tau_2 \leq t\} \cap \{\tau_3 \leq t\} . \quad (1.183)$$

Здесь

$$\tau_{1,2} = \max\{\tau_1, \tau_2\} \quad (1.184)$$

$$\tau_{1,3} = \max\{\tau_1, \tau_3\} \quad (1.185)$$

$$\tau_{2,3} = \max\{\tau_2, \tau_3\} \quad (1.186)$$

$$\tau_{1,2,3} = \max\{\tau_1, \tau_2, \tau_3\} \quad (1.187)$$

и, в соответствии с выражениями (1.180) – (1.183), в силу условной независимости τ_1, τ_2 и τ_3 (при условии F_s) получаем

$$F_s^{\tau_{1,2}}(t) = F_s^{\tau_1}(t) \cdot F_s^{\tau_2}(t) \quad (1.188)$$

$$F_s^{\tau_{1,3}}(t) = F_s^{\tau_1}(t) \cdot F_s^{\tau_3}(t) \quad (1.189)$$

$$F_s^{\tau_{2,3}}(t) = F_s^{\tau_2}(t) \cdot F_s^{\tau_3}(t) \quad (1.190)$$

$$F_s^{\tau_{1,2,3}}(t) = F_s^{\tau_1}(t) \cdot F_s^{\tau_2}(t) \cdot F_s^{\tau_3}(t) \quad (1.191)$$

При этом условная вероятность того, что произошло не менее двух АП до момента времени t равна

$$F_s^{(\geq 2)}(t) = F_s^{\tau_{1,2}}(t) + F_s^{\tau_{1,3}}(t) + F_s^{\tau_{2,3}}(t) - 2 \cdot F_s^{\tau_{1,2,3}}(t), \quad (1.192)$$

а вероятность того, что произошло ровно два АП равна

$$F_s^{(2)}(t) = F_s^{\tau_{1,2}}(t) + F_s^{\tau_{1,3}}(t) + F_s^{\tau_{2,3}}(t) - 3 \cdot F_s^{\tau_{1,2,3}}(t). \quad (1.193)$$

Таким образом, при построении совокупного долгосрочного прогноза момент ζ_s – является моментом достижения вероятности возникновения АП хотя бы по одному из факторов «Человек», «Машина» и «Среда» установленного критического уровня, выбираемого ЛПР. ЛПР в процессе принятия решения может менять значения C^{KP} и получать как значения границы интервала критической вероятности, так и вероятность АП в течение оцениваемого периода длиной T . В случае пересечения вероятностью возникновения АП критического уровня ЛПР осуществляет анализ построенных в АС оценок отдельно по факторам «Человек», «Машина» и «Среда» с указанием причин и их сочетаний, которые повышают угрозу возникновения АП. При этом для ЛПР предлагается набор предусмотренных в АС управленческих решений с оценкой их стоимости и эффективности в смысле снижения интенсивности появления соответствующих событий с последующим пересчетом оценок момента ζ_s пересечения критического уровня и оценки вероятности $\tilde{\pi}_s(t)$ возникновения события за рассматриваемый интервал длины T . Дезинтеграция событий по факторам «Человек», «Машина» и «Среда» на 14 групп событий (рассматриваемых при оценивании событий в АС) осуществляется в соответствии с установленными причинно-следственными связями.

1.4 Подробное описание расчета некоторых параметров фактора «Среда»

1.4.1 Модуль АС разработки взлетно-посадочных характеристик

При прогнозировании авиационного происшествия в разрабатываемой АС во многих факторах опасности используется расчет взлетно-посадочных характеристик (ВПХ) ВС АК Волга-Днепр. Опишем модуль АС отвечающий за расчет ВПХ.

Модуль расчетов ВПХ ВС для использования в программном комплексе БД аэропортов авиакомпании является функциональным модулем системы поддержки безопасности полетов и предназначен для предварительной проработки выбора аэродрома взлета-посадки для соответствующего рейса, а также проработки возможной загруженности воздушного судна до рейса и работе по заключенному контракту до рейса и во время выполнения рейса. Программное обеспечение состоит из нескольких частей (модулей):

- модуль расчета ВПХ ВС АК, модуль для стыковки с программным комплексом «OPERATIONS»;
- удобный визуальный графический интерфейс для ввода исходных данных и отображения результатов расчета,
- модуль работы с отчётами. Данный модуль позволяет формировать, сохранять и распечатывать отчеты с результатами расчетов в различных форматах файлов.

Для проведения расчетов модуль расчёта ВПХ осуществляет связь с базами данных (БД) программного комплекса OPERATIONS по характеристикам ВПП и метеопараметрам аэродромов, что позволяет выполнять автоматическое заполнение полей ввода и вывода.

Пример окна для ввода данных приведен на рисунке 1.50 (при взлете). Вверху экрана пользователь может выбрать тип ВС и режим полета из нескольких

вариантов. Чуть ниже располагаются области ввода данных ВС, аэродрома и метеорологических данных.

Расчет взлетно-посадочных характеристик

Тип ВС **Ан-124-100** Режим полета **Взлет** Шумовые параметры

Данные аэродрома				Данные ВС				Метео данные			
Аэродром	из БД а/д		<input checked="" type="checkbox"/> ИКАО	Прогрев двиг на исп., мин	2-6			Температура, град	±40		
МК ВПП, град	из БД а/д		<input checked="" type="checkbox"/> в ручн	Положение РУД, град	95-120			Шаг изменения темп	1-5		
TORA (РДР)	из БД а/д		<input checked="" type="checkbox"/> м/фут	V1/Vr	0,8-1			К сц	0,4-0,6		
TODA (РДВ)	из БД а/д		<input checked="" type="checkbox"/> м/фут	Заданный вес ВС, т	200-400			Направление ветра	1-360°		
ASDA (РДПВ)	из БД а/д		<input checked="" type="checkbox"/> м	Отказ двиг	1-2			U ветра, м/с	5+30		
LDA (РПД)	из БД а/д		<input checked="" type="checkbox"/> м					Шаг изменения U, м/с	1-3		
Elevation (ВПП)	из БД а/д		<input checked="" type="checkbox"/> м					Тип осадков			
Уклон ВПП	-2% - +2%							Слой осадков			
Градиент по SID	1-20%										
Прочность по PCN	из БД а/д		<input checked="" type="checkbox"/> ручн								

Выход за ограничения: Выход за ограничения: Выход за ограничения:

Расчетные данные

Вес	Дистанции	Скорости	Дополнит
G град 3,3%	L разб факт	V1	V1/Vr расч
G по ВПП	L разб потреб	Vr	Град на 120м
G по SID	D взл факт	V отр	Град после 400м
G по преп	D взл потребн	V2	Макс перв эш
G макс	D stop	V2 набора	Время/ Дист наб

Изменение взлетного веса ВС от ветра и температуры

Um/с/темп	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0											
2											
4											

Рисунок 1.50 – Форма для ввода данных (при взлете).

Некоторые характеристики, такие как ВПП для взлета/посадки, располагаемая дистанция разбега, выбираются пользователем из баз данных аэродрома. Области ввода данных ВС (прогрев двигателей на исполнительном старте, положение РУД и т.д.), аэродрома и ввода метеорологических данных выделены в отдельные таблицы. Перечень вводимых данных приведен в таблице 1.13.

Таблица 1.13 – Перечень вводимых параметров.

Параметр англ	Параметр рус	Пример	Ан-124-100	ИЛ-76ТД	ИЛ-76ТД-90ВД	Название
1. Данные аэродрома						
Airport	Аэродром	ОАКВ/КBL/ KABUL INT				Аэропорт вылета/ посадки
RW	МК ВПП	20				ВПП для взлета/ посадки
TORA	РДР	8200'				Располагаемая дистанция разбега
TODA	РДВ	8200'				Располагаемая дистанция взлета
ASDA	РДПВ	8200'				Располагаемая дистанция прерванного взлета
LDA	РПД	8500'				Располагаемая посадочная дистанция
Elevation	Превышение ВПП	200'				Превышение
Slope	Уклон ВПП	-0.2%				
Surface	Тип покрытия ВПП	concrete				

Продолжение таблицы 1.13

Параметр англ	Параметр рус	Пример	Ан-124-100	ИЛ-76ТД	ИЛ-76ТД-90ВД	Название
SID Gradient	Градиент по SID					
2. Данные ВС						
ENG Heating, min	Прогрев двиг, мин	6	2-6	-	-	Прогрев двигателей на исполнительном старте
RUD	Положение РУД, град	120	97-120			Положение РУД
V1/Vr	V1/Vr	0,95	07-1			Отношение V1/Vr
ETOW	Заданный вес ВС	350	191-392	90-190	97-195	Заданный вес ВС
AD TYPE	Тип аэродрома	ALT	ALT/DEST	ALT/DEST	ALT/DEST	Тип аэродрома для определения коэффициента безопасности 1,43/1,67
Flaps/Slats	Предкр/Закр	17/30	17/30 17/40			Конфигурация Предкрылков/ Закрылков (только на посадке)
Eng Out						

Следующей графой данных для ввода идут метеоданные: температура, шаг изменения температуры, направление и скорость ветра, тип осадков и т. д.

Таблица 1.14 - Перечень потребных расчетных параметров Ан-124-100

Параметр англ	Параметр рус	Пример	Ан-124-100	ИЛ-76ТД	ИЛ-76ТД-90ВД	Название
1. Блок дистанций						
D stop (m)	D прерв.взл (м)	3369				Дистанция прерванного взлета
L run 4(3)eng (m)	L разб 4(3)дв (м)	3022				Фактическая дистанция разбега на 4-х (3-х) двигателях
L run required 4(3)eng(m)	L разб потребн 4(3)дв (м)	3033				Потребная дистанция разбега на 4-х (3-х) двигателях с учетом коэффициента безопасности
D t/o 4(3)eng	D взл 4(3)дв	3269				Фактическая дистанция взлета на 4-х(3-х) двигателях
D t/o required 4(3)eng (m)	D взл потребн 4(3)дв (м)					Потребная взлетная дистанция на 4-х (3-х) двигателях с учетом коэффициента

Продолжение таблицы 1.14

						безопасности
2. Блок скоростей						
V 1 (km/h)	V 1 (км/ч)	256				Значение V1 (скорость принятия решения)
V R (km/h)	V R (км/ч)	260				Значение V P.OP (скорость поднятия передней опоры)
V OTR (km/h)	V отрыва (km/h)	275				Значение Votr (скорость отрыва)
V 2 (km/h)	V 2 (km/h)	295				Значение V2 (безопасная)
V 2N (km/h)	V 2 набора (km/h)	310				Значение V2N (безопасная набора)
V1/Vr cal	V1/Vr расч....	1.00				Коррекция V1/Vr используемые в расчетах
3. Блок градиентов и положения РУД						
Grad 120m 3(%)	Град 120m 3(%)	3.2				Градиент набора высоты на первом участке (до 120м) на 3-х двигателях
Grad 120m 4(%)	Град 120m 4(%)	8.1				Градиент набора высоты на первом участке (до 120м) на 4-х двигателях
Grad 400m 3(%)	Град 400m 3(%)	3.8				Градиент набора высоты на втором участке (до 400м) на 3-х двигателях
Grad 400m 4(%)	Град 400m 4(%)	6.7				Градиент набора высоты на втором участке (до 400м) на 4-х двигателях

Продолжение таблицы 1.14

RUD calc(grad)	РУД УПРТ расч(град)	120				Установка РУД используемая в расчетах
4. Блок параметров внешней среды						
Uvst (m/s)	Увстр (m/s)	0.3				Встречная составляющая ветра (м/с)
Ubok (m/s)	Убок (m/s)	3.0				Боковая составляющая ветра (м/с)
G gr 3% max(T)	G град 3% max(T)	398				Мах взлетная масса с учетом градиента набора 3%
5. Блок весовых параметров						
G RWY max(T)	G ВПП max(T)	400				Мах взлетная масса с учетом имеющихся дистанций
G SID max(T)	G SID max(T)	400				Мах взлетная масса с учетом имеющихся дистанций
G OBST max(T)	G преп max(T)	400				Мах взлетная масса с учетом градиента набора SID
G MAX (T)	G макс (T)	398				Мах взлетная масса, выбранная из приведенных выше
G calc (T)	G расч (T)	392				Ограничение Мах взлетной массы

Продолжение таблицы 1.14

6. Параметры набора						
FL calc 4 (ft)	Эш расч 4 (м)	8521				Первоначальный эшелон полета на 4-х двигателях
TIME clmb(min)	Время набора (min)	38				Время набора первоначального эшелона полета
DIST clmb (km)	Дист набора (км)	359				Дистанция набора первоначального эшелона полета
7. Шумовые ограничения						
RUDnoise(grad)	РУД шум(град)	91				Угол установки РУД для удовлетворения ограничений по шумам
Noise (dBA)	Звуковое давление (dBA)	96.3				Значение шумового давления при пролете монитора
H_RUD (m)	H_применен РУД (м)	170				Высота, на которой переключаются РУД
H_PK (m)	H_пролет монитр (м)	210				Высота пролета монитора

Приложение предоставляет расчёт таких характеристик, как максимальный посадочный вес, посадочная дистанция, дистанция пробега; скорости принятия решений, отрыва, и набора высоты, а также изменение взлетного веса ВС от ветра и температуры и некоторые дополнительные параметры, список которых приведён в таблице 1.14

На главной форме предусмотрена кнопка для вызова вспомогательной формы для расчета шумовых параметров (см. рисунок 1.51).

Расчет шумовых параметров зависит от типа самолета. К примеру, самолет АН-124-100 с двигателями Д-18Т (со звукопоглощающими конструкциями) по уровню шума, создаваемого на местности, соответствует требованиям главы 3 приложения 16 Стандарта ИКАО при максимальной взлетной массе 392 т. и максимальной посадочной массе 330 т. Однако, требования к эксплуатации самолетов в определенных аэропортах обязывают летные экипажи выполнять взлет и посадку с ограничением шума на местности.

Окно ввода шумовых параметров

Взлёт

Удаление от точки старта до ПКШ: м

Боковое удаление до ПКШ: м

Уровень воспринимаемого шума: дБ

Посадка

Высота над ПКШ: м

Удаление ПКШ от ближайшего по курсу торца: м

Уровень воспринимаемого шума: дБ

Графическая информация

Ок

Рисунок 1.51 – Форма для ввода шумовых параметров.

Выполнение требований по ограничению шума на местности при взлете обеспечивается дросселированием режима работы двигателей на заданной высоте до необходимого, определяемого условиями взлета. При подготовке к полету максимально допустимая взлетная масса самолета определяется по номограммам в руководстве летной эксплуатации ВС.

Уровень шума, создаваемый самолетом в зоне ограничения шума, может быть уменьшен удалением самолета при взлете и посадке от зоны ограничения шума путем выбора (по согласованию с диспетчером аэропорта) предпочтительных по шуму ВПП и маршрута полета. Это необходимо учитывать при подготовке к полету. Если в аэропорту имеются рекомендации по ограничению шума на местности, то экипаж обязан сравнить требования по ограничению шума на местности для аэропорта с требованиями по ограничению шума для самолета, изложенными в настоящем подразделе.

Исходные данные для вычисления шума перечислены в таблице 1.15. В таблице 1.16 показан пример определения ожидаемого уровня воспринимаемого шума в ПКШ при заходе на посадку.

Таблица 1.15 – Исходные данные для определения уровня шума.

Наименование параметра	Пример 1	Пример 2
Высота аэродрома, м	0	0
Температура, °С	25	15
Взлетная масса, т	360	390
Ветер, м/с	5 (встречный)	7 (попутный)
Удаление от линии старта до ПКШ или КТ (I), м	10000	7500
Боковое удаление ПКШ от линии курса взлета (d), м	–	450
Допустимый уровень шума в ПКШ, РNdБ (дБА)	98 (85)	98 (85)

Таблица 1.16 – Пример определения ожидаемого уровня воспринимаемого шума в ПКШ при заходе на посадку.

Наименование параметра	Пример 3	Пример 4
Удаление ПКШ (КТ) от торца ВПП (l), м	9000	2000
Боковое удаление ПКШ от линии посадочного курса, (d), м	–	300
Допустимый уровень шума в ПКШ, PN, дБ (дБА)	98 (85)	98 (85)

Программа AP ВПХ ВС обеспечивает защиту от ошибочных действий персонала, выдавая предупреждения при неправильном вводе данных или запрещая вводить данные, выходящие за пределы ограничений, что исключает возможность нарушения функционирования от неправильных действий, обеспечивая сохранение данных системы при любых действиях персонала и одиночных отказах программно-технических средств.

Используемые в модуле алгоритмы, задающие условия и последовательность действий компонентов автоматизированной системы, выполняют заявленные в системе функции с заданной погрешностью и в течение заданного времени исполнения.

Разработанное приложение может взаимодействовать с внешними навигационными базами данных аэродромов, характеристик воздушных судов, метеоданных по сезонным температурам и ветрам, благодаря чему в программе можно предварительно проработать выбор аэродрома взлета-посадки для соответствующего рейса, выявить предварительную загруженность ВС до рейса и во время выполнения рейса.

Приложение реализует расчет ВПХ ВС в нормальных условиях и с учетом отказа одного (двух) двигателей для заданных погодных условий:

- определение ВПХ для ВПП с искусственным покрытием для различных коэффициентов сцепления и видов осадков;
- определение ВПХ грунтовых и заснеженных ВПП (для Ил-76ТД/ТД90ВД);

- расчет максимального взлетного и посадочного веса по условию ограничения шума на местности;
- расчет максимального взлетного и посадочного веса по условию ограничения набора потребного градиента набора высоты при взлете и уходе на второй круг;
- расчет ВПХ с учетом высоты и удаленности препятствия от точки начала разбега.

Расчет ВПХ самолетов Ан-124-100(150) и Ил-76ТД/ТД90ВД проводился в соответствии с методиками РЛЭ (Ан-124-100 – раздел 6 (версия РЛЭ от 1993г) и разделом 7 (версия РЛЭ от 2003г), Ил76ТД /Ил76ТД-90ВД – раздел 5 по формулам, аппроксимирующими номограммы данных разделов или с использованием матричной формы описания графиков.

Разработанное приложение АР ВПХ ВС функционирует как в нормальном режиме, при котором клиентское программное обеспечение и технические средства пользователей и администратора системы обеспечивают возможность использования в течение рабочего дня и серверном программное обеспечение и технические средства обеспечивающие возможность круглосуточного функционирования, с перерывами на обслуживание, которые задаются исполнителем, так и в аварийном режиме характеризующимся отказом одного или нескольких компонент программного и (или) технического обеспечения. При переходе системы в аварийный режим происходит автоматическое уведомление пользователей, сохранение данных и результатов работы.

Программные и технические средства разработанные в программе АР ВПХ ВС обеспечивают диагностику и самодиагностику компонентов АС с глубиной поиска места отказа до модуля. Фиксируются следующие ситуации: отказ средств связи с сервером БД; отказы сервера БД или клиентского приложения; ошибки во входных файлах и в вводимых данных. При этом пользователю выдаются следующие диагностические сообщения: отсутствует связь с сервером БД; входные данные некорректны или ошибка клиентского приложения. При возникновении аварийных

ситуаций и ошибок в программном обеспечении, диагностические инструменты разработанной АС позволяют сохранять набор информации, необходимой для идентификации нештатной ситуации: время возникновения нештатной ситуации, входные данные, запрос к серверу БД, ответ сервера БД, АС сохраняют данные о времени и пользователе создавшем и модифицировавшем записи в критически важных таблицах с данными.

Для подтверждения соответствия разработанной программы АР ВПХ ВС требованиям технического задания и нормативно-технической документации при адаптации АС будут проводиться тестовые испытания модуля АР ВПХ ВС для определения работоспособности разработанной программы АР ВПХ ВС и принятии решения вопроса о возможности ее приемки в опытную эксплуатацию. Разработанное приложение АР ВПХ ВС будет эксплуатироваться с целью определения фактических значений количественных и качественных характеристик, фактической эффективности программы АР ВПХ ВС и готовности персонала к работе в условиях функционирования системы.

Входящие в состав программы АР ВПХ ВС подсистемы в процессе функционирования осуществляют обмен информацией на основе открытых протоколов и форматов обмена данными, которые разработаны и утверждены на этапе технического проектирования.

По проведению расчетов есть возможность сформировать отчет, которые можно сохранить в следующих форматах DOC, XLS, PDF, HTML. Также полученные результаты можно интегрировать с “Программами навигационно-коммерческих расчетов” для формирования комплексных отчетов по коммерческой загрузке рейсов.

Была реализована совместимость характеристик технических средств (каналов связи, модемов, адаптеров и т.д.), определенных технической документацией на систему, с характеристиками технических средств смежных систем.

Был реализован принцип открытой архитектуры построения системы, обеспечивающий возможность дополнения функциональности по различным типам ВС и организации взаимодействия с другими системами.

Программа АР ВПХ ВС обеспечивает настройку и адаптацию к изменению параметров и методов управления путем адаптации, осуществляемой путем проведения структурной и параметрической настройки соответствующих функциональных подсистем. Адаптация программы должна проводиться администратором АС с помощью соответствующего программного обеспечения.

Все запросы к серверу были оптимизированы так, что пиковая нагрузка на один расчет не превышает 5 минут. Все запросы на сервере обрабатываются параллельно, максимальное количество запросов 10 штук. Периоды накопления архивных данных и накопления в данных оперативной обработки не ограничены.

Программа АР ВПХ ВС обеспечивает масштабируемость по количеству пользователей в пределах до 100 человек (зависит от производительности сервера БД и может быть увеличена при необходимости).

Приложение требует настройки и изменения конфигурации автоматизированных рабочих мест пользователей. При этом сохраняется независимость от изменений в организационной структуре подразделений Предприятия при сохранении состава и содержания выполняемых функций.

Разработанное приложение АР ВПХ ВС должно обслуживаться двумя администраторами АС с высшим образованием и стажем работы не менее 1 года и пользователями системы в количестве 20 человек с требуемой квалификацией: пользователь ПК.

1.4.2 Модель АС разработки аэропорта экстренной посадки

При возникновении сбойной ситуации на воздушном судне авиакомпании в полете может возникнуть необходимость экстренной посадки ВС. В связи с этим была разработана программа для автоматического определения аэродрома экстренной посадки. Рассмотрим функциональные особенности этой программы.

Разработанное приложение может быть использовано для:

- определения перечня пригодных аэродромов экстренной посадки из любой точки маршрута при возникновении сбойной ситуации в полете, не позволяющей выполнить рейс по плану для нормальных условий эксплуатации и при наличии технических отказов на ВС;
- определения оптимального по заданному критерию маршрута продолжения авиаперевозки с учетом посадки на каждом из найденного перечня пригодных аэродромов экстренной посадки;
- выбора аэродрома экстренной посадки из любой точки маршрута в соответствии с заданным критерием оптимальности и ограничениями для нормальных условий эксплуатации и при наличии технических отказов на ВС.

Примером сбойной ситуации на ВС в полете могут быть технический отказ на ВС (отказ 1 и 2 двигателей, разгерметизация, неполная уборка шасси в различных комбинациях), организационные ограничения на выполнение рейса, возникшие после взлета или критическое изменение аэронавигационных или метеоданных на аэродромах и по маршруту перевозки после взлета.

Основными функциями разрабатываемого модуля поддержки принятия решения автоматизированной системы определения аэродрома экстренной посадки при возникновении сбойной ситуации на воздушном судне авиакомпании в полете являются:

- совершенствование производственных процессов обеспечения безопасности и экономичности полетов ВС авиакомпании при сбойных

ситуациях на ВС в соответствии с концепцией управления безопасностью полетов;

- решение проблемы информационной перегрузки ЛПР в задачах управления в реальном режиме времени;
- оказание информационной помощи экипажу ВС авиакомпании по выбору аэродрома внеплановой посадки при возникновении сбойной ситуаций на ВС в полете, не позволяющей выполнить рейс по плану.

Данный модуль состоит из нескольких частей-подмодулей, перечислим область применения каждого подмодуля.

Подмодуль управления вычислениями предназначен:

- для организации взаимодействия подмодулей ППР (подмодуля определения оптимальности и отбора вариантов решения, подмодуля оперативной модификации алгоритма поиска решения ППР), модели системы управления и человеко-машинного интерфейса;
- формирования адаптивного алгоритма поиска решения задач управления в СУ с использованием вариантов решения КС в базе примеров ситуаций для распознанной ситуации в СУ и формирования запроса пользователю (ЛПР) на уточнение ограничений в случае, если ситуация в СУ не распознана;
- формирование представления в человеко-машинном интерфейсе отобранных вариантов решения задач управления в удобном для ЛПР виде для реализации процесса поддержки принятия решения ЛПР по выбору варианта решения задачи управления в СУ. Например, маршрута перевозки, маршрута стыковки рейса или аэродрома экстренной посадки в соответствии с заданными ЛПР ограничениями и критериями оптимальности.

Подмодуль оперативной модификации алгоритма поиска решения состоит из базы примеров ситуаций, базы примеров решений и модуля поиска соответствий ситуации в модели системы управления и базе примеров ситуаций.

Данный подмодуль предназначен для автоматизированного определения способа изменения (адаптации) стандартных алгоритмов поиска решения задачи управления в модуле управления вычислениями в зависимости от ограничений (типа КС) в СУ.

В общем случае способы решения КС в СУ, формализованные и хранящиеся в подмодуле оперативной модификации алгоритма поиска решения, служат для модификации стандартных алгоритмов поиска решения задач управления в СУ, с целью снижения времени поиска, в конечном итоге, снижения общего времени на принятие оптимального решения ЛПР.

Модуль оценки оптимальности найденных решений, их фильтрации и отбора для представления ЛПР предназначен: для проверки соответствия каждого из полученных вариантов решения задач управления в СУ установленным ограничениям, а также критериям оптимальности, задаваемым пользователем для каждого случая поиска решения. Формирования общей выборки пригодных вариантов решения, ранжирования и отбора вариантов решения задач управления в зависимости от приоритета критериев оптимальности, задаваемых пользователем для представления ЛПР.

Модель системы управления предназначена для задания ситуации в СУ и выявления КС, а также выполнения необходимых вычислений значений параметров оперативного управления в целях управления в СУ. Применение информации, заложенной в ММА ППР по способам решения КС в СУ возникающих при поиске решений задач управления, требует выполнения вспомогательных вычислений, реализация которых достигается в результате взаимодействия модуля управления вычислениями и модулей модели системы управления с использованием соответствующих баз данных. Рассмотрим состав и назначение модулей и БД модели СУ планирования и полетного диспетчерского управления рейсами авиакомпании.

Подмодуль 1 «Расчет расстояний». Решение задачи поиска расстояний между парами пригодных аэропортов является построение адаптивных алгоритмов вычисления ортодромических расстояний по географическим координатам

контрольной точки аэродромов с последующей корректировкой полученного значения в зависимости от региона полета. Значения коэффициентов увеличения ортодромического расстояния рассчитываются как среднестатистические значения по результатам многочисленных расчетов в специализированной коммерческой системе расчета маршрутов и вносятся в ППР на предварительных этапах ее разработки. Для задач управления рейсами авиакомпании, выполняемых в течение следующих суток, такой подход предусматривает необходимость итогового уточнения расстояний лишь для небольшого числа экономически выгодных (с учетом других ограничений) вариантов маршрута полета ВС для выбора оптимального по заданному критерию.

Подмодуль 2 «Поиск пригодных аэродромов» предназначен для формирования перечня пригодных аэропортов экстренной посадки ВС в полете.

Поиск производится с учетом ограничений, заданных и определенных автоматически ППР по каждой отдельной задаче управления. Часть ограничений задается пользователем (брифинг экипажа на рейс) и хранится в БД «Электронное дело рейса». Ограничения, задаваемые ЛПР, могут включать в себя ограничения по грузу, например:

- исключение посадки на территории выбранных стран;
- максимальная продолжительность перелетов при перевозке животных.

Также оператором задаются данные по ситуации на ВС, например:

- тип отказа на ВС;
- точка маршрута, от которой выполняется поиск пригодных аэропортов;
- фактический остаток топлива на борту (при отсутствии такой информации используется плановое значение из брифинга экипажа на рейс).

Вторая часть ограничений определяется ППР автоматически с использованием БД авиакомпаний, расчетных взлетно-посадочных характеристик, Подмодулей 1 и 2 по результатам распознавания типа ситуации в ММА ППР. Примеры автоматически определяемых ограничений:

- минимальные размеры ВПП и максимальное превышение а/д в зависимости от типа ВС и типа отказа на ВС;
- на международных рейсах – тип крайнего аэропорта и его запасных при вылете из страны и первого аэропорта и его запасных при влете в страну с учетом требований таможенного и пограничного контроля разных стран.

Таким образом, из множества аэродромов в БД только часть является пригодными с учетом ограничений для поиска решения конкретной задачи управления.

Подмодуль 3 «Расчет маршрута перевозки в соответствии с заданным критерием оптимальности и ограничениями» предназначен для:

1) расчета и определения маршрутов перевозки с учетом каждого из найденных аэродромов экстренной посадки, обеспечивающих требуемую провозную способность ВС заданного типа, с учетом ВПХ ВС, расчетных дистанций между парами пригодных аэропортов, среднестатистических метеопараметров на аэропорте и по маршрутам перевозки;

2) определения себестоимости каждого варианта маршрута перевозки. Под себестоимостью варианта маршрута перевозки понимаются суммарные эксплуатационные затраты АК на выполнение перевозки груза данной массы по выбранному маршруту. Основными составляющими эксплуатационных затрат авиакомпании на перевозку являются:

- расходы на топливо;
- расходы на ТО и продление ресурса ВС;
- расходы на страховку ВС экипажа и груза;
- расходы на экипаж (оплата рабочего времени/командировочные);
- расходы на обслуживание ВС (аэронавигационное обслуживание взлета/посадки, заправка, стоянка и др.), экипажа (питание, отдых и др.) и груза (погрузка, разгрузка, хранение и др.) в аэропорту, включая

оплату таможенных процедур на международных участках маршрута перевозки;

- сборы государств за аэронавигационное и диспетчерское обслуживание ВС по маршрутам полетов.

Подмодуль 4 «Расчет маршрута стыковки рейсов» предназначен для:

1) определения оптимального по заданному критерию варианта маршрута стыковки рейсов с учетом дополнительных ограничений. Например, по срокам начала нового рейса, нормам труда и отдыха экипажей, регламенту работы аэропорта (либо выделенного временного диапазона суток, в пределах которого обеспечивается взлет/посадка ВС заданного типа с потребной взлетной и посадочной массами по ВПХ), времени погрузочно/разгрузочных операций для груза данного типа, остатка ресурса ВС;

2) построения вариантов стыковки рейсов в пригодном для использования табличном и графическом виде. Необходимыми составляющими модели системы управления являются набор специализированных БД. Программа позволяет ввести всю необходимую информацию вручную либо проводить расчеты по неполным данным, а также обладает набором протоколов импорта/экспорта для взаимодействия с возможными существующими базами данных авиакомпании, в которой планируется применения данного ПО (XML, веб-сервисы и т.п.).

Взаимодействие пользователей с прикладным программным обеспечением, входящим в состав ППР АС ОАЭП осуществляется посредством удобного визуального графического интерфейса (GUI). Все экранные формы пользовательского интерфейса выполнены в едином графическом дизайне, с одинаковым расположением основных элементов управления и навигации. Для обозначения сходных операций используются сходные графические значки, кнопки и другие управляющие (навигационные) элементы. Термины, используемые для обозначения типовых операций (добавление информационной сущности, редактирование поля данных), а также последовательности действий пользователя при их выполнении, унифицированы. Внешнее поведение сходных элементов

интерфейса (реакция на наведение указателя «мыши», переключение фокуса, нажатие кнопки) реализованы одинаково для однотипных элементов.

Информационная база разработанной ППР АС ОАЭП включает модули и базы данных как принадлежащие непосредственно ППР «АС ОАЭП» так и принадлежащие авиакомпании.

Для хранения всех информационных массивов определяется система управления базами данных в данном модуле, отвечающая следующим требованиям:

- поддержка реляционной или объектно-реляционной модели базы данных;
- поддержка технологии клиент-сервер;
- поддержка многопроцессорной архитектуры.

Рассмотрим отдельно каждую базу данных:

БД «Электронное дело рейса» содержит информацию об ограничениях по грузу, маршруту и аэродромам каждого планируемого рейса или заявки на перевозку груза, а также брифинг экипажа на рейс.

БД «Расписание полетов» служит хранилищем действующего расписания, а также проектов расписания полетов.

БД «Необходимость и сроки получения разрешений на пролет стран и использование аэродромов» в зависимости от типа груза содержит сведения по данному виду ограничений для целей расчета маршрутов перевозки и расписания полетов.

БД «Эксплуатационных характеристик аэродромов и навигационных объектов» является источником официально изданных сведений:

- по характеристикам ВПП аэродромов;
- времени работы и закрытию аэропортов, ограничению по шумам в зависимости от типа ВС и двигателей;
- наличию и стоимости необходимых видов обслуживания ВС, экипажа и груза в аэропорту (в том числе иммиграционное и таможенное обслуживание, гостиница для экипажа, и т. д.);

- доступный объем и стоимость топлива в аэропорту;
- координатам аэродрома и маршрутных навигационных точек.

БД «Метеопараметров» является источником сведений по важным для АТС параметрам окружающей среды. Например, среднестатистическим температурам на выбранный месяц (период) планируемых полетов по всем аэропортам мира. Кроме того, служит источником данных по среднестатистическим значениям температуры, скорости и направлению ветра по высотам для всех регионов мира на каждый месяц года.

БД «летно-технических и взлетно-посадочных характеристик ВС» содержит индивидуальные параметры для планирования каждого этапа полета ВС выбранных типов в нормальных условиях эксплуатации и при различных отказах на ВС (в том числе топливно-временные). Необходимая функциональность, алгоритмы работы и виды отчетов наполнения БД по взлетно-посадочным характеристикам ВС описаны в техническом задании.

БД «Расстояний и коэффициентов увеличения ортодромии» содержит сведения по дистанциям между аэропортами и коэффициентов увеличения ортодромических расстояний в зависимости от региона полета.

БД «Запасных аэропортов» содержит сведения по выбору запасного аэропорта для каждого пригодного аэродрома с учетом имеющихся ограничений.

БД «Ресурса и технического состояния ВС» является динамически пополняемой специалистами инженерно-авиационной службы авиакомпании БД по остаткам ресурса элементов ВС до следующей формы ТО.

БД «Налета, учета труда и отдыха экипажей ВС» также является динамически пополняемой специалистами летной службы авиакомпании БД по налету летного и технического экипажей ВС.

Комплект рабочей документации на «ППР АС АОЭП» будет входить в документацию АС и включает: спецификацию - состав программы и документации на нее; пакет программы - запись программы с необходимыми комментариями; описание самой программы - сведения о логической структуре и

функционировании программы; программа и методика испытаний - требования, подлежащие проверке при испытании программы, а также порядок и методы их контроля и техническое задание - назначение и область применения программы, технические, технико-экономические и специальные требования, предъявляемые к программе, необходимые стадии и сроки разработки, виды испытаний.

Средства и оборудование, предназначенные для реализации ППР АС АОЭП обеспечивают автоматизированный расчет данных о местоположении, летных и взлетно-посадочных характеристик ВС в нормальных условиях и с учетом отказа в реальном режиме времени. Обеспечивают высокий уровень визуализации результатов построения сети маршрутов перевозки, пригодных аэродромов экстренной посадки, маршрутов стыковки рейсов в табличном и графическом виде (на фоне карты района полетов) с возможностью сортировки и управления составом выводимой информации. Обеспечивают возможность ввода уточненных данных по расчету пользователем; накапливают и хранят информацию, введенную пользователем и полученную системой; имеют защиту информации от несанкционированного проникновения и от воздействия окружающей среды.

Автоматизируются следующие процессы управления безопасностью и экономичностью полетов авиакомпании в задачах определения пригодных аэродромов экстренной посадки из любой точки маршрута полета для нормальных условий и при наличии отказов на ВС. Определение оптимального маршрута продолжения авиаперевозки из всех найденных пригодных аэродромов экстренной посадки в соответствии с заданным критерием оптимальности с учетом ограничений. Расчет вариантов стыковки рейсов для подготовки расписания полетов ВС. Предусмотрена возможность разработки и подключения дополнительной функциональности ППР АС АОЭП:

- получение данных погоды TAF/METAR из внешнего источника (интернет, AFTN) по выбранным аэродромам мира и ее распознавание;
- получение информации NOTAM из внешнего источника (интернет, AFTN) по выбранным аэродромам мира и ее распознавание;

- формирование сводного бюллетеня NOTAM по всем пригодным аэродромам экстренной посадки, вводить информацию по метеоусловиям вручную и наличие механизмов импорта по разработанным протоколам.

В разработанной ППР АС АОЭП в качестве средства связи будет использована локальная вычислительная сеть на базе технологии Ethernet (обмен между контроллерами, станциями оператора, архивной, и другими станциями) не ниже 100 Мбит.

В качестве базового протокола сетевого и межсетевого взаимодействия используется протокол TCP/IP (UDP/IP).

Локальная вычислительная сеть будет работать по технологии клиент-сервер (задания или сетевая нагрузка распределены между поставщиками услуг (сервисов), называемыми серверами, и заказчиками услуг, называемыми клиентами).

Разработанная АС будет взаимодействовать с существующими базами данных Единой интегрированной системы управления автоматизированного комплекса и является ее частью.

АС может использовать сеть интернет для информационного обмена с внешними пользователями, информационными источниками и автоматизированными информационными системами.

В АС реализованы средства конвертирования данных из форматов обменных файлов в унифицированные форматы представления данных пользователю. В качестве основного стандарта идентификации и описания данных для интеграции приложений используется язык XML. Данные унаследованных систем, не позволяющих экспорт в XML, будут передаваться в согласованных иных форматах.

Импорт данных из смежных систем в данном модуле производится уполномоченным лицом в соответствии с установленным и утвержденным регламентом, через согласованные механизмы обмена.

1.4.3 АСАРАБИ - автоматизированная система анализа рисков авиационной безопасности в Интернете

Рассмотрим модуль АС («автоматизированная система прогнозирования авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок»), имеющий название «автоматизированная система анализа рисков авиационной безопасности в Интернете» («АСАРАБИ»). В этой части программы определяются меры, веса, наличие ФО: акты незаконного вмешательства, террористическая угроза, военная угроза, политическая нестабильность в районе аэропорта. Этот модуль необходим для повышения безопасности выполнения чартерных воздушных перевозок за счет автоматизированного анализа информации новостных сайтов сети Интернет.

На каждый ФО влияют другие (определенные экспертом) факторы опасностей, которые будем называть источниками данного ФО (ИФО), приведенные в таблице 1.17.

Таблица 1.17 – Список ИФО для ФО.

№	Акты незаконного вмешательства	Террористическая угроза	Военная угроза	Политическая нестабильность
1	<i>Авиа</i>	Акт возмездия	<i>Армия</i>	Акция протеста
2	Авиабаза	Акция возмездия	Артиллерия	Антиправительственный
3	Авиакомпания	Аль-Каида	<i>Атака</i>	Беспорядки
4	Авиаудар	Антитеррористический комитет	Битва	Военный переворот
5	Авиационный объект	<i>Безопасность</i>	Боевая обстановка	Волнения (народные волнения)

Продолжение таблицы 1.17

№	Акты незаконного вмешательства	Террористическая угроза	Военная угроза	Политическая нестабильность
6	Авиация	Бомба	Боевик	Восстание
7	Аэродром	Взрыв	Боевые действия	Вражда
8	Аэропорт	Взрывное устройство	Боеготовность	Демонстрация
9	Беспилотник (беспилотный летательный аппарат)	Взрывчатое вещество	Боеприпасы	Дестабилизация
10	Бесполетная зона	Вооруженное формирование	Бой	Забастовка
11	ВВС	Джихад	Бомбардировка	Комендантский час
12	Вертолет	<i>Заложник</i>	Военизированное формирование	Конфронтация
13	Воздушное пространство	Захват (самолета)	Военная база	Межрелигиозные волнения
14	Воздушное судно (ВС)	Исламист	Военная операция	Межрелигиозный конфликт
15	<i>Пассажир</i>	Исламистское движение	Военное вмешательство	Межэтнический конфликт
16	Периметр аэропорта	Контртеррористическая операция	Военное наступление	<i>Недовольство</i>
17	<i>Потерпеть крушение</i>	Кровопролитие	Военные действия	Ожесточенная борьба
18	<i>Разбиться</i>	Мятежник	Военный	Оппозиционный
19	Самолет	<i>Насилие</i>	Воздушный	Оппозиция

Продолжение таблицы 1.17

№	Акты незаконного вмешательства	Террористическая угроза	Военная угроза	Политическая нестабильность
			налет	
20	Шасси	Несанкционированное проникновение	Войска	<i>Переговоры</i>
21	Акт незаконного вмешательства	Повстанцы	Война	Передача власти
22		Повышенный риск	Вооруженное противостояние	Подавление восстания
23		Противодействие терроризму	Вооруженное сопротивление	Подавление конфликта
24		<i>Ранение</i>	Вторжение	Политическая борьба
25		<i>Раненый</i>	<i>Защищать</i>	Политическая стабильность
26		<i>Риск</i>	Интервенция	<i>Преступность</i>
27		Сепаратист	Истребитель	Протест
28		Смертник	Коалиционные силы	Протестующий
29		Спецназ	Коалиция	Чрезвычайное положение
30		Спецслужба	Наземная атака	Эскалация конфликта
31		Талибан	Оборона	Эскалация насилия
32		Терроризм	Обстрел	
33		Террорист	Ожесточенный бой	

Продолжение таблицы 1.17

№	Акты незаконного вмешательства	Террористическая угроза	Военная угроза	Политическая нестабильность
34		Террористическая сеть	<i>Оружие</i>	
35		Террористическая угроза	ПЗРК (переносной зенитно-ракетный комплекс)	
36		Террористический акт	Ракета	
37		Тропиловый эквивалент	Сражение	
38		Угроза	<i>Столкновение</i>	
39		<i>Чрезвычайный</i>	<i>Эвакуация</i>	

Выделенные курсивом в таблице 1.17 слова могут употребляться в текстах, не связанных с военно-политической обстановкой или авиационной безопасностью, но необходимо выделяемые экспертами для тестирования их упоминания совместно с остальными словами этого же ФО.

Входными данными для каждого фактора (ВДФО) опасности является:

1. найденное количество слов из таблицы в сочетании с регионом для конкретного ФО;
2. количество найденных слов в соответствии с рассматриваемым регионом для конкретного ФО в сочетании с другими словами из рассматриваемого ФО по таблице 1.17.

Объектом автоматизации является процедура получения информации и расчет АБ при выполнении чартерных воздушных перевозок. В него входят следующие процессы:

1. сбор, обобщение и анализ информации по авиационной безопасности на аэродромах взлета и посадки;
2. сбор, обобщение и анализ информации о военно-политической обстановки в регионах полётов ВС АК;
3. расчет вероятности возникновения военно-политической или террористической чрезвычайной ситуации в районе аэропорта.

Система «АСАРАБИ» является функциональным модулем разрабатываемой АС поддержки безопасности полетов и предназначена для комплексного организационно-технического взаимодействия этих систем, а также для функционирования в автономном режиме, выдавая данные по запросам сотрудников САБ. Ее основными целями и задачами являются:

1. Повышение безопасности полетов за счет улучшения информированности оперативных сотрудников и повышения качества полетной документации.
2. Повышение оперативности и надежности при использовании и хранении информации по авиационной безопасности в мире полученной из Интернета.
3. Функционирование в качестве модуля АС с выдачей рассчитанных данных по ее запросу.
4. Повышение качества принятия управленческих решений за счет создания единого информационного пространства для сотрудников САБ при получении, хранении и анализе информации из внешних источников с помощью Интернета.

Для достижения вышеперечисленных задач реализуются математические и технические (информационные) методы.

1. Математические методы.

Для расчета угрозы, связанной с авиационной безопасностью, в выбранном

аэропорту используются математические расчеты. Все ИФО для ФО и меры авиационной безопасности в выбранном аэропорту характеризуются определенными КЗ (ниже в таблицах 1.20, 1.21, 1.22 и 1.23 обозначенные символами β_j^i), назначаемыми экспертами системы. После сбора информации по конкретному аэропорту, для него производится перерасчет состояния АБ с учетом полученной информации и использованием КЗ ИФО для ФО найденных в Интернете слов из таблицы 1.17.

Приведем построение формальной математической модели, позволяющей реализовать методики определения оценки безопасности в аэропорту, получаемые из модели после алгоритмизации. Методика представляет собой последовательность мероприятий и процедур компьютерной обработки в соответствии с регламентом экспертного оценивания, анализа данных новостных ресурсов Интернета, анализа мер безопасности, выполняемых в аэропорту, по приведенным ниже формулам.

Рассмотрим вероятностное пространство (Ω, F, P) . Пространство элементарных исходов Ω представляет собой множество всех возможных сценариев развития событий, анализируемых в модели. При этом оцениваются вероятности событий, здесь обозначаемых символами B (факторы опасностей) и A^{SEC} (происшествие, связанное с авиационной безопасностью, военно-политической или террористической чрезвычайной ситуацией), где

$$B = \{B^1, B^2, B^3, B^4\}. \quad (1.194)$$

Предполагается, что данные ФО могут привести к авиационному событию A^{SEC} - «военно-политическая или террористическая чрезвычайная ситуация». То есть, имеет место включение $A^{SEC} \subset B^1 \cup B^2 \cup B^3 \cup B^4$. Здесь в соответствии с моделью, представленной в разделе 1.2.1 событие A^{SEC} является ФО. В настоящем модуле событие B^1 - акты незаконного вмешательства, B^2 - террористическая

угроза, B^3 - военная угроза, B^4 - политическая нестабильность.

Оценивание вероятностей P событий A^{SEC} , B^i и их комбинаций (допускающих операции объединения, пересечения и исключения) предполагает формирование $F - \sigma$ -алгебры подмножества множеств Ω , порожденной как раз (и только) событиями из B и событием A^{SEC} . Мера $P(A^{SEC})$ представляет собой вероятность события A^{SEC} (экспертно и экспериментально – по частотам) оцениваемую по ФО с учетом экспертно определяемых условных вероятностей $P(A^{SEC} | B^i)$ и частот появления факторов B^i . Оценивание меры B^i производится по входным данным φ_i , представляющим собой скалярный или (здесь) векторный набор статистических показателей (характеристик).

При экспертном оценивании устанавливаются оценки условных вероятностей:

$$\begin{aligned} P(A^{SEC} | B^1) &= q_1, & P(A^{SEC} | B^2) &= q_2, \\ P(A^{SEC} | B^3) &= q_3, & P(A^{SEC} | B^4) &= q_4, \end{aligned}$$

(где q_i - КЗ для ФО B^i) по результатам экспертных заключений, проводимых с регламентом обновлений (1 раз в полгода, или чаще по запросам администратора) в оценках $q_i, i = 1, 2, 3, 4$ в следующем виде:

$$\hat{q}_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r q_i^{(j)}. \quad (1.195)$$

Здесь $q_i^{(j)}$ - значение из диапазона от 0,00 до 1,00:

$$q_i^j = \frac{Q_i^{(j)}}{100\%}, \quad (1.196)$$

где $Q_i^{(j)}$ - ответ j -го эксперта (при общем количестве экспертов r) на вопрос: «В скольких случаях из 100 ФО B^i приведет к авиационному событию A^{SEC} - «военно-политической или террористической чрезвычайной ситуации в районе аэропорта»

Для вычисления вероятности (меры) авиационного события A^{SEC} используется следующая формула:

$$P(A^{SEC}) = 1 - (1 - q_1 P(B^1))(1 - q_2 P(B^2))(1 - q_3 P(B^3))(1 - q_4 P(B^4)). \quad (1.196)$$

В качестве меры q_i используются оценки \hat{q}_i с их корректировкой по регламенту (1 раз в полгода). Также в формуле (1.196) помимо экспертно оцениваемого значения \hat{q}_i условных вероятностей q_i входят вероятности мер B^i .

Необходимость разрабатываемого программного модуля вызвана требованием построения (эмпирических) оценок вероятностей $P(B^i)$.

Каждый аэропорт характеризуется по 13-ти мерам безопасности, каждая из которых имеет свой КЗ (обозначаемый символами α_n в таблице 1.18), но не обязательно каждая в конкретном аэропорту выполняется. Таким образом, для каждого l -го аэропорта заполняется таблица 1.18 соответствия мер безопасностей:

Таблица 1.18 – Список мер безопасностей в аэропортах.

Наименование	Коэффициент	Факт выполнения меры в l -ом аэропорту
Охрана аэропорта	α_1	I_1^l

Продолжение таблицы 1.18

Наименование	Коэффициент	Факт выполнения меры в l -ом аэропорту
Ограждение периметра аэропорта	α_2	I_2^l
Контроль доступа в аэропорт	α_3	I_3^l
Наличие систем видеонаблюдения	α_4	I_4^l
Охрана ВС на стоянках	α_5	I_5^l
Контроль перемещения по перрону	α_6	I_6^l
Освещение стоянок	α_7	I_7^l
Обеспечение безопасности груза	α_8	I_8^l
Безопасность борtpитания	α_9	I_9^l
Досмотр членов экипажа	α_{10}	I_{10}^l
Досмотр багажа	α_{11}	I_{11}^l
Досмотр пассажиров и ручной клади	α_{12}	I_{12}^l
Наличие грузового терминала	α_{13}	I_{13}^l

При этом, в соответствии с методологией (формула 1.195) и наличием r экспертов, устанавливаются значения α_n , где $n=1,2,\dots,13$ (количество мер безопасности также может допускать корректировку с 13 на иное число, но не чаще, чем 1 раз в год).

$$\alpha_n = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r \alpha_n^{(j)}, \quad (1.198)$$

где $\alpha_n^{(j)}$ - значение коэффициента значимости n -ой меры, выставленной j -ым

экспертом при регламентном опросе (не реже 1 раза в полгода), лежащим в диапазоне [1,10]. Величина I_n^l принимает значения «0» в случае отсутствия этой меры или «1» в случае ее соблюдения в l -ом аэропорту. Она выставляется оператором системы безопасности по мере поступления новых данных. Но первоначально (при заполнении), I_n^l заносится в БД оператором по всей имеющейся по l -ому аэропорту информации.

Представленная экспертиза и оперативная информация соответствия мер безопасности позволяет определить коэффициент безопасности l -го аэропорта $K_{БА}^l$ по формуле:

$$K_{БА}^l = \frac{\sum_{n=1}^{13} \alpha_n \cdot I_n^l}{\sum_{n=1}^{13} \alpha_n}. \quad (1.199)$$

При этом выполняется соотношение

$$0 \leq K_{БА}^l \leq 1, \quad (1.200)$$

где уровень $K_{БА}^l = 0$ соответствует отсутствию большинства необходимых мер безопасности, а уровень $K_{БА}^l = 1$ соответствует высокой безопасности конкретного l -го аэропорта.

События V^i с $i = 1, 2, 3, 4$ являющиеся ФО, оцениваются по результатам анализа новостных Интернет-ресурсов, с последующим (через каждые 2 часа) вычислением коэффициента безопасности факторов государства $K_{БГ}$.

Для вычисления $K_{БГ}$ проводится (с регламентом, описанным выше) тестирование сообщений на указанных Интернет-ресурсах при предположении их

информационной эквивалентности. Каждый новостной Интернет-ресурс анализируется по всей информации, поступившей за регламентированный промежуток времени (сейчас, 2 часа) и ранее, в соответствии со временем актуальности по ФО B^i , представленными в таблице 1.19.

Таблица 1.19 – соответствие ФО и времени актуальности собранных в Интернете новостей.

Факторы опасности	Время актуальности (в часах)
B^1 – политическая нестабильность	720
B^2 – террористическая угроза	168
B^3 – военная угроза	168
B^4 – акты незаконного вмешательства	720

Время актуальности из таблицы 1.19 задается администратором в настройках системы и не изменяется, согласно регламенту, чаще одного раза в полгода.

При этом для N сайтов (приведенных в таблице 1.26) и для каждого ФО определяется количество встречаемости каждого из слов по таблице 1.17 в течение времени актуальности по таблице 1.19 в виде векторов:

$$\varphi^1 = (\varphi_1^1, \varphi_2^1, \dots, \varphi_{n_1}^1), \quad \varphi^2 = (\varphi_1^2, \varphi_2^2, \dots, \varphi_{n_2}^2),$$

$$\varphi^3 = (\varphi_1^3, \varphi_2^3, \dots, \varphi_{n_3}^3), \quad \varphi^4 = (\varphi_1^4, \varphi_2^4, \dots, \varphi_{n_4}^4),$$

где n_i – размерность вектора φ_i (число найденных слов в новостях для i -го ФО из таблицы 1.17).

Входные данные φ_i для i -го ФО позволяют построить оценку $K_{БГ}^i$ коэффициента безопасностей факторов государства по фактору опасности с номером i по таблице коэффициентов значимости β_j^i j -ой компоненты i -го вектора входных данных.

Таблица 1.20 – Список коэффициентов значимостей для входных данных ФО «Акты незаконного вмешательства».

№	Эксперт 1	Эксперт 2	...	Эксперт r	β_j^1
1	$\beta_1^{1(1)}$	$\beta_1^{1(2)}$	...	$\beta_1^{1(r)}$	β_1^1
2	$\beta_2^{1(1)}$	$\beta_2^{1(2)}$	...	$\beta_2^{1(r)}$	β_2^1
...
n_1	$\beta_{n_1}^{1(1)}$	$\beta_{n_1}^{1(2)}$	...	$\beta_{n_1}^{1(r)}$	$\beta_{n_1}^1$

Таблица 1.21 – Список коэффициентов значимостей для входных данных ФО «Террористическая угроза».

№	Эксперт 1	Эксперт 2	...	Эксперт r	β_j^2
1	$\beta_1^{2(1)}$	$\beta_1^{2(2)}$	...	$\beta_1^{2(r)}$	β_1^2
2	$\beta_2^{2(1)}$	$\beta_2^{2(2)}$	...	$\beta_2^{2(r)}$	β_2^2
...
n_2	$\beta_{n_2}^{2(1)}$	$\beta_{n_2}^{2(2)}$	...	$\beta_{n_2}^{2(r)}$	$\beta_{n_2}^2$

Таблица 1.22 – Список коэффициентов значимостей для входных данных ФО «Военная угроза».

№	Эксперт 1	Эксперт 2	...	Эксперт r	β_j^3
1	$\beta_1^{3(1)}$	$\beta_1^{3(2)}$	...	$\beta_1^{3(r)}$	β_1^3
2	$\beta_2^{3(1)}$	$\beta_2^{3(2)}$	...	$\beta_2^{3(r)}$	β_2^3
...
n_3	$\beta_{n_3}^{3(1)}$	$\beta_{n_3}^{3(2)}$	...	$\beta_{n_3}^{3(r)}$	$\beta_{n_3}^3$

Таблица 1.23 – Список коэффициентов значимостей для входных данных ФО «Политическая нестабильность».

№	Эксперт 1	Эксперт 2	...	Эксперт r	β_j^4
1	$\beta_1^{4(1)}$	$\beta_1^{4(2)}$	...	$\beta_1^{4(r)}$	β_1^4
2	$\beta_2^{4(1)}$	$\beta_2^{4(2)}$	...	$\beta_2^{4(r)}$	β_2^4
...
n_4	$\beta_{n_4}^{4(1)}$	$\beta_{n_4}^{4(2)}$	...	$\beta_{n_4}^{4(r)}$	$\beta_{n_4}^4$

Коэффициенты β_j^i j -ой компоненты i -го вектора определяются по данным таблиц 1.20, 1.21, 1.22 и 1.23 и по формуле:

$$\beta_j^i = \frac{1}{r} \sum_{t=1}^r \beta_j^{i(t)}, \quad (1.201)$$

где $\beta_j^{i(t)}$ - КЗ, выставяемый t -ым экспертом для i -го ФО для ИФО с номером j (в диапазоне $1 \leq j \leq n_i$). Оценка $K_{БГ}^i$ коэффициента безопасности факторов

государства по фактору опасности с номером i производится по формуле

$$K_{БГ}^i = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{n_i} \varphi_j^i \cdot \beta_j^i}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} (\varphi_j^i)^2 \sum_{j=1}^{n_i} (\beta_j^i)^2}}. \quad (1.202)$$

При этом (по неравенству Коши-Буняковского) оценка $K_{БГ}^i$ лежит в диапазоне значений $[0,1]$. Тогда коэффициент безопасности государства $K_{БГ}$ определяется из соображений безопасности по каждому из факторов $i = 1, 2, 3, 4$

$$K_{БГ} = \prod_{i=1}^4 K_{БГ}^i. \quad (1.203)$$

Оценками мер ФО $P(B^i)$ является

$$P(B^i) = \gamma \cdot \hat{P}_1(B^i) + (1 - \gamma) \cdot \hat{P}_2(B^i), \quad (1.204)$$

где

$$\hat{P}_1(B^i) = (1 - K_{БГ}^i)(1 - K_{БА}) \quad (1.205)$$

представляет собой меру опасности по i -му фактору при условии его полной компенсации мерами безопасности аэропортов, а формула

$$\hat{P}_2(B^i) = 1 - K_{БГ}^i \cdot K_{БА} \quad (1.206)$$

представляет собой меру опасности по i -му фактору при условии доминирования любой из опасностей – как государственной незащищенности, так и соответственно аэропорта. То есть

$$\widehat{P}(B^i) = \gamma \cdot (1 - K_{BG}^i)(1 - K_{BA}) + (1 - \gamma) \cdot (1 - K_{BG}^i \cdot K_{BA}) \quad (1.207)$$

где параметр $\gamma \in [0,1]$ соответствует балансу соотношения защищенности государства и аэропорта. Значение параметра $\gamma = 0$ соответствует угрозе по i -му ФО для анализируемой безопасности государства, некомпенсируемой полностью мерами безопасности аэропорта. Значение $\gamma = 1$ соответствует возможности полной компенсации мерами безопасности аэропорта угроз государству i -ых ФО. Реальное балансовое соотношение определяется экспертом в диапазоне $\gamma \in (0,1)$ с первичным тестовым значением $\gamma = \frac{1}{2}$.

Значения K_{BG} и K_{BA} наряду с $\widehat{P}(B^i)$ и $\widehat{P}(A)$ являются результатами анализа и поступают в интерфейс модуля по запросу диспетчера. Причем, интерфейс АС обращается только за значением $\widehat{P}(A^{SEC})$.

В формуле 1.208 значения $P(B^i)$ заменены их оценками $\widehat{P}(B^i)$:

$$\widehat{P}(A^{SEC}) = 1 - (1 - q_1 \widehat{P}(B^1))(1 - q_2 \widehat{P}(B^2))(1 - q_3 \widehat{P}(B^3))(1 - q_4 \widehat{P}(B^4)), \quad (1.208)$$

причем, $0 \leq \widehat{P}(A^{SEC}) \leq 1$.

Полученное значение $\widehat{P}(A^{SEC})$ по формуле 1. 208 для конкретного аэропорта сопоставляется с диапазонами из таблицы 1.24.

Таблица 1.24 – Диапазоны значений вероятностей цветового представления 4-х уровней опасности.

Цветовое представление уровня опасности	Нижняя граница	Верхняя граница
ЗЕЛЕНЬЙ	0	p_1
СИНИЙ	p_1	p_2
ЖЕЛТЫЙ	p_2	p_3
КРАСНЫЙ	p_3	1

В этой таблице значения p_1 , p_2 , p_3 представляют собой границы цветовых зон. Их значения определяются экспертно и подлежат экспертной корректировке 1 раз в полгода (согласно регламенту).

2. Технические (информационные) методы.

2.1. Алгоритмы модуля по сбору и анализу собранной информации функционируют в автоматическом режиме на сервере под управлением Unix-системы. Помимо этого на сервере должен быть установлено следующее ПО Apache 2+, PHP4+ и MySQL, которое находится в свободном доступе и не требует покупки и лицензии. Сама программа выполнена в виде закрытого сайта, доступ к информации и управлением которого, можно получить после авторизации в системе (рисунок 1.52).

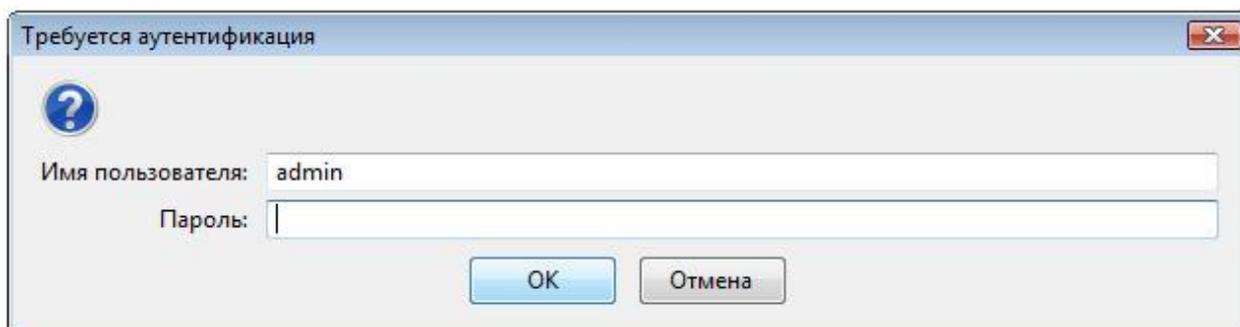


Рисунок 1.52 – панель авторизации пользователя системы.

«АСАРАБИ» предусматривает четыре группы пользователей: администратор, эксперты, операторы ввода (оператор) и диспетчеры. Оператор вносит и редактирует список ключевых слов, список новостных сайтов, устанавливает связи между аэропортами и выполняемых там мерами безопасности, управляет списком аэропортов, добавляет/удаляет меры безопасности. Эксперт, в свою очередь, расставляет веса для ключевых слов, мер безопасностей, выполняет принятие или отклонение найденной новости для аэропорта, если собранная информация не относится ни к одной из угроз.

2.2. Структура базы данных, предполагаемая на данном этапе разработки: Для хранения всех информационных массивов «АСАРАБИ» использует систему управления БД. Каждая таблица БД на данном этапе представляет собой отдельные объекты с конкретными характеристиками:

g_aero – таблица списка аэропортов, с указанием кодов ИАТА, ИКАО, привязкой к региону и городу;

g_cities – список городов;

g_config – конфигурационные настройки системы «АСАРАБИ»;

g_countries – список стран;

g_keywords – список ключевых слов с указанием весов;

g_keywords_types – типы групп ключевых слов;

g_keywords_variants – различные вариации списка ключевых слов;

g_news – архив собранных новостей, содержит дату новости, заголовок, краткое описание и ссылку на ее полное описание;

g_secure – список мер безопасностей выполняемых в аэропортах с указанием весов;

g_sites – список сайтов для поиска новостей, содержит название Интернет-

ресурса, ссылку на RSS-источник;

g_regions – список регионов;

g_relations_aero_secure – таблица связей аэропортов и мер безопасности выполняемых там;

g_regions_nka – список найденных ключевых слов в Интернет-новостях для аэропортов;

g_total_aero – таблица списка рассчитанных вероятностей возникновения «военно-политической или террористической чрезвычайной ситуации» в районе аэропорта;

g_users – список пользователей системы с указанием логина и зашифрованного пароля и привязки к группе;

g_users_active – история активности пользователей в системе;

g_users_group – список групп пользователей;

g_group_rights – перечень прав пользователей системы;

g_r_group_right – таблица связи списка прав и групп пользователей.

Так таблица «*g_keywords*» содержит перечень источников факторов опасности для поиска на новостных сайтах, а столбцы «*id*» - порядковый номер, «*id_type*» - связь с факторами опасностей, «*keyword*» - ключевое слово, «*val*» - вес слова, «*active*» - активность, «*date_add*» - дата добавления. Таблицы связаны между собой и представляют организованную структуру хранения информации, представленную на рисунке 1.53.

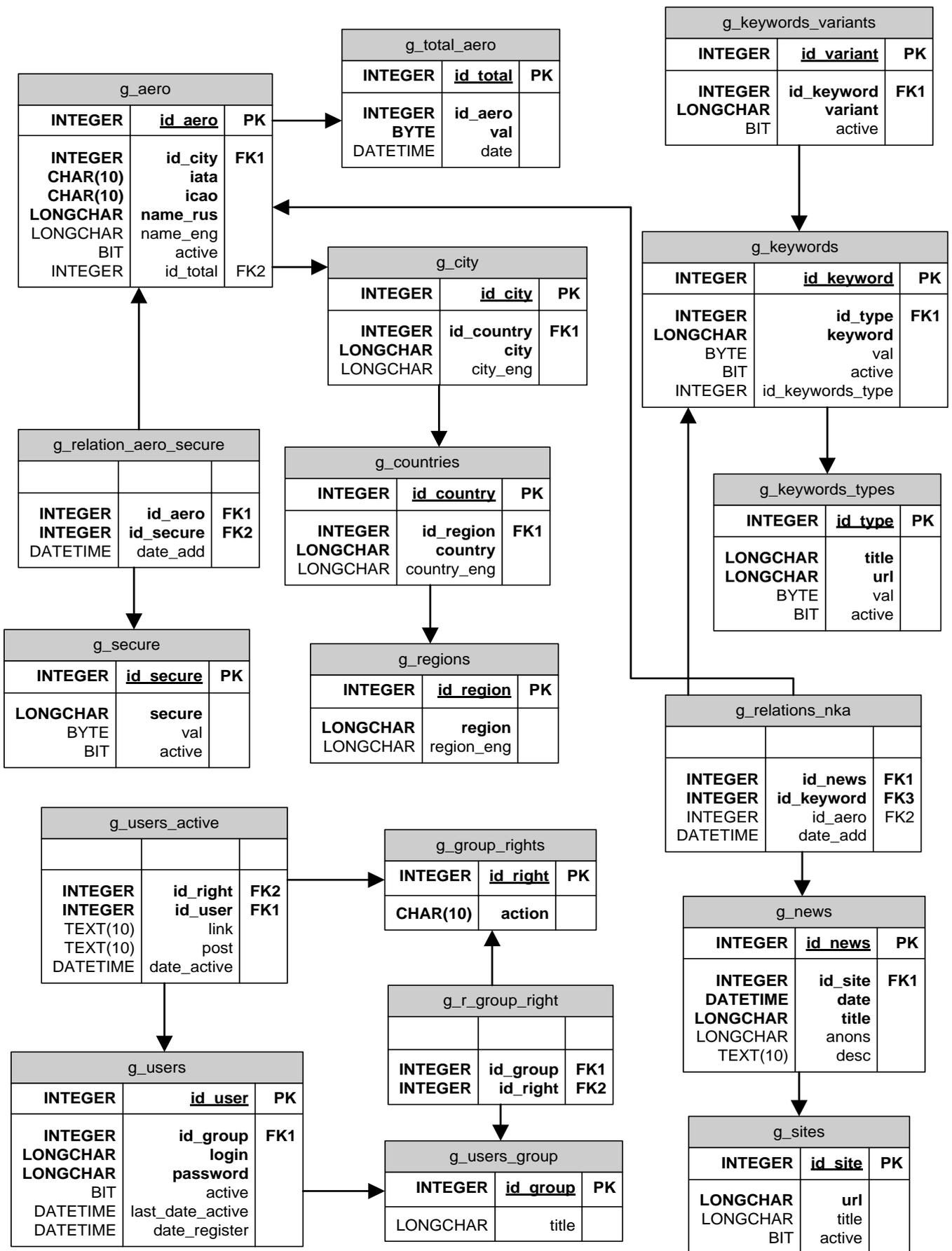


Рисунок 1.53 – Предполагаемая структура БД системы «АСАРАБИ».

2.3. Синхронизация.

При разработке модуля «АСАРАБИ» закладывается функция синхронизации рассчитанных данных по аэропортам с АС, которая удаленно обращается через XML-запросы к разрабатываемому модулю в любой момент времени и АССАРАБИ возвращает запрашиваемую информацию.

Перечисленные в пунктах 1. и 2. методы реализованы в соответствии со следующей логикой функционирования модели системы.

3. Логика функционирования модуля системы.

3.1. Основная работа системы выполняется на сервере автоматически без участия пользователя. Каждые два часа система анализирует информацию по списку новостных сайтов (из таблицы 1.26), указанных оператором, на предмет наличия новых новостей и поиска в них ключевых слов (ВДФО).

3.2. Если в новости найдены ИФО (в ненулевом количестве), то система определяет, к какому аэропорту относится данная новость. Для этого в тексте новости система ищет название аэропорта, город или регион и привязывает эти ИФО к нему. Если привязка не найдена, то новость откладывается для рассмотрения эксперта.

3.3. Если найдена привязка к аэропорту, то система сохраняет найденные ИФО в БД. Причем сохраняется дата/время слова (берется из даты новости).

3.4. Для расчета оценки вероятности наступления фактора опасности в аэропорту используются следующие данные:

3.4.1. ключевые слова (учитывая их время жизни, причем ИФО для ФО имеют различное время жизни – период актуальности из таблицы 1.19);

3.4.2. перечень мер безопасности, выполняемых в аэропорту (согласно, описанной выше, математической модели), представленных в

таблице 1.18.

3.5. Вышеуказанные данные поступают в алгоритм расчета, после чего, происходит перерасчет, и полученное число сохраняется в БД для аэропорта. Если для аэропорта уже была просчитана оценка «военно-политической или террористической чрезвычайной ситуации», то данные обновляются.

На этапе проработки рейса экспертом должен производиться поиск информации по аэропорту, исходя из рассчитанных системой данных. При получении неясной информации (отсутствие информации, отсутствие точной информации) о военно-политической обстановке в государстве и о выполнении мер АБ в просматриваемом аэропорту, эксперт делает запрос по данному аэропорту, например, по электронной почте в САБ. Дальнейшая работа с полученной информацией, включающая в себя работу по конкретному аэропорту, в случае, если информации недостаточно для принятия решения и требуется проработка региона, осуществляется в ПО экспертом вручную. После проведения анализа полученной информации по аэропорту или региону эксперт оценивает «военно-политическую или террористическую чрезвычайную ситуацию», и обозначает его кругом соответствующего цвета согласно таблице 1.25:

Таблица 1.25 – Классификация угроз наступления чрезвычайных ситуаций в аэропорту.

Классификация угроз	Цвет	Обозначение	Определение
Обычная	ЗЕЛЁНЫЙ	N	Угроза, обусловленная особенностями функционирования авиационно-транспортной системы. В государстве стабильная

Продолжение таблицы 1.25

Классификация угроз	Цвет	Обозначение	Определение
			политическая обстановка, нормы АБ в аэропорту соответствуют стандартам ИКАО.
Допустимая, без принятия дополнительных мер безопасности	СИНИЙ	DN	Угроза, которая считается обычной при условии предупреждения экипажа о наличии конкретных факторов опасности и необходимости проявления бдительности и осторожности, в т.ч. об ограничении свободы действий, которые не связаны непосредственно с выполнением задания. Политическая ситуация в стране стабильная, но есть угроза противоправных действий в отношении членов экипажей за пределами аэропорта. На территории государства зафиксированы действия экстремистских или террористических организаций. Нормы АБ в аэропорту соответствуют стандартам ИКАО.
Допустимая с принятием дополнительных мер безопасности	ЖЁЛТЫЙ	DD	Угроза, которая может считаться допустимой при условии реализации дополнительных мер безопасности

Продолжение таблицы 1.25

Классификация угроз	Цвет	Обозначение	Определение
х мер			<p>превентивных мер для компенсации факторов опасностей. Политическая ситуация в стране нестабильная. На территории государства зафиксированы случаи проведения экстремистских и террористических актов или система безопасности аэропорта не в поной мере соответствует стандартам ИКАО: отсутствуют некоторые элементы системы безопасности, создающие условия для проведения АНВ в аэропорту. Дополнительные меры безопасности для каждого аэропорта определяются индивидуально, в том числе обязательного включения в контракт на перевозку обязательств Заказчика по обеспечению безопасности экипажа и ВС в аэропорту.</p>
Недопустимая	КРАСНЫЙ	ND	<p>Угроза, не допустимая ни при каких обстоятельствах. Аэропорт находится в стране, регионе, где ведутся или завершены боевые действия, происходят массовые</p>

Продолжение таблицы 1.25

Классификация угроз	Цвет	Обозначение	Определение
			<p>беспорядки, вооруженные столкновения враждующих группировок и т.п. Существует реальная угроза намеренного/непреднамеренного огневого воздействия на ВС на земле или в воздухе. Полет в данный регион не возможен из-за большой вероятности потери ВС и гибели экипажа. В исключительных случаях решение о выполнении полета на данный аэродром принимается индивидуально в соответствии с Положением «Предотвращение АП при выполнении полетов на аэродромы повышенного риска». Особые условия по обеспечению безопасности каждого рейса определяются индивидуально, в том числе обязательное включение в контракт на перевозку обязательств Заказчика по обеспечению безопасности ВС на земле и в воздухе, компенсирующих факторы угроз.</p>

Методология превращения, полученной оценки вероятности чрезвычайного происшествия в аэропорту в «светофор», описано выше, а диапазоны цветов представлены в таблице 1.25

Работа с модулем осуществляется через удобный и понятный графический интерфейс, в котором можно выделить три области на экране (рисунок 1.54).

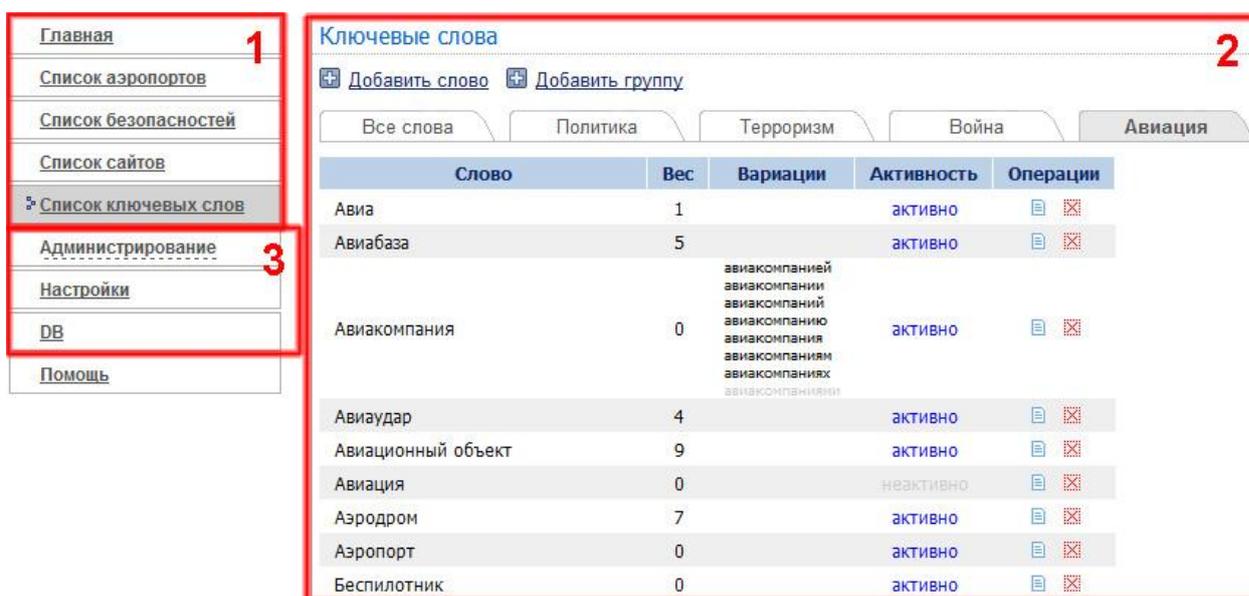


Рисунок 1.54 – внешний вид интерфейса модуля системы «АСАРАБИ»

1. Область меню

1.1. Меню администратора. Меню, доступ к которому имеет только администратор системы, для управления данными, настройками и содержимым. Администратор может управлять (добавлять/редактировать/удалять) всеми данными системы, которыми может управлять оператор и эксперт, а также:

- 1.1.1. списком пользователей;
- 1.1.2. группами пользователей;
- 1.1.3. настройками системы;
- 1.1.4. действия с базой данных;
- 1.1.5. просматривать статистику активности пользователей

системы.

1.2. Меню эксперта/оператора. Здесь представлены основные пункты управления программой экспертом:

- 1.2.1. список аэропортов;
- 1.2.2. список ключевых слов;
- 1.2.3. список информационных ресурсов (новостными сайтами);
- 1.2.4. список мер безопасности.

1.3. Действия диспетчера в системе ограничиваются только получением данных расчета вероятности события чрезвычайной ситуации в выбранном аэропорту с выводом на «светофор».

2. Область действий пользователей (администратора, эксперта, оператора и диспетчера) системы.

Область, в которой система реагирует на действия пользователей, выдает результаты, и иную информацию. Интерфейс тестового варианта модуля приведен на рисунке 1.55.

3. Меню настроек и управления программой

Эти пункты доступны только администратору модуля системы.

В соответствии с регламентом эксперт может менять (добавлять и редактировать веса) список ключевых слов и мер безопасности, выполняемых в аэропорту, предположительно раз в полгода. Список новостных-ресурсов (сайтов), представленных в таблице 1.26 и мер безопасности выполняемых в аэропорту (таблица 1.18) изменяется экспертом при необходимости.

Таблица 1.26 – Список новостных Интернет-ресурсов для анализа.

№	Название ресурса	Ссылка на ресурс
1	Яндекс.Новости: Политика	http://news.yandex.ru/politics.rss
2		

Так как модуль системы является многопользовательским, то существует возможность разграничения прав доступа к системе. Для этого создается группа, для

которой назначаются разрешенные действия и, затем, в нее добавляются пользователи.

«АСАРАБИ» предусматривает возможность ее дальнейшего развития, модификации и включения новых функциональных задач, в том числе в следующих направлениях:

1. автоматизированное распознавание отфильтрованной информации проблемной для оказания услуги «Чартерные грузовые перевозки» по html коду Интернет страницы;
2. автоматизированное сохранение найденной информации по авиационной безопасности в мире и уведомление по электронной почте, указанных в настройках системы, сотрудников АК о найденной в результате автоматического распознавания проблеме.

Разрабатываемый модуль будет обслуживаться персоналом в количестве и с квалификацией, представленными в таблице 1.27.

Таблица 1.27 – Перечень персонала, работающего с «АСАРАБИ».

№ п/п	Наименование должности, специальности, профессии	Количество	Требуемая квалификация
<i>Оперативный персонал:</i>			
1	Специалист по авиационной безопасности (эксперт)	5	Высшее образование, стаж работы по направлению не менее 1-го года.
<i>Эксплуатационный персонал:</i>			
2	Ведущий инженер-программист (оператор)	1	Высшее образование по направлению, стаж работы по направлению не менее 2-х лет.

Разрабатываемая «АСАРАБИ» осуществляет:

1. запрос на информацию по состоянию авиационной безопасности в районе воздушной перевозки из сети Интернет со стороны сотрудника САБ с указанием маршрута;
2. получение списка новостных страниц от Интернет источников, указанных в таблице 1.26;
3. автоматический перевод на русский язык, полученных на иностранных языках Интернет-новостей;
4. перевод оператором или экспертом текстов Интернет-новостей с использованием иной машины перевода, существующей в системе и сохранение полученной версии перевода, путем замены;
5. получение и просмотр оператором или экспертом переведенных Интернет-новостей;
6. выделение цветом информации об актах терроризма на воздушном транспорте;
7. функцию вывода на печать;
8. сортировку информации (по датам, названиям аэропортов и регионов);
9. сохранение данных об источнике информации и сайте поступившей информации;
10. автоматизированное сохранение оригинальных и переведенных текстов Интернет-новостей;
11. возможность самостоятельного ручного редактирования данных и настроек системы, внесения дополнительной информации и комментариев;
12. сканирование новостных сайтов сети Интернет с временным интервалом указанным администратором;
13. наличие кнопки «Отправить» для автоматической отсылки отредактированной информации на указанный почтовый адрес;
14. автоматическое выделение ключевых слов при просмотре сохраненной Интернет-новости;

15.использование программы для просмотра результатов поиска и страниц новостей в виде окна веб-браузера.

В состав ПО разрабатываемой «АСАРАБИ» входят следующие вновь разрабатываемые программные средства:

1. подсистема управления запросами;
2. подсистема интеграции с системами машинного перевода (не менее 2-х систем);
3. подсистема просмотра и управления информацией;
4. подсистема управления базами данных.

«АСАРАБИ» обеспечивает защиту от ошибок персонала и исключает возможность нарушения функционирования от их неправильных действий, обеспечивая сохранение данных системы, при любых действиях персонала и одиночных отказах программно-технических средств.

Программный модуль «АСАРАБИ» в составе системы АС обеспечивает:

1. выдачу оценки угроз в XML-формате для запрашиваемого автоматизированной системой (АС) аэропорта;
2. время получения информации о результатах сканирования не превышает 10 сек/сайт.

1.5 Методология предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок на основе определения степени выполнения нормативных требований

1.5.1 Общие положения

Специфичность деятельности любой авиакомпании определяется жесткой регламентацией и контролем ее деятельности со стороны российских и зарубежных государственных органов, устанавливающих правила и порядок эксплуатации и обслуживания воздушных судов. Данные правила и порядок, как правило, выражены в виде документированных нормативных требований. Отсутствие регламентированных требований (норм, правил, установок) по осуществлению какой-либо деятельности, или их невыполнение, приводит к возникновению вариаций протекания процессов и, как следствие, получению нестабильного, сложно прогнозируемого результата, вплоть до возникновения аварийных ситуаций с тяжкими последствиями. И наоборот наличие четких и полных требований к выполнению тех или иных процедур, при условии изучения и выполнения их персоналом, практически гарантирует заданное протекание процессов и получение стабильных, прогнозируемых результатов. Таким образом, нормативные требования регламентируют организационную среду, в которой выполняются авиаперевозки. Нормативные требования, предъявляемые к авиакомпаниям в форме законов, правил, стандартов, а также в виде корпоративных документов, в большой степени являются результатом накопления опыта «успешного» выполнения действий по авиаперевозке.

Безопасность деятельности авиакомпании, с позиций системы менеджмента качества, оценивается исходя из того, насколько деятельность формализована (есть ли его изложение в письменном виде в НД АК), непротиворечива (соответствие между требованиями вышестоящих и нижестоящих НД) и насколько формализованные требования к деятельности выполняются (то есть, есть ли записи, подтверждающие выполнение действий, предписанных НД).

Другой составляющей использования нормативных требований является то, что они могут служить в качестве «управляющего воздействия» на функциональные элементы АК. А при наличии взаимосвязи между безопасностью полетов и качеством функционирования АК, использоваться как предупреждающее воздействие на показатели безопасности полетов. Наличие такой связи подтверждается Стандартами и Рекомендуемой практикой (SARPS) Международной организации гражданской авиации (ИКАО)

Проектируемая подсистема предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок на основе определения степени выполнения нормативных требований (ИС НТ ПАП) позволит достичь следующих целей:

- повышения уровня БП АК за счет уточнения нормативных требований, влияющих на БП;
- предупреждение АП за счет оценки степени выполнения требований НД в рамках конкретной перевозки;
- повышение эффективности работы сотрудников за счет сокращения времени на поиск и изучение требований внешних и внутренних НД;
- повышение качества разрабатываемых НД АК ВД и ГрК, которые оказывают влияние на БП;
- оперативный контроль знаний специалистами требований, относящихся к конкретной воздушной перевозке.

1.5.2 Входные данные

Входными данными для ИС НТ ПАП являются тексты нормативных документов разного уровня от международных, национальных и отраслевых до документов авиакомпании.

Документ – информация, зафиксированная на материальном носителе с реквизитами, которые позволяют её идентифицировать (различать).

Система документации – совокупность документов взаимосвязанных по признакам происхождения, назначения вида сферы деятельности единых требований к оформлению.

Основными задачами системы документации являются:

- установление и нормирование требований к выполнению работ;
- обеспечение воспроизводимости процессов;
- закрепление лучших традиций и накопленного опыта;
- разрешение и предупреждение спорных вопросов;
- обеспечение оценки соответствия продукции / услуги.

Исходя из этих задач, система документации авиакомпании должна отвечать следующим требованиям:

1. Документация должна быть **системной**, т.е. определенным образом структурированной, с четкими внутренними связями между элементами системы деятельности. Она должна давать ясное представление как о системе деятельности в целом, так и о каждом отдельном ее элементе.

2. Документация должна быть **комплексной**, т.е. охватывать все аспекты деятельности, в том числе: организационные, экономические, технические, правовые, социально-психологические, методические.

3. Документация должна быть **полной**, т.е. содержать исчерпывающую информацию обо всех выполняемых процессах и процедурах. При этом объем документации должен быть минимальным, но достаточным для практических целей.

4. Документация должна быть **адекватной** рекомендациям и требованиям вышестоящих документов. Это означает, что каждый документ должен содержать положения, соответствующие конкретным рекомендациям или требованиям вышестоящих внешних и внутренних документов. С этой целью целесообразно во вводной части каждого документа системы давать точную ссылку на конкретный раздел или пункт вышестоящего документа, в соответствии с которым разработан данный документ.

5. Документация должна содержать только **практически выполнимые требования**. В ней нельзя устанавливать нереальные положения.

6. Документация должна быть легко *идентифицируемой*. Это предполагает, что каждый документ должен иметь соответствующее наименование, условное обозначение и код, позволяющий установить его принадлежность к определенной части системы.

7. Документация должна быть *адресной*, т.е. каждый документ должен быть предназначен для определенной области применения и адресован конкретным исполнителям.

8. Документация должна быть *актуализированной*. Это означает, что документация в целом и каждый отдельный ее документ должны своевременно отражать происходящие изменения вышестоящих документов и процессов описываемой сферы деятельности.

9. Документация должна быть *понятной* всем ее пользователям: руководителям, специалистам, исполнителям и аудиторам. С этой целью каждый документ должен быть изложен простым, ясным языком. Текст документа должен быть кратким, точным, не допускающим различных толкований, логически последовательным, включающим самое необходимое и достаточное для его использования. Положения документа не должны противоречить друг другу и положениям других документов.

10. Документация должна иметь *санкционированный статус*, т.е. каждый документ и вся документация в целом должны быть в установленном порядке утверждены или подписаны полномочными должностными лицами.

Процесс управления документацией и делопроизводством в ООО «Авиакомпания Волга-Днепр» (далее – АК ВД) регламентирован внутренними стандартами: СТП АК 002 «Требования к оформлению распорядительных и оперативно-информационных документов», СТП АК 003 «Управление документооборотом», СТП АК 005 «Порядок разработки, согласования и управления положениями о подразделениях», СТП АК 006 «Порядок разработки, согласования и утверждения должностных инструкций», СТП АК 007 «Требования к управлению нормативными документами АК». Также процедуры управления отдельными видами документов и записей содержатся в других НД АК ВД

(Руководствах по деятельности, Стандартах, Положениях, Инструкциях, Технологиях и Методиках).

Документация АК ВД оформляется и используется как на бумажных, так и на электронных носителях, хранится и поддерживается в актуальном состоянии соответствующими подразделениями АК ВД.

Документы АК классифицируются по признаку направления документопотока и подразделяются на внешние (входящие), внутренние и исходящие (рисунок 1.55).

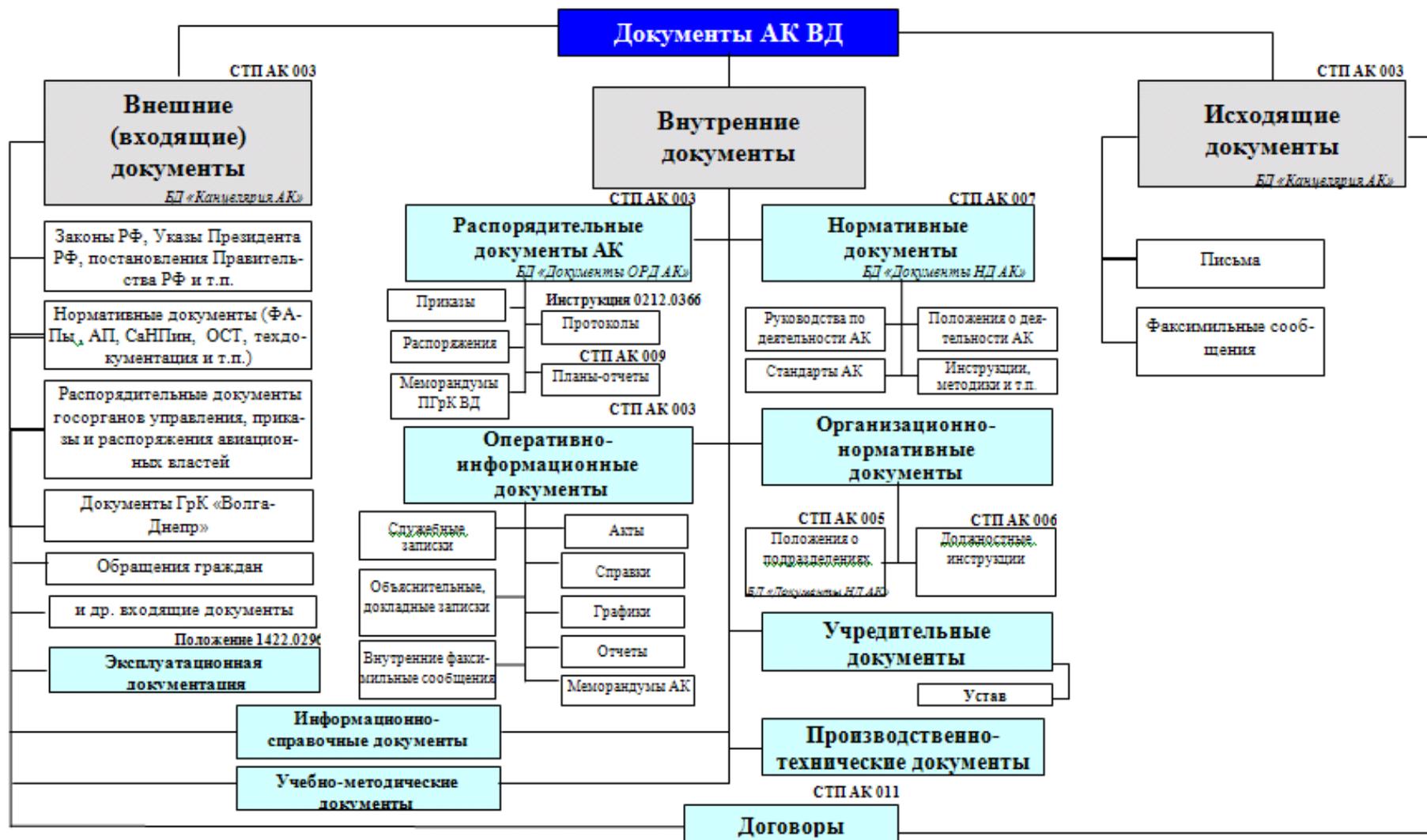


Рисунок 1.55 – Структура документации АК ВД.

Исходя из назначения документов представленных на данной схеме, выделяются следующие виды, содержащие требования к деятельности:

Внешние (входящие):

- Законы РФ, Указы Президента РФ, постановления Правительства РФ, и т.п.;
- Нормативные документы (ФАПы, АП, СанПиНы, Международные документы и др.);
- Распорядительные документы госорганов управления, приказы и распоряжения авиационных властей;
- Документы ГрК «Волга-Днепр»;
- Эксплуатационная документация.

Большая часть требований основных внешних документов имеет отражение во внутренней документации.

Внутренние документы:

- Нормативные документы АК;
- Организационно-нормативные документы.
- Распорядительные документы АК;

Требования организационно-нормативных документов АК, как правило, не относятся напрямую к осуществляемой деятельности, а определяют систему управления и закрепляют ответственность. Требования, содержащиеся в распорядительных документах АК, как правило, носят разовый (определенный во времени) характер.

Действующая в АК ВД система управления документацией имеет 4 уровня иерархии, которые определяют степень детализации описываемых в документах процессов и структур (рисунок 1.56).



Рисунок 1.56 – Взаимосвязь структуры нормативных документов, организационно-нормативных документов и уровня регламентации процессов.

Отклонения от предписанных нормативными документами положений выявляются в ходе инспекторских проверок, расследований и аудитов подразделений авиакомпании. Организация и проведение внутренних проверок (инспекций, аудитов) производится в соответствии с СТП АК 021 «Организация и проведение внутренних проверок». В этом документе приведен ряд форм, которые показывают данные проверок.

УТВЕРЖДАЮ

(должность, подпись, И.О.Ф)

«__» _____ 20__ г

БЛОК 1

КАРТА ПРОВЕРКИ (Раздел № ___ из ___)		Регистрационный. №	
Проверяемое подразделение		Дата вступительного совещания	Дата заключительного совещания
Цель и основание проверки			
Процессы, подлежащие проверке			
Перечень проверяемых нормативных документов			
Состав аудиторской группы			
Сотрудники проверяемого подразделения, принимающие участие в проверке			

№ п/п	Содержание проверяемого вопроса и ссылка на документ	Результат проверки		
		Соотв.	Не соотв.	Наблюдения (несоответствия)
1	2	3	4	5

БЛОК 2

Рисунок 1.57 – Форма карты проверки.

Из карты проверки (рисунок 1.57) можно получить информацию о

- подразделении АК (графа «Проверяемое подразделение»),
- проверяемом процессе (графа «Процессы, подлежащие проверке»),
- нормативных документах, исполнение требований которых проверяется (графы «Перечень проверяемых нормативных документов» и «Содержание проверяемого вопроса и ссылка на документ»).

В этом же документе можно выяснить, выполняется нормативное требование или нет. (графа «Результаты проверки»)

При невыполнении нормативных требований, на основании управленческих решений разрабатывается «План корректирующих мероприятий».

**ПЛАН КОРРЕКТИРУЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ВНУТРЕННЕЙ ПРОВЕРКИ**

№ _____ от _____ 20__ г.

№ п/п	Содержание несоответствия и его причин	Корректирующие мероприятия	Срок исполнения	Исполнитель	Руководитель, подтверждающий исполнение	Примечания
1	2	3	4	5	6	
	<p><u>Несоответствие № _____ категория _____ (ЧР^н , количество повторов =)</u> Формулировка несоответствия из карты проверки Причина: Формулировка причин данного несоответствия</p>					

Руководитель проверяемого подразделения: _____
(должность, подпись, И.О.Ф)

Согласовано:

(по составу согласующих подписей см. п.4.6.1)

Необходимость повторной проверки (аудита): ДА / НЕТ

Дата проведения повторной проверки (аудита): « ____ » _____ 20__ г.

Руководитель аудиторской группы: _____
(должность, подпись, И.О.Ф)

Рисунок 1.58 – Форма плана корректирующих мероприятий.

Из Плана корректирующих мероприятий (рисунок 1.58) можно получить информацию о времени устранения нарушений требований НД (графа «Сроки выполнения»).

1.5.3 Методология оперативного прогнозирования вероятности авиационного происшествия на основании степени выполнения нормативных требований (фактор «Среда искусственная» фактор опасности «Нормативная документация»)

Изложенные в нормативных документах требования регламентируют организационную среду, в которой выполняются авиаперевозки. Таким образом, причины вызывающие авиационные происшествия из-за несоблюдения нормативных требований в большей части относятся к фактору «Среда искусственная» фактор опасности «Нормативная документация».

Процессы выполняемые в АК «Волга-Днепр» в ходе своей деятельности разбиты на три группы: управленческие процессы, основной процесс «Чартерные грузовые перевозки на ВС Ан-124-100 и Ил-76ТД-90ВД» (далее – ЧГП) и обеспечивающие процессы. Схема основного процесса ЧГП, приведена на рисунке 1.59.

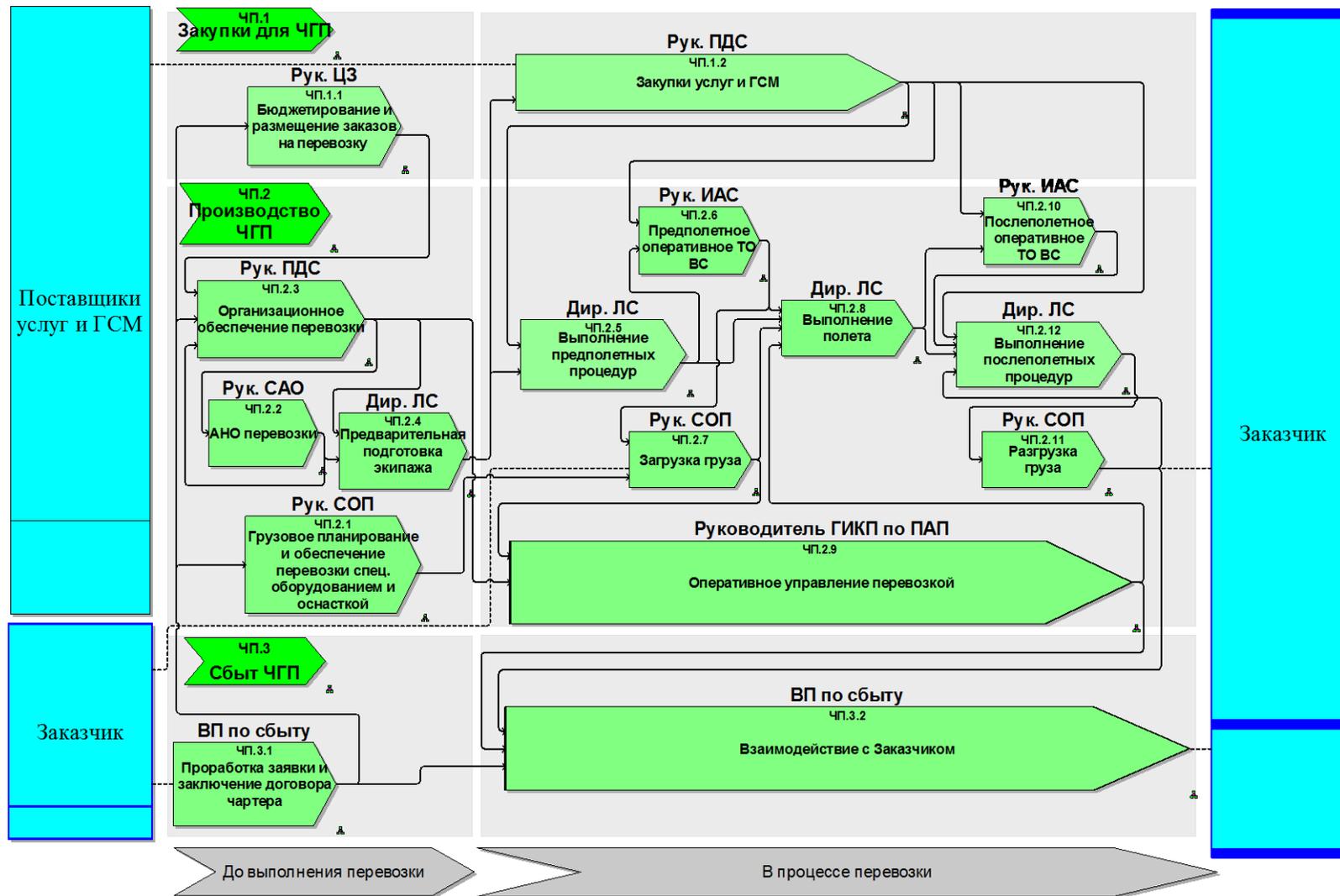


Рисунок 1.59 – Схема основного процесса «Чартерные грузовые перевозки на ВС Ан-124-100 и Ил-76ТД-90ВД».

Перечень документов АК «Волга-Днепр», которые содержат требования к основному процессу ЧГП, приведен в таблице 1.28.

Таблица 1.28 – Перечень внутренних нормативных документов АК ВД в привязке к процессу ЧГП

Номер документа	Название документа	Названия подпроцессов ЧГП
Руководства по деятельности		
Рк АК 101-10	Руководство по организационному обеспечению полетов воздушных судов ООО "Авиакомпания Волга-Днепр"	Бюджетирование и размещение заказов на перевозку Закупки услуг и ГСМ Грузовое планирование и обеспечение перевозки спец. оборудованием и оснасткой АНО перевозки Организационное обеспечение перевозки Выполнение предполетных процедур Оперативное управление перевозкой Выполнение послеполетных процедур Проработка заявки и заключение договора чартера Взаимодействие с Заказчиком

Продолжение таблицы 1.28

Номер документа	Название документа	Названия подпроцессов ЧГП
Рк АК 102-07	Руководство по производству полетов АК (РПП)	АНО перевозки Предварительная подготовка экипажа Выполнение полета
Рк АК 103-07	Руководство по деятельности ИАС (Руководство по организации ТО)	Предполетное оперативное ТО ВС Послеполетное оперативное ТО ВС
Рк АК 104-10	Руководство по качеству	Весь процесс ЧГП
Рк АК 106-11	Руководство по организации перевозок грузов (РОПГ)	Грузовое планирование и обеспечение перевозки спец. оборудованием и оснасткой Выполнение предполетных процедур Загрузка груза Разгрузка груза Выполнение послеполетных процедур Проработка заявки и заключение договора чартера
Стандарты		
СТП 01-06	Процесс предоставления услуг "Чартерные Воздушные Перевозки"	Весь процесс ЧГП
СТП ПГрК 01-10	Регламент основного процесса	Весь процесс ЧГП

Продолжение таблицы 1.28

Номер документа	Название документа	Названия подпроцессов ЧПП
	чартерные грузовые авиаперевозки	
Положения, Инструкции, Методики, Технологии		
СТП ГрК 005.1-2005	Технология получения, поддержания и перераспределения коммерческих прав авиационного предприятия	Проработка заявки и заключение договора чартера Организационное обеспечение перевозки
12.0500.0015.1.10	И. Порядок обеспечения полетов в аэропорты и на военные базы США	Проработка заявки и заключение договора чартера Организационное обеспечение перевозки
12.1300.0020.1.10	И. Предотвращение авиационных происшествий при выполнении полетов на аэродромы (по маршрутам) повышенного риска в ГрК "Волга-Днепр"	Проработка заявки и заключение договора чартера
02.0260.0096.3.11	П.Порядок допуска к работам повышенной опасности	Предполетное оперативное ТО ВС Загрузка груза Послеполетное оперативное ТО ВС Разгрузка груза
02.1200.0112.3.10	И. Порядок перевозки ВС ООО "Авиакомпания Волга-Днепр"	Выполнение предполетных процедур

Продолжение таблицы 1.28

Номер документа	Название документа	Названия подпроцессов ЧПП
	оружия, боеприпасов и специальных средств, переданных пассажирами для временного хранения на период полета	Выполнение полета Выполнение послеполетных процедур
0270.0123.3.07	И. Взаимодействие структурных подразделений АК при таможенном оформлении товаров и транспортных средств	Проработка заявки и заключение договора чартера Выполнение предполетных процедур Выполнение послеполетных процедур
02.1200.0129.3.10	И. Обеспечение авиационной безопасности при перевозке грузов ВС ООО "Авиакомпания Волга-Днепр"	Выполнение предполетных процедур Предполетное оперативное ТО ВС Загрузка груза Выполнение полета Послеполетное оперативное ТО ВС Разгрузка груза Выполнение послеполетных процедур
02.1200.0144.3.10	И. Порядок проведения дополнительного досмотра ВС ООО Авиакомпания Волга-Днепр	Выполнение предполетных процедур

Продолжение таблицы 1.28

Номер документа	Название документа	Названия подпроцессов ЧПП
02.1200.0145.3.10	И. Порядок проведения предполетного досмотра ВС ООО АК ВД	Выполнение предполетных процедур
02.1200.0146.3.10	И. Порядок проведения досмотра ВС ООО АК ВД в полете	Выполнение полета
02.0500.0163.3.11	И. Порядок учета регулярности полетов и рейсов подгруппы "Волга-Днепр"	Оперативное управление перевозкой
02.0910.0168.4.10	И. Обеспечение летных и технических экипажей ВС АК "Волга-Днепр" питанием в рейсовых условиях при выполнении чартерных полетов	Бюджетирование и размещение заказов на перевозку Закупки услуг и ГСМ
02.0910.0180.3.11	И. Порядок формирования и размещения отчетов специалистов по обеспечению полетов на HTTPS-сервере	Выполнение послеполетных процедур
02.0940.0194.4.10	И. Порядок оформления грузовой авианакладной для воздушных внутренних и международных перевозок грузов	Грузовое планирование и обеспечение перевозки спец. оборудованием и оснасткой
02.1200.0200.3.09	И. Деятельность оперативного дежурного по авиационной безопасности в составе дежурной смены единого центра	Оперативное управление перевозкой

Продолжение таблицы 1.28

Номер документа	Название документа	Названия подпроцессов ЧПП
	управления воздушными перевозками	
02.1800.0210.3.10	П. Доставка изменений в документы аэронавигационной информации	Выполнение предполетных процедур
02.1200.0299.3.10	И. Порядок пересечения авиационным персоналом противоправных действий недисциплинированных пассажиров	Выполнение предполетных процедур Выполнение полета Выполнение послеполетных процедур
1800.0330.5.09	П. По внесению изменений в документы аэронавигационной информации	Выполнение предполетных процедур
0280.0349.1.07	И. Медицинское обеспечение полетов	Выполнение предполетных процедур
0910.0351.1.07	И. Размещение летно-технического состава в помещениях для отдыха вне места постоянного проживания при выполнении чартерных и регулярных воздушных перевозок	Выполнение послеполетных процедур
02.1422.0352.2.10	И. Порядок оформления, ведения и хранения бортового журнала новой формы	Предполетное оперативное ТО ВС Послеполетное оперативное ТО ВС
1800.0358.1.07	И. Обновление навигационных	Выполнение

Продолжение таблицы 1.28

Номер документа	Название документа	Названия подпроцессов ЧПП
	баз данных на ВС в рейсовых условиях	предполетных процедур
02.1800.0359.2.10	И. Порядок применения программы E-LINK и использования электронных поправок к сборникам JEPPESEN	Выполнение предполетных процедур
0400.0381.1.07	И. По взаимодействию и технология работы членов экипажа самолета Ан-124-100 (вторая редакция)	Выполнение полета
02.1530.0382.2.10	Программа радиационной защиты при транспортировании ядерных материалов	Выполнение предполетных процедур Загрузка груза Разгрузка груза
0400.0384.2.08	Сборник рекомендаций по выполнению полетов на аэродромы Канады Гандер, Гус-Бей, Стэфенвилл в осенне-зимний период	Выполнение полета
02.1530.0387.2.10	И. Порядок оформления сводно-загрузочной ведомости (LOADSHEET)	Загрузка груза
02.1100.0392.3.10	И. По действиям в аварийных ситуациях лиц, сопровождающих груз, на самолете Ан-124-100	Выполнение предполетных процедур Выполнение полета

Продолжение таблицы 1.28

Номер документа	Название документа	Названия подпроцессов ЧПП
02.1100.0393.3.10	И. По действиям в аварийных ситуациях лиц, сопровождающих груз, на самолете Ил-76ТД	Выполнение предполетных процедур Выполнение полета
02.1800.0406.1.09	Технология работы полетного диспетчера	АНО перевозки Организационное обеспечение перевозки Оперативное управление перевозкой Проработка заявки и заключение договора чартера
02.1200.0407.1.09	И. По обеспечению мер авиационной безопасности в полете при покидании и возвращении на свое рабочее место одного из членов летного экипажа воздушного судна	Выполнение полета
02.1800.0427.1.10	И. Танкирование топлива	АНО перевозки Организационное обеспечение перевозки
02.1530.0430.1.10	И. Выполнение погрузочно-разгрузочных работ и обеспечение условий перевозки ступней ракетносителей по программе перевозок "LOCKHEED MARTIN"	Загрузка груза Разгрузка груза

Продолжение таблицы 1.28

Номер документа	Название документа	Названия подпроцессов ЧПП
02.1480.0437.1.10	Т. Порядок работы ведущего менеджера ГИКП по ОУП и ПАП в составе дежурной смены ЦУВП ГрК	Оперативное управление перевозкой
02.0500.0443.1.10	И. Порядок организации доставки экипажей воздушных судов Авиакомпания "Волга-Днепр"	Выполнение предполетных процедур Выполнение послеполетных процедур
02.1800.0445.1.11	Технология работы менеджера по аэронавигационному обеспечению	АНО перевозки Организационное обеспечение перевозки Оперативное управление перевозкой Проработка заявки и заключение договора чартера
02.0910.0449.1.11	И. Требования по наземному обслуживанию ВС ООО "Авиакомпания Волга-Днепр" внешними поставщиками услуг	Выполнение предполетных процедур Предполетное оперативное ТО ВС Послеполетное оперативное ТО ВС Выполнение послеполетных процедур
02.4200.0451.1.09	И. По взаимодействию и технология работы членов экипажа самолета Ил-76ТД-	Выполнение полета

Продолжение таблицы 1.28

Номер документа	Название документа	Названия подпроцессов ЧПП
	90ВД (третья редакция)	
02.1530.0452.1.11	Т. Расчет коммерческой загрузки и центровки ВС	Проработка заявки и заключение договора чартера Грузовое планирование и обеспечение перевозки спец. оборудованием и оснасткой
02.1530.0453.1.11	Т. Организация обслуживания грузов и почты в аэропорту "Ульяновск-Восточный"	Грузовое планирование и обеспечение перевозки спец. оборудованием и оснасткой Загрузка груза Разгрузка груза Проработка заявки и заключение договора чартера

Данная таблица, позволяет установить набор нормативных документов, относящихся у каждому этапу ЧПП.

1.5.3.1 Классификация и кодирование нормативных требований

На этапе установки ИС НТ ПАП эти текст этих документов разбивается на нумерованные пункты (рисунок 1.60).

4.4.2.4.5 Записи на бумажных носителях, сделанные на formalизованных бланках должны иметь все предусмотренные в данной форме подписи с указанием должности, расшифровки подписи и даты.

Записи в виде резолюций, решений и указаний, сделанные на поле документа, должны быть подписаны руководителем, принявшим решение (указание), с проставлением даты. Допускается в этом случае должность и расшифровку подписи не указывать.

При заполнении форм не допускается заполнение установленных граф содержанием, не соответствующим их наименованию. В случае отсутствия информации для заполнения какой-либо графы унифицированной формы документа, в ней ставится прочерк.

При наличии нормативных значений фиксируемых данных (норм времени, показателей и параметров качества работ и др.) они должны быть указаны в соответствующих графах (строках) формы или вписываться в ее «шапку».

Рисунок 1.60 – Пункт нормативного документа.

Такое разбиение позволяет однозначно по номеру документа и пункта идентифицировать нормативное требование.

Далее все пункты прогоняются через специальный программный фильтр. В результате определяется, содержится ли в тексте пункта нормативное требование и происходит его отнесение к:

- группе процессов
- процессу
- подпроцессу
- процедуре
- степени влияния на БП и ПАП
- должность/подразделение к которой относится требование

Порядок работы этого фильтра приведен в таблице 1.29.

Таблица 1.29 – Порядок работы программного фильтра.

№ п/п	Вход	Действие	Результат	Следующее действие	Множество слов
1	Текст НД	Наличие в тексте слов, определяющих долженствование	Совпадение	П.5	«Долженствование»
			Не совпадение	П.2	
2	Не совпадение	Наличие в тексте слов, определяющих рекомендации/описания опыта	Совпадение	П.Х	«Рекомендации»
			Не совпадение	П.3	
3	Не совпадение	Наличие в тексте даты, периода, регулярности	Совпадение	П.5	«Дата»
			Не совпадение	П.4	
4	Не совпадение	Экспертный анализ абзаца на наличие требования	Наличие	П.5	
			Отсутствие	П.Х	
5	Текст НД	Проверка наличия в абзаце текста документа наименования должности	Наличие в тексте абзаца наименования должности	П.6	Классификатор персонала
			Отсутствие в тексте абзаца наименования должности	П.8	
6	Наличие в тексте абзаца наименования должности	Присвоение кода абзацу	Код исполнителя к абзацу: «Код процесса»/ «Наименование категории персонала»/ «Наименование должности»	П.7	Классификатор персонала
			Отсутствие кода исполнителя у абзаца	П.26	
7	Код исполнителя к абзацу: «Код процесса»/ «Наименование категории персонала»/ «Наименование должности»	Присвоение кода документу (исходя из кодов процессов, которые присвоены абзацам)	Документу присвоен/не присвоен код ЧП; Документу присвоен/не присвоен код ОБ; Документу присвоен/не присвоен код УП	П.8	
8	Текст НД; Документу присвоен/не присвоен код ЧП;	Проверка наличия в тексте документа слов, относящихся к основным процессам;	Документ относится только к основным процессам (Код документа ЧП)	П.9	Для основных процессов;
					Для обеспечивающих

Продолжение таблицы 1.29

№ п/п	Вход	Действие	Результат	Следующее действие	Множество слов
	<p>Документу присвоен/не присвоен код ОБ; Документу присвоен/не присвоен код УП</p>	<p>Проверка наличия в тексте документа слов, относящихся к обеспечивающим процессам; Проверка наличия в тексте документа слов, относящихся к управленческим процессам</p>	<p>Документ относится только к обеспечивающим процессам (Код документа ОБ) Документ относится только к управленческим процессам (Код документа УП) Документ относится к основным и обеспечивающим процессам (Коды документа ЧП и ОБ) Документ относится к основным и управленческим процессам (Коды документа ЧП и УП) Документ относится к основным и обеспечивающим и управленческим процессам (коды документа ОБ и УП) Документ относится ко всем процессам (Коды документа ЧП, ОБ, УП) Принадлежность к основным, обеспечивающим и управленческим процессам не определена (Код документа отсутствует)</p>	<p>П.14 П.19 П.9, 14 П.9, 19 П.14, 19 П.9, 14, 19 П.9, 14, 19</p>	<p>процессов; Для управленческих процессов</p>
9	<p>В коде документа есть «ЧП»; Принадлежность к основным, обеспечивающим и управленческим процессам не определена (Код документа отсутствует)</p>	<p>Проверка наличия в тексте документа слов, относящихся к конкретным основным процессам</p>	<p>Документ относится к процессу 1 основных процессов (Код документа: ЧП.1); Документа относится к процессу 2 основных процессов (Код документа: ЧП.2); ... Документ относится к процессу N основных процессов (Код документа: ЧП.N); Документ относится к нескольким</p>	<p>П.10</p>	<p>Множество слов для процесса 1 основных процессов; Множество слов для процесса 2 основных процессов; ... Множество слов для процесса N основных процессов</p>

Продолжение таблицы 1.29

№ п/п	Вход	Действие	Результат	Следующее действие	Множество слов
			процессам основных процессов (Соответствующие коды)		
			Документ не относится ни к одному процессу основных процессов (Код не подтвердился)	П.11	
10	Документ относится к процессу N основных процессов	Проверка наличия в тексте раздела документа слов, относящихся к каждому подпроцессу процесса N основных процессов	Раздел относится к подпроцессу У процесса N основных процессов (Код раздела: ЧП.N.У)	П.12	Множество слов для каждого подпроцесса каждого процесса основных процессов
			Раздел не относится ни к одному подпроцессу процесса N основных процессов (Отсутствие кода)	П.11	
11	Документ не относится ни к одному процессу основных процессов (Код не подтвердился); Раздел не относится ни к одному подпроцессу процесса N основных процессов (Отсутствие кода)	Проверка наличия в тексте раздела документа слов, относящихся к каждому подпроцессу каждого процесса основных процессов	Раздел относится к подпроцессу У процесса N основных процессов (Код раздела: ЧП.N.У)	П.12	Множество слов для каждого подпроцесса каждого процесса основных процессов
			Раздел не относится ни к одному подпроцессу основных процессов (Отсутствие кода)	П.13	
12	Раздел относится к подпроцессу У процесса N основных процессов (Код раздела: «Код процесса N».У)	Проверка наличия в тексте абзаца раздела документа слов, относящихся к каждой процедуре подпроцесса Y процесса N основных процессов	Абзац относится к процедуре Z подпроцесса У процесса N основных процессов (Код абзаца: ЧП.N.У.Z, «коэффициент влияния на ПАП»)	П.27	Множество слов для каждой процедуры подпроцесса Y процесса N основных процессов;
			Абзац не относится ни к одной процедуре подпроцесса Y процесса N основных процессов (Отсутствие кода)	П.13	Классификатор процессов с ранжированием процедур по критерию «Влияние на ПАПиБП»
13	Раздел не относится ни к одному подпроцессу основных процессов (Отсутствие кода); Абзац не относится ни к одной процедуре подпроцесса Y	Проверка наличия в тексте абзаца раздела документа слов, относящихся к каждой процедуре каждого подпроцесса каждого процесса основных процессов	Абзац относится к процедуре Z подпроцесса У процесса N основных процессов (Код абзаца: ЧП.N.У.Z, «коэффициент влияния на ПАП»)		Множество слов для каждой процедуры каждого подпроцесса каждого процесса основных процессов;

Продолжение таблицы 1.29

№ п/п	Вход	Действие	Результат	Следующее действие	Множество слов
	процесса N основных процессов (Отсутствие кода)		Абзац не относится ни к одной процедуре ни одного подпроцесса основных процессов (Отсутствие кода)	П.24	Классификатор процессов с ранжированием процедур по критерию «Влияние на ПАПиБП»
14	В коде документа есть «ОБ»; Принадлежность к основным, обеспечивающим и управленческим процессам не определена (Код документа отсутствует)	Проверка наличия в тексте документа слов, относящихся к конкретным обеспечивающим процессам	Документ относится к процессу 1 обеспечивающих процессов (Код документа: ОБ.1); Документа относится к процессу 2 обеспечивающих процессов (Код документа: ОБ.2); ... Документ относится к процессу N обеспечивающих процессов (Код документа: ОБ.N); Документ относится к нескольким процессам обеспечивающих процессов (Соответствующие коды)	П.15	Множество слов для процесса 1 обеспечивающих процессов; Множество слов для процесса 2 обеспечивающих процессов; ... Множество слов для процесса N обеспечивающих процессов
			Документ не относится ни к одному процессу обеспечивающих процессов (Код не подтвердился)	П.16	
15	Документ относится к процессу N обеспечивающих процессов	Проверка наличия в тексте раздела документа слов, относящихся к каждому подпроцессу процесса N обеспечивающих процессов	Раздел относится к подпроцессу У процесса N обеспечивающих процессов (Код раздела: ОБ.N.У)	П.17	Множество слов для каждого подпроцесса каждого процесса обеспечивающих процессов
			Раздел не относится ни к одному подпроцессу процесса N обеспечивающих процессов (Отсутствие кода)	П.16	
16	Документ не относится ни к одному процессу обеспечивающих процессов (Код не подтвердился); Раздел не относится ни к одному подпроцессу процесса N обеспечивающих процессов (Отсутствие кода)	Проверка наличия в тексте раздела документа слов, относящихся к каждому подпроцессу каждого процесса обеспечивающих процессов	Раздел относится к подпроцессу У процесса N обеспечивающих процессов (Код раздела: ОБ.N.У)	П.17	Множество слов для каждого подпроцесса каждого процесса обеспечивающих процессов
			Раздел не относится ни к одному подпроцессу обеспечивающих процессов (Отсутствие кода)	П.18	

Продолжение таблицы 1.29

№ п/п	Вход	Действие	Результат	Следующее действие	Множество слов
17	Раздел относится к подпроцессу У процесса N обеспечивающих процессов (Код раздела: «Код процесса N».У)	Проверка наличия в тексте абзаца раздела документа слов, относящихся к каждой процедуре подпроцесса У процесса N обеспечивающих процессов	Абзац относится к процедуре Z подпроцесса У процесса N обеспечивающих процессов (Код абзаца: ОБ.N.У.Z, «коэффициент влияния на ПАП»)		Множество слов для каждой процедуры подпроцесса У процесса N обеспечивающих процессов;
			Абзац не относится ни к одной процедуре подпроцесса У процесса N обеспечивающих процессов (Отсутствие кода)	П.18	Классификатор процессов с ранжированием процедур по критерию «Влияние на ПАПиБП»
18	Раздел не относится ни к одному подпроцессу обеспечивающих процессов (Отсутствие кода); Абзац не относится ни к одной процедуре подпроцесса У процесса N обеспечивающих процессов (Отсутствие кода)	Проверка наличия в тексте абзаца раздела документа слов, относящихся к каждой процедуре каждого подпроцесса каждого процесса обеспечивающих процессов	Абзац относится к процедуре Z подпроцесса У процесса N обеспечивающих процессов (Код абзаца: ОБ.N.У.Z, «коэффициент влияния на ПАП»)	П.27	Множество слов для каждой процедуры каждого подпроцесса каждого процесса обеспечивающих процессов;
			Абзац не относится ни к одной процедуре ни одного подпроцесса обеспечивающих процессов (Отсутствие кода)	П.24	Классификатор процессов с ранжированием процедур по критерию «Влияние на ПАПиБП»
19	В коде документа есть «УП»; Принадлежность к основным, обеспечивающим и управленческим процессам не определена (Код документа отсутствует)	Проверка наличия в тексте документа слов, относящихся к конкретным управленческим процессам	Документ относится к процессу 1 управленческих процессов (Код документа: ЧП.1); Документа относится к процессу 2 управленческих процессов (Код документа: ЧП.2); ... Документ относится к процессу N управленческих процессов (Код документа: ЧП.N); Документ относится к нескольким процессам управленческих процессов (Соответствующие коды)	П.20	Множество слов для процесса 1 управленческих процессов; Множество слов для процесса 2 управленческих процессов; ... Множество слов для процесса N управленческих процессов
			Документ не относится ни к одному процессу управленческих процессов (Код не подтвердился)	П.21	

Продолжение таблицы 1.29

№ п/п	Вход	Действие	Результат	Следующее действие	Множество слов
20	Документ относится к процессу N управленческих процессов	Проверка наличия в тексте раздела документа слов, относящихся к каждому подпроцессу процесса N управленческих процессов	Раздел относится к подпроцессу У процесса N управленческих процессов (Код раздела: ЧП.N.Y)	П.22	Множество слов для каждого подпроцесса каждого процесса управленческих процессов
			Раздел не относится ни к одному подпроцессу процесса N управленческих процессов (Отсутствие кода)	П.21	
21	Документ не относится ни к одному процессу управленческих процессов (Код не подтвердился); Раздел не относится ни к одному подпроцессу процесса N управленческих процессов (Отсутствие кода)	Проверка наличия в тексте раздела документа слов, относящихся к каждому подпроцессу каждого процесса управленческих процессов	Раздел относится к подпроцессу У процесса N управленческих процессов (Код раздела: ЧП.N.Y)	П.22	Множество слов для каждого подпроцесса каждого процесса управленческих процессов
			Раздел не относится ни к одному подпроцессу управленческих процессов (Отсутствие кода)	П.23	
22	Раздел от носится к подпроцессу У процесса N управленческих процессов (Код раздела: «Код процесса N».У)	Проверка наличия в тексте абзаца раздела документа слов, относящихся к каждой процедуре подпроцесса Y процесса N управленческих процессов	Абзац относится к процедуре Z подпроцесса У процесса N управленческих процессов (Код абзаца: ЧП.N.Y.Z, «коэффициент влияния на ПАП»)		Множество слов для каждой процедуры подпроцесса Y процесса N управленческих процессов; Классификатор процессов с ранжированием процедур по критерию «Влияние на ПАПиБП»
			Абзац не относится ни к одной процедуре подпроцесса Y процесса N управленческих процессов (Отсутствие кода)	П.23	
23	Раздел не относится ни к одному подпроцессу управленческих процессов (Отсутствие кода); Абзац не относится ни к одной процедуре подпроцесса Y процесса N управленческих процессов (Отсутствие кода)	Проверка наличия в тексте абзаца раздела документа слов, относящихся к каждой процедуре каждого подпроцесса каждого процесса управленческих процессов	Абзац относится к процедуре Z подпрроцесса У процесса N управленческих процессов (Код абзаца: ЧП.N.Y.Z, «коэффициент влияния на ПАП»)	П.27	Множество слов для каждой процедуры каждого подпроцесса каждого процесса управленческих процессов; Классификатор процессов с ранжированием процедур по критерию «Влияние на ПАПиБП»
			Абзац не относится ни к одной процедуре ни одного подпроцесса управленческих процессов (Отсутствие кода)	П.24	
24	Абзац не относится ни к одной процедуре ни одного подпроцесса основных процессов (Отсутствие	Проверка наличия в тексте абзаца слов, относящихся к каждой процедуре каждого подпроцесса всех основных,	Абзац относится к процедуре X. («Код абзаца», «коэффициент влияния на ПАП»)		Множество слов для каждой процедуры каждого подпроцесса каждого процесса

Продолжение таблицы 1.29

№ п/п	Вход	Действие	Результат	Следующее действие	Множество слов
	кода); Абзац не относится ни к одной процедуре ни одного подпроцесса обеспечивающих процессов (Отсутствие кода); Абзац не относится ни к одной процедуре ни одного подпроцесса управленческих процессов (Отсутствие кода)	обеспечивающих и управленческих процессов	Абзац не относится ни к одной процедуре ни одного подпроцесса ни одного процесса основных, обеспечивающий и управленческих процессов.	П.25	основных процессов; Множество слов для каждой процедуры каждого подпроцесса каждого процесса обеспечивающих процессов; Множество слов для каждой процедуры каждого подпроцесса каждого процесса управленческих процессов; Классификатор процессов с ранжированием процедур по критерию «Влияние на ПАПиБП»
25	Абзац не относится ни к одной процедуре ни одного подпроцесса ни одного процесса основных, обеспечивающий и управленческих процессов.	Экспертный анализ на принадлежность к процедурам основного, обеспечивающего и управленческого процесса	Абзац относится к процедуре Х. («Код абзаца», «коэффициент влияния на ПАП»)	П.27	Классификатор процессов с ранжированием процедур по критерию «Влияние на ПАПиБП»
26	Отсутствие кода исполнителя у абзаца	Экспертный анализ на принадлежность абзаца (требования) к исполнителю	Код исполнителя к абзацу: «Код процесса»/ «Наименование категории персонала»/ «Наименование должности»	П.27	Классификатор персонала
27		Переход на следующий этап			

Фильтр может модифицироваться с целью выявления других атрибутов требования, например, характера груза.

Фильтр использует множества слов. Пример множества слов «Долженствование» приведен в таблице 1.30.

Таблица 1.30 – Множество слов «Долженствование» для фильтра

№ п.п.	Слово
1.	требование (требования)
2.	правило (правила)
3.	порядок
4.	условие (условия)
5.	норма (нормы)
6.	предписание (предписания)
7.	указание (указания)
8.	должен (должна/должно/должны)
9.	обязан (обязана/обязано/обязаны)
10.	необходим (необходима/необходимо/необходимы)
11.	обязателен (обязательна/обязательно/обязательны)
12.	следует
13.	надо
14.	нужно
15.	требуется
16.	положено
17.	надлежит
18.	предписано
19.	допускается
20.	ответственность возложена/ответственность за ... возложена
21.	запрещается
22.	разрешается только при условии, если, в случае и т.п.
23.	может только при условии, если, в случае и т.п.

Продолжение таблицы 1.30

24.	не может
25.	не должен
26.	не допускается

Множество является настраиваемым, то есть в него можно добавлять и удалять слова.

В результате после фильтра мы определяем является ли данный фрагмент текста требованием и если да, то следующую информацию:

- Текст требования
- Группа процессов
- Номер процесса
- Номер подпроцесса
- Номер процедуры
- Степень влияния на
- Должность к которой относится требование
- Код документа, в котором располагается требование

Эти данные записываются в БД нормативных документов.

1.5.3.2 Выбор классификационных признаков текущей авиаперевозки

Для оперативного прогнозирования вероятности авиационного происшествия на основании степени выполнения нормативных требований необходимо выбирать из Баз Данных авиакомпаний классификационные признаки, соответствующие текущей авиаперевозке. Это планируемые дата и время вылета, планируемые дата и время посадки, характер груза и пр. Данные должны быть согласованы с данными, полученными на этапе классификации и кодирования нормативных требований.

1.5.3.3 Выбор и распределение нормативных требований соответствующих текущей авиаперевозке

По классификационным признакам текущей авиаперевозки из БД нормативных документов выбираются требования, имеющие соответствующие атрибуты. Эти требования распределяются по процессам, подпроцессам и процедурам, а также по должностям/подразделениям. Это позволяет впоследствии

контролировать исполнение требований на разных этапах авиаперевозки по должностям/подразделениям.

1.5.3.4 Оценка вероятности невыполнения требования

Оценка основана на результатах инспекторских проверок, аудитов. Если на время проверки/аудита в Карте проверки (см. рисунок 1.57) зафиксировано невыполнение требования, то оценка вероятности его невыполнения в этот момент равна 1.

После фиксации несоответствия, на основании управленческих решений создается План корректирующих мероприятий по результатам внутренней проверки (см. рисунок 1.58). В этом плане указывается срок исполнения. Это позволяет определить время, в течении которого вероятность невыполнения нормативного требования приблизится к 0.

В зависимости от характера нормативного требования и корректирующего мероприятия, возможно два сценария снижения вероятности невыполнения нормативного требования.

1. Скачкообразный тип. Переход от вероятности невыполнения 1 до 0 происходит скачкообразно во времени. Пример – отсутствие на борту огнетушителя. При проверке в момент $t_{\text{пров}}$ огнетушитель отсутствовал на борту. Вероятность невыполнения требования равна 1. Изменение состояния на 0 происходит в момент $t_{\text{корр}}$, когда выполнено корректирующее мероприятие и огнетушитель внесен на борт.

2. Переходный тип. Переход от вероятности невыполнения 1 до 0 происходит плавно во времени. Пример нарушение требования в результате недостаточных навыков работы. Изменение состояния происходит постепенно по мере улучшения навыков.

Таким образом, первый тип моделируется кривой показанной на рисунке 1.61.

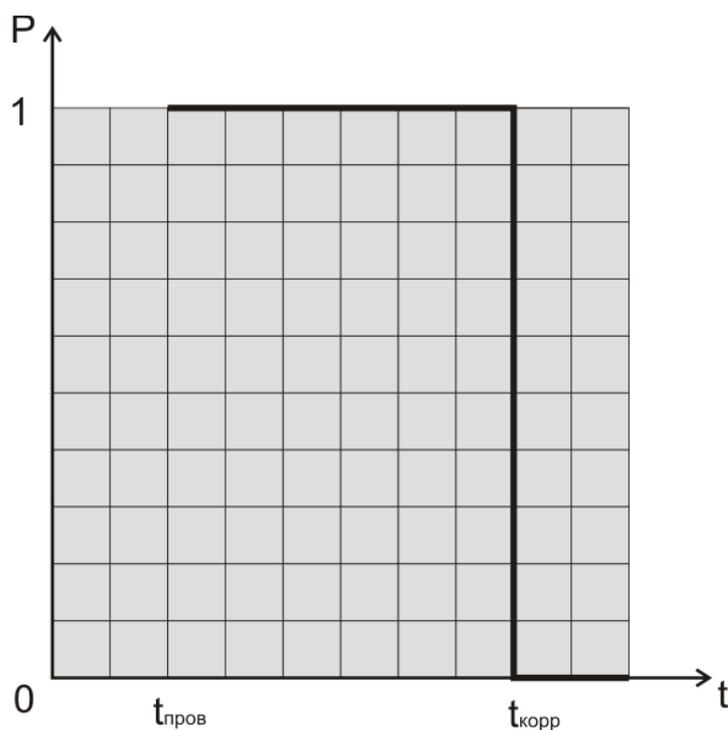


Рисунок 1.61 – Скачкообразный тип.

Второй – переходный тип может представлен как переходная реакция апериодического звена линейной динамической системы и приближен формулой:

$$P(t) = 1 \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (1.209)$$

где, t – время, прошедшее от момента выявления нарушения требования, до момента выполнения ЧПП;

$$T = \frac{T_{исп}}{3} \text{ – постоянная времени.}$$

$T_{исп}$ – срок исполнения из плана корректирующих мероприятий.

Второй тип моделируется кривой, показанной на рисунке 1.62

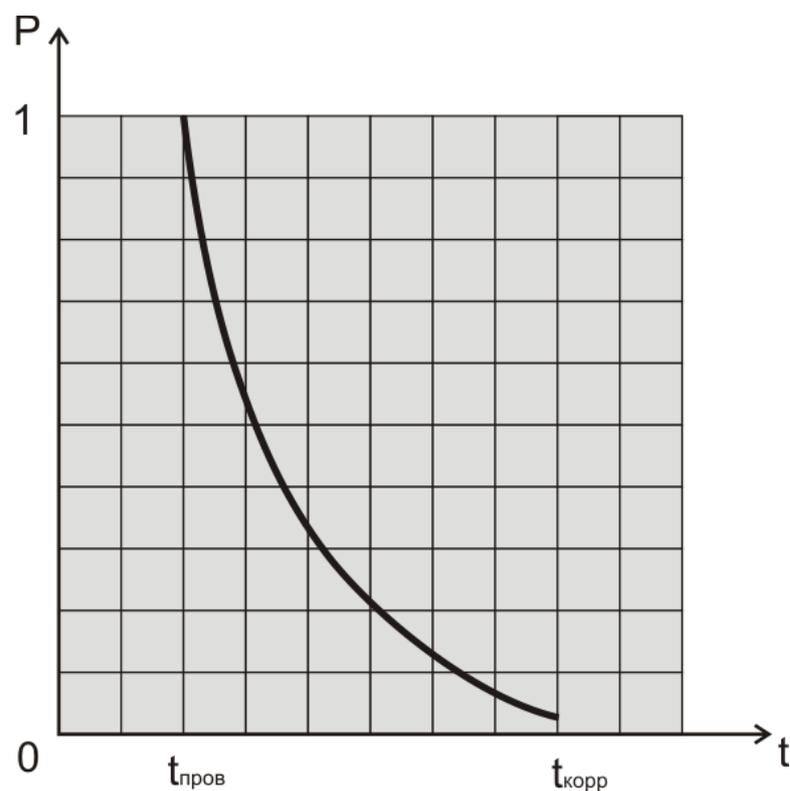


Рисунок 1.62 – Переходный тип.

В зависимости от времени, которое прошло с момента проверки $t_{\text{пров}}$, до времени текущей авиаперевозки, вероятность невыполнения требования может меняться от 1 до 0 и рассчитана по формуле (1.209).

Сказанное проиллюстрировано на рисунке 1.63.

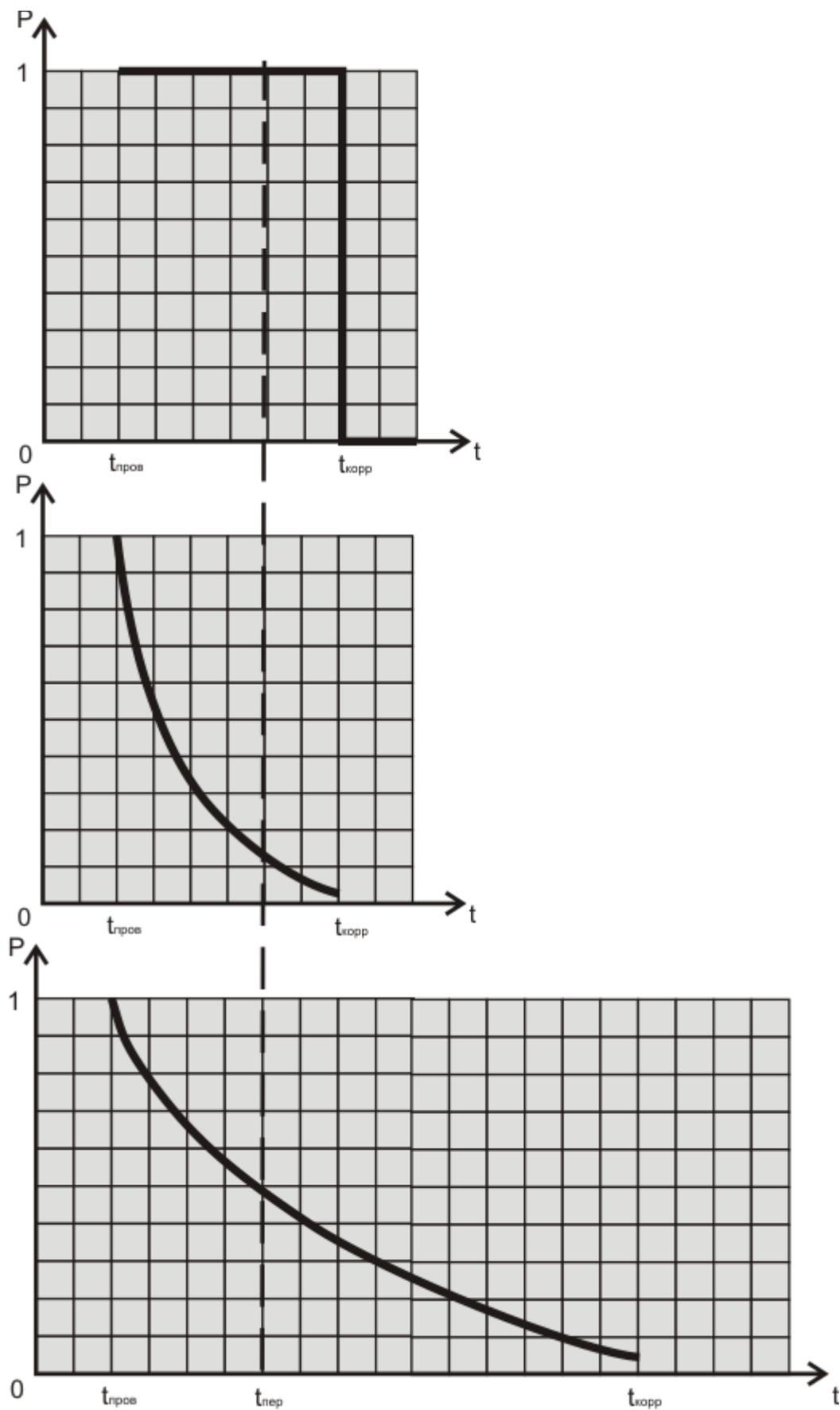


Рисунок 1.63 – Оценка вероятности невыполнения нормативных требований в момент текущей авиаперевозки.

Коррекция нарушения первого нормативного требования (верхнее на рисунке 9) происходит скачкообразно, поэтому на момент текущей авиаперевозки оценка вероятности его невыполнения равна 1. Другие два нарушения нормативных требований, корректируются плавно и имеют разный срок исполнения, поэтому на момент текущей авиаперевозки они имеют разную оценку вероятности невыполнения.

1.5.3.5 Коэффициент влияния на БП и ПАП

Очевидно, что нарушение одних нормативных требований мало влияет на показатели БП и ПАП, в то время как нарушение других может привести к авиационному событию. В настоящее время не существует единого мнения о степени влияния разных нарушений. Более того, влияние будет разным для разных авиакомпаний. Поэтому, в данной работе принимается экспертная оценка коэффициента влияния невыполнения нормативных требований на БП и ПАП. Этот коэффициент умножается на оценку вероятности невыполнения требования.

Результаты обработки НТ для оперативного поступают в другие модули Автоматизированной системы прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок, а также выводятся в виде отчетов и экранных форм.

1.5.4. Методология долгосрочного прогнозирования вероятности авиационного происшествия на основании степени выполнения нормативных требований (фактор «Среда искусственная» фактор опасности «Нормативная документация»)

Методология долгосрочного прогнозирования вероятности авиационного происшествия, в целом, аналогична оперативному прогнозированию. Отличие заключается в том, что здесь нет привязки к дате авиаперевозки, а рассматривается интервал (один месяц). Поэтому данные о текущей авиаперевозке из Баз Данных авиакомпании здесь не запрашиваются.

Кроме основного процесса ЧП, здесь также должны рассматриваться нормативные требования к управленческим процессам, состав которых приведен на рисунке 1.64,

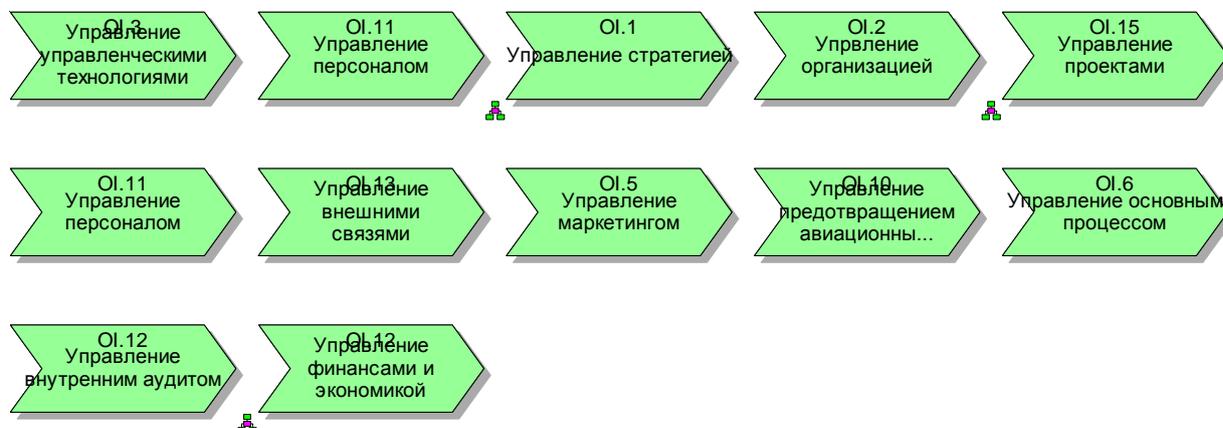


Рисунок 1.64 – Управленческие процессы.

и обеспечивающим процессам, состав которых приведен на рисунке 1.65.

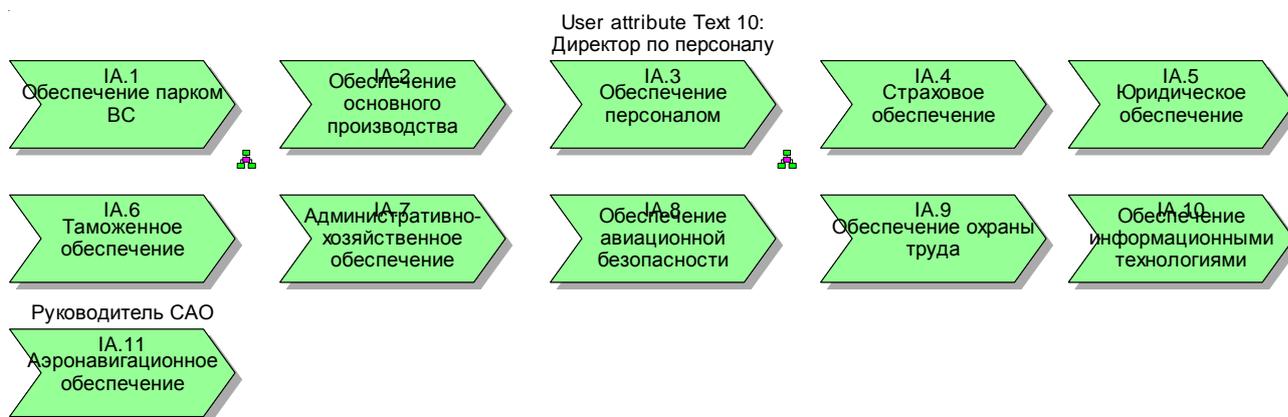


Рисунок 1.65 – Обеспечивающие процессы.

Трудности здесь заключаются в том, что нормативные требования к обеспечивающим и управленческим процессам в АК недостаточно формализованы.

Надежность оценки вероятности авиационного происшествия на основании степени выполнения нормативных требований для долгосрочного прогнозирования в перспективе более одного года невысока. Причины этого следующие:

1. В АК принят ежегодный пересмотр нормативных документов. Поэтому нормативные требования текущего года будут, в какой-то степени отличаться от нормативных требований следующего года.
2. В долгосрочной перспективе могут измениться внешние (международные, государственные, отраслевые) нормативные документы, что также должно найти отражение во внутренних документах авиакомпании.
3. В долгосрочной перспективе с большой вероятностью произойдет изменение организационной структуры АК, появятся новые технологии, инструкции и т.п.

Таким образом, границы анализируемой организационной среды здесь значительно расширяются и выходят далеко за пределы проектируемой системы.

Можно дать оценку, что предлагаемую методологию следует использовать для прогнозирования вероятности авиационного происшествия в перспективе до одного года.

Раздел 2 Разработка методологии расчета рисков по данным эксплуатационной деятельности

2.1 Краткий обзор подходов к оцениванию рисков по данным эксплуатационной деятельности

Безопасность полетов воздушных судов гражданской авиации представляет собой состояние авиационно-транспортной системы, при котором вероятность наступления авиационного события и, как следствие, нанесения имущественного ущерба, причинения вреда лицам или окружающей среде, снижена до приемлемого уровня и поддерживается на этом (либо более низком) уровне посредством непрерывного процесса выявления факторов опасности и контроля источников риска. При этом риск представляет собой меру количественного многокомпонентного измерения опасности с включением величины ущерба от воздействия угроз для безопасности, вероятности возникновения этих угроз и неопределенности в величине ущерба и вероятности [20]. В последние годы значительные усилия авиакомпаний, а также Международной организацией гражданской авиации (ИКАО), были направлены на изучение причин АП в гражданской авиации. В настоящее время наряду с управленческими решениями, принятыми в рамках концепции «Человек-Машина-Среда», в системе управления безопасностью полетов выделяют организационный фактор, одним из составляющих которого является качество информационного обеспечения процессов принятия решений для предотвращения АП. После проведения глубоких исследований тенденций развития воздушных перевозок ИКАО пришла к выводу, что наиболее эффективным способом повышения безопасности воздушного транспорта является внедрение комплексного подхода к управлению БП, с всесторонним анализом ФО и оценкой рисков. Результатом этих исследований стало внесение существенных изменений в международные стандарты, предусмотренные приложениями 6, 11 и 14 к Конвенции о международной гражданской авиации, предусматривающих внедрение в деятельность АК, предприятий УВД и аэропортов

СУБП. Этим обусловлена актуальность разработки методов количественной оценки и управления рисками, возникающими при организации воздушных перевозок.

Существует немало подходов к определению методологии управления риском. Например, разработанная международной рабочей группой ARMS, где приведена общая схема процесса управления риском и подробно рассмотрено использование метода в части классификации риска имевших место событий и отклонений в эксплуатационной деятельности АК, а также для мониторинга риска [21].

Управление риском для БП (SRM) занимает центральное место в СУБП. Это по существу и есть инструмент управления, с помощью которого реализуются принципы предотвращения АП посредством выявления ФО, оценки их риска и принятия действий по управлению этим риском. Информация, полученная с помощью SRM, также чрезвычайно важна для решения задачи контроля и количественной оценки показателей БП.

Процесс осуществления мероприятий по повышению уровня БП, часто требует проведения оценки риска при планировании новых видов деятельности, например, полетов на новые аэродромы или освоение нового типа ВС.

Как известно, в настоящее время в Российской Федерации отсутствуют требования к приемлемой для государства СУБП, нет государственных согласованных показателей и руководств по определению рисков, и каждая АК разрабатывает свою систему, ориентируясь в основном на РУБП ИКАО. Предлагаемый в руководстве «классический» процесс SRM [22], состоящий из четырех этапов, начинается с выявления (идентификации) ФО. Второй этап SRM – это оценка риска в терминах вероятности АП и серьезности его последствий, где показатель серьезности (тяжести) может быть выражен как в стоимостной так и в натуральной форме. Именно здесь заключаются основные проблемы, связанные с трактовкой результатов оценки риска. Третий (оценка приемлемости) и четвертый (принятие решений) этапы являются чрезвычайно важными, но с методологической точки зрения не представляют сложности.

В соответствии с рекомендациями ИКАО, процесс управления риском осуществляется на основе следующих входных данных:

1. Данные по ФО, полученные при расследовании авиационных событий и в процессе оценки эксплуатационной деятельности АК (вероятности возникновения АП при наличии ФО, серьезность последствий АП, выраженная в суммах страховых выплат по результатам АП, человеческих потерях, потерях ВС, двигателей и др.).
2. Перечень необходимых управленческих решений, повышающих уровень БП (в соответствии с концепцией «Человек-Машина-Среда»: управление персоналом, включая политику набора и списание летного состава, обучение персонала и связанные с этим закупки тренажерного оснащения, управление медицинскими мероприятиями, включая организацию санаторно-курортного лечения сотрудников АК, ввод в эксплуатацию новых типов ВС и оборудования, регламенты проведения технических осмотров, реконструкция оборудования аэродромов и диспетчерских служб и т. д.).

			серьезность				
			A	B	C	D	E
			0,81 – 1,00	0,61 – 0,80	0,41 – 0,60	0,21 – 0,40	0,00 – 0,20
вероятность	5	0,81 – 1,00	5A 0,656 – 1,000	5B 0,494 – 0,800	5C 0,332 – 0,600	5D 0,170 – 0,400	5E 0,000 – 0,200
	4	0,61 – 0,80	4A 0,494 – 0,800	4B 0,372 – 0,640	4C 0,250 – 0,480	4D 0,128 – 0,320	4E 0,000 – 0,160
	3	0,41 – 0,60	3A 0,332 – 0,600	3B 0,250 – 0,480	3C 0,168 – 0,360	3D 0,086 – 0,240	3E 0,000 – 0,120
	2	0,21 – 0,40	2A 0,170 – 0,400	2B 0,128 – 0,320	2C 0,086 – 0,240	2D 0,044 – 0,160	2E 0,000 – 0,080
	1	0 – 0,20	1A 0,000 – 0,200	1B 0,000 – 0,160	1C 0,000 – 0,120	1D 0,000 – 0,080	1E 0,000 – 0,040

Рисунок 2.1 – Пример матрицы риска ИКАО.

Для оценки риска ИКАО предлагает использовать матрицу риска размером 5x5 (см. рисунок 2.1), которая представляет собой таблицу диапазонов частоты (вероятности) и серьезности последствий авиационных событий. На основе данной матрицы риск R , рассчитываемый по формуле:

$$R=P \cdot S, \quad (2.1)$$

где P – это частота (вероятность), а S – серьезность последствий АП, может быть классифицирован по «принципу светофора».

Простая, на первый взгляд, задача при более глубоком рассмотрении выявляет непреодолимый недостаток этой концептуальной модели. А именно возникает следующий вопрос: для какого события необходимо определять серьезность последствий? Возможные варианты:

1. фактического итога произошедшего АП;
2. наиболее вероятного сценария АП;
3. самого неблагоприятного исхода из возможных сценариев развития АП (как рекомендует ИКАО)?

Далее, в рамках данного подхода определяется вероятность, но остается неясным какого из трех следующих событий это является мерой:

1. фактически произошедшего АП;
2. аналогичного АП;
3. АП из определенного перечня рассматриваемых событий?

От ответов на эти вопросы зависит, какие события должны выбираться из базы данных (БД) для расчета статистической частоты и, соответственно, вероятности.

Трудности применения рекомендованной матрицы, возникающие в АК при реализации методов ИКАО, и общая озабоченность подвигает ведущие АК объединять свои усилия в поисках новых приемлемых методов оценки рисков. При поддержке EASA в 2007 году была создана рабочая группа, которая поставила своей целью найти решение проблемы SRM для АК – ARMS. В группу вошли специалисты Air France, British Airways, FinnAir, Emirates и других АК, а также авиастроительного концерна Airbus, корпорации ОВД Великобритании NATS, нефтяной компании Shell и других.

Стартовая точка разработанного в рамках ARMS процесса управления рисками – это данные (о событиях) как результат эксплуатационной деятельности АК (см. рисунок 2.2).

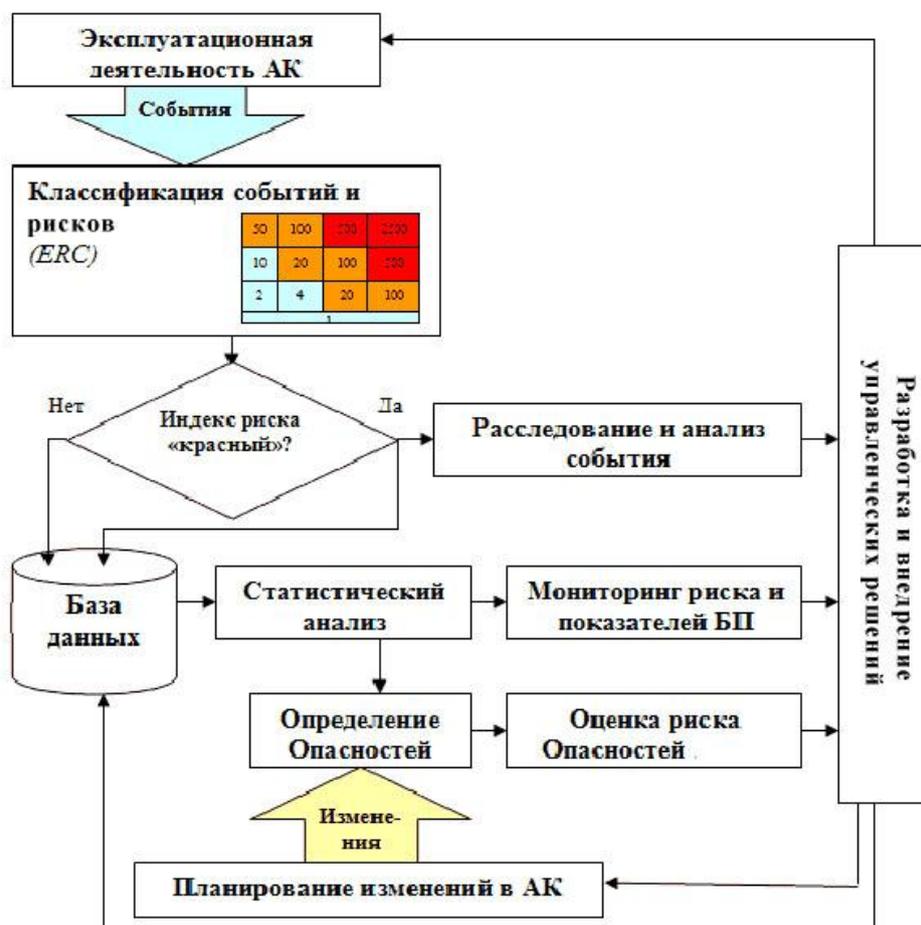


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема процесса управления риском ARSM.

Для оценки необходимости принятия срочных управленческих решений выполняется первоначальная классификация событий посредством процедуры классификации риска событий – ERC – новый подход к оценке риска свершившихся событий. Данные поступают в БД, выполняется статистический анализ с использованием обычных статистических инструментов для того, чтобы выявить опасности. Здесь же выполняется текущий мониторинг риска и, при желании – всех показателей уровня БП. Ключевой шаг – это выявление опасностей (проявление ФО или комбинации нескольких ФО в особых условиях), которые затем становятся предметом детальной оценки риска. Опасности – это уже не единичные события, а хорошо определенные явления, которые определяются на основе изучения

некоторого множества событий и предполагаемых изменений в деятельности АК (см. рисунок 2.2).

Управленческие решения разрабатываются на основе как процедуры ERC, так и статистического анализа и мониторинга риска. Действия фиксируются в БД. Обратная связь обеспечивается корректировкой эксплуатационной деятельности и предполагаемых изменений.

Процедура классификации риска свершившихся событий ERC является началом процесса (см. рисунок 2.2). Измеряется риск, который имел место в изучаемом событии, в тот день, в тех условиях. Произошедшее событие показывает, что часть барьеров (мер, препятствующих наступлению авиационного события под воздействием ФО) была «сломана» и что действительно важно, так это оставшиеся барьеры и их эффективность. Именно этот риск измеряется с помощью специальной матрицы ERC.

В свершившемся событии интерес представляют два основных аспекта:

1. Насколько тяжелыми могли бы быть последствия, если бы цепочка развивалась;
2. Насколько близко произошедшее событие было к АП.

Классификация риска событий предлагаемой процедурой основана на этих двух положениях и выражается соответственно двумя специальными вопросами матрицы ERC (см. рисунок 2.3).

Вопрос 2				Вопрос 1
Какова эффективность оставшихся барьеров между событием и вероятным сценарием развития опасной ситуации?				
Высокая	Средняя	Незначительная.	Отсутствует	Какое наиболее вероятное развитие могла получить данная опасная ситуация?
50	100	500	2500	Катастрофическая ситуация
10	20	100	500	Аварийная ситуация
2	4	20	100	Сложная ситуация
1				Усложнение условий полета

Рисунок 2.3 – Пример матрицы ERC.

Уровни развития ситуации здесь приведены в соответствие с [23]. Уровни эффективности барьеров сохранены в терминах ARMS. Численные значения

индексов ERC в матрице получены ARMS на основе изучения данных страхования при АП. В [21] особо подчеркивается, что уровни и численные значения индексов в матрице могут меняться в каждой АК.

Нижняя строка матрицы содержит только одну оценку, равную 1, потому, что, если событие не может перерасти даже в сложную ситуацию, то нет смысла оценивать оставшийся запас БП. Оценки для более опасных событий (отклонений) устанавливаются экспертами.

Индекс каждого события ранжируется по «светофорному» принципу (см. рисунок 2.4).

	→	Немедленно расследовать и предпринять действия
	→	Использовать для дальнейшего анализа
	→	Только занести в базу данных

Рисунок 2.4 – Схема рекомендуемых действий в зависимости от значения индекса ERC.

Суммирование рисков может выполняться простым сложением индексов ERC. Так можно определять и отслеживать риск для каждого аэродрома, этапа полета, сезона, экипажа и т. д.

Использование индекса ERC позволяет получать обоснованную сравнительную оценку риска и, соответственно, оптимально распределять ресурсы, выделяемые на его снижение. Также можно выполнять мониторинг рисков различных групп ФО и типов авиационных событий (выкатывание за пределы ВПП и др.).

Разработанная в рамках ARMS методология SRM устраняет ряд недостатков в рекомендациях ИКАО, которые препятствуют широкому внедрению принципов СУБП в деятельность АК. Метод классификации риска событий ERC позволяет быстро и понятно оценивать имевшие место события и отклонения и использовать полученные данные для выявления ФО.

Преимуществом метода является также возможность мониторинга риска имевших место событий и отклонений по группам ФО, аэродромам, регионам полетов и т. д.

Однако, методология ARMS обладает и существенным недостатком. С помощью процедуры ERC возможно лишь классифицировать уровень риска, т.е. определить находится ли текущий уровень безопасности на приемлемом уровне (в «зеленой» зоне, следуя светофорному принципу) и не требуется никаких серьезных изменений в деятельности АК, или же уровень риска недопустимо высок (находится в «красной» зоне) и необходимо внедрение комплекса мероприятий по повышению уровня БП. Но данный метод не дает количественной оценки риска (в стоимостной или натуральной форме), что не позволяет оценить эффективность (экономическую выгоду) внедрения управленческих решений по снижению уровня рисков, примерная стоимость которых, в общем, известна. Также в приведенных примерах, разработанных на международном уровне, не учитывается стоимость простоя ВС в ходе ремонта после АП (или в процессе закупки нового ВС в случае его полной потери в результате АП), в то время как значения показателей упущенной выгоды от простоя (или отсутствия) ВС достаточно высокие. Поэтому, при разработке настоящей автоматизированной системы (АС) возникла необходимость создания новых методов количественного оценивания рисков для безопасности полетов в стоимостной и натуральной форме.

2.2 Метод количественной оценки риска авиационных событий, основанный на статистическом анализе данных страховых выплат

Определение достоверной количественной оценки риска невозможно без анализа последствий произошедших АП, выраженных в стоимостной (суммы страховых выплат) и/или натуральной (человеческие травмы\потери, потери ВС, ущерб окружающей среде) форме. В рамках отдельно взятой АК число АП за всю историю деятельности, зачастую, оказывается недостаточным для построения достоверных статистических выводов. Поэтому необходимым является использование статистики других АК (мировой статистики), в которых эксплуатируются ВС того же класса. В рамках разрабатываемой АС, как

неотъемлемая часть, используется база данных (право доступа к базе данных), содержащая информацию о страховых случаях имевших место в мировой практике осуществления воздушных перевозок.

Количественная оценка рисков осуществляется при долгосрочном, стратегическом планировании комплекса управленческих решений по предотвращению АП. Поэтому базой для расчета вероятностей наступления АП является методология, разработанная в ходе реализации комплекса задач по долгосрочному прогнозированию (см. Раздел 1). Для каждого из четырнадцати выделенных событий определяется вероятность их наступления на основе построенных деревьев событий: $P^j = P(A^j)$, $i=1, \dots, 14$. Из имеющейся базы данных страховых выплат по АП также выделяются данные по каждому типу событий. Пусть выборка $\vec{X}^j = (X_1^j, X_2^j, \dots, X_n^j)$ представляет собой набор показателей ущерба (в стоимостной или натуральной форме) по j -ому типу авиационного события. Показателями ущерба, используемыми при построении функций распределения, являются значения страховых сумм выплат (в абсолютной величине или как отношение к полной стоимости ВС) по результатам каждого АП, зафиксированного в базе данных, а также потери в натуральном выражении (количество лиц травмированных/погибших, количество утраченных ВС, двигателей и др.). На основе выборки \vec{X}^j для каждого типа событий ($j=1, \dots, 14$) строятся эмпирические условные функции распределения ущерба $F_j(s) = P\{\text{Ущерб} \leq s | A^j\}$, равные:

$$F_j(s) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(X_i^j \leq s). \quad (2.2)$$

Значение функции распределения для каждого $s > 0$ представляет собой условную вероятность того, что ущерб не превысит s , при условии наступления события A^j . При необходимости, например, в случае недостаточного количества точек выборки данных по некоторому типу авиационных событий, строится аппроксимация эмпирических функций распределения в классе распределений

Вейбулла [24] (для аппроксимации распределения относительного ущерба используется бета-распределение [25, 26]). В качестве инструмента аппроксимации, наряду с широко известным методом наименьших квадратов, используется метод, основанный на метрике Леви-Прохорова [14], которая позволяет количественно оценивать точность приближения распределений.

Для определения количественной оценки риска рассчитывается среднее значение ущерба для каждого типа авиационных событий:

$$S^j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^j. \quad (2.3)$$

Величина риска по каждому типу событий определяется как произведение вероятности АП на среднее значение экономического ущерба от его возникновения:

$$R^j = P^j \cdot S^j. \quad (2.4)$$

Интегрированный показатель риска рассчитывается как сумма рисков по всем типам авиационных событий:

$$R = \sum_{j=1}^{14} P^j \cdot S^j = \sum_{j=1}^{14} R^j. \quad (2.5)$$

На основе показателя риска (2.5) определяется необходимость проведения комплекса мероприятий по предотвращению АП согласно имеющегося списка управленческих решений, их стоимости и степени влияния (эффективности) внедрения данного решения на вероятность возникновения АП.

Для определения необходимости проведения мероприятий, повышающих уровень БП, вводится индикаторная функция:

$$I\{R > R_{\text{порог}}\} = \begin{cases} 1, R > R_{\text{порог}} \\ 0, R \leq R_{\text{порог}} \end{cases} \quad (2.6)$$

где $R_{\text{порог}}$ – пороговое (безопасное) значение риска, которое определяется экспертно и заносится в БД АС на этапе внедрения. При расчетах в АС, значение риска (2.5) подставляется в функцию (2.6) и в случае равенства функции (2.6) единице, АС выдает сообщение о необходимости проведения мероприятий для повышения уровня БП. Выбор мероприятий из определенного в АС перечня осуществляется на основе решения задачи минимизации целевой функции, учитывающей экономические затраты АК от возникновения АП, а также стоимость и эффективность управленческих решений, направленных на снижение интенсивности авиационных событий (описано ниже).

Перечень всех возможных управленческих решений, их стоимости и эффективности, определяются для каждой АК и хранится в БД АС в виде отдельного блока. Организационная структура данного блока представлена на рисунке 2.5.

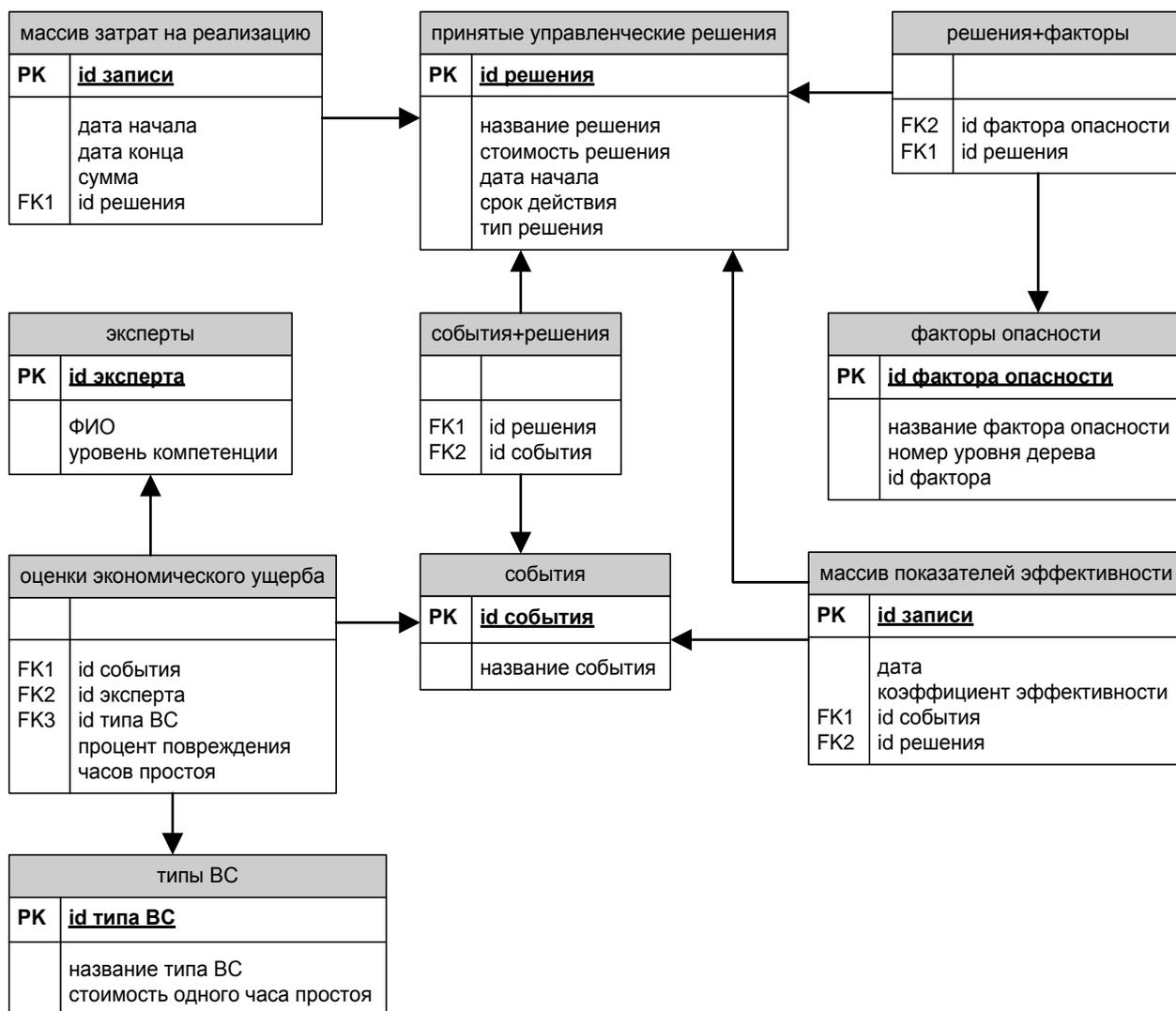


Рисунок 2.5 – Организационная структура блока БД, представляющего управленческие мероприятия по предотвращению АП.

Определение функционала потерь осуществляется на основе представления потока авиационных событий и устранения их последствий как системы массового обслуживания (СМО). Рассмотрим СМО на примере моделирования потока отказов двигателей.

2.3 Построение и анализ функционала потерь на примере моделирования потока отказов двигателя

Рассмотрим систему массового обслуживания (СМО) с длиной очереди - процессами $q=(q_t)_{t \geq 0}$, входным поток заявок - $A=(A_t)_{t \geq 0}$ и выходным (обслуживанием) - $D=(D_t)_{t \geq 0}$ (см. рисунок 2.6).

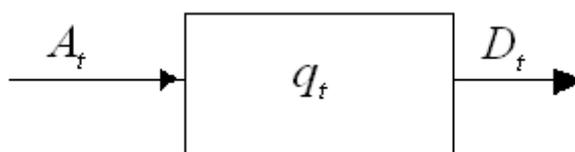


Рисунок 2.6 – Общая схема СМО.

Тогда справедливо следующее балансовое соотношение вида:

$$q_t = q_0 + A_t - D_t, \quad (2.7)$$

где $q_0 \geq 0$ - число заявок в очереди в начальный момент времени $t = 0$ при нулевых начальных значениях процессов $A=(A_t)_{t \geq 0}$ и $D=(D_t)_{t \geq 0}$: $A_0 = D_0 = 0$.

В рассматриваемой модели предполагается, что входной поток не является стандартным пуассоновским, тем не менее, считающий процесс - $A=(A_t)_{t \geq 0}$, числа заявок на входе является точечным управляемым процессом. Процесс обслуживания $D=(D_t)_{t \geq 0}$ - предполагается точечным считающим процессом с интенсивностью, отвечающей СМО с бесконечным числом приборов (обслуживания).

Рассматривается задача оптимального управления входным потоком в предположениях, что данная модель отвечает ситуации, при которой «выгодно» уменьшение средней длины очереди (в результате увеличения управляющего воздействия), в условиях пропорциональной платы за управление. Эта задача допускает формальное математическое представление (с соответствующим функционалом потерь) в так называемых семимартингальных терминах. В этих терминах (называемых также траекторными) рассматриваемые процессы - $q=(q_t)_{t \geq 0}$, являются

специальными семимартингалами, и в соответствии с соотношением (2.7) допускают разложение - $q_t = \tilde{q}_t + m_t^q$, где $m^q = (m_t^q)_{t \geq 0}$ - локальный мартингал, а $\tilde{q} = (\tilde{q}_t)_{t \geq 0}$ - предсказуемый (здесь - непрерывный) процесс конечной P -п.н. вариации с

$$\tilde{q}_t = q_0 + \tilde{A}_t - \tilde{D}_t \quad (2.8)$$

Здесь $\tilde{A} = (\tilde{A}_t)_{t \geq 0}$ и $\tilde{D} = (\tilde{D}_t)_{t \geq 0}$ - элементы соответствующих разложений Дуба-Мейера точечных процессов $A = (A_t)_{t \geq 0}$ и $D = (D_t)_{t \geq 0}$ (являющихся субмартингалами):

$$A_t = \tilde{A}_t + m_t^a, \quad (2.9)$$

$$D_t = \tilde{D}_t + m_t^d. \quad (2.10)$$

То есть, \tilde{A} и \tilde{D} - неубывающие предсказуемые (в рассматриваемом частном случае непрерывные) процессы, m^a и m^d - локальные мартингалы). При этом приращения компенсаторов играют следующую “вероятностную” роль на стохастическом базисе \mathcal{B} в так называемых инфинитезимальных соотношениях:

$$P\{A_{t+\Delta} - A_t = 1 | \mathcal{F}_t\} = \tilde{A}_{t+\Delta} - \tilde{A}_t + o(\tilde{A}_{t+\Delta} - \tilde{A}_t), \quad (2.11)$$

$$P\{D_{t+\Delta} - D_t = 1 | \mathcal{F}_t\} = \tilde{D}_{t+\Delta} - \tilde{D}_t + o(\tilde{D}_{t+\Delta} - \tilde{D}_t). \quad (2.12)$$

Для рассматриваемых здесь случаев дифференцируемых компенсаторов \tilde{A} и \tilde{D} справедлива интегральная запись:

$$\tilde{A}_t = \int_0^t \alpha_s ds, \quad (2.13)$$

$$\tilde{D}_t = \int_0^t \delta_s ds \quad (2.14)$$

где α_s и δ_s называют интенсивностями поступления и обслуживания заявок. Эти соотношения и служат основой как для аналитических исследований, так и для имитационного моделирования СМО в терминах точечных процессов.

Обслуживание каждой заявки отдельно происходит с постоянной интенсивностью, и поэтому, общая его интенсивность пропорциональна числу заявок в очереди с некоторым коэффициентом $\delta > 0$:

$$\tilde{D}_t = \int_0^t q_s \cdot \delta ds, \quad (2.15)$$

или, что тоже самое, $\delta_s = q_s \cdot \delta$. Здесь коэффициент δ играет роль интенсивности каждого из обслуживающих приборов (которые предполагаются в рассматриваемом приближении эквивалентными и превосходящими количественно возможную максимальную длину очереди заявок, что и соответствует предположению о бесконечном их числе)

Конструкции подобного рода показывают, как на основе семимартингалльных описаний (в рассматриваемом случае – точечных процессов) могут быть исследованы математические объекты и модели, описывающие систему автоматического (и/или автоматизированного) управления СМО. Система автоматизированная в том смысле, что необходимые параметры (данные) для принятия управляющего решения вводятся оператором в АС, которая и производит расчёт в автоматическом режиме. Эта управляемая СМО представляет собой математическую линеаризованную приближенную (но стохастическую) модель системы принятия управляющих решений для обеспечения (или поддержания) оптимального уровня безопасности полётов воздушных судов с учётом платы за

управление и потерь, отвечающих повреждениям и отказам двигателей. При этом предполагается, что интенсивность отказов и возникновения неисправностей в рассматриваемом первом приближении снижается для каждого из двигателей линейно в зависимости от уровня затрат на управляющее воздействие. Коэффициент пропорциональности в этой линейной зависимости определяется экспертом.

Таким образом, для исследования возьмём модель, описывающую возникновение отказов (неисправностей) в авиационных ГТД (газотурбинных двигателях).

Объектом исследования является семейство случайных процессов $q^k = (q_t^k)_{t \geq 0}$, которые определяют число отказов в k -й очереди (в k -ом экземпляре ГТД) к моменту времени t . Для упрощения исследования рассматривается один процесс (очередь) $q = (q_t)_{t \geq 0}$, так как анализ проводится однотипных двигателей, обладающих близкими характеристиками и, соответственно, для любой другой k -й очереди описание и модель будут аналогичными.

Неисправности (отказы) двигателя могут быть как диагностируемые, так и не диагностируемые. В представленной модели и во введённых терминах выявление отказов и неисправностей (во время плановой диагностики или во время эксплуатации двигателя) рассматривается как обслуживание.

Но также с положительной вероятностью на каждом ненулевом интервале времени возникают недиагностированные за это время неисправности. Вследствие, чего эти неисправности могут приводить к поломке и повреждениям других элементов двигателя, т.е. появлению новых дефектов и возникновению новых отказов. В результате этого образуется очередь из отказов (неисправностей).

В частности, в качестве управляющего воздействия рассматривается использование особых покрытий для лопаток ГТД. Так, рабочие лопатки турбины подвержены значительным нагрузкам. Особенно критична высокая рабочая температура в сочетании с напряжениями на растяжение в радиальном направлении. Эти нагрузки вызывают растяжение лопаток: по мере эксплуатации они становятся всё длиннее. Это может приводить к тому, что лопатка начинает соприкасаться с

кожухом турбины, вследствие чего турбина блокируется. Следовательно, управляющее воздействие заключается, в применение специальных напылений (например, титановых), увеличивающих ресурс лопаток.

Приведём формальную математическую постановку рассматриваемой проблемы в форме задачи об оптимальном управлении. Для балансового соотношения (2.13) в терминологии СМО на основе выше сказанного запишем:

$A=(A_t)_{t \geq 0}$ - поток возникновения новых отказов, который включает: входной поток заявок, «размножение» неисправностей, управляющее воздействие на интенсивность возникновения заявок;

$D=(D_t)_{t \geq 0}$ - поток заявок к моменту времени t , вышедших из обслуживающего устройства (т.е. здесь число выявленных неисправностей в ходе эксплуатации или диагностики ГТД);

$U=(U_t)_{t \geq 0}$ - процесс управления размножением заявок в очереди;

$q=(q_t)_{t \geq 0}$ - очередь заявок (число ещё не выявленных неисправностей).

Тогда для представленных процессов справедлива следующая интегральная запись:

$$\tilde{A}_t = \int_0^t (\lambda_0 + \lambda_1 q_s - U_s)^+ ds, \quad (2.16)$$

$$\tilde{D}_t = \int_0^t \delta q_s ds, \quad (2.17)$$

$$U_t = U q_t, \quad (2.18)$$

где $\lambda_0 > 0$ - интенсивность входного потока заявок (неисправностей), $\lambda_1 > 0$ - интенсивность размножения заявок (неисправностей) внутри очереди, $\delta > 0$ - интенсивность обслуживания заявок, $U \geq 0$ - управляющий элемент входным

потоком заявок. В формуле (2.16) использован символ положительной части числа $a^+ = a$, если $a \geq 0$ и $a^+ = 0$, если $a < 0$.

При рассмотрении задачи об оптимальном управлении определим функционал потерь:

$$\Phi(T;U) = EQ_T + hTU \quad (2.19)$$

где $h > 0$ - это стоимость единичного управляющего воздействия, производимого за единицу времени t и обеспечивающего снижение интенсивности возникновения новых неисправностей на величину q_t , $U \geq 0$ - управляющее воздействие (символ $E\{\cdot\}$ означает математическое ожидание).

Коэффициент h , являясь эмпирическим, первоначально определяется экспертно.

В представленной модели вероятность того, что в двигателе существуют не выявленные неисправности или дефекты, с которыми он может эксплуатироваться, строго положительна при заданных ограничениях для параметров λ_0 , λ_1 , δ . Это может вызвать более многочисленные повреждения ГТД, вследствие чего может даже наступить отказ и остановка двигателя, и в результате ремонт и замена деталей двигателя будут более дорогостоящими, что определяется слагаемым $\lambda_1 q_s$ в правой части формулы (2.10) как показатель размножения заявок в очереди q_s с интенсивностью λ_1 для каждой заявки.

В задаче необходимо определить некоторое управляющее воздействие U , которое снижает интенсивность поступления новых заявок (неисправностей) на величину $U_s = Uq_s$, при установленном коэффициенте h . Таким образом, необходимо решить задачу оптимального управления в форме

$$\Phi(T;U) \rightarrow \min_{U \geq 0} \quad (2.20)$$

где функционал потерь $\Phi(T;U)$ определён в (2.19).

В результате её решения устанавливается уровень управляющего воздействия, позволяющий минимизировать затраты на обслуживание и ремонт ГТД при сохранении максимальной его работоспособности.

В стационарном состоянии математическое ожидание правой части выражения (2.7) должно быть постоянным. Это означает, что при $t \rightarrow \infty$ и оптимальном управлении производная математических ожиданий правой части стремится к нулю. То есть, выполняется соотношение:

$$\lambda_0 + \lambda_1 Q - UQ - \delta Q = 0 \quad (2.21)$$

где Q - средняя длина очереди в стационарном состоянии

$$Q = \lim_{t \rightarrow \infty} E q_t \quad (2.22)$$

Из выражения (2.21) получаем, что

$$Q = \frac{\lambda_0}{(\delta - \lambda_1) + U} \quad (2.23)$$

Подставляя Q в функционал потерь (2.19) с учетом (2.22), определяется такое значение U , которое при заданном коэффициенте h , определяющим стоимость единичного управляющего воздействия, производимого за единицу времени t , на временном интервале T , минимизирует средние затраты $\Phi(T;U)$. Для этого найдём минимум полученной теоретической функции, сделав необходимые операции:

$$\left(\frac{\lambda_0}{(\delta - \lambda_1) + U} + hTU \right)' = 0, \quad (2.24)$$

откуда получаем:

$$U_{opt} = \sqrt{\frac{\lambda_0}{hT}} - (\delta - \lambda_1). \quad (2.25)$$

Полученное аналитически значение оптимального уровня управляющих воздействий U_{opt} (с их стоимостью hTU_{opt}), вообще говоря, является оптимальным лишь асимптотически. На переходных режимах (при отсутствии стационарности интенсивность входных потоков и потоков обслуживания) применяется метод стохастического имитационного моделирования, который позволяет скорректировать значение уровня U_{opt} .

Ниже приведён иллюстративный пример для демонстрации сопоставления аналитического и имитационного (корректирующего на переходных режимах) методов определения оптимального управляющего воздействия.

На рисунках 2.7, 2.8 и 2.9, с целью иллюстрации процедуры управления в СМО, приведены значения процесса q_t в зависимости от выбора параметра U ($U=0$, $U=1$ и $U=5$ соответственно) при фиксированных значения параметров $T=10$, $\lambda_0=5$, $\lambda_1=1$; $\delta=2$.

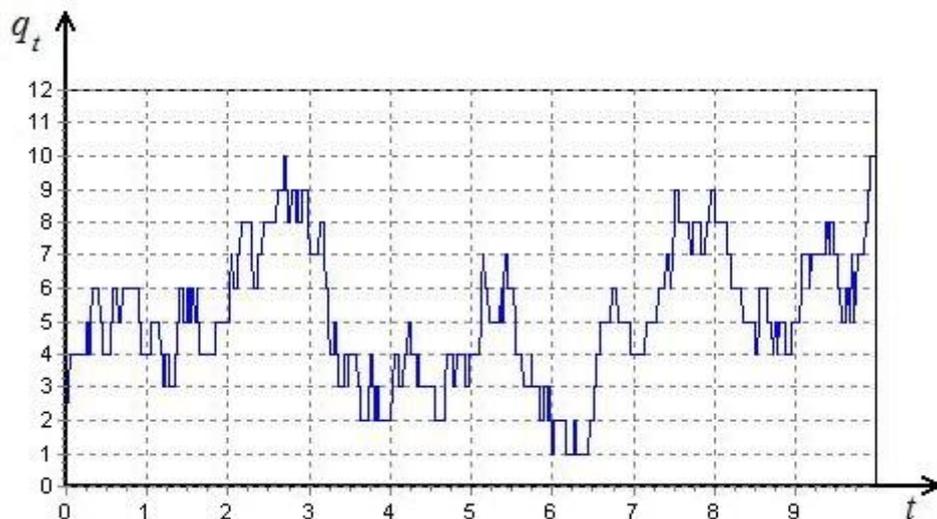


Рисунок 2.7 – Длина очереди q_t при нулевом управлении ($U=0$).

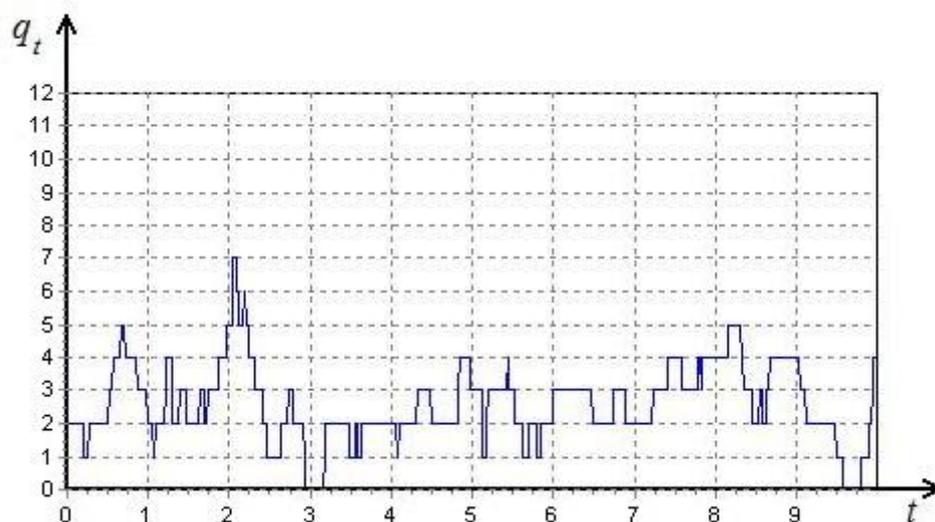


Рисунок 2.8 – Длина очереди q_t при единичном управлении ($U = 1$).

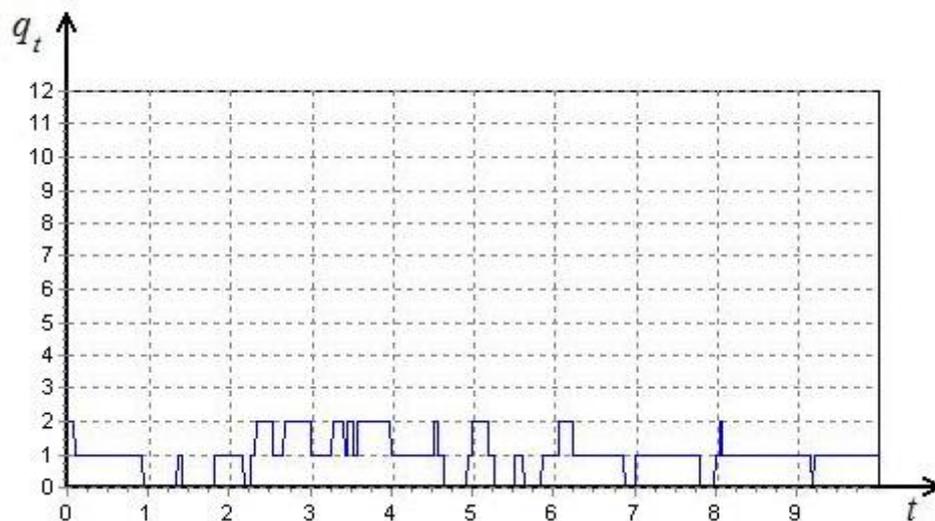


Рисунок 2.9 – Длина очереди q_t при $U = 5$.

Как видно из графиков, изображенных на рисунках 2.7-2.9, с увеличением управляющего воздействия происходит уменьшение средней длины очереди q_t .

Далее приводится нахождение оптимального уровня управляющих воздействий. При построении компьютерной модели, было взято 10000 очередей

(процессов) q_t , подсчитано их среднее (за временной интервал равный 10), которое подставили в функционал потерь $\Phi(T;U) = EQ_T + hTU$. На рисунке 2.10 представлен график зависимости значения функционала потерь от управляющего воздействия.

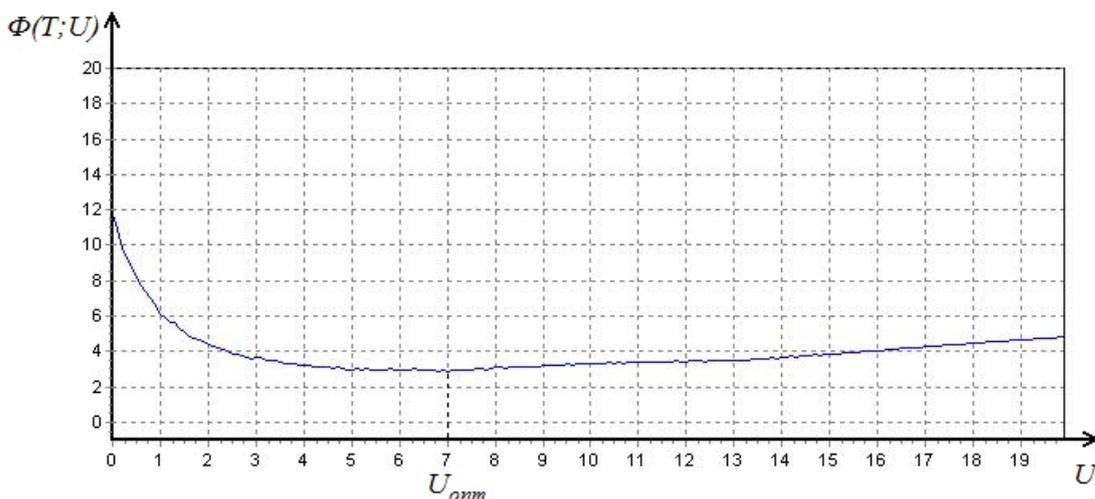


Рисунок 2.10 – График функционала потерь, полученного в результате имитационного моделирования.

По результатам имитационного моделирования получено оптимальное значение параметра U : $U_{опт} = 7$, достигаемое при $T = 10$, $\lambda_0 = 12$, $\lambda_1 = 1$, $\delta = 2$, $h = 0,02$. Для аналогичных параметров было вычислено теоретическое оптимальное значение согласно формулы (2.19): $U_{опт}^m = 6,74$. Значение параметра $U_{опт}$, полученное в результате компьютерного моделирования, отличается от теоретического $U_{опт}^m$ на величину равную 0,26, что показывает адекватность имитационной модели.

Применение данной модели и функционала потерь без дополнительных существенных преобразований переносится на случаи анализа других систем в рамках фактора «Машина» (гидравлической системы, системы электроснабжения, топливной системы и т.д.), а также потока событий по факторам «Человек» и «Среда». При этом изменятся лишь экспертно и статистически определяемые значения параметров h и интенсивностей λ_0 , λ_1 , δ , что предусмотрено соответствующими элементами АС.

2.4 Метод расчета риска авиационных событий, основанный на экспертном оценивании величины ущерба

Отличие данного метода от описанного в подразделе 2.2. заключается в том, что экономический ущерб от возникновения каждого типа авиационных событий $S^j, j = 1, \dots, 14$ определяется группой экспертов. После этого рассчитываются оценки согласованности мнений экспертов для достоверности полученных показателей (см. подраздел 2.9). Необходимость в экспертном оценивании возникает вследствие отсутствия данных экономического ущерба по некоторым типам авиационных событий.

Таким образом, метод оценки риска, описанный в подразделе 2.2. применяется в том случае, когда в БД АС имеются статистические данные страховых выплат по результатам АП. В случае отсутствия в АС данной статистики по некоторым типам событий, для определения показателей S^j используются экспертные оценки, которые заносятся в БД АС. Применяя оба подхода, наряду с расчетом среднего экономического ущерба S^j , определяется стоимость (упущенная выгода) простоя ВС в ходе ремонта (или в процессе закупки нового ВС в случае его полной потери в результате АП). Данные упущенной выгоды от простоя (или отсутствия) каждого типа ВС рассчитываются на основе экономических показателей АК и считаются известными. Эта информация вводится в БД АС на этапе внедрения АС и корректируется при необходимости в ходе эксплуатации. Корректировка производится по регламенту один раз в полгода или чаще по решению администратора АС.

2.5 Альтернативный метод оценки риска, основанный на моделировании вероятностей наступления авиационных событий

Важной особенностью метода является возможность учитывать при оценке риска такие явления как «предвестники инцидентов», которые не фиксируются в страховых базах данных и учитываются в БД АС, но влияют на величину экономического ущерба. В данном случае авиационные события не делятся по

типам, а ранжируются по серьезности последствий: предвестники инцидента, инцидент, серьезный инцидент, авария, катастрофа. Любое ВС представляется как система, которая может находиться в одном из следующих состояний: норма (готовность к осуществлению полетов), ремонт после предвестника инцидента, ремонт после инцидента, ремонт после серьезного инцидента, ремонт после аварии. В результате катастрофы, как правило, ВС не подлежит восстановлению и необходима закупка нового ВС. Граф состояний и переходов подобной системы представлен на рисунке 2.11.



Рисунок 2.11 – Граф состояний системы (ВС).

Входными данными для анализа системы являются потоки событий с интенсивностями $\lambda_{\text{П}}$, $\lambda_{\text{И}}$, $\lambda_{\text{СИ}}$, $\lambda_{\text{А}}$, $\lambda_{\text{К}}$. Значения параметров $\lambda_{\{\}}$ представляют собой среднее количество событий соответствующего типа (предвестники инцидента, инцидент, серьезный инцидент, авария, катастрофа) по отношению к часу полета (а также к количеству полетов), т.е. определяются равенством:

$$\lambda_{\{\}} = \frac{K_{\{\}}^T}{T}, \quad (2.26)$$

где $K_{\{\}}^T$ – количество АП соответствующей степени тяжести, произошедших за время T .

Также для каждого ВС определяются интенсивности перехода системы в рабочее состояние после АП (ремонта ВС): $\mu_{\text{П}}$, $\mu_{\text{И}}$, $\mu_{\text{СИ}}$, $\mu_{\text{А}}$ соответственно тяжести

АП. Параметры $\mu_{\{\cdot\}}$ определяют величины, обратные к значениям среднего времени ремонта ВС после событий соответствующего типа и рассчитываются по формуле:

$$\mu_{\{\cdot\}} = \frac{K_{\{\cdot\}}^T}{\sum_{i=1}^{K_{\{\cdot\}}^T} T_i}, \quad (2.27)$$

где T_i – время ремонта в результате i -го АП соответствующей степени тяжести.

Значения интенсивностей $\lambda_{\{\cdot\}}$ и $\mu_{\{\cdot\}}$ определяются на основе соответствующих статистических данных, а в случае их отсутствия задаются с помощью экспертных оценок, которые заносятся в БД АС.

Для расчета вероятностей пребывания системы (в данном случае ВС) в каждом состоянии (норма, ремонт после предвестника инцидента, ремонт после инцидента, ремонт после серьезного инцидента, ремонт после аварии) составляется система дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_{НОРМА}}{dt} = \mu_{\Pi} P_{\Pi} + \mu_{И} P_{И} + \mu_{СИ} P_{СИ} + \mu_A P_A - \\ - P_{НОРМА} (\lambda_{\Pi} + \lambda_{И} + \lambda_{СИ} + \lambda_A + \lambda_K) \\ \frac{dP_{\Pi}}{dt} = \lambda_{\Pi} P_{НОРМА} - \mu_{\Pi} P_{\Pi} \\ \frac{dP_{И}}{dt} = \lambda_{И} P_{НОРМА} - \mu_{И} P_{И} \\ \frac{dP_{СИ}}{dt} = \lambda_{СИ} P_{НОРМА} - \mu_{СИ} P_{СИ} \\ \frac{dP_A}{dt} = \lambda_A P_{НОРМА} - \mu_A P_A \\ \frac{dP_K}{dt} = \lambda_K P_{НОРМА} \end{array} \right. , \quad (2.28)$$

с начальными условиями:

$$P_{НОРМА}(0) = 1, P_{П}(0) = 0, P_{И}(0) = 0, P_{СИ}(0) = 0, P_A(0) = 0, P_K(0) = 0. \quad (2.29)$$

Решением данной системы являются функции $P_{НОРМА}(t)$, $P_{П}(t)$, $P_{И}(t)$, $P_{СИ}(t)$, $P_A(t)$, $P_K(t)$, представляющие собой вероятности нахождения системы в соответствующем состоянии в момент времени t (здесь время представляет собой количество часов налета ВС). Аналитическое решение системы (2.25) затруднительно, поэтому в рамках АС решение находится численным интегрированием с помощью явного метода Эйлера (достаточного по уровню точности в силу гладкости задачи (2.28)-(2.29)) с шагом $\Delta t = 10^{-7}$. Графики функций, являющихся решением системы (2.28), представлены на рисунке 2.12.

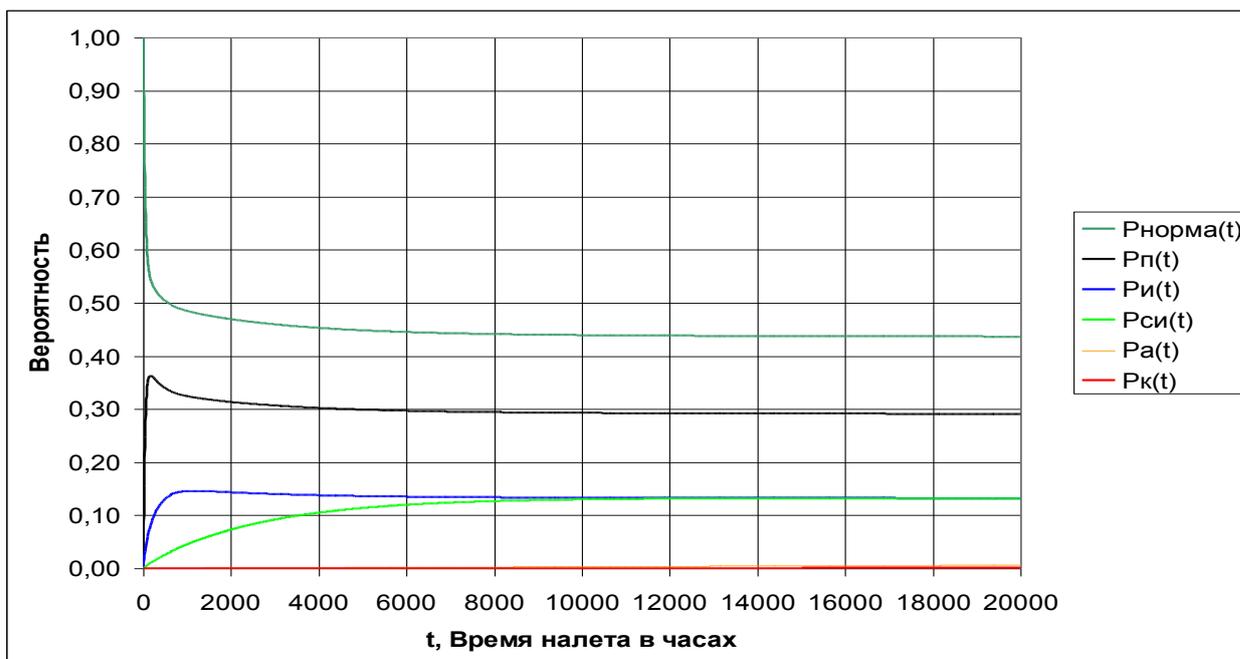


Рисунок 2.12 – Графики вероятностей нахождения системы в каждом из состояний: норма (готовность к осуществлению полетов), ремонт после предвестника инцидента, ремонт после инцидента, ремонт после серьезного инцидента, ремонт после аварии, катастрофа (потеря ВС), в момент времени t .

Средний экономический ущерб в результате АП для каждой степени тяжести ($S_{П}, S_{И}, S_{СИ}, S_A, S_K$) определяется исходя из статистики страховых выплат следующим

образом. Выборка $\vec{X}_{\{\}} = (X_{\{\}}^1, X_{\{\}}^2, \dots, X_{\{\}}^m)$ представляет собой набор показателей ущерба (в стоимостной или натуральной форме) по каждой степени тяжести авиационных событий ($\vec{X}_П, \vec{X}_И, \vec{X}_{СИ}, \vec{X}_А, \vec{X}_К$). Средние значения ущерба ($S_П, S_И, S_{СИ}, S_А, S_К$) определяются по формуле:

$$S_{\{\}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{\{\}}^i. \quad (2.30)$$

В случае отсутствия в АС статистики страховых выплат по результатам авиационных событий, ранжированных по степени тяжести (предвестники инцидента, инцидент, серьезный инцидент, авария, катастрофа), значения соответствующих показателей $S_{\{\}}$ определяются на основе экспертных оценок (методами, описанными в подразделе 2.9), которые вносятся в БД АС на этапе внедрения.

Показатели риска (ущерба) в момент времени t вычисляются аналогично (2.4):

$$R_П(t) = P_П(t) \cdot S_П, \quad R_И(t) = P_И(t) \cdot S_И, \quad R_{СИ}(t) = P_{СИ}(t) \cdot S_{СИ},$$

$$R_А(t) = P_А(t) \cdot S_А, \quad R_К(t) = P_К(t) \cdot S_К. \quad (2.31)$$

Интегрированный показатель риска определяется суммированием рисков событий каждой степени тяжести АП:

$$R(t) = R_П(t) + R_И(t) + R_{СИ}(t) + R_А(t) + R_К(t) \quad (2.32)$$

При анализе работы системы за определенный промежуток времени $[0; T]$, средние значения времени простоя ВС в зависимости от степени тяжести АП определяются равенствами:

$$T_{\Pi} = T\mu_{\Pi}, T_{И} = T\mu_{И}, T_{СИ} = T\mu_{СИ}, T_A = T\mu_A. \quad (2.33)$$

Тогда величина экономического ущерба (упущенной выгоды) от простоя ВС вычисляется по формуле:

$$r(t) = S(P_{\Pi}(t)T_{\Pi} + P_{И}(t)T_{И} + P_{СИ}(t)T_{СИ} + P_A(t)T_A), \quad (2.34)$$

где S – упущенная выгода от простоя ВС в течение единицы времени.

Данный альтернативный метод оценки риска реализуется в виде отдельного блока АС. В ходе опытной эксплуатации принимается решение о его отключении или совместном использовании с соответствующими весовыми коэффициентами.

2.6 Определение перечня проводимых управленческих решений на основе оценки эффективности мероприятий по предотвращению авиационных происшествий

В практике работы авиакомпаний возникает задача оценки эффективности мероприятий по предотвращению авиационных происшествий. Мероприятия, разрабатываемые по результатам расследования АП, как правило, должны быть реализованы при любых условиях. Однако для АК с высоким уровнем безопасности полетов все большее значение имеют проактивные (превентивные, упреждающие) методы предотвращения АП, когда объектом исследования становятся факторы риска, выявленные при анализе так называемых «предвестников инцидентов» и отклонений в обычной эксплуатационной деятельности. В результате идентификации и оценки рисков разрабатываются предложения, в том числе альтернативные. Для принятия управленческих решений по этим предложениям в условиях ограниченных ресурсов необходимо иметь механизм их оценки.

Простой и эффективный метод разработан на основании опыта группы Commercial Aviation Safety Team (CAST). Эта группа, созданная в США в 1997 году

с целью снизить на 80% число АП, на основе изучения 321 катастрофы в мировой гражданской авиации разработала более 80 мероприятий или управленческих решений. Однако стоимость внедрения всех мероприятий превысила 5 млрд. долларов, что потребовало отобрать наиболее эффективные из них. Поэтому необходимо искать компромиссы между стоимостью внедрения мероприятия и его эффективностью (предотвращенным ущербом).

Пусть, вероятность повторения j -го события, если не будет предпринято никаких действий: $P^j = P(A^j), j = 1, \dots, 14$. Таким образом P^j - это оценка частоты возникновения определенного типа авиационного события, которая может быть получена на основе статистических данных или экспертного прогноза с помощью деревьев событий (см. Раздел 1).

Ущерб от последствий авиационного события каждого типа (в стоимостной или натуральной форме): $S^j, j = 1, \dots, 14$.

Стоимость внедрения управленческого решения в рамках всей АК: $C_i, i = 1, 2, \dots, L$, где L - количество всех возможных (определенных в базе АС) мероприятий по предотвращению АП. Комплекс принимаемых управленческих решений представляет собой набор $N = \{i_1, i_2, \dots, i_M\}$, где $i_k \in \{1, 2, \dots, L\}$ и $i_k \neq i_l$ при $k \neq l$.

Эффективность каждого i -го мероприятия для снижения интенсивности j -го типа события: $F_{ij}, i = 1, \dots, L, j = 1, \dots, 14$. Показатель эффективности представляет собой величину, на которую уменьшается вероятность j -ого события вследствие внедрения i -го мероприятия: В случае, если i -ое мероприятие не влияет на вероятность возникновения j -го типа авиационного события, то значение $F_{ij} = 0$.

Показатели эффективности F_{ij} каждого из мероприятий по снижению вероятности каждого из типов авиационных событий определяются как разность относительных частот возникновения события до и после внедрения мероприятия по формуле:

$$F_{ij} = \frac{N_b^j}{N_b} - \frac{N_a^j}{N_a}, \quad (2.35)$$

где N_b^j – количество произошедших событий j -го типа, а N_b – количество полетов до внедрения i -го мероприятия, N_a^j – количество произошедших событий j -го типа, а N_a – количество полетов после внедрения i -го мероприятия. Данные показатели рассчитываются по статистическим данным, содержащимся в БД АК, а в случае отсутствия статистики, определяются на основе экспертных оценок.

При анализе эффективности управленческих решений, направленных на снижение риска по факторам «Машина» рассматривается коэффициент: $K_i \in (0;1), i = 1, \dots, L$, который представляет долю парка ВС, для которых внедрено i -е мероприятие. В случае фактора «Человек» вместо доли ВС рассматривается часть личного состава, прошедшая переподготовку или специальные занятия, доля ИТР, допущенных к определенным видам работ, доля КВС, имеющих пониженный минимум захода на посадку, т.е. доля персонала АК для которой принимается управленческое решение. Данные коэффициенты для каждого мероприятия из имеющегося в АС перечня определяются в ходе эксплуатации АС ответственными лицами АК. Мероприятия, направленные на снижение риска по фактору «Среда» не учитываются, так как АК не имеют своих аэропортов, и поэтому анализ их эффективности выходит за рамки данной АС.

Приведем перечень рассчитываемых характеристик, на основе анализа которых формируется список управленческих решений.

Риск R^j , связанный с возникновением j -го типа авиационных событий определен в формуле (2.4).

Эффективность внедрения i -го мероприятия для j -ого типа событий рассчитывается по формуле:

$$Q_{ij} = F_{ij} \cdot K_i. \quad (2.36)$$

Эффективность внедрения комплекса (набора $N = \{i_1, i_2, \dots, i_M\}$) управленческих решений, для j -ого типа событий определяется равенством:

$$Q^j(N) = \sum_{k=1}^M Q_{ikj}. \quad (2.37)$$

Устраненный риск (предотвращенный ущерб) j -го типа авиационного события при осуществлении комплекса мероприятий представляет собой соотношение:

$$\Delta R^j(N) = S^j \cdot Q^j(N). \quad (2.38)$$

Интегрированный показатель риска (ущерба) по всем типам авиационных событий, устраненного (предотвращенного) принятием определенного комплекса (набором $N = \{i_1, i_2, \dots, i_M\}$) мероприятий, определяется соотношением:

$$\Delta R(N) = \sum_{j=1}^{14} \Delta R^j(N). \quad (2.39)$$

Риск (ущерб), устраненный (предотвращенный) i -м мероприятием записывается в виде равенства:

$$\Delta R_i = \left(\sum_{j=1}^{14} R^j F_{ij} \right) K_i. \quad (2.40)$$

Стоимость комплекса (набора $N = \{i_1, i_2, \dots, i_M\}$) внедряемых управленческих решений определяется равенством:

$$C(N) = \sum_{k=1}^M C_{i_k} K_{i_k}. \quad (2.41)$$

Экономическая выгода от внедрения комплекса управленческих решений рассчитывается по формуле:

$$V(N) = \Delta R(N) - C(N) \quad (2.42)$$

На основе анализа вычисляемых характеристик (2.39) - (2.42), а также общего риска (2.5) решается задача выбора перечня рекомендуемых АС управленческих решений для повышения уровня БП. Выбор определения мероприятий из полного списка осуществляется путем сопоставления значений показателя стоимости набора мероприятий (2.41) и интегрированного показателя риска (ущерба), устраненного (предотвращенного) данным набором (2.39).

Таким образом, наряду с задачей минимизации функционала потерь (2.19), описанного в подразделе 2.3, для определения предлагаемого АС перечня управленческих мероприятий по повышению уровня БП, решается задача максимизации экономической выгоды (как функции множеств $N = \{i_1, i_2, \dots, i_M\} \subset \{1, 2, \dots, L\}$) от принятия данного перечня мероприятий:

$$V(N) = \Delta R(N) - C(N) \rightarrow \max_{\substack{N \subset \{1, 2, \dots, L\} \\ N \neq \emptyset}}. \quad (2.43)$$

Решением задачи (2.43) является оптимальный набор $N = \{i_1, i_2, \dots, i_M\} \subset \{1, 2, \dots, L\}$ управленческих мероприятий, который выдается АС в качестве результата для дальнейшего анализа ответственными лицами АК.

2.7 Оценка затрат на реализацию мероприятий по предотвращению авиационных происшествий.

Мероприятия по предотвращению авиационных происшествий (ПАП) проводятся с целью уменьшения риска возникновения АП. Входными данными для анализа комплекса мероприятий ПАП является поток авиационных событий с интенсивностью λ (размерность (час полета)⁻¹ либо (количество полетов)⁻¹). Проведение мероприятий ПАП позволяет избежать части событий и в результате интенсивность потока снижается и принимает значение Λ . Интенсивности потоков связаны следующими соотношениями:

$$\Lambda = \lambda p_M, \Lambda < \lambda, q_M = 1 - p_M, p_M = \frac{\Lambda}{\lambda} < 1, \quad (2.44)$$

где q_M – долевого эффект от воздействий мероприятий ПАП, p_M – противоположный эффект, т.е. показатель того, что события не были предотвращены. Очевидно, что при $p_M = 1$ мероприятие совершенно неэффективно, т.е. интенсивность потока авиационных событий не изменяется.

Мероприятия ПАП являются организационно-техническими и включают в себя:

- обучение персонала АК;
- совершенствование структуры авиакомпании и введение новых функций в положения о подразделениях и в должностные инструкции;
- приобретение и внедрение новых технических средств, повышающих объективность контроля, например, автоматизированные системы контроля и диагностики (АСК);
- управление персоналом, включая политику набора и списание летного состава;
- другие мероприятия, повышающие уровень БП.

Первые два направления связаны в основном с увеличением затрат на обучение персонала (закупки тренажерного оборудования, аренда помещений для обучения, заработная плата профессорско-преподавательского состава) и с увеличением фонда заработной платы сотрудников АК. Третье – с затратами на НИОКР и капитальными вложениями в приобретение технических средств.

2.8 Мероприятия ПАП за счет обучения и повышения квалификации персонала авиакомпании.

Типичным мероприятием ПАП является процесс обучения персонала, который повышает вероятность их правильных действий. Известно, что процессы обучения носят характер экспоненциального распределения(см., например, [27]). Рассмотрим процесс первоначального обучения персонала, который повышает вероятность правильных действий. График изменения вероятности правильных действий изображен на рисунке 2.13, где t – текущее время, T – постоянная времени.

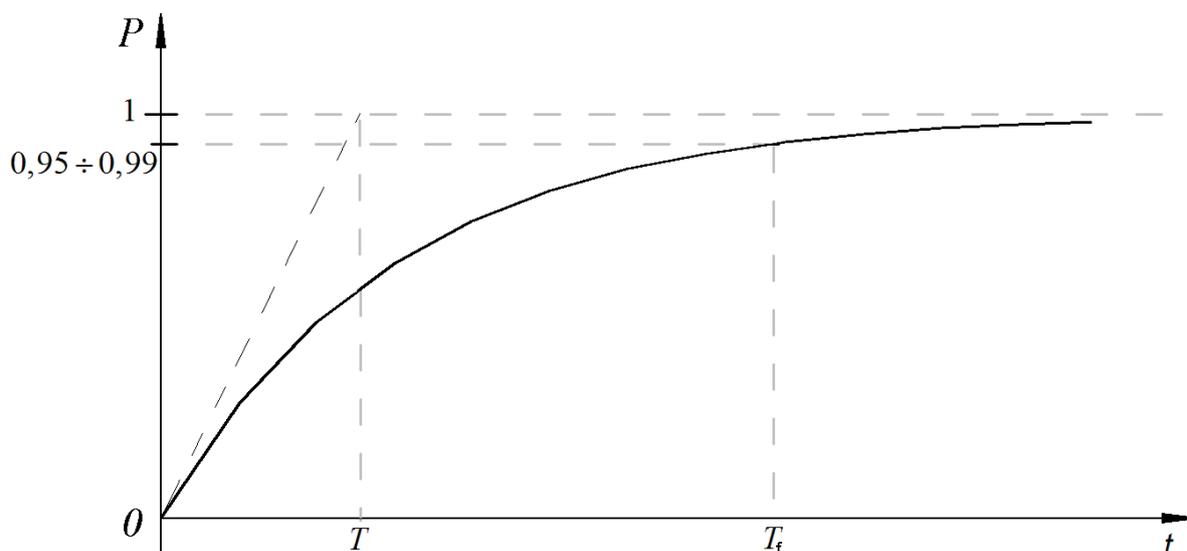


Рисунок 2.13 – График изменения вероятности правильных действий при обучении.

Функциональную зависимость эффективности процесса обучения принято записывать следующим образом:

$$p(t) = 1 - e^{-t/T}. \quad (2.45)$$

Заметим, что $p(t) \rightarrow 1$ при $t \rightarrow \infty$ и на практике в переходных процессах значение $p(t)$, попадающее в интервал $(0.95, \dots, 0.99)$ принимается за окончание процесса обучения, которое происходит за время $T_f \in [3T; 5T]$. Применительно к процессу обучения, время t равно количеству часов учебного плана. Перейдем к вероятности совершения ошибочного действия $q(t)$:

$$q(t) = 1 - p(t) = e^{-t/T}. \quad (2.46)$$

Для оценки стоимости мероприятий ПАП, направленных на обучение персонала, перейдем к затратам, связанным с оплатой преподавателей и инструкторов. В качестве способа оценивания этой компоненты (заметим, что меньшей) затрат на обучение, рассмотрим стоимость курса, рассчитанного на время T :

$$K = C_T \cdot t \text{ или } t = K / C_T, \quad (2.47)$$

где C_T – тарифная ставка (стоимость курса обучения), K – текущая стоимость затрат. Подставляя (2.47) в формулу (2.46), получаем:

$$p(t) = 1 - e^{-\frac{K}{C_T T}} \text{ или } q(t) = 1 - p(t) = e^{-\frac{K}{C_T T}}. \quad (2.48)$$

Далее получаем обратную функцию, логарифмируя последнее равенство:

$$-\frac{K}{C_T T} = \ln q(t), \quad (2.49)$$

откуда

$$K = -C_T T \ln q. \quad (2.50)$$

Обозначим через K_T значение $C_T T$, которое представляет собой постоянную величину по затратам:

$$K_T = C_T T = const. \quad (2.51)$$

Зависимость затрат на первоначальное обучение представлена на рисунке 2.14.

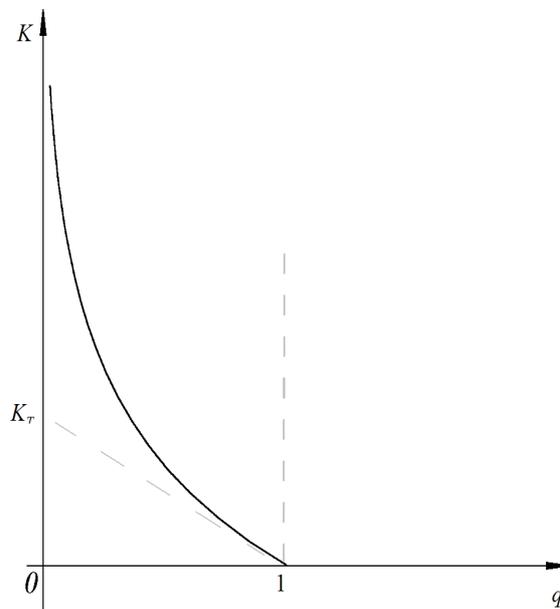


Рисунок 2.14 – График затрат на первоначальное обучение.

Следует отметить, что для мероприятий ПАП характерно не первоначальное обучение, а повышение квалификации персонала, имеющего опыт работы. В этом случае график изменения долевого эффекта имеет несколько иной вид,

представленный на рисунке 2.15. Процесс начинается с начального уровня p_0 и заканчивается при значении заданной вероятности $p_{зад}$, достигаемого при обучении по данной программе. В этом случае функция $p(t)$ имеет вид:

$$p(t) = 1 - (1 - p_0)e^{-t/T}. \quad (2.52)$$

График изменения вероятности правильных действий изображен на рисунке 2.15.

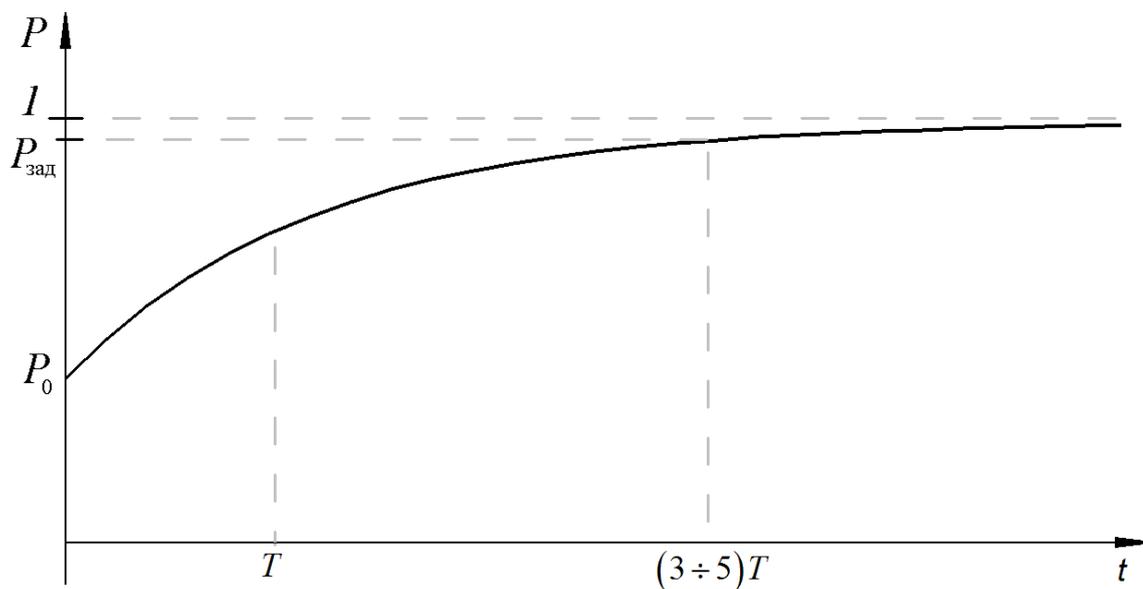


Рисунок 2.15 – График изменения вероятности правильных действий при повышении квалификации.

Время обучения $t_{зад}$, за которое достигается заданная вероятность $p_{зад}$, определяется соотношением:

$$t_{зад} = -T \ln \left(\frac{1 - p_{зад}}{1 - p_0} \right). \quad (2.53)$$

Таким образом, затраты на повышение квалификации имеют значение:

$$C_T t_{зад} = -C_T T \ln \left(\frac{1 - p_{зад}}{1 - p_0} \right). \quad (2.54)$$

Расчет затрат, связанных с обучением и повышением квалификации персонала АК, реализуется в АС отдельным блоком и является ориентиром для ЛПП в ходе определения необходимости проведения мероприятий повышающих уровень БП.

1 Безопасность России. Правовые социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ рисков и управление безопасностью. (Метод. рекомендации) / Рук. авт. коллектива Н. А. Махутов, К. Б. Пуликовский, С. К. Шойгу. – М.: МГФ «Знание». – 2008. – 672 с.

2 Nisula, J. Operational Risk Assessment. Next Generation Methodology / J. Nisula // ARMS Working Group. – 2009. – 48 p. – URL: <http://www.easa.europa.eu/essi/documents/ARMS.pdf>.

3 Руководство по управлению безопасностью полетов / Doc.9859. ИКАО. – 2006 г. – URL: <http://www.icao.int> (дата обращения 20.06.11).

4 Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории / Под ред. Л. М. Берестова, А. Н. Степаненко. – М: Авиаиздат. – 1994. – 322 с.

5 Орлов, А.И. Математика случая: Вероятность и статистика – основные факты: Учебное пособие. – М.: МЗ-Пресс, 2004. – 110 с.

6 Крамер, Г. Математические методы статистики / Г. Крамер. – М.: Мир. – 1975. – 648 с.

7 Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: Физматлит. – 2006. – 813 с.

8 Вероятность и математическая статистика: Энциклопедия / Гл. ред. Ю. В. Прохоров. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. – 911с.; ISBN 5-85270-265-X.

9 Воробьев, Ю.Л. Теория риска и технологии обеспечения безопасности. Подход с позиций нелинейной динамики / Г.Г. Малинецкий, Н.А. Махутов // Проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 1990. – №11. – с. 19–41.

2.9 Разработка методологии экспертного оценивания

2.9.1 Цели и задачи экспертного оценивания в разрабатываемой автоматизированной системе

В ходе выполнения проекта в случае отсутствия объективной статистики экспертно планируется оценивать **следующие показатели**:

1. Передаточные коэффициенты на каждом из уровней дерева;
2. Меру неучтенной информации по каждому набору факторов опасности;
3. Входные данные для факторов опасности;
4. Эффективность управленческих решений связанных с авиационными инцидентами;
5. Экономический ущерб по типам событий;

Разработка методологии и алгоритма экспертного опроса, процедуры его проведения, форматы анкет и выбор методов обработки результатов основаны на поставленных задачах и опираются на результаты исследований, приведенных в работах [28, 29].

Основные стадии экспертного оценивания

1. *Разработка рабочей группы* с выделением различных групп специалистов (аналитическая, специалисты по методам анализа данных, компьютерная, по работе с экспертами, организационная).

2. *Разработка* аналитической группой подробного сценария проведения сбора и анализа экспертных оценок. Сценарий будет включать в себя конкретный вид информации, которая будет получена от экспертов, а также методы анализа собранной информации.

3. *Подбор экспертов* в соответствии с их компетентностью.
4. *Формирование экспертной комиссии*. На этой стадии Рабочая группа проводит переговоры с экспертами, получает их согласие на работу в экспертной комиссии.
5. Проведение *сбора* экспертной информации.
6. Компьютерный *анализ экспертной информации* с помощью включенных в сценарий методов.
7. Итоговый анализ экспертных мнений, интерпретация полученных результатов аналитической группой и *подготовка заключительного документа*.

На данный момент сформирована Рабочая группа в виде «Временного творческого коллектива по экспертным оценкам» и подготовлен сценарий проведения сбора и анализа экспертных оценок в виде Технического задания на разработку базы экспертных оценок.

2.9.2 Математические алгоритмы экспертного оценивания

Перед применением алгоритмов анализа данных устанавливается в шкалах каких типов будут измеряться рассматриваемые величины. При сборе экспертной информации для каждого показателя определяется тип шкалы и соответствующая группа допустимых преобразований шкалы.

1. *Шкала наименований*. В этой шкале числа используются лишь как метки, т.е. лишь для различения объектов (например, типы самолетов).

2. В *порядковой шкале* числа используются не только для различения объектов, но и для установления порядка между объектами (например, ранжирование систем по фактору «Машина»).

3. По шкале *интервалов* предполагается измерение некоторых параметров по фактору «Человек». В тех случаях, когда на шкале нельзя заранее отметить ни естественное начало отсчета, ни естественную единицу измерения, эксперту предлагается самостоятельно задать точку отсчета и выбрать единицу измерения.

4. *Шкалы отношений*. В них есть естественное начало отсчета - нуль, но нет естественной единицы измерения. По шкале отношений предполагается измерение физических единиц (длина, масса).

5. В *шкале разностей* есть естественная единица измерения, но нет естественного начала отсчета.

6. Для *абсолютной шкалы* заданы и начало отсчета, и единицы измерения.

При формировании алгоритмов анализа данных учитывается **инвариантность** относительно допустимого преобразования шкалы, т.е. выводы, сделанные на основе данных, измеренных в шкале определенного типа, не должны меняться при допустимом преобразовании шкалы измерения этих данных.

При анализе мнений экспертов будет учитываться насколько велико различие в их мнениях. Если различие в мнениях экспертов невелико, то усреднение мнений экспертов позволит выделить то общее, что есть у всех экспертов, отбросив случайные отклонения в ту или иную сторону.

При отсутствии согласованности экспертов предполагается разбиение их на группы сходных по мнению. Это будет сделано методами статистики объектов нечисловой природы, относящимися к кластер-анализу, предварительно введя метрику в пространство мнений экспертов.

Непараметрическая теория парных сравнений (**теория люсианов**) позволит рассматривать гипотезу однородности, т.е. предполагается проверять лишь совпадение распределений мнений экспертов между собой.

Предполагается, что оцениваемые параметры столь сложны, что эксперту гораздо легче на каждом шагу сравнивать только два объекта, чем оценивать количественные характеристики. В таком случае прибегают к исследованию бернуллевских векторов (также называемых люсианами) [30].

Люсиан – это последовательность испытаний Бернулли с, вообще говоря, различными вероятностями успеха. Реализацией люсиана является последовательность из нулей и единиц [28].

Наиболее важными задачами теории люсианов являются задачи проверки согласованности (одинаковой распределенности), однородности двух выборок и

независимости люсианов. Методы проверки указанных гипотез нацелены на ситуацию, когда число бернуллиевских векторов фиксировано, а их длина растет [29]. При этом число неизвестных параметров возрастает пропорционально объему данных, т. е. теория построена в асимптотике растущего числа параметров, известной из дискриминантного анализа под названием асимптотики Колмогорова [31]. Рассмотрим указанные гипотезы.

Пусть A_1, A_2, \dots, A_s – совокупность независимых (между собой) люсианов с векторами параметров P_1, P_2, \dots, P_s соответственно. Гипотезой согласованности люсианов называют гипотезу [29]:

$$P_1 = P_2 = \dots = P_s. \quad (2.55)$$

Как показано в [29], гипотеза (МММ.1) адекватна конкретным задачам обработки реальных данных, например, экспертных оценок. Поэтому полученные от экспертов данные, содержащие противоречия, целесообразно рассматривать как люсианы и проверять гипотезу (МММ.1), после чего проверять согласованность методами теории случайных ранжировок или разбиений, как иногда рекомендуется.

Пусть A_1, A_2, \dots, A_m и B_1, B_2, \dots, B_n – независимые в совокупности люсианы длины k , одинаково распределенные в каждой группе с параметрами $P(A)$ и $P(B)$ соответственно. Тогда гипотезой однородности называется гипотеза, определяемая уравнением [29]:

$$P(A) = P(B) \quad (2.56)$$

В асимптотике растущей размерности предполагается постоянность чисел m и n при $k \rightarrow \infty$.

Пусть (A_i, B_i) , $i = 1, 2, \dots, S$ – последовательность пар независимых между собой люсианов. Требуется проверить гипотезу независимости люсианов вида A_i и B_i , $i = 1, 2, \dots, S$, т. е. внутри пар. Тогда в ранее введенных обозначениях в предположении справедливости выражения (2.58) гипотеза независимости имеет вид (2.57) [28]:

$$P(X_{ij}(A) = 1, X_{ij}(B) = 1) = P(X_{ij}(A) = 1)P(X_{ij}(B) = 1), \quad (2.57)$$

$$P_1(A) = P_2(A) = \dots = P_s(A), P_1(B) = P_2(B) = \dots = P_s(B) \quad (2.58)$$

Проверка согласованности люсианов

Пусть α – нормально распределенный случайный вектор размерности $\frac{s(s-1)}{2}$

с нулевым математическим ожиданием и ковариационной матрицей вида (2.59):

$$\text{Cov}(\xi)^* = \sum_{i=1}^k \mu_i^2 B_i. \quad (2.59)$$

Тогда при $k \rightarrow \infty$ распределения случайных величин $f(\xi)$ и $f(\alpha)$ будут сближаться, что означает возможность замены распределения $f(\xi)$ на распределение $f(\alpha)$ для построения критериев проверки гипотез. Для проверки гипотезы согласованности люсианов можно пользоваться любой статистикой $f_n(\xi)$, для которой могут быть вычислены на персональном компьютере или заранее табулированы процентные точки распределения $f_n(\alpha)$, аппроксимирующего распределение $f_n(\xi)$ [28]. В частности, в [29] автор предлагает использовать линейные статистики, представляющие собой скалярное произведение случайного вектора ξ и некоторого заданного детерминированного вектора коэффициентов a (см. формулу 2.60), имеющие нулевое математическое ожидание и дисперсию, очевидным образом выражающуюся через матрицу коэффициентов $\|a_{ij}\|$ и числа D , C_1 и C_2 , а потому несмещенно и состоятельно оцениваемую с помощью с помощью оценок для D , C_1 и C_2 .

$$(\xi, a) = \sum_{i=1}^k \left(\mu_i \sum_{1 \leq j < t \leq s} a_{jt} (|X_{ij} - X_{it}| - \beta_i) \right), \quad (2.60)$$

$$C_1 = M(|X_{ip} - X_{iq}| - \beta_i)(|X_{ir} - X_{it}| - \beta_i) = -\frac{4}{s}p(1-p) + \frac{8(2s-3)}{s(s-1)}p^2(1-p)^2,$$

$$C_2 = M(|X_{ip} - X_{iq}| - \beta_i)(|X_{ir} - X_{it}| - \beta_i) = \left(1 - \frac{4}{s}\right)p(1-p) - 4\frac{(s-2)(s-3)}{s(s-1)}p^2(1-p)^2,$$

$$D = D(|X_{ip} - X_{iq}| - \beta_i) = \left(2 - \frac{4}{s}\right)p(1-p) - 4\frac{(s-2)(s-3)}{s(s-1)}p^2(1-p)^2.$$

Существует несколько частных случаев, при которых оценки, описанные выше, значительно упрощаются. Рассмотрим два из них.

1) Проверка согласованности двух определенных люсианов (ответов двух экспертов), j -го и t -го, может осуществляться с помощью статистики (2.60), в которой отличен от нуля только один член: $a_{jt} = 1$. Оценкой дисперсии является D^* , определяемая из соотношения [28]:

$$D^* = \frac{2\gamma_i(s-\gamma_i)}{s^2(s-1)^2} \{(s-2)(s-1) - 2(\gamma_i-1)(s-\gamma_i-1)\} \quad (2.61)$$

2) Пусть необходимо проверить согласованность люсианов с одним из них, скажем, с j -м (например, в случае, когда люсианы отражают мнения экспертов, возможна ситуация, когда j -й из них является наиболее компетентным, или «лицом, принимающим решения», или его мнение сильно отличается от мнений остальных). Это можно сделать с помощью статистики (2.60), в которой

$$a_{jt} = 1, t \geq j+1, j+2, \dots, s; \quad a_{tj} = 1, 1 \leq t \leq j-1;$$

$$a_{qt} = 0, q \neq j, t \neq j, 1 \leq q < t \leq s.$$

Другими словами, она имеет вид

$$W = \sum_{i=1}^s d(A_j, A_i) - (s-1) \sum_{i=1}^k \mu_i \beta_i, \quad (2.62)$$

где расстояние d между люсианами удовлетворяет формуле (2.63), а β_i формуле (2.64)

$$d(A_p, A_q) = \sum_{i=1}^k \mu_i |X_{ip} - X_{iq}|, \text{ где } \mu_i > 0, \quad (2.63)$$

$$\beta_i = \frac{2}{s-1} \left(\gamma_i - \frac{\gamma_i^2}{2} \right). \quad (2.64)$$

В [28] показано, что

$$D^*(W) = \sum_{i=1}^k \mu_i^2 \frac{\gamma_i(s-\gamma_i)}{s^2} \{(s-2)^2 - 4(\gamma_i-1)(s-\gamma_i-1)\}, \quad (2.65)$$

Тогда при выполнении условия регулярности,

$$\mu_i \geq \varepsilon, \quad \frac{1}{\mu_i} \geq \varepsilon, \quad p_i \geq \varepsilon, \quad 1-p_i \geq \varepsilon \quad (2.66)$$

распределение статистики

$$\frac{W}{\sqrt{D^*(W)}} \quad (2.67)$$

сходится при $k \rightarrow \infty$, $s = \text{const}$ при справедливости гипотезы согласованности люсианов к стандартному нормальному распределению с нулевым средним и единичной дисперсией [29].

Различные подходы к понятию согласованности

Существует несколько общепринятых подходов к понятию согласованности люсианов. Полное индивидуальное согласие имеет место, если никакие два эксперта не являются «несогласованными» [28]. Уровень значимости определяется описанным выше способом (первый частный случай). Однако отвержение гипотезы о полном индивидуальном согласии не свидетельствует о несогласованности люсианов ввиду значительного количества парных проверок (даже для 4 люсианов их 24). Полное согласие в целом означает, что для любого эксперта мнения всех остальных оказываются с ним согласованными при использовании статистики (2.62) (второй частный случай) [28]. Отсутствие подобного согласия для одного или нескольких экспертов не означает отклонения гипотезы согласованности люсианов – по тем же причинам, что и в предыдущем случае. Минимальное согласие имеют мнения экспертов, когда хотя бы для одного из них гипотеза согласованности не отвергается с помощью статистики (2.62) [28]. В этом случае групповое мнение целесообразно строить, выделяя «ядро» (т. е. группу согласованных мнений экспертов).

Классификация люсианов

Отсутствие согласованности в одном из перечисленных выше смыслов позволяет сделать заключение о целесообразности разбиения всех люсианов (например, если они выражают мнения экспертов) на группы близких между собой, т.е. о целесообразности классификации люсианов, точнее, их кластер-анализа. Разбиение на кластеры, внутри каждого из которых имеет место «полное индивидуальное согласие», может быть проведено с помощью агломеративного иерархического алгоритма «дальнего соседа», дополненного ограничением сверху на диаметр кластера [29]. Кластеры «с полным согласием в целом» могут быть получены с помощью агломеративного иерархического алгоритма, в котором мерой близости двух кластеров является максимальное значение модуля статистики (2.62),

когда j пробегает номера мнений (люсианов), вошедших в объединение рассматриваемых кластеров, а суммирование в (2.62) проводится по всем люсианам в этом объединении [29]. Кластеры «с минимальным согласием» можно получить, при фиксированном j выделяя совокупность люсианов, согласованных с A_j в смысле статистики W из (2.62) [29]. Существуют и другие методы классификации. Например, для каждого люсиана A_m можно выделить кластер «типа шара» [32] из люсианов, попарно согласованных с A_m .

Нахождение среднего. В результате классификации получаются согласованные (в одном из указанных выше смыслов) группы люсианов [29]. Для каждой из них полезно рассмотреть среднее. В зависимости от конкретных приложений в прикладных исследованиях применяют либо среднее в виде последовательностей нулей и единиц, т.е. в виде реализации люсиана, либо среднее в виде последовательности оценок вероятностей (p_1, p_2, \dots, p_k) . Кроме того, оно может находиться либо с помощью методов, подавляющих «засорения», либо без учета возможности засорения [29].

При отсутствии засорения эмпирическое среднее ищется как решение задачи (2.68) [29]:

$$\sum_{j=1}^m d(A_j, A) \rightarrow \min_{A \in X}, \quad (2.68)$$

где A_1, A_2, \dots, A_m – люсианы, входящие в рассматриваемый кластер, X – множество, которому принадлежит среднее (например, множество люсианов длины k или множество k -мерных векторов вероятностей). В случае, когда X – совокупность люсианов длины k , правило (2.68) дает решение по правилу большинства [29].

В работе [33] при анализе результатов эксперимента показано, что ответы реальных экспертов разбиваются на многочисленное «ядро», расположенное вокруг истинного мнения, и отдельных «диссидентов», разбросанных по периферии. Причем оценка истинного мнения по «ядру» является более точной, чем по всей совокупности, поскольку мнения «диссидентов» не отражают истинного мнения.

Поэтому для построения группового мнения, в том числе среднего для совокупности люсианов, отражающих мнения экспертов, естественно применять методы, подавляющие мнения «диссидентов», что соответствует методологии робастности [29].

«Ядро» может быть построено следующим образом. Решается задача (2.68) с конечным множеством X , состоящим из всех исходных люсианов: $X = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, т. е. из результатов наблюдений выбирается тот, что находится «в центре» совокупности результатов наблюдений. Пусть A_j является решением этой задачи. Тогда в качестве ядра предлагается рассматривать совокупность всех люсианов, которые попарно согласованы с A_j [28].

Для усреднения экспертных оценок предполагается применение различных видов средних величин в зависимости от шкалы значений оцениваемого параметра.

Общее понятие **средней величины**, введенное Коши: средней величиной является любая функция $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ такая, что при всех возможных значениях аргументов значение этой функции не меньше, чем минимальное из чисел X_1, X_2, \dots, X_n , и не больше, чем максимальное из этих чисел.

Обобщением нескольких из перечисленных является среднее по Колмогорову. Для чисел X_1, X_2, \dots, X_n среднее по Колмогорову вычисляется по формуле

$$G\left\{\frac{F(X_1)+F(X_2)+\dots+F(X_n)}{n}\right\},$$

где F – строго монотонная функция, G – функция, обратная к F . Частными случаями средних по Колмогорову являются: среднее арифметическое, если $F(X) = X$; среднее геометрическое, если $F(X) = \ln(X)$; среднее гармоническое, если $F(X) = \frac{1}{X}$; среднее квадратическое, если $F(X) = X^2$ и т.д.

Среднее по Колмогорову – частный случай среднего по Коши. Медиана и мода, хотя и не являются средними по Колмогорову, но тоже – средние по Коши [28].

Выборочной медианой (Me) называется величина x_{k+1} , если $n=2k+1$ нечетно, и $\frac{x_k + x_{k+1}}{2}$, если $n=2k$ четно [14].

Широкое использование этой характеристики на практике объясняется простотой ее вычисления и независимостью от формы распределения эмпирических данных. При обработке результатов измерений в порядковой шкале медианой также можно пользоваться.

Мода (Mo) представляет собой значение признака, встречающееся в выборке наиболее часто.

Поскольку ответы экспертов являются не только числами, а также объектами нечисловой природы, такими как градации качественных признаков, ранжировки, разбиения, результаты парных сравнений, и т.д., то для их анализа будут применены такие методы как медиана рангов, медиана Кемени, метод попарных сравнений и др.

Для мнений экспертов, измеренных в порядковой шкале, в качестве средних значений возможно применение только членов вариационного ряда (медиана, мода, выборочные квартили, минимум и максимум, децили).

В шкале интервалов допустимым является среднее арифметическое, а также можно использовать медиану или моду.

Предполагается, что для части параметров эксперты будут проводить ранжировку объектов экспертизы, т.е. располагать их в порядке неубывания интенсивности оцениваемой характеристики.

Ранжировки определяются с помощью рангов. Ранг - это номер объекта экспертизы в упорядоченном ряду. Для анализа экспертных оценок представленных в виде рангов (баллов) возможно применение метода средних арифметических рангов и методов медианных рангов.

В **методе средних арифметических рангов** подсчитывается сумма рангов, затем эта сумма делится на число экспертов, в результате рассчитывается средний арифметический ранг. По средним рангам строится итоговая ранжировка.

В **методе медиан рангов** ответы экспертов располагаются в порядке неубывания и в ранжированной выборке определяется медиана.

В случае принятия решения об одновременном применении нескольких методов обработки экспертных данных, будет применена методика согласования кластеризованных ранжировок. В случае если объекты реально упорядочены, этот порядок выявит любой способ анализа данных. Но так как заранее неизвестно упорядочены ли объекты в действительности или нет, то одновременное применение двух (или более) методов позволяет найти ответ на этот вопрос. Если результаты анализа данных совпадают или почти совпадают – повышается уверенность в том, что они отражают действительность. Если результаты, полученные с помощью двух методов анализа данных, весьма различаются – значит, они не отражают реальность.

Метод согласования кластеризованных ранжировок позволяет «загнать» противоречия внутрь специальным образом построенных кластеров (групп), в то время как упорядочение кластеров соответствует одновременно всем исходным упорядочениям.

В результате упорядоченность кластеров отражает общее мнение экспертов, точнее, то общее, что содержится в исходных ранжировках.

Для оценивания влияния совокупности факторов на событие возможно применение **метода парных сравнений**. Пусть t объектов A_1, A_2, \dots, A_t сравниваются попарно каждым из n экспертов. Следовательно, возможных пар для сравнения имеется $s = t(t-1)/2$. Эксперт с номером γ делает r_γ повторных сравнений для каждой из s возможностей.

Пусть $X(i, j, \gamma, \delta)$, $i, j=1, 2, \dots, t, i \neq j, \gamma=1, 2, \dots, n; \delta=1, 2, \dots, r_\gamma$, - случайная величина, принимающая значения 1 или 0 в зависимости от того, предпочитает ли эксперт γ объект A_i или объект A_j в δ -м сравнении двух объектов. Обычно принимают, что все сравнения проводятся независимо друг от друга, так что случайные величины $X(i, j, \gamma, \delta)$ независимы в совокупности, если не считать того, что $X(i, j, \gamma, \delta) + X(j, i, \gamma, \delta) = 1$. Положим

$$P(X(i, j, \gamma, \delta) = 1) = \pi(i, j, \gamma, \delta).$$

Описанная модель парных сравнений представляет собой частный случай люсиана. В этой модели число наблюдений равно числу неизвестных параметров, поэтому для получения статистических выводов необходимо наложить те или иные априорные условия на $\pi(i, j, \gamma, \delta)$, например:

$$\pi(i, j, \gamma, \delta) = \pi(i, j, \gamma) \text{ (нет эффекта от повторений);}$$

$$\pi(i, j, \gamma, \delta) = \pi(i, j) \text{ (нет эффекта от повторений и от экспертов).}$$

Возможно применение непараметрической теории независимых парных сравнений, в которой статистические задачи ставятся непосредственно в терминах $\pi(i, j, \gamma, \delta)$, и параметрической, в которой вероятности $\pi(i, j, \gamma, \delta)$ выражаются через меньшее число иных параметров.

Ряд результатов непараметрической теории парных сравнений непосредственно вытекает из теории люсианов.

В параметрической теории парных сравнений наиболее популярна линейная модель, в которой предполагается, что каждому объекту A_i можно сопоставить некоторую "ценность" V_i так, что вероятность предпочтения $\pi(i, j)$ (т.е. предполагается дополнительно, что эффект от повторений и от экспертов отсутствует) выражается следующим образом:

$$\pi(i, j) = H(V_i - V_j),$$

где $H(x)$ - функция распределения, симметричная относительно 0, т.е.

$$H(-x) = 1 - H(x)$$

при всех x [29].

Медиана Кемени. Итоговое (среднее, общее) мнение комиссии экспертов можно определять как решение оптимизационной задачи.

Бинарное отношение A на конечном множестве $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_k\}$ - это подмножество декартова квадрата $Q^2 = \{(q_m, q_n), m, n = 1, 2, \dots, k\}$. При этом пара (q_m, q_n) входит в соответствующее бинарному отношению A подмножество тогда и только тогда, когда между q_m и q_n имеется рассматриваемое отношение A . Каждое бинарное отношение A можно описать матрицей $\|a(i, j)\|$ из 0 и 1, причем $a(i, j) = 1$ тогда и только тогда, когда q_i и q_j находятся в отношении A , и $a(i, j) = 0$ в противном случае.

Расстоянием Кемени между бинарными отношениями A и B , описываемыми матрицами $\|a(i, j)\|$ и $\|b(i, j)\|$ соответственно, называется число

$$d(A, B) = \sum |a(i, j) - b(i, j)|,$$

где суммирование производится по всем i, j от 1 до k , т.е. расстояние Кемени между бинарными отношениями равно сумме модулей разностей элементов, стоящих на одних и тех же местах в соответствующих им матрицах.

Расстояние Кемени - это число несовпадающих элементов в матрицах $\|a(i, j)\|$ и $\|b(i, j)\|$.

С помощью расстояния Кемени находят итоговое мнение комиссии экспертов. Пусть $A_1, A_2, A_3, \dots, A_p$ - ответы p экспертов, представленные в виде бинарных отношений. Для их усреднения используют медиану Кемени

$$\text{Arg min } \sum d(A_i, A),$$

где Arg min - то или те значения A , при которых достигает минимума указанная сумма расстояний Кемени от ответов экспертов до текущей переменной A , по которой и проводится минимизация. Таким образом,

$$\sum d(A_i, A) = d(A_1, A) + d(A_2, A) + d(A_3, A) + \dots + d(A_p, A).$$

Кроме медианы Кемени, возможно использование среднего по Кемени, в котором вместо $d(A_i, A)$ стоит $d^2(A_i, A)$.

Медиана Кемени обладает устойчивостью по отношению к незначительному изменению состава экспертной комиссии; во-вторых, при увеличении числа экспертов она приближается к некоторому пределу. Его естественно рассматривать как истинное мнение экспертов, от которого каждый из них несколько отклонялся по случайным причинам [29].

Рассмотрение большого количества методов обработки экспертных данных обусловлено *концепцией устойчивости* [26], recommending применять различные методы для обработки одних и тех же данных с целью выделить выводы, получаемые одновременно при всех методах.

1 Орлов, А. И. Графы при моделировании процессов управления промышленными предприятиями/ А. И. Орлов // Управление большими системами. Специальный выпуск 30. 1 «Сетевые модели в управлении».

2 Орлов, А. И. Прикладная статистика. Учебник. / А.И. Орлов.- М.: Издательство «Экзамен», 2004. – 656 с.

3 Орлов, А. И. Высокие статистические технологии: Экспертные оценки: Учебник / А.И.Орлов. – М.: Изд-во «Экзамен». – 2007. – 372 с.

4 Орлов, А. И. Парные сравнения в асимптотике Колмогорова / А. И. Орлов // сб. Экспертные оценки в задачах управления. – М. : Изд-во Института проблем управления АН СССР, 1982. – С. 58-66.

5 Орлов, А. И. Эконометрика. Учебник для вузов. Изд. 3-е, исправленное и дополненное / А. И. Орлов. – М. : Изд-во "Экзамен", 2004. – 576 с.

6 Тюрин, Ю. Н. К проблеме обработки рядов ранжировок / Ю. Н. Тюрин, А. П. Василевич // сб. Статистические методы анализа экспертных оценок. Ученые записки по статистике. – Т. 29. – М. : Наука, 1977. – С. 96-111.

7 Орлов, А.И. Устойчивость в социально-экономических моделях / А. И. Орлов. – М. : Наука, 1979. - 296 с.

8 Вероятность и математическая статистика. Энциклопедия/под ред. Прохорова. М.: 1999. – 910 с.

Заключение

В ходе выполнения второго этапа проекта разработаны методы оперативного прогнозирования вероятностей авиационных событий в предстоящем полете с указанием факторов опасности (угроз) на основе анализа причинно-следственных связей в трехфакторной модели «Человек-Машина-Среда» (технические характеристики систем воздушного судна, характеристики летного экипажа и показатели искусственной и естественной среды). При этом учитываются сочетания факторов опасности (в форме деревьев событий) и предусмотрена возможность корректировки прогноза с учетом предлагаемых вариантов управленческих решений, а также прогнозирование на основании степени выполнения нормативных требований.

Разработанные методы оперативного прогнозирования, основанные на трехфакторной модели «Человек», «Машина», «Среда», представлены в форме алгоритмизуемой последовательности действий и вычислений по приведенным формулам, обращением к конкретизированным данным с указанием соответствующих источников информации. Методы предназначены для оценивания вероятностей возникновения авиационных событий при допущениях взаимного влияния факторов.

Разработаны методы долгосрочного прогнозирования периодов критической вероятности авиационных происшествий с указанием факторов опасности (угроз) и их сочетаний и возможностью корректировки прогноза с учетом набора управленческих решений, с предусмотренной возможностью прогнозирования на основании степени выполнения нормативных требований. Методы включают оценивание вероятностей возникновения авиационных происшествий (как по факторам «Человек», «Машина», «Среда», так и по их комбинациям) на заданной глубине прогнозирования, оценивание вероятностей ошибок построения прогнозов. Предусмотрена проверка адекватности долгосрочного прогнозирования и компонент методов.

Разработаны методы количественного оценивания рисков для безопасности полетов в стоимостной и натуральной форме на основе анализа информации об эксплуатационной деятельности авиакомпании и методы оптимального выбора рекомендаций по управленческим решениям.

Приведены методы экспертного оценивания параметров с различными способами их представления, а также описание применения этих методов при построении оперативных и долгосрочных прогнозов вероятностей возникновения авиационных событий, оценивания рисков для безопасности в стоимостной и натуральной форме.

Результаты, полученные в ходе выполнения второго этапа НИОКР, соответствуют утвержденным техническим требованиям к результатам выполнения комплексного проекта и календарному плану.

Приведены формальные описания методов оценивания рисков в денежной и натуральной форме, связанных с экономическими потерями при наступлении авиационных событий. Приведены основные методы обработки экспертных оценок параметров в различном представлении.

Разработанные во втором этапе методы являются основой для предусмотренного на третьем этапе построения алгоритмов и комплекса программ автоматизированной системы прогнозирования и предотвращения авиационных инцидентов и происшествий при организации и производстве воздушных перевозок в терминах трехфакторной модели «Человек-Машина-Среда» (технические характеристики систем воздушного судна, характеристики летного экипажа и показатели искусственной и естественной среды).

Научно-технический уровень результатов, полученных в ходе выполнения второго этапа НИОКР, соответствует утвержденным техническим требованиям к результатам выполнения комплексного проекта.

Как было установлено в ходе проведения первого этапа проекта, в настоящее время прямых аналогов автоматизированной системы и программного обеспечения, направленного на прогнозирование и предотвращение авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок, позволяющих осуществлять

оценку и принятие решений при поступлении данных в реальном времени в условиях неполной информации на основе математического моделирования и количественной оценки рисков, не существует.

Таким образом, результаты второго этапа соответствуют современному передовому уровню в области анализа и проектирования автоматизированных систем и программного обеспечения, направленного на прогнозирование и предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок и будут использованы для разработки алгоритмов и комплекса программ оперативного и долгосрочного прогнозирования, а также оценивания рисков возникновения авиационных событий в ходе выполнения третьего этапа. Поставленные задачи второго этапа проекта решены полностью.

Список использованных источников

- 1 Дуброва, Т. А. Статистические методы в экономике / Т. А. Дуброва. – Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права. – М. – 2003. – 50с.
- 2 Глущенко, В. В. Разработка управленческого решения. Прогнозирование-планирование. Теория проектирования экспериментов / В. В. Глущенко, И. И. Глущенко. – г. Железнодорожный, Моск. Обл.: ООО НПЦ «Крылья». – 2000. – 400 с.
- 3 Бестужев-Лада, И. В. Социальное прогнозирование. Курс лекций / И. В. Бестужев-Лада, Г. А. Наместникова. – М. : Педагогическое общество России. – 2002. – 392 с.
- 4 Мескон, М. Основы менеджмента: пер. с англ. / М. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. – М. : Дело. – 1997. – 702 с.
- 5 Шориков, А. Ф. Проблема выбора метода прогнозирования результатов инвестиционного проектирования / А. Ф. Шориков, Е. В. Буценко // Известия Уральского государственного экономического университета. – Екатеринбург. – 2006. – №5. – С. 182-190.
- 6 Меламед, М. А. Современные методы анализа и прогнозирования режимов электропотребления в электроэнергетических системах / М. А. Меламед // Итоги науки и техники. Серия Энергетические системы и их автоматизация. – 1988. – Т. 4. – С. 4-111.
- 7 Саркисян, С. А. Анализ и прогноз развития больших технических систем / С. А. Саркисян, В. М. Ахундов, Э. С. Минаев. – М. : Наука. – 1982. – 279 с.
- 8 Будаев, П. В. Практическое применение количественных методов прогнозирования / П. В. Будаев // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2009. – № 2. – С. 92-106.
- 9 Шикин, Е. В. Математические методы и модели в управлении / Е. В. Шикин, А. Г. Чхатаршвили. – М.: «Экономика и статистика». – 2000. – 448 с.

10 Ефимов, В. В. Статистические методы в управлении качеством: Учебное пособие / В. В. Ефимов. – Ульяновск. : УлГТУ. – 2003. – 134 с.

11 Хайкин, С. Нейронные сети. Полный курс. 2-е изд., испр. / С. Хайкин. Пер. с англ. – М. : ООО «И. Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.

12 Круглов, В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2001. – 382 с.

13 Барский, А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А. Б. Барский. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 176 с.

14 "Вероятность и математическая статистика: Энциклопедия / Гл. ред. Ю. В. Прохоров. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. – 911с.; ISBN 5-85270-265-X."

15 Ширяев, А. Н. Статистический последовательный анализ / А. Н. Ширяев. – М.: Наука. – 1976. – 272 с

16 Бутов, А.А. Некоторые задачи статистики случайных сред при наблюдаемых процессах размножения и гибели / А. А. Бутов // Труды математического института имени В.А. Стеклова. – М.: ТВП. – 1993. – т. 202. – с. 25-32.

17 Акимов В.А. Надёжность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов, В.Л. Лапин, В.М. Попов, В.А. Пучков, В.И. Томаков, М.И. Фалеев – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002 – 368 с.

18 Липцер Р.Ш. Статистика случайных процессов / Р.Ш. Липцер, А.Н. Ширяев – М.: Наука, 1974 - 696 с.

19 Санников, И.А. Имитационное моделирование характеристик систем с адаптацией к возмущениям. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук : 05.13.18 : защищена 24.02.2003 : утв. 18.07.2003 / Санников Игорь Алексеевич. – Ульяновск. – 2003. – 117 с.

20 Безопасность России. Правовые социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ рисков и управление безопасностью. (Метод. рекомендации) / Рук. авт. коллектива Н. А. Махутов, К. Б. Пуликовский, С. К. Шойгу. – М.: МГФ «Знание». – 2008. – 672 с.

21 Nisula, J. Operational Risk Assessment. Next Generation Methodology / J. Nisula // ARMS Working Group. – 2009. – 48 p. – URL: <http://www.easa.europa.eu/essi/documents/ARMS.pdf>.

22 Руководство по управлению безопасностью полетов / Doc.9859. ИКАО. – 2006 г. – URL: <http://www.icao.int> (дата обращения 20.06.11).

23 Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории / Под ред. Л. М. Берестова, А. Н. Степаненко. – М.: Авиаиздат. – 1994. – 322 с.

24 Орлов, А.И. Математика случая: Вероятность и статистика – основные факты: Учебное пособие. – М.: МЗ-Пресс, 2004. – 110 с.

25 Крамер, Г. Математические методы статистики / Г. Крамер. – М.: Мир. – 1975. – 648 с.

26 Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: Физматлит. – 2006. – 813 с.

27 Воробьев, Ю.Л. Теория риска и технологии обеспечения безопасности. Подход с позиций нелинейной динамики / Г.Г. Малинецкий, Н.А. Махутов // Проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 1990. – №11. – с. 19–41.

28 Орлов, А. И. Графы при моделировании процессов управления промышленными предприятиями/ А. И. Орлов // Управление большими системами. Специальный выпуск 30. 1 «Сетевые модели в управлении». – М.: ИПУ РАН, 2010. С.62-75.

29 Орлов, А. И. Прикладная статистика. Учебник. / А.И. Орлов.- М.: Издательство «Экзамен», 2004. – 656 с.

30 Орлов, А. И. Высокие статистические технологии: Экспертные оценки: Учебник / А.И.Орлов. – М.: Изд-во «Экзамен». – 2007. – 372 с.

31 Орлов, А. И. Парные сравнения в асимптотике Колмогорова / А. И. Орлов // сб. Экспертные оценки в задачах управления. – М. : Изд-во Института проблем управления АН СССР, 1982. – С. 58-66.

32 Орлов, А. И. Эконометрика. Учебник для вузов. Изд. 3-е, исправленное и дополненное / А. И. Орлов. – М. : Изд-во ""Экзамен"", 2004. – 576 с.

33 Тюрин, Ю. Н. К проблеме обработки рядов ранжировок / Ю. Н. Тюрин, А. П. Василевич // сб. Статистические методы анализа экспертных оценок. Ученые записки по статистике. – Т. 29. – М. : Наука, 1977. – С. 96-111.

34 Орлов, А.И. Устойчивость в социально-экономических моделях / А. И. Орлов. – М. : Наука, 1979. - 296 с.

35 Von Karman, T. Some remarks on the statistical theory of turbulence / T. Von Karman // Proc. 5th Int. Congr. Appl. Mech., Cambridge, MA, 347. – 1938.

36 Хинце, И. О. Турбулентность: ее механизм и теория / И. О. Хинце. – М. : Физматгиз. – 1963. – 680 с.

37 Chapman, G. T. Observations, Theoretical Ideas, and Modeling of Turbulent Flows – Past, Present and Future / G. T. Chapman, M. Tobak // Theoretical Approaches to Turbulence (Dwoyer et al. (eds)). – New York. – Springer-Verlag. – 1985. – P. 19-49.

38 Брэдшоу, П. Введение в турбулентность и ее измерение / П. Брэдшоу. – М. : Мир. – 1974. – 278 с.

39 Блохина, В. И. Авиационные прогнозы погоды: Учебное пособие по дисциплине «Авиационные прогнозы» URL: <http://www.dvgu.ru/meteo/book/AviaPrognoz.pdf> (дата обращения 12.06.11).

40 Акселевич, В. И. Методическая разработка по проведению группового занятия по учебной дисциплине «Авиационная метеорология» / В. И. Акселевич. – Санкт-Петербург : Издательство Российского Государственного Гидрометеорологического университета. – 2006. – URL: <http://vk.rshu.ru/materials/meteo/6/t6z3.pdf>

41 Замай, С. С. Модели оценки прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города: учебное пособие / С. С. Замай, О. Э. Якубайлик. – Красноярск : Изд-во Красноярского гос. Ун-та. – 1998. – 109 с.

42 Симоненко, С. В. Неравновесная статистическая термогидродинамика. Обоснование теории мелкомасштабной турбулентности и теории допусков: Монография / С. В. Симоненко. – Владивосток : Издательство ТГЭУ. – 2006. – 336 с.

43 Белоусов, С.Л. Руководство по краткосрочным прогнозам / С.Л. Белоусов [и др.]. – Ленинград: Гидрометеиздат.- 1986.-701 с.

- 44 Авиационная метеорология. URL: <http://www.vzletim.ru/download/meteo.doc> (дата обращения 18.06.11)
- 45 Военно-авиационный словарь. М. : Воениздат. – 1966. – 472 с.
- 46 Руководство по производству полетов. Неблагоприятные и опасные атмосферные явления. URL: <http://www.rpp.kiev.ua/rpp/rpp-ch-a-obshhie-polozheniya/ehkspluatacionnye-procedury/neblagopriyatnye-i-opasnye-atmosfernye-yavleniya/> (дата обращения: 18.06.11)
- 47 Авиационная специфика работ авиатехников, летательных аппаратов, и их систем. URL: <http://авиатехник.рф/terminologia/aviatehnicruvidiobledeneniya/> (дата обращения 18.06.11)
- 48 Погода и транспорт. URL: <http://www.tourua.com/ru/weather/about/transport/> (дата обращения 18.06.11)
- 49 Аэродинамика. Особые условия полета. URL: http://pilotinfo.ru/Documents/Aerodynamics/ch11.htm#Особенности_полета_при_обледенении (дата обращения 18.06.11)
- 50 Ассоциация Экспериментальной Авиации. URL: <http://www.reaa.ru/cgi-bin/yabb/YaBB.pl?num=1229402004/149> (дата обращения 18.06.11)
- 51 Безопасность полетов. URL: http://revolution.allbest.ru/war/00091871_0.html (дата обращения 18.06.11)
- 52 Шакина, Н. П. Метод прогноза зон возможного обледенения воздушных судов / Н. П. Шакина [и др.]. URL: <http://method.hydro-met.ru/methods/avia/ice/ice.html> (дата обращения 17.06.11)
- 53 Технический Регламент. Том 2. ВМО-№49, 2004. Метеорологическое обслуживание международной аэронавигации.
- 54 Баранов, А. М. Авиационная метеорология / А. М. Баранов, Н. И. Мазурин, С. В. Солонин, И. А. Янковский. – Л. : Гидрометеиздат. – 1966. – 281 с.
- 55 Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации / ред. Абрамович К. Г., Васильев А. А. . – 1985. – Л. : Гидрометеиздат. – 301 с.

56 Otkin J. A. Comparisons of WRF model-simulated and MODIS-derived cloud data/ J. A. Otkin, T. J. Greenwald // Mon. Weather Rev. – 2008. – Vol. 136, No. 6. – p. 1957-1970.

57 Menzel, W. P. MODIS global cloud-top pressure and amount estimation: algorithm description and results / W. P. Menzel, R. A. Frei, H. Zhang, et al. // Weather and Forecasting. – 2008. – iss. 2. – p. 1175-1198.

58 Minnis, P. A near real-time method for deriving cloud and radiation properties from satellites for weather and climate studies / P. Minnis [et al.] // Proc. AMS 11th Conf. Satellite Meteorology and Oceanography, Madison, WI, 15-18 Oct. – 2001. – p. 477-480.

59 Bernstein, B.C. Current icing potential: algorithm description and comparison with aircraft observations / B. C. Bernstein [et al.] // J. Appl. Meteorol. – 2005. – Vol. 44. – p. 969-986.

60 Le Bot, C. SIGMA: System of icing geographic identification in meteorology for aviation / C. Le Bot // 11th Conf. on Aviation, Range, and aerospace, Hyannis, Mass., 4-8 Oct 2004, Amer. Meteorol. Soc. (Boston).

61 Thompson, G. Intercomparison of in-flight icing algorithms. Part 1: WISP94 real-time icing prediction and evaluation program / G. Thompson [et al.] // Weather and Forecasting. – 1997. – Vol. 12. – p. 848-889.

62 Разработка проекта технологии подготовки прогностической карты особых явлений погоды для полетов авиации на нижних уровнях (заключительный): Отчет о НИР: 1.1.1.2. – М. – 2007. – 112 с. № гос. Регистрации 01.2.007 06153,

63 Совершенствование методов и технологий прогнозов по аэродрому и на воздушных трассах (заключительный): Отчет о НИР: 1.1.1.7. – М. – 2007. – 97 с.. № гос. регистрации 01.02.007 06153.

64 Иванова, А. Р. Опыт верификации численных прогнозов влажности и оценка их пригодности для прогноза зон обледенения воздушных судов / А. Р. Иванова // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 6. – с. 33-46.

65 Шакина, Н. П. Оценка механизмов генерации вертикальных движений в глобальных моделях и их начальных полях в связи с численным прогнозом осадков / Н. П. Шакина [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 7. – с. 14-32.

66 Колесниченко, Ю. М. Столкновения самолетов с пернатыми нередко приводят к авариям / Ю. М. Колесниченко // Газета «Транспорт России». – № 42. – 2007. – С. 5.

67 Руководство по орнитологическому обеспечению полётов в гражданской авиации (РООП ГА-89): введено в действие 01.05.1989 приказом МГА СССР от 26.12.1988 № 209.

68 Руководство по аэропортовым службам / Doc. 9137 ИКАО. – 2002. – URL: <http://www.icao.int> (дата обращения 20.06.11).

69 Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации: РЭГА РФ-94: введены в действие приказом ДВТ от 19.09.94 № ДВ-98.

70 Авиационные правила. Часть 139. Сертификация аэродромов: АП-139: введены в действие приказом Минтранс РФ от 05.07.1994 № 48.

71 Федеральные авиационные правила полетов в воздушном пространстве Российской Федерации: ФАП-136: введены в действие приказом Минобороны РФ, Минтранс РФ и Российского авиационно-космического агентства от 31 марта 2002 г. N 136/42/51.

72 Федеральные авиационные правила. Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации: ФАП-128: введены в действие приказом Минтранс РФ от 31.07.2009 N 128.

73 Постановление Государственного комитета по авиации Республики Беларусь от 25.01.2005 N1 «Об утверждении авиационных правил «Орнитологическое обеспечение полетов в гражданской авиации республики Беларусь».

74 Отраслевая группа авиационной орнитологии. Отпугивание птиц. Защита от птиц. – URL: <http://otpugivanie.narod.ru/documents.html> (дата обращения 20.06.11г).

75 Республика Казахстан. Законы. Об использовании воздушного пространства Республики Казахстан и деятельности авиации (правила орнитологического обеспечения полетов гражданских воздушных судов в Республике Казахстан): принят 15.07.2010.

76 Энциклопедия Кольера. Вулканы. URL: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_colier/5963/(дата обращения 20.06.11).

77 Прогноз вулканических извержений. URL: <http://restlessterra.ru/home/volcanoes/forecast-volcanic-eruptions.html> /(дата обращения 20.06.11).

78 Способ прогнозирования извержения вулканов. URL: <http://ru-patent.info/21/75-79/2176095.html> (дата обращения 20.06.11).

79 Вулканы, сколько их? URL:<http://f5.ru/nanomax/post/247981>(дата обращения 20.06.11).

80 Деллашери, К. Емкости и случайные процессы / К. Деллашери. - М. : Мир, 1975. – 192 с.

81 Ширяев, А. Н. Вероятность / А. Н. Ширяев. – М. : Наука – 1989. – 640 с.

82 Липцер, Р. Ш., Ширяев, А. Н. Теория мартиггалов / Р. Ш. Липцер, А. Н. Ширяев. – М.: Наука. – 1986. – 512 с.

83 Гантмахер Ф. Р. Теория матриц / Ф. Р. Гантмахер – М.: Наука. – 1966. – 576 с.

84 Сборник ИНТ (Итоги науки и техники). Современные проблемы математики. Фундаментальные направления Т.45. (Теория вероятностей – 3) / Консультирующие редакторы-составители: акад. Ю. В. Прохоров, д.ф.-м.н. А. Н. Ширяев. – М.: ВИНТИ. – 1989.– 266 с., ISSN 0233-6723.

Приложение А Наименования основных событий

1. Столкновение с объектом на земле
2. Столкновение с птицами
3. Столкновение воздушных судов в воздухе
4. Выкатывание за пределы ВПП
5. Столкновение исправного воздушного судна с землей
6. Пожар
7. Небезопасное касание ВПП
8. Потеря управляемости в воздухе
9. Столкновение с препятствиями при взлете или посадке
10. Разрушение планера
11. Разгерметизация воздушного судна
12. Отказ/выключение силовой установки
13. Отказ функциональной системы воздушного судна
14. Происшествия, связанные с авиационной безопасностью (военно-политическая или террористическая чрезвычайная ситуация)

Приложение Б Деревья авиационных событий

Во всех деревьях, представленных в данном приложении, состав и формулировки факторов опасности, источников факторов опасности и их причинно-следственные связи к настоящему времени находятся на стадии согласования с заказчиком. Для улучшения восприятия опускается требование того, чтобы факторы опасности одного типа в дереве находились на одном уровне.

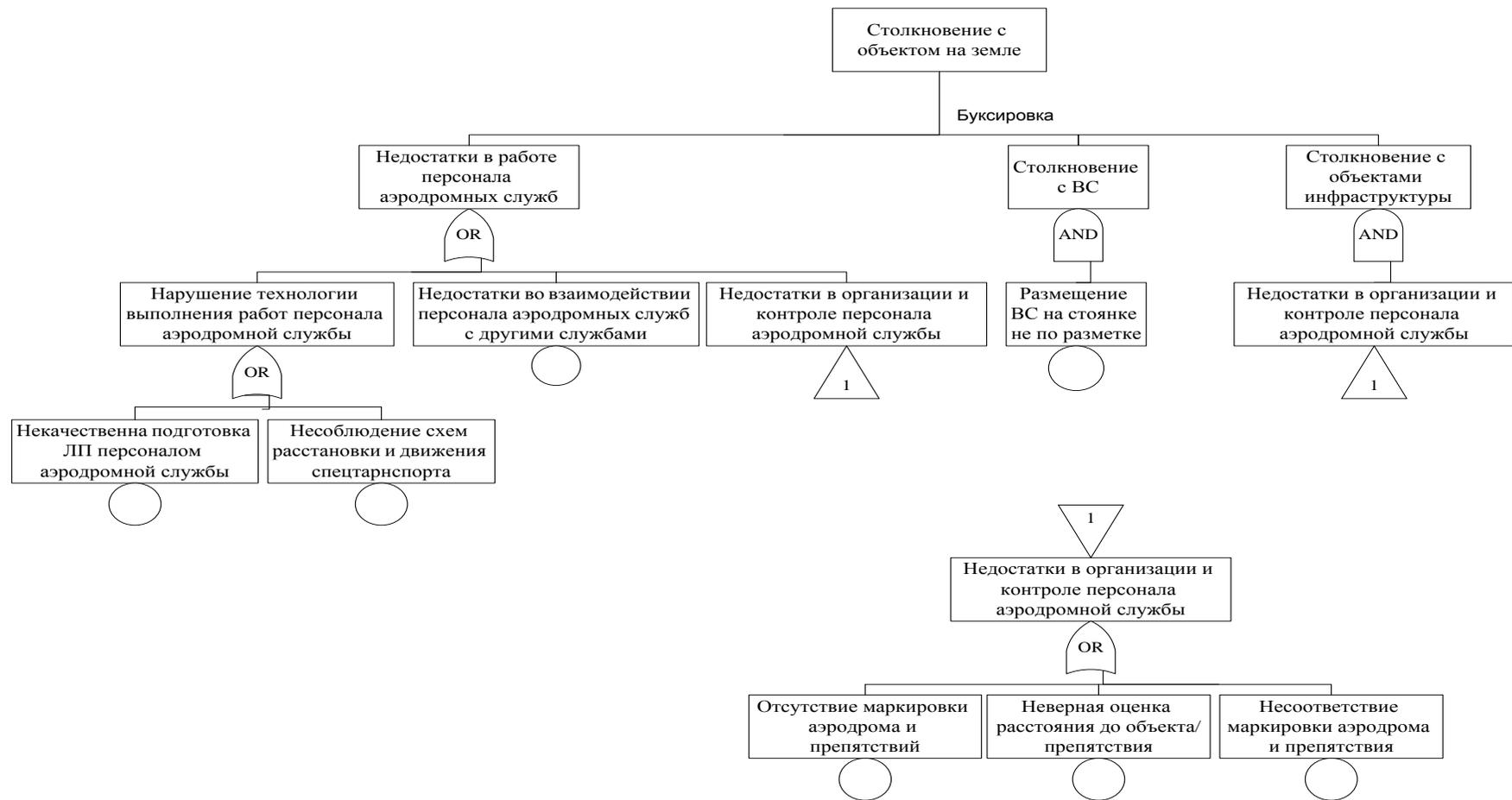


Рисунок Б.1 – Дерево событий «Столкновение с объектом на земле»

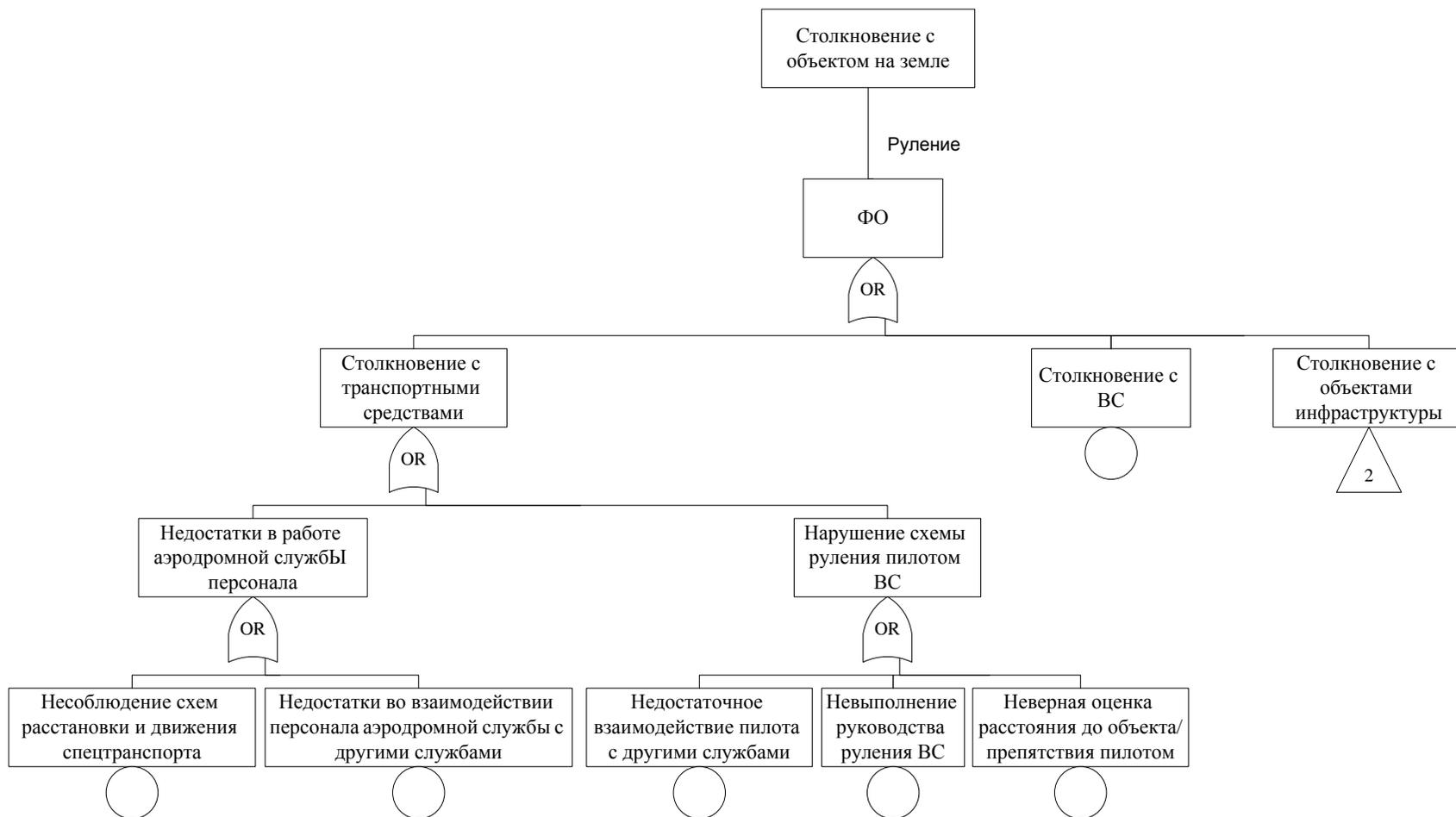


Рисунок Б.2 – Продолжение дерева событий «Столкновение с объектом на земле»

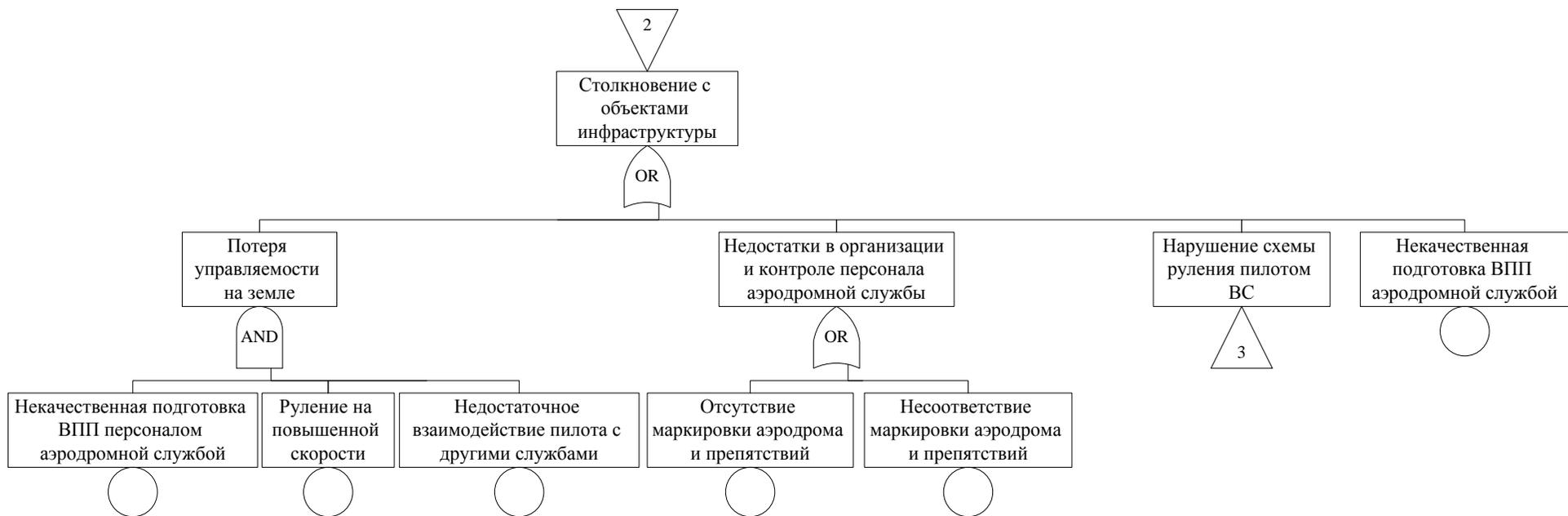


Рисунок Б.3 – Продолжение дерева событий «Столкновение с объектом на земле»

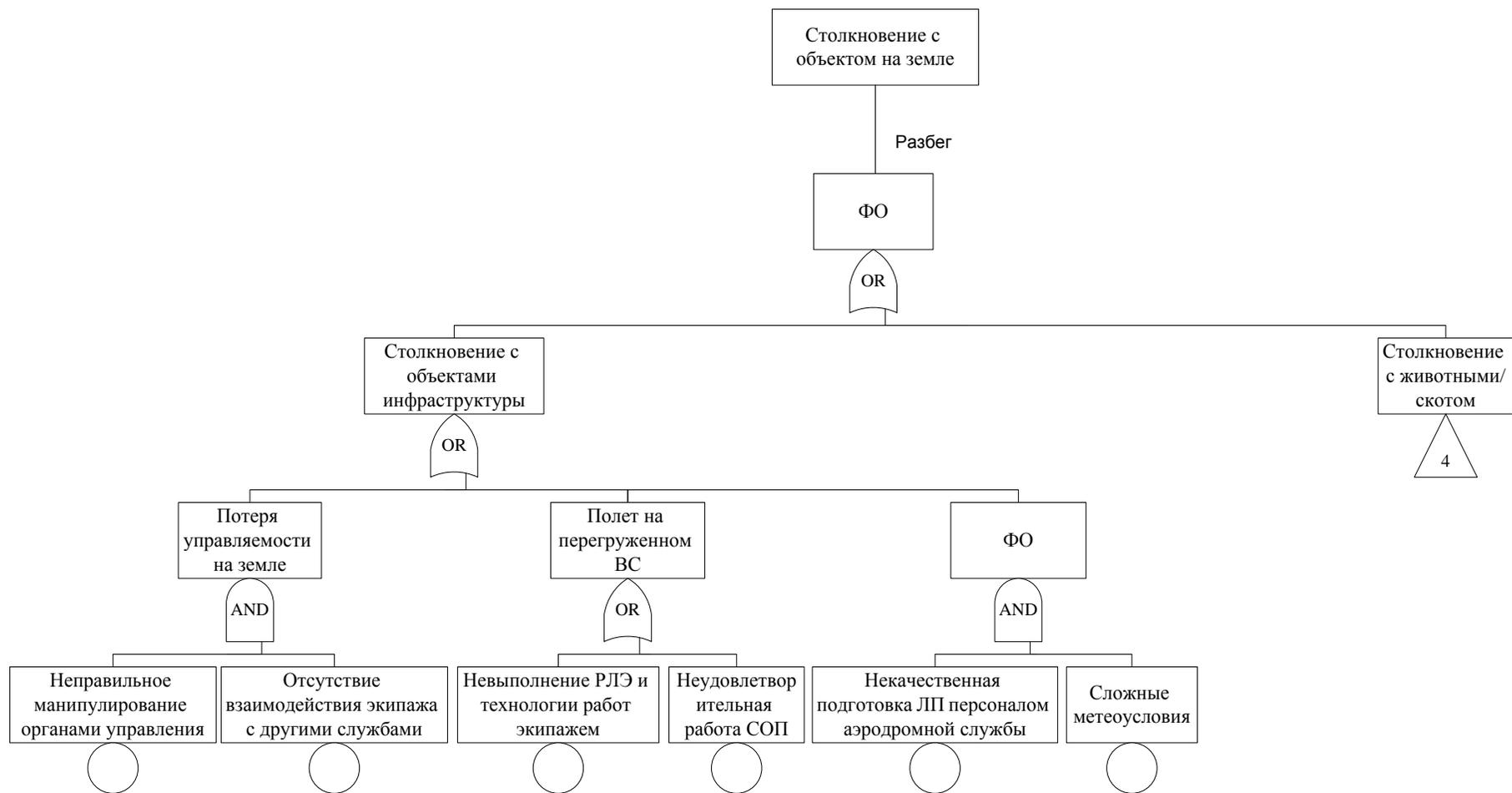


Рисунок Б.4 – Продолжение дерева событий «Столкновение с объектом на земле»

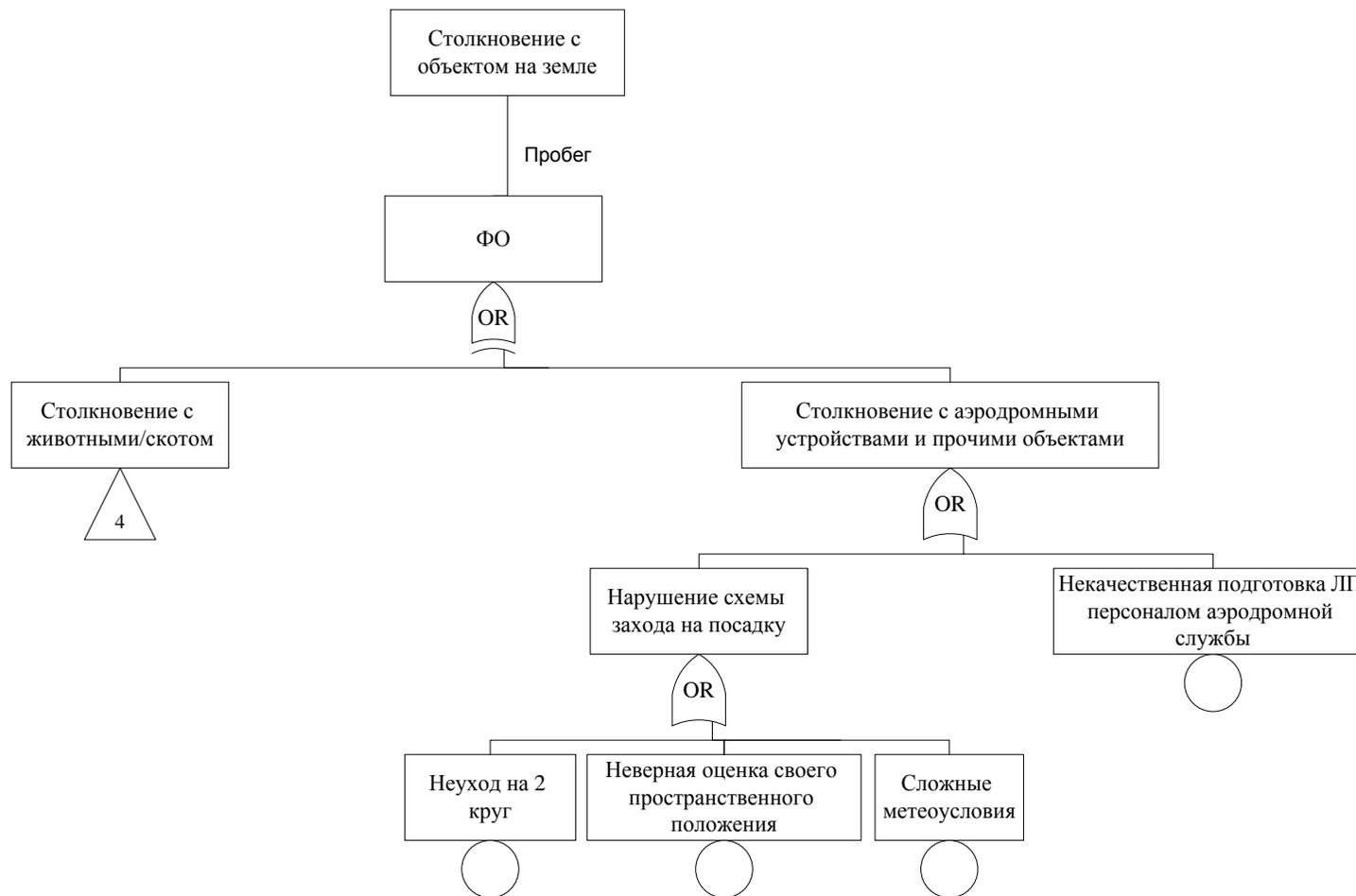


Рисунок Б.5 – Продолжение дерева событий «Столкновение с объектом на земле»

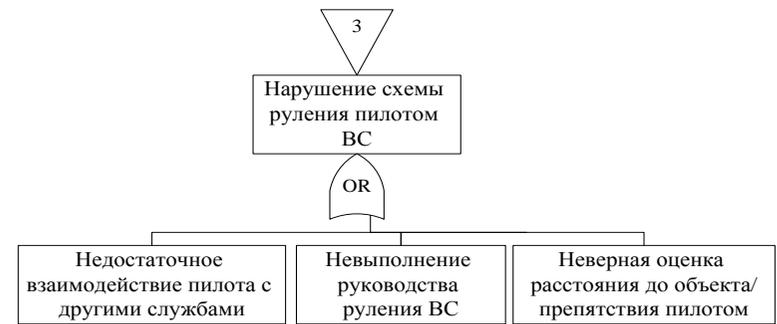
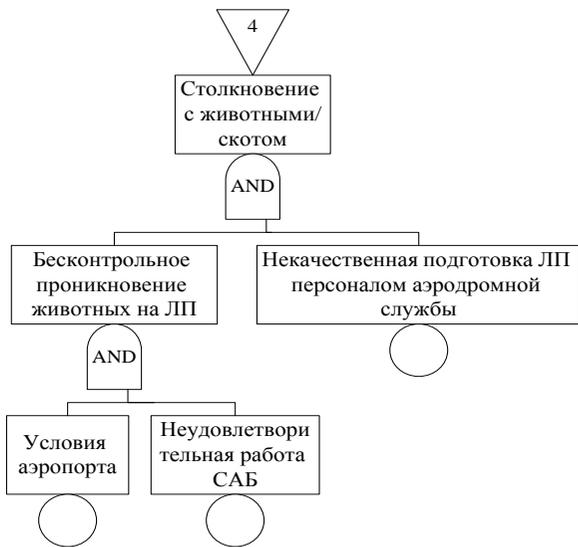
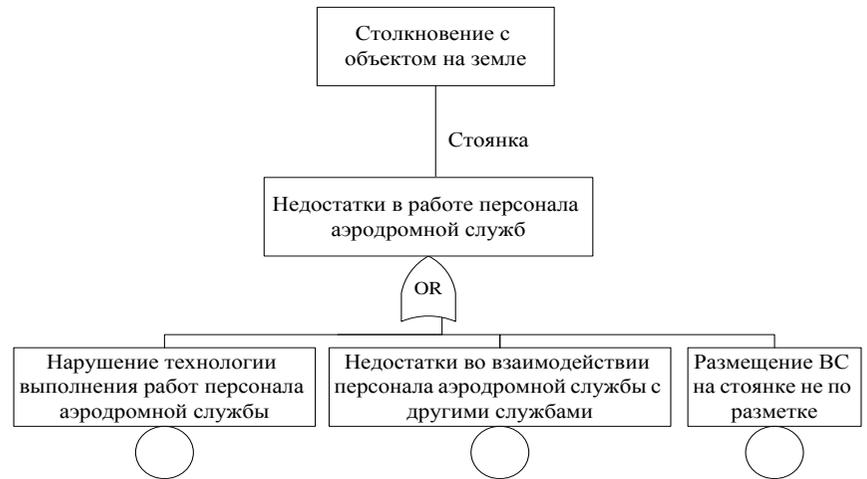


Рисунок Б.6 – Продолжение дерева событий «Столкновение с объектом на земле»

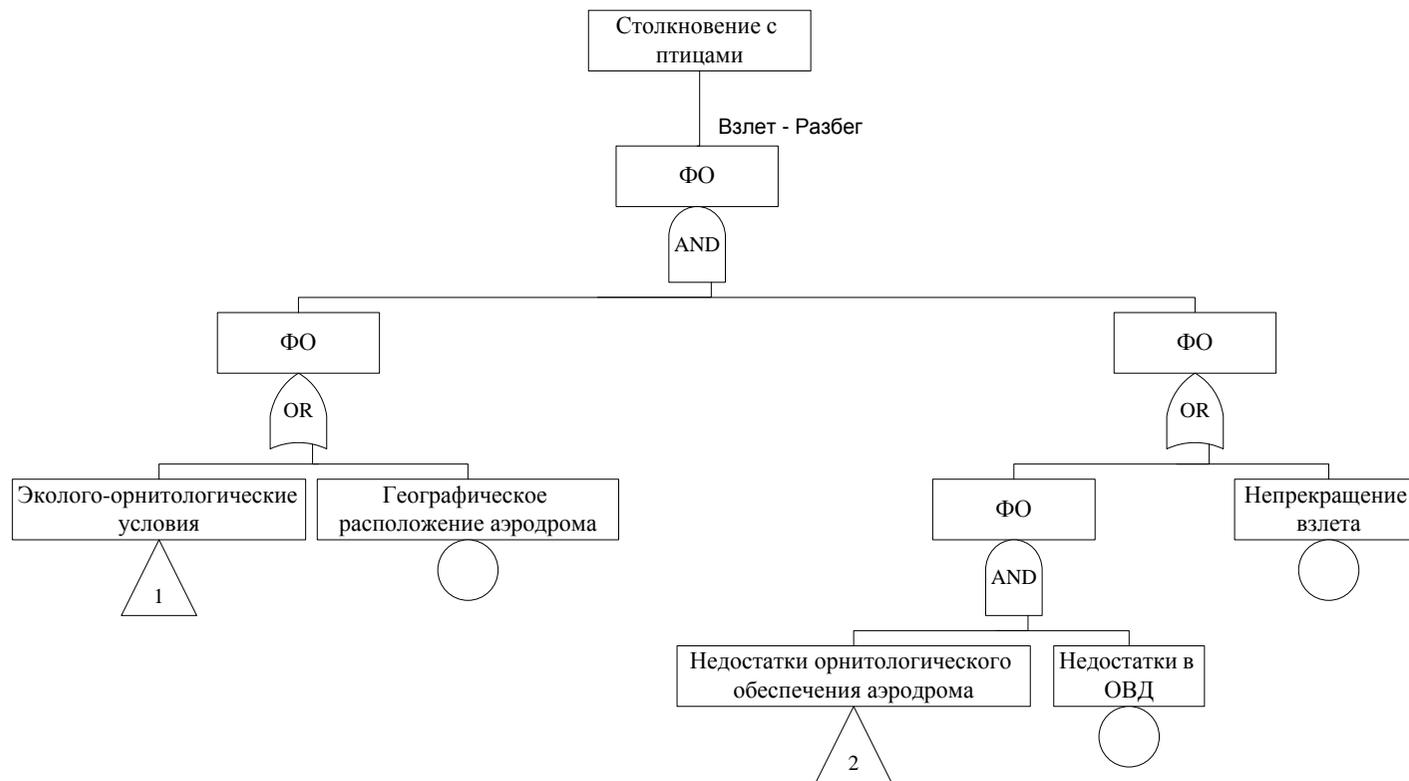


Рисунок Б.7 –Дерево событий «Столкновение с птицами»

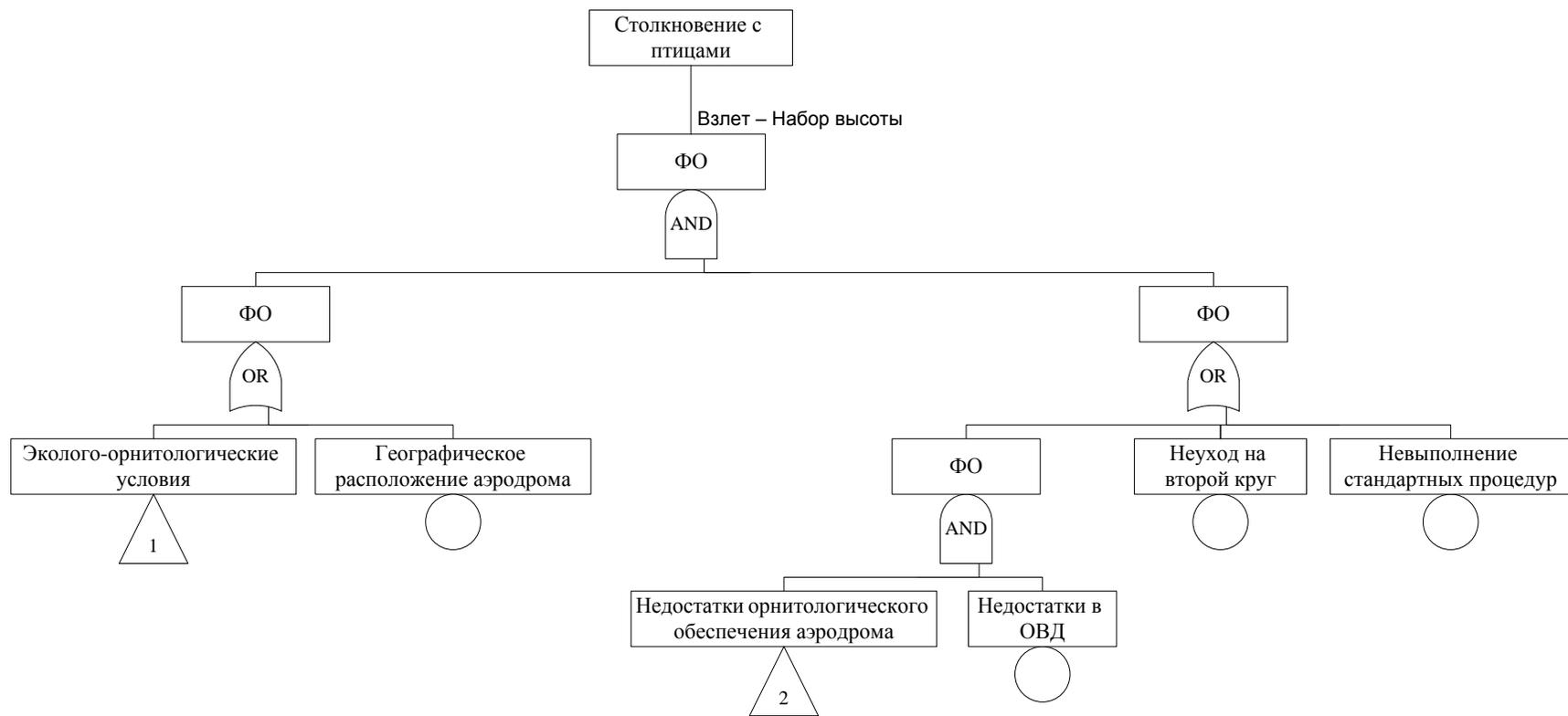


Рисунок Б.8 – Продолжение дерева событий «Столкновение с птицами»

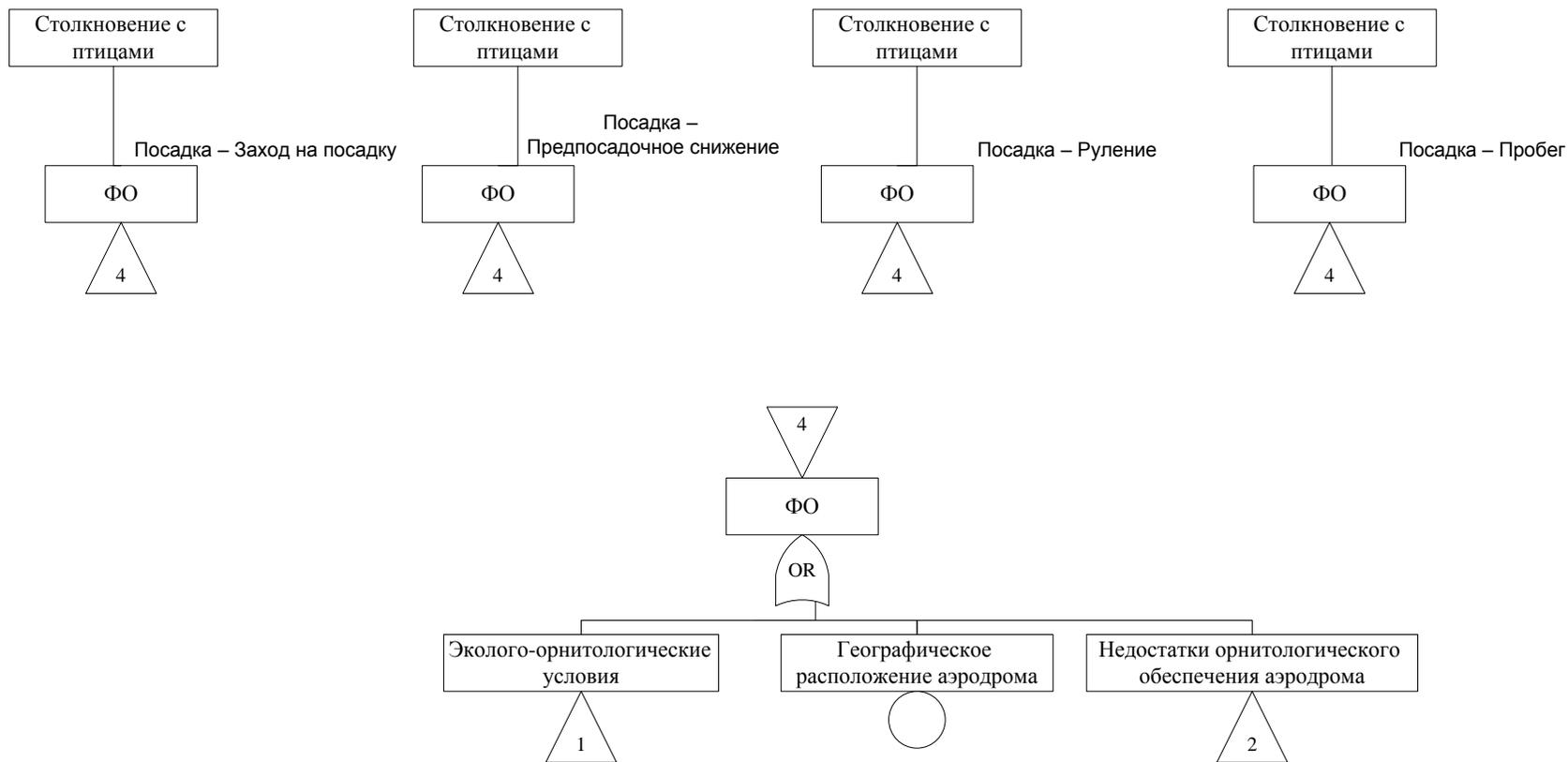


Рисунок Б.9 – Продолжение дерева событий «Столкновение с птицами»

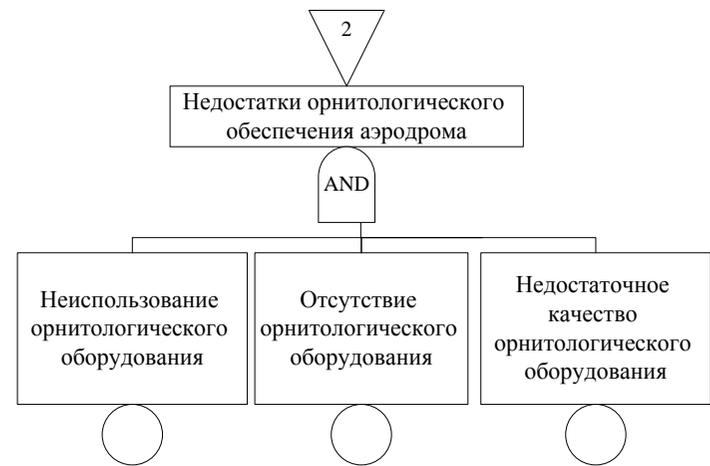
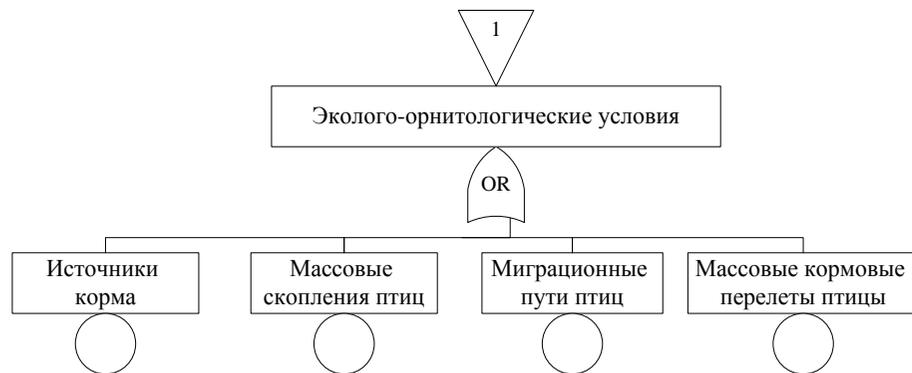


Рисунок Б.10 – Продолжение дерева событий «Столкновение с птицами»

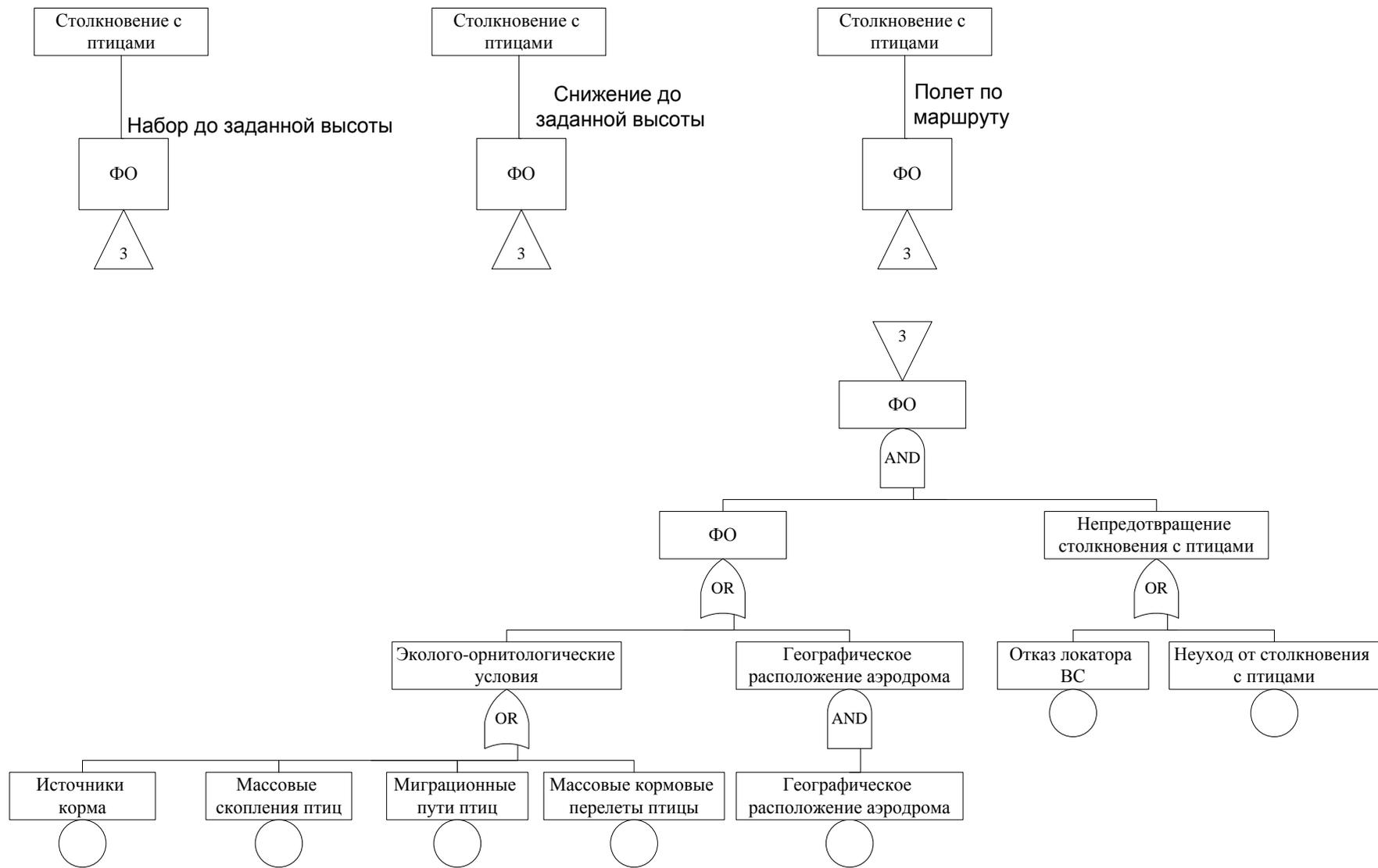


Рисунок Б.11 – Продолжение дерева событий «Столкновение с птицами»

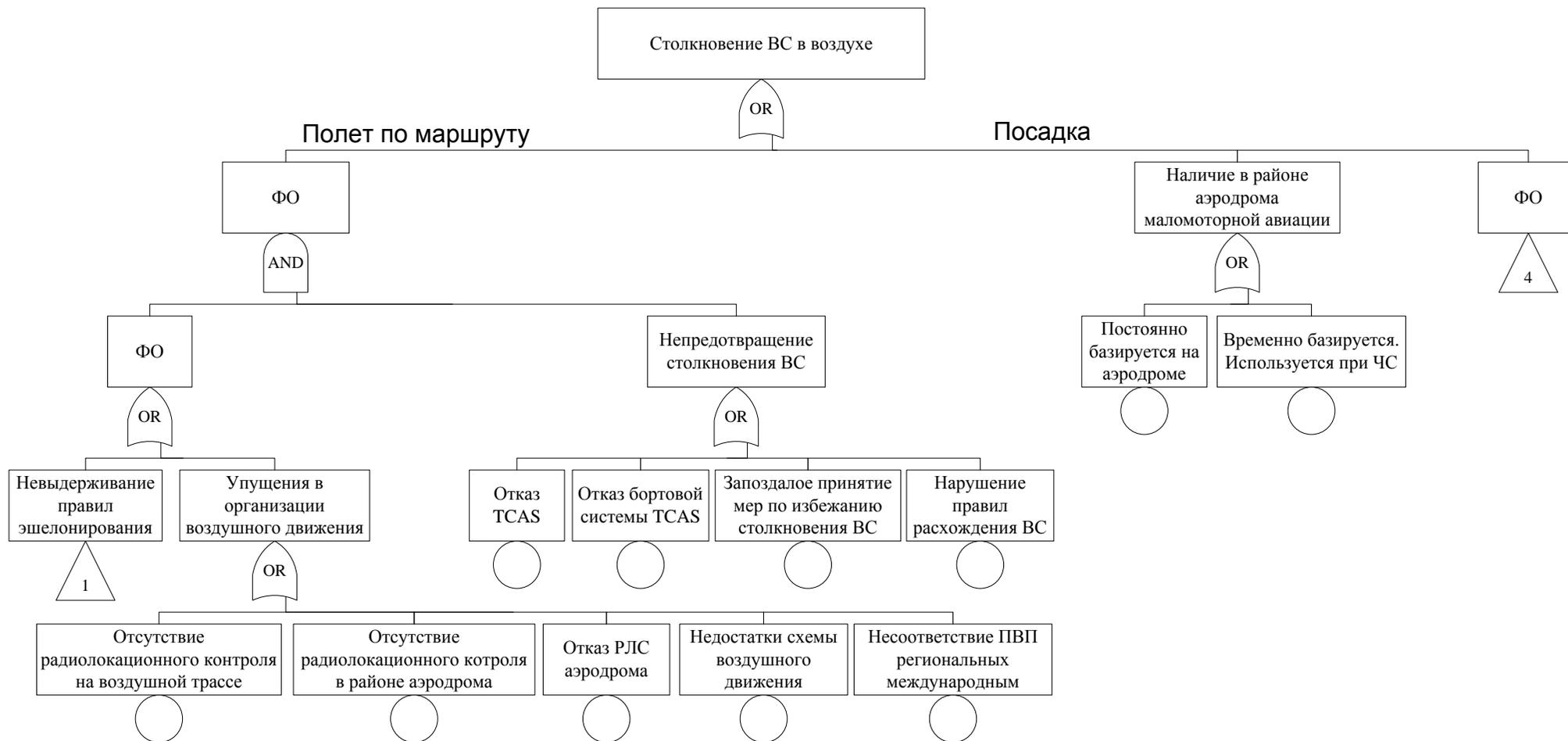


Рисунок Б.12 – Дерево событий «Столкновение воздушных судов в воздухе»

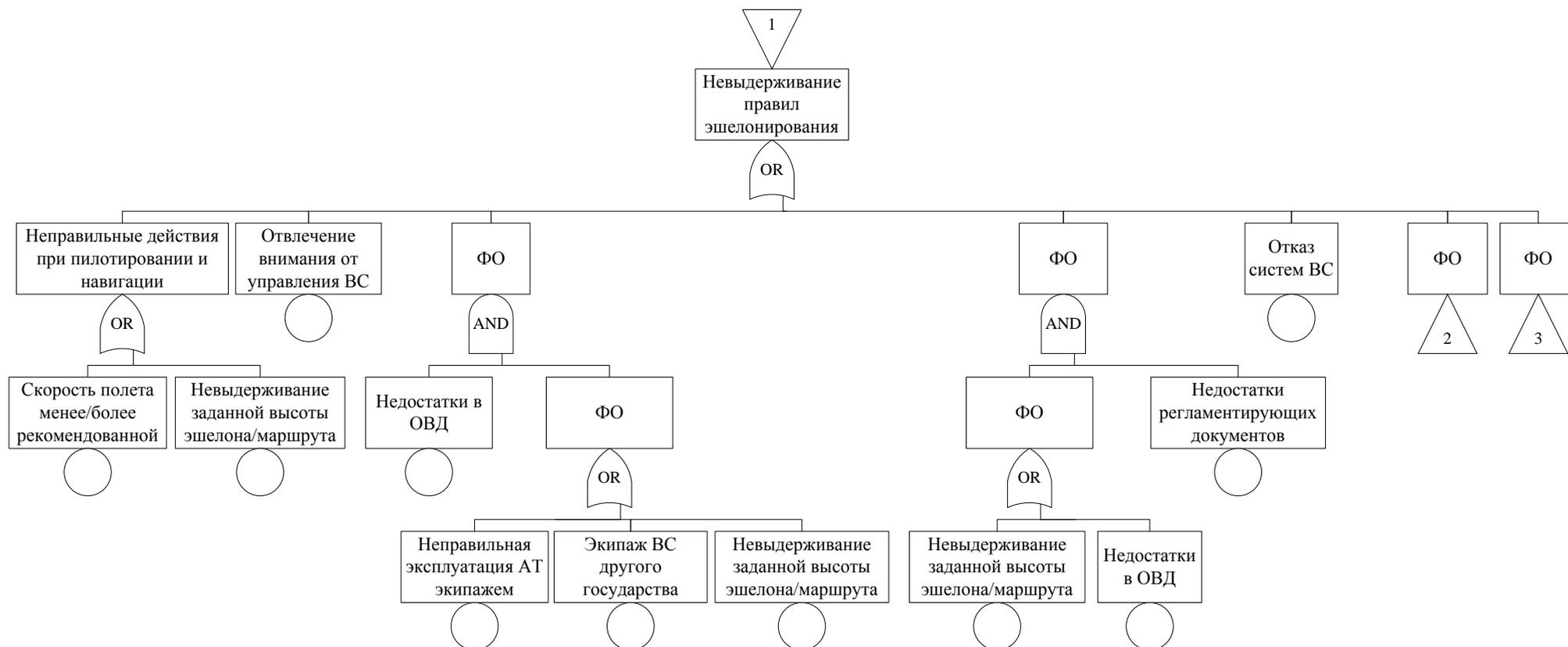


Рисунок Б.13 – Продолжение дерева событий «Столкновение воздушных судов в воздухе»

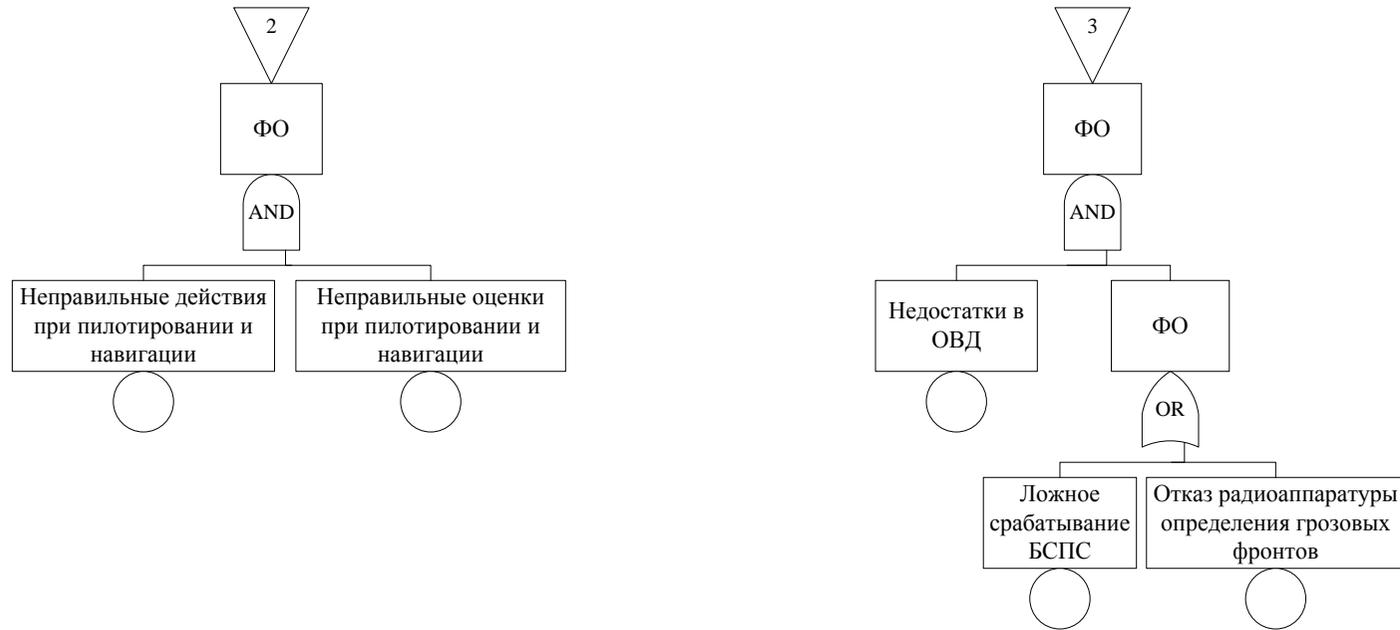


Рисунок Б.14 – Продолжение дерева событий «Столкновение воздушных судов в воздухе»

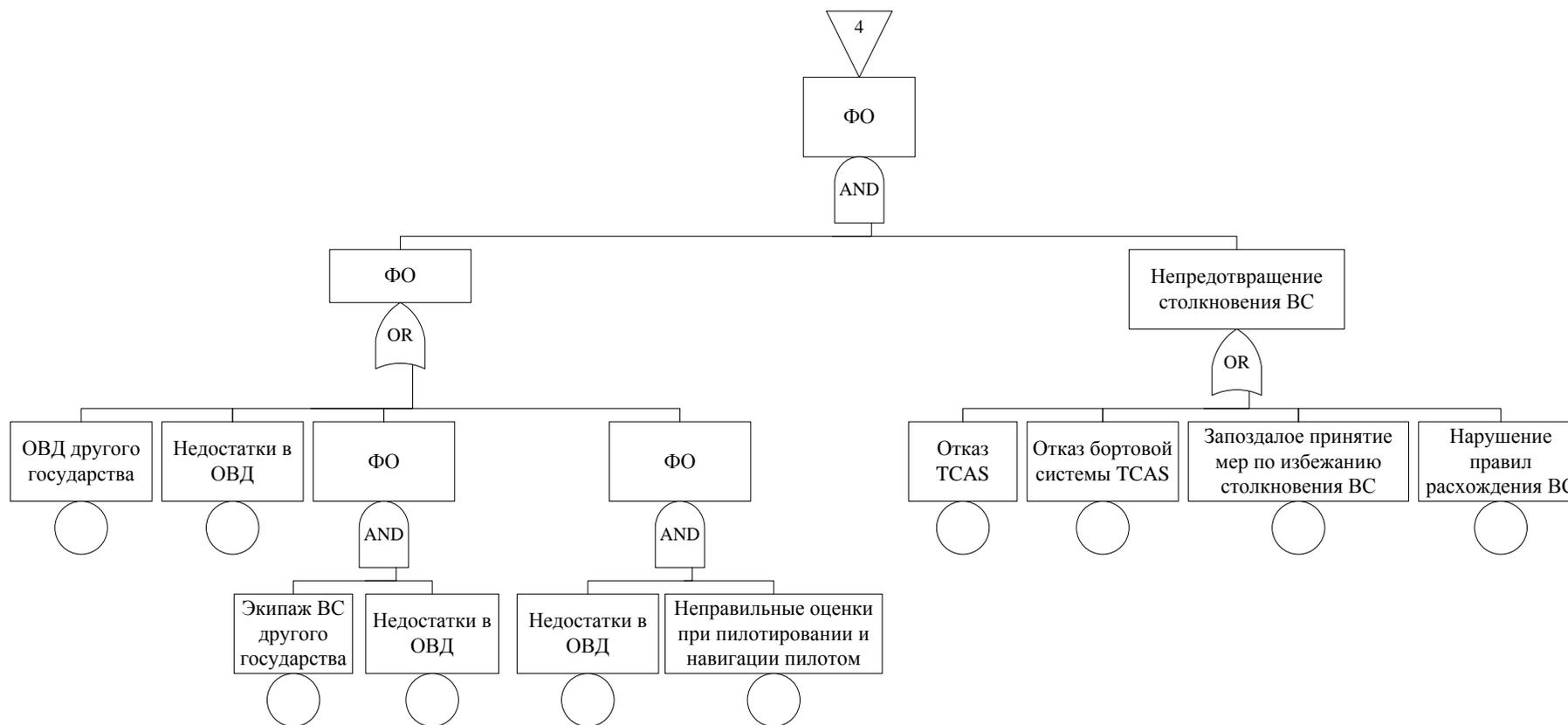


Рисунок Б.15 – Продолжение дерева событий «Столкновение воздушных судов в воздухе»

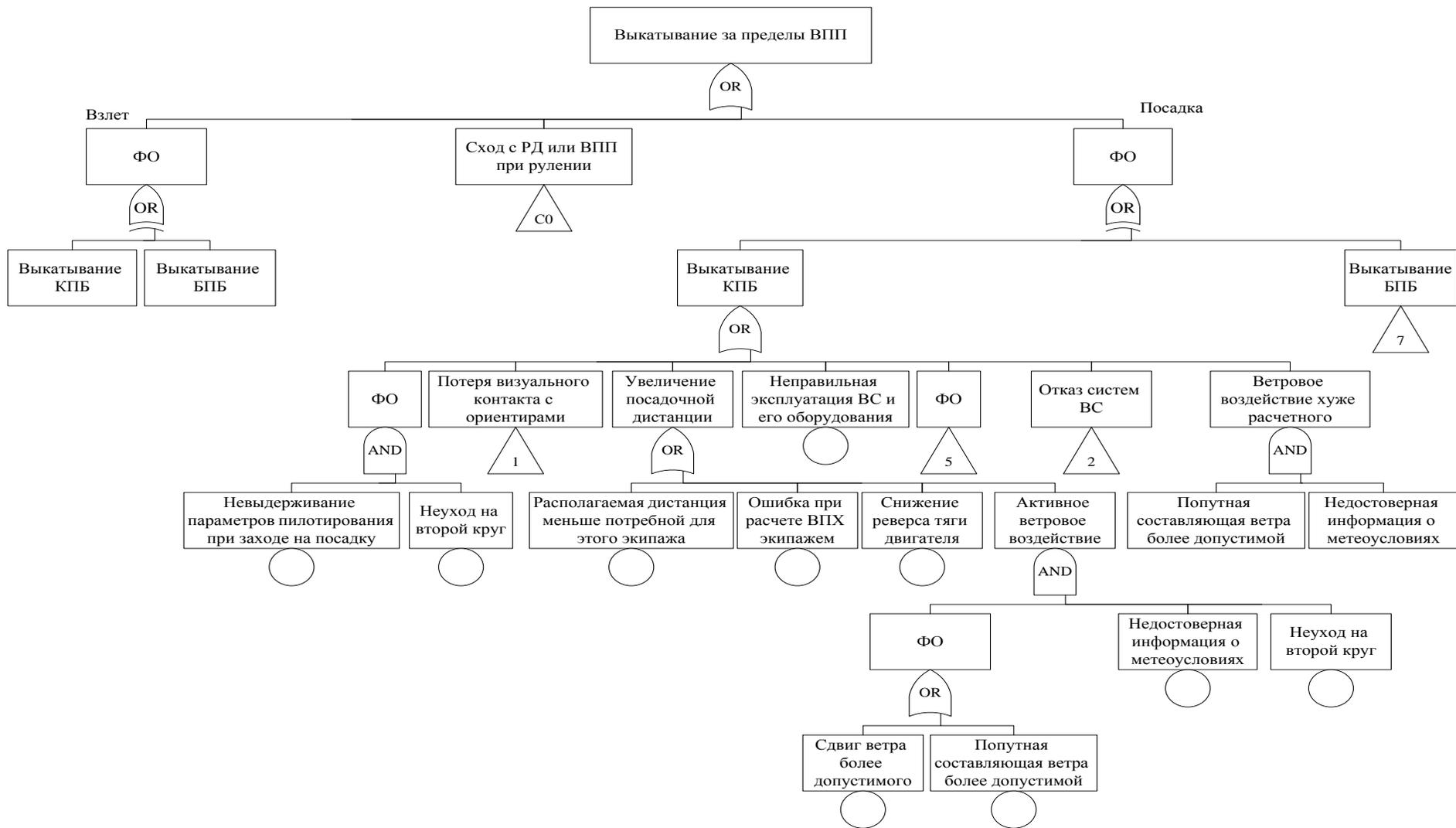


Рисунок Б.16 – Дерево событий «Выкатывание за пределы ВПП»

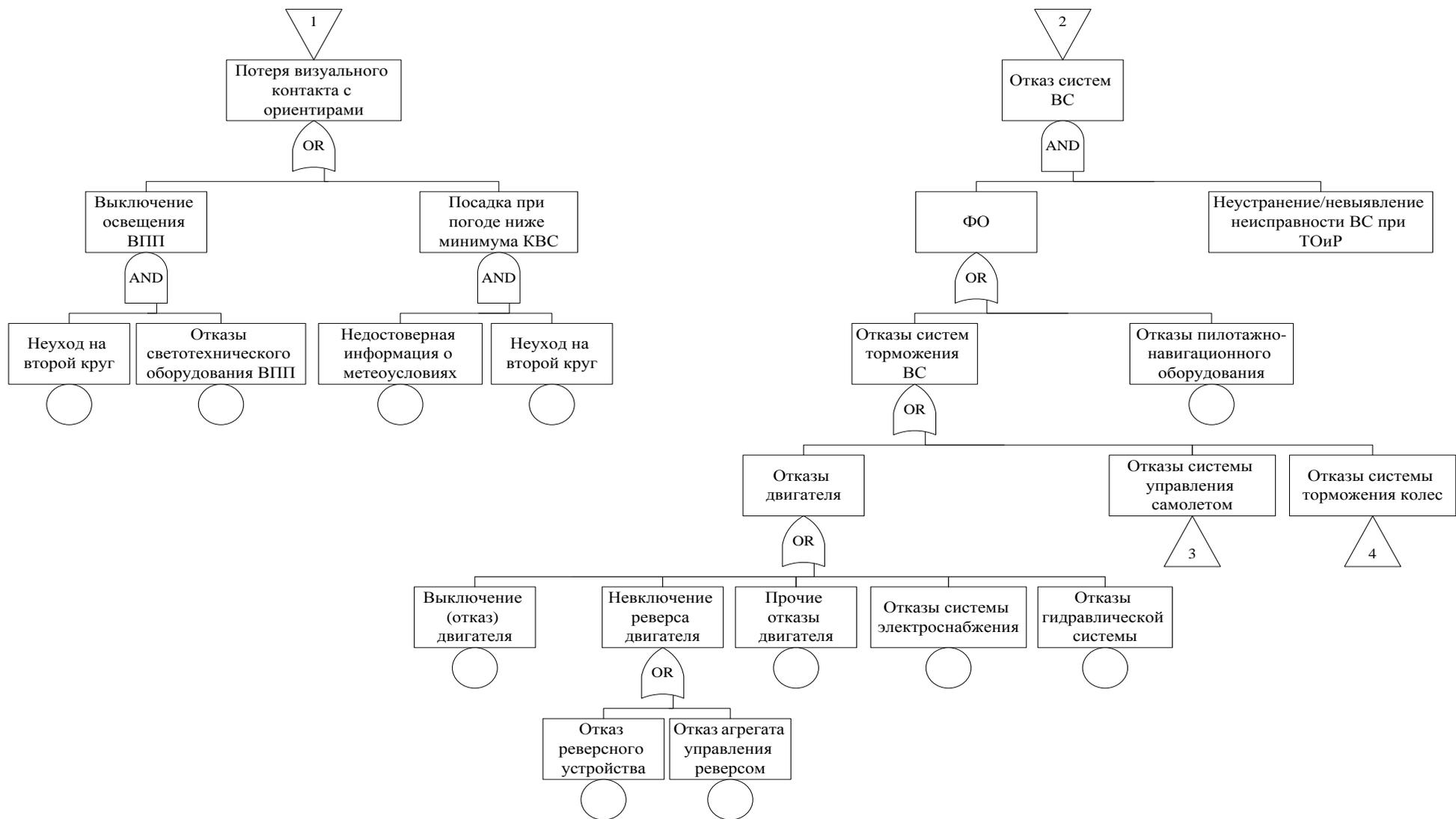


Рисунок Б.17 – Продолжение дерева событий «Выкатывание за пределы ВПП»

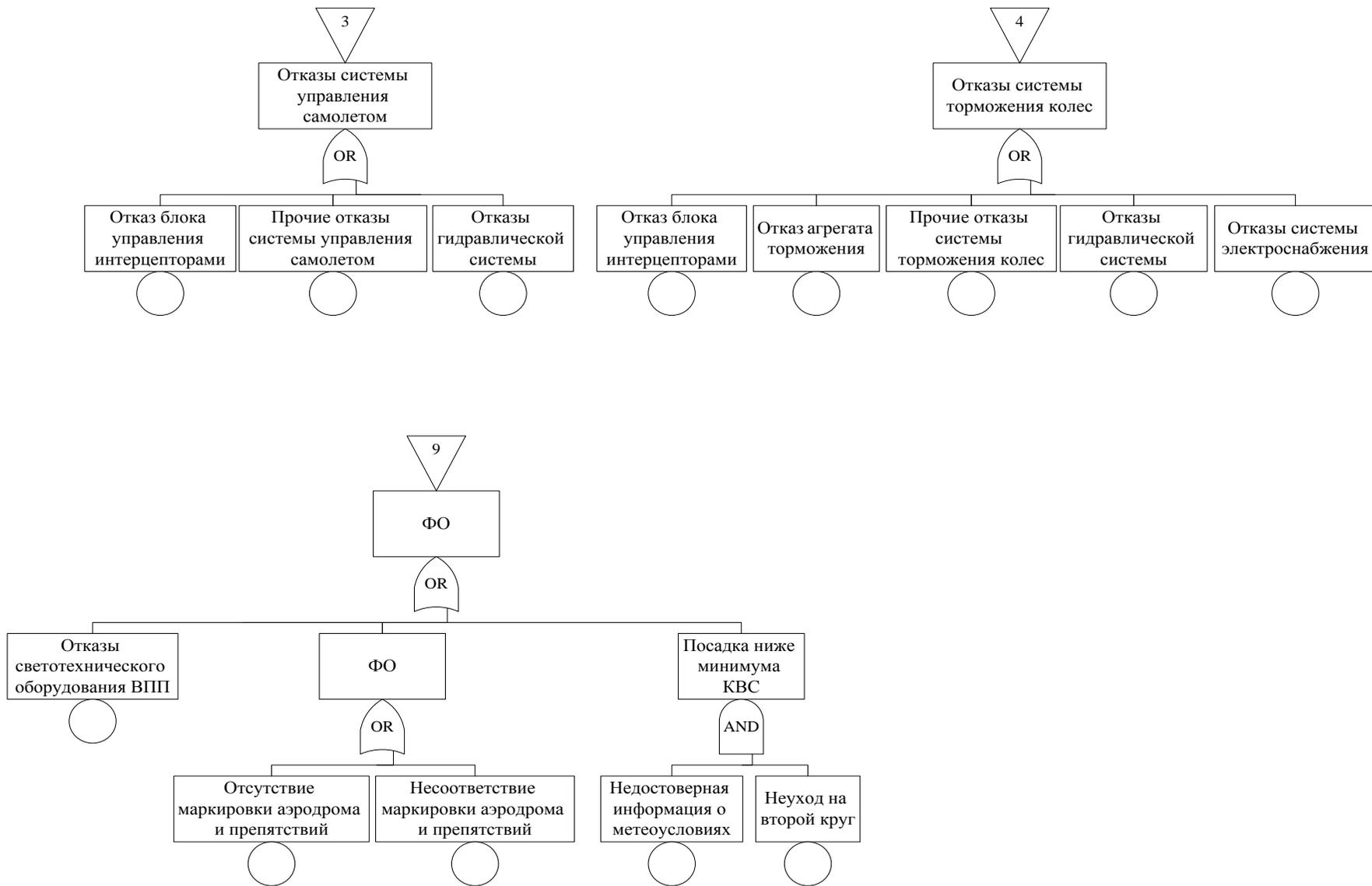


Рисунок Б.18 – Продолжение дерева событий «Выкатывание за пределы ВПП»

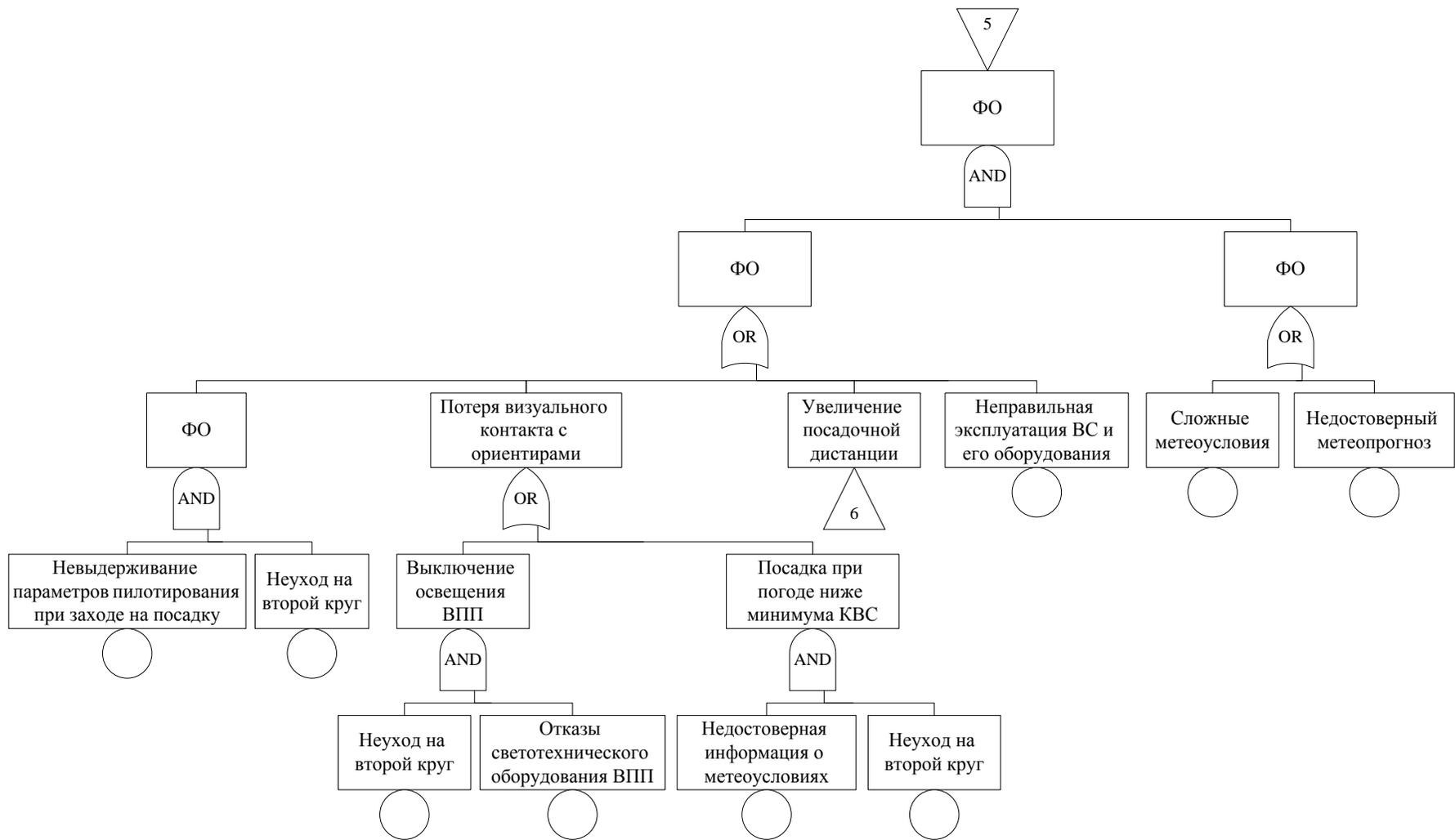


Рисунок Б.19 – Продолжение дерева событий «Выкатывание за пределы ВПП»

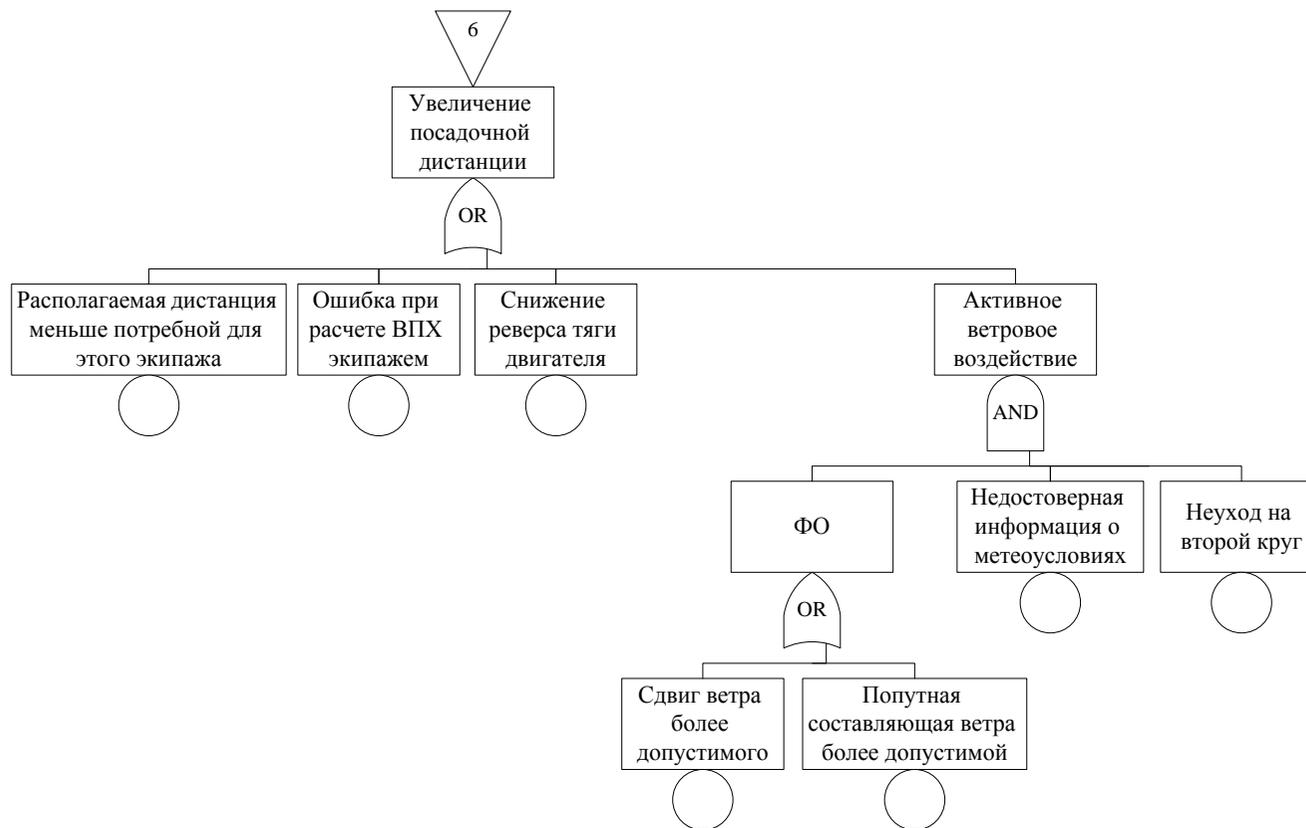


Рисунок Б.20 – Продолжение дерева событий «Выкатывание за пределы ВПП»

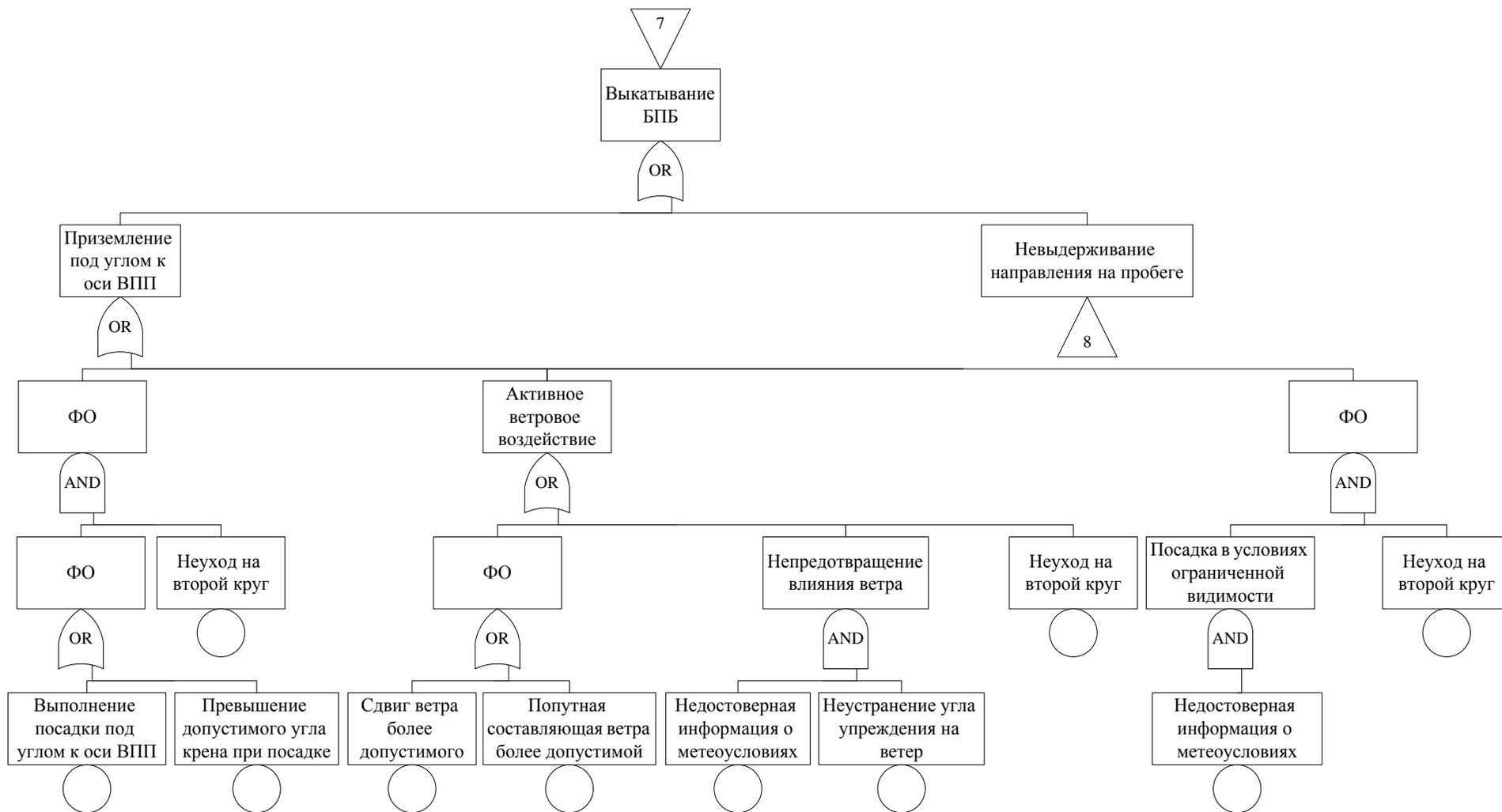


Рисунок Б.21 – Продолжение дерева событий «Выкатывание за пределы ВПП»

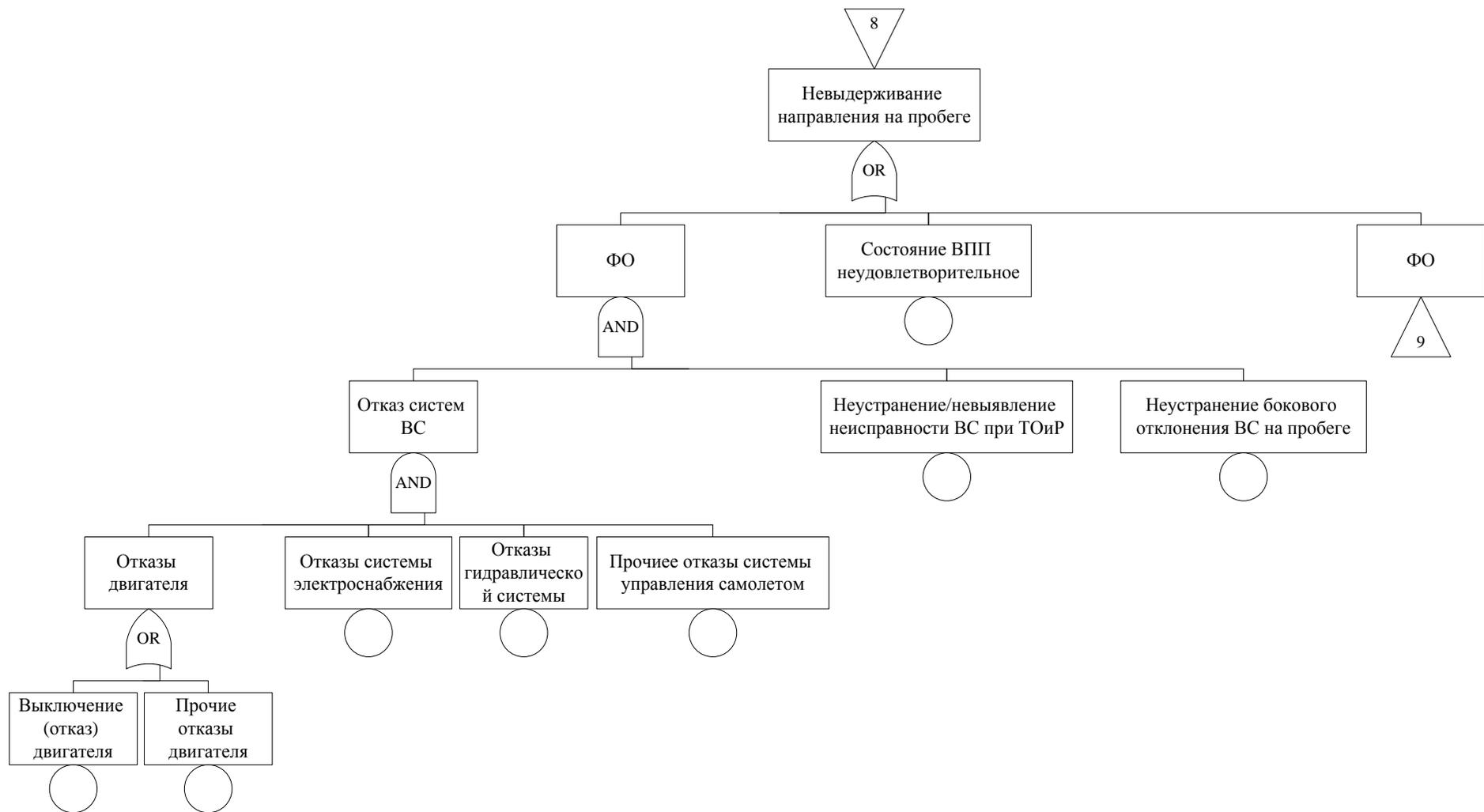


Рисунок Б.22 – Продолжение дерева событий «Выкатывание за пределы ВПП»

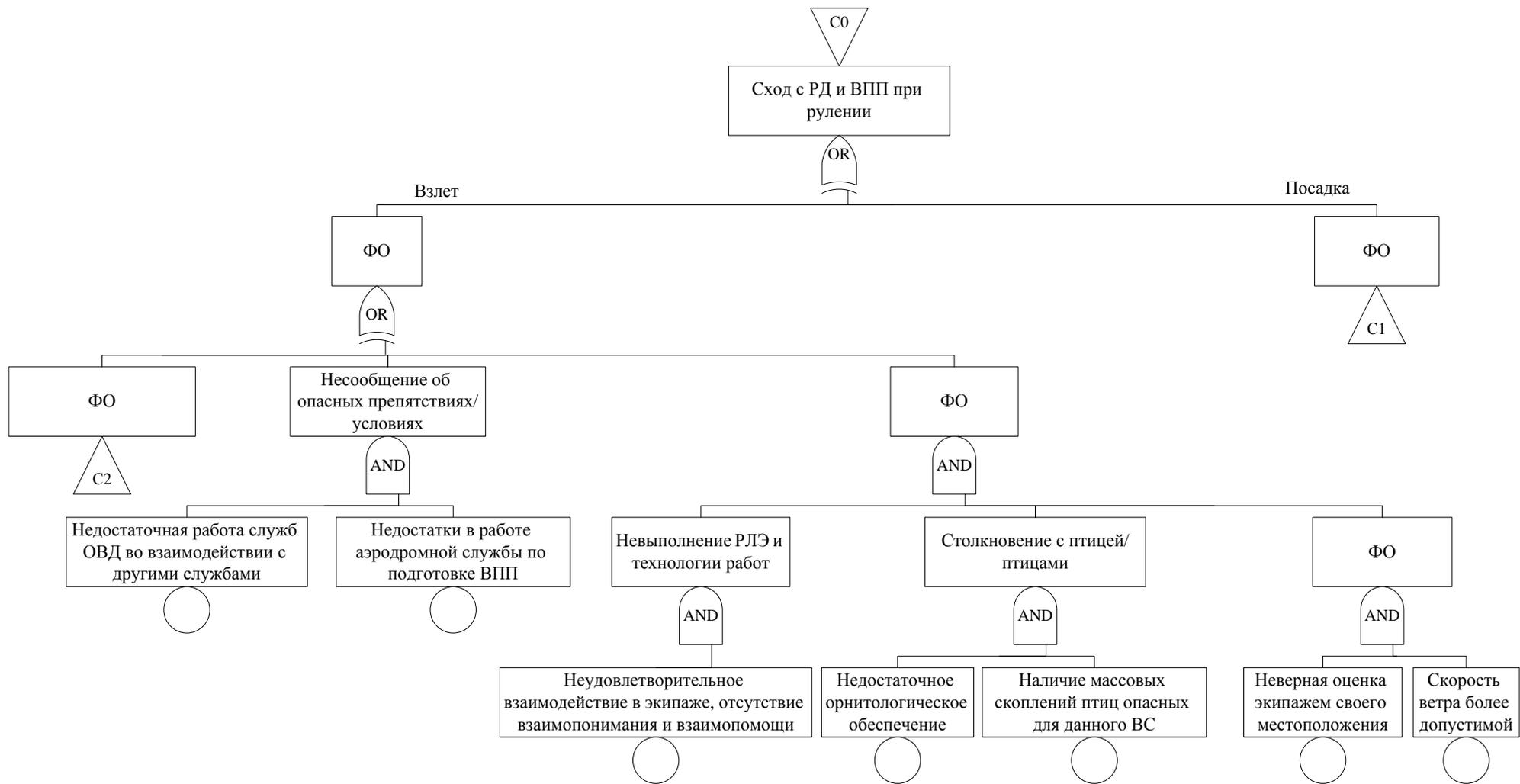


Рисунок Б.23 – Продолжение дерева событий «Выкатывание за пределы ВПП»

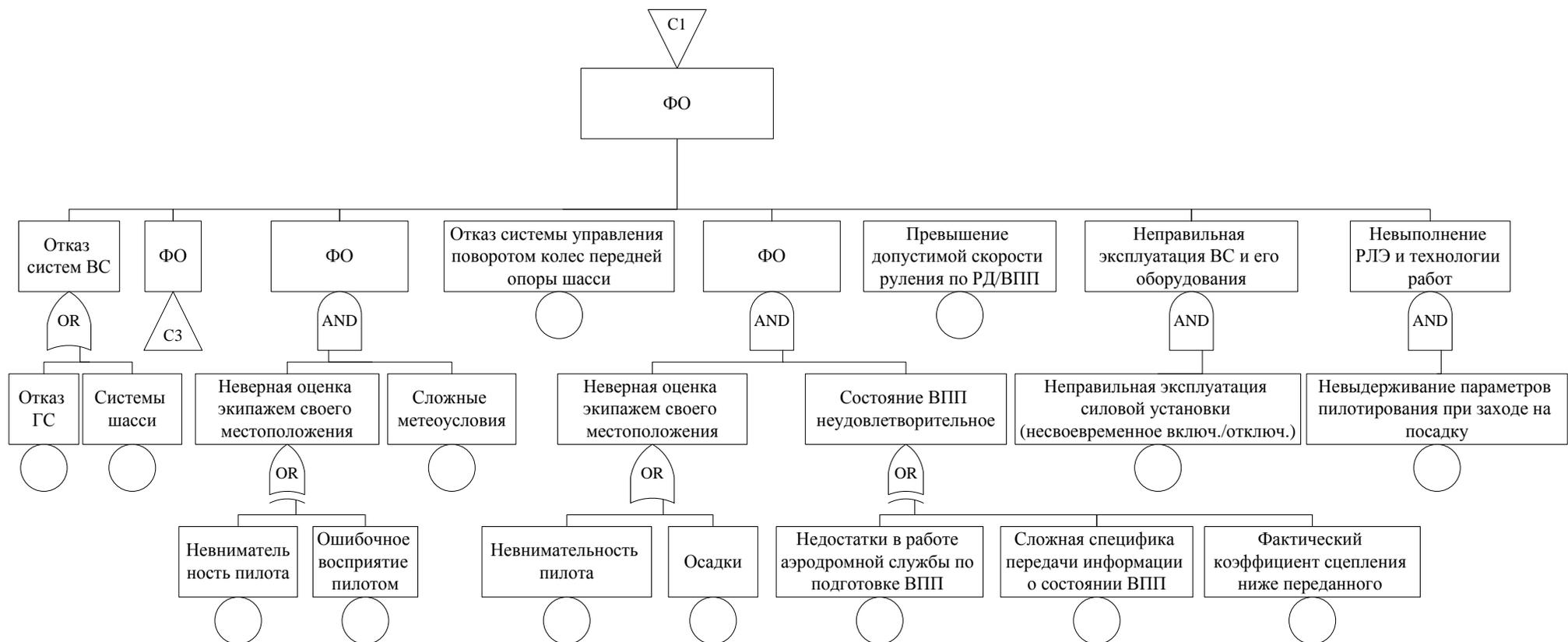


Рисунок Б.24 – Продолжение дерева событий «Выкатывание за пределы ВПП»

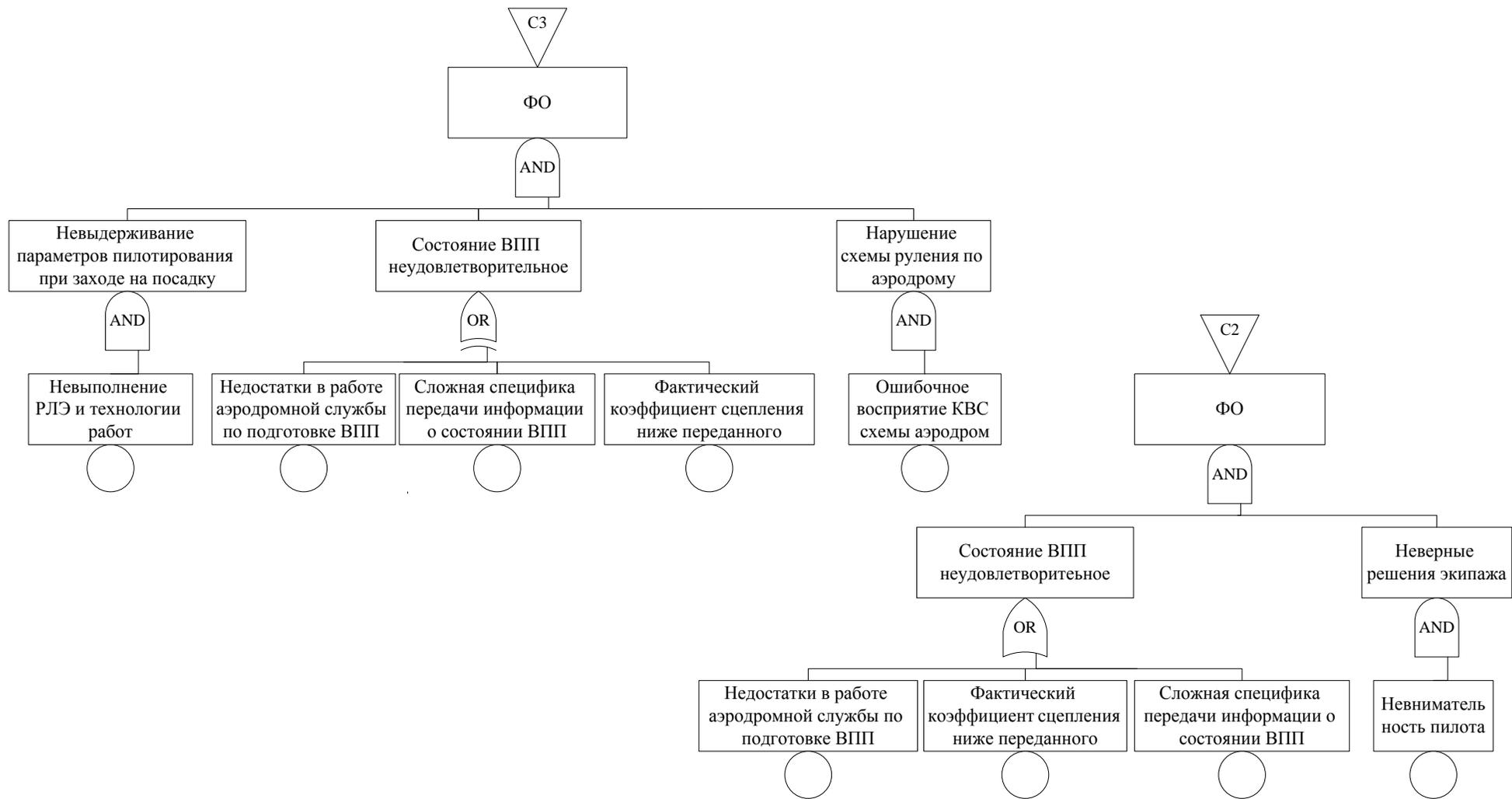


Рисунок Б.26 – Продолжение дерева событий «Выкатывание за пределы ВПП»

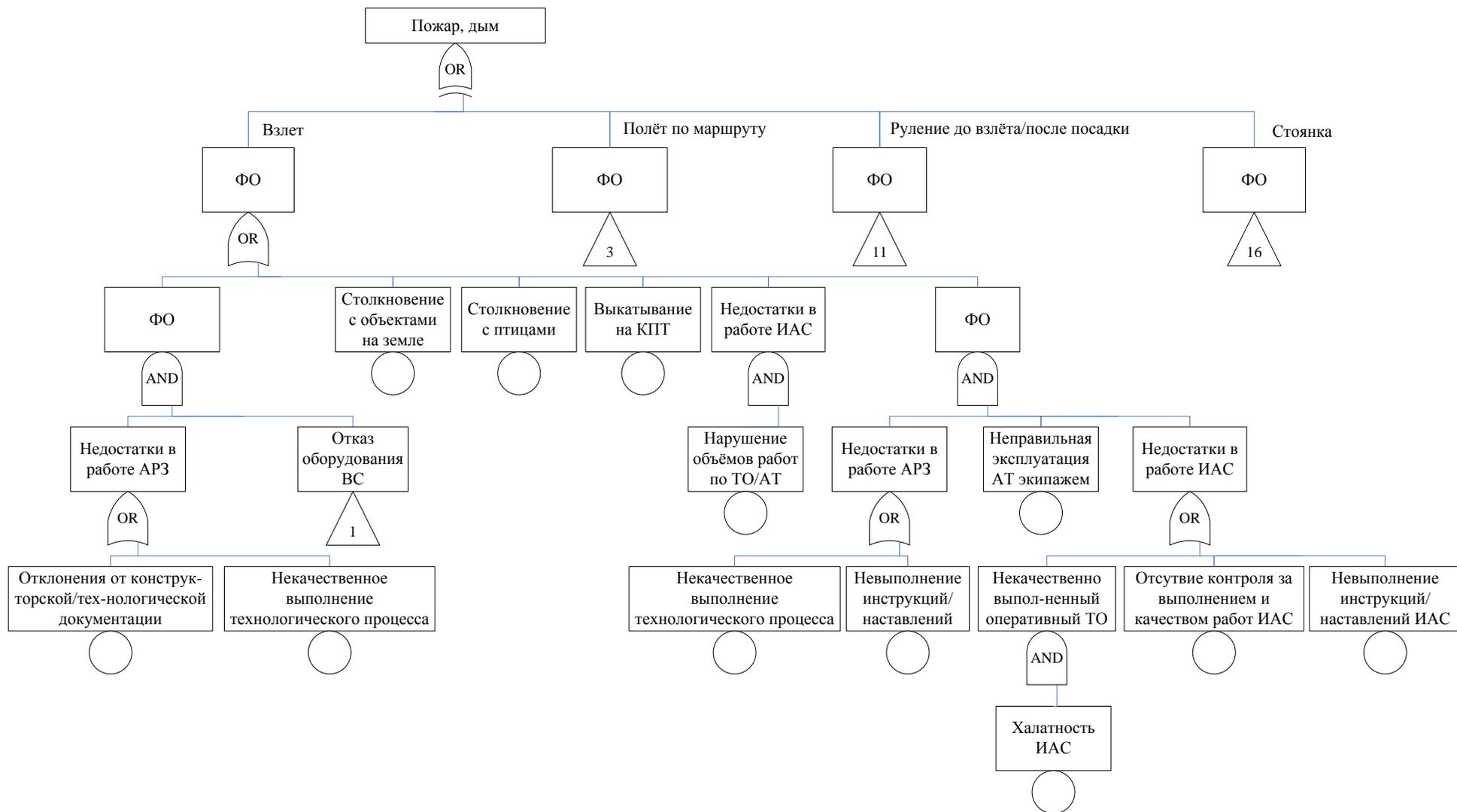


Рисунок Б.27 – Дерево событий «Пожар»

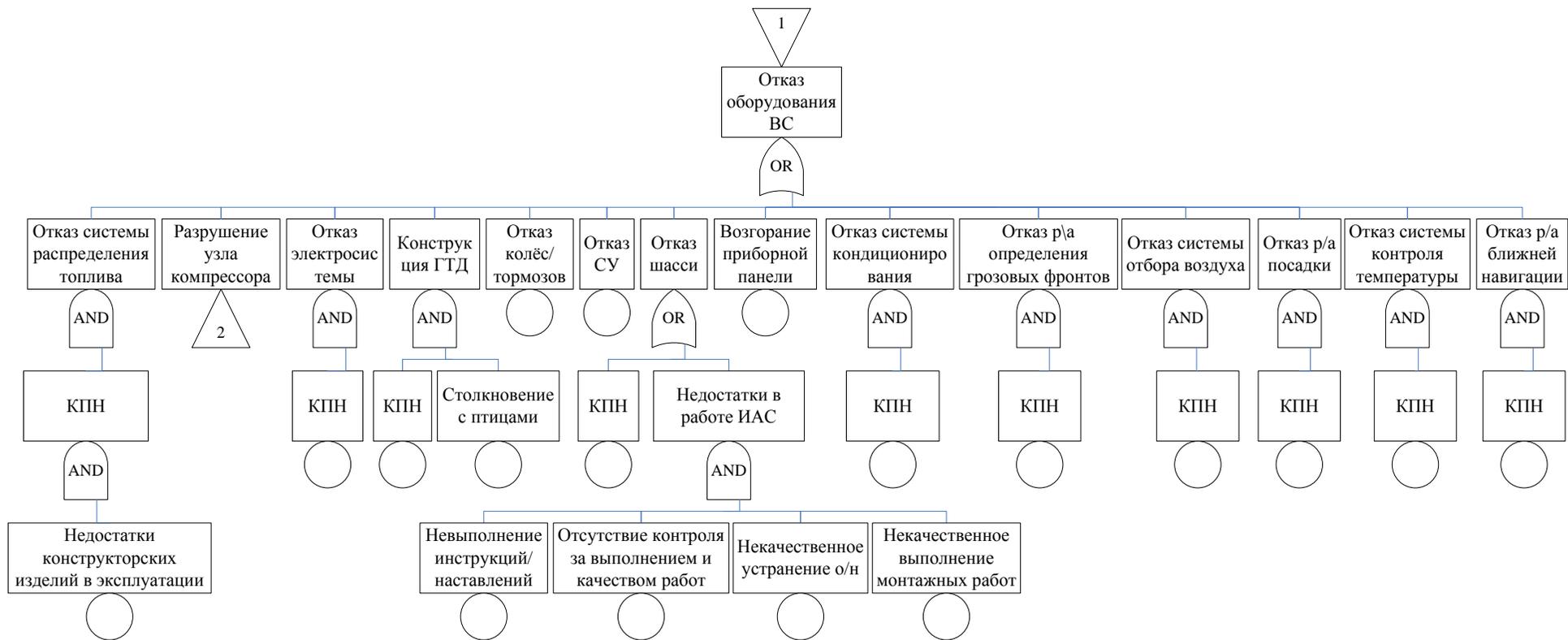


Рисунок Б.28 – Продолжение дерева событий «Пожар»

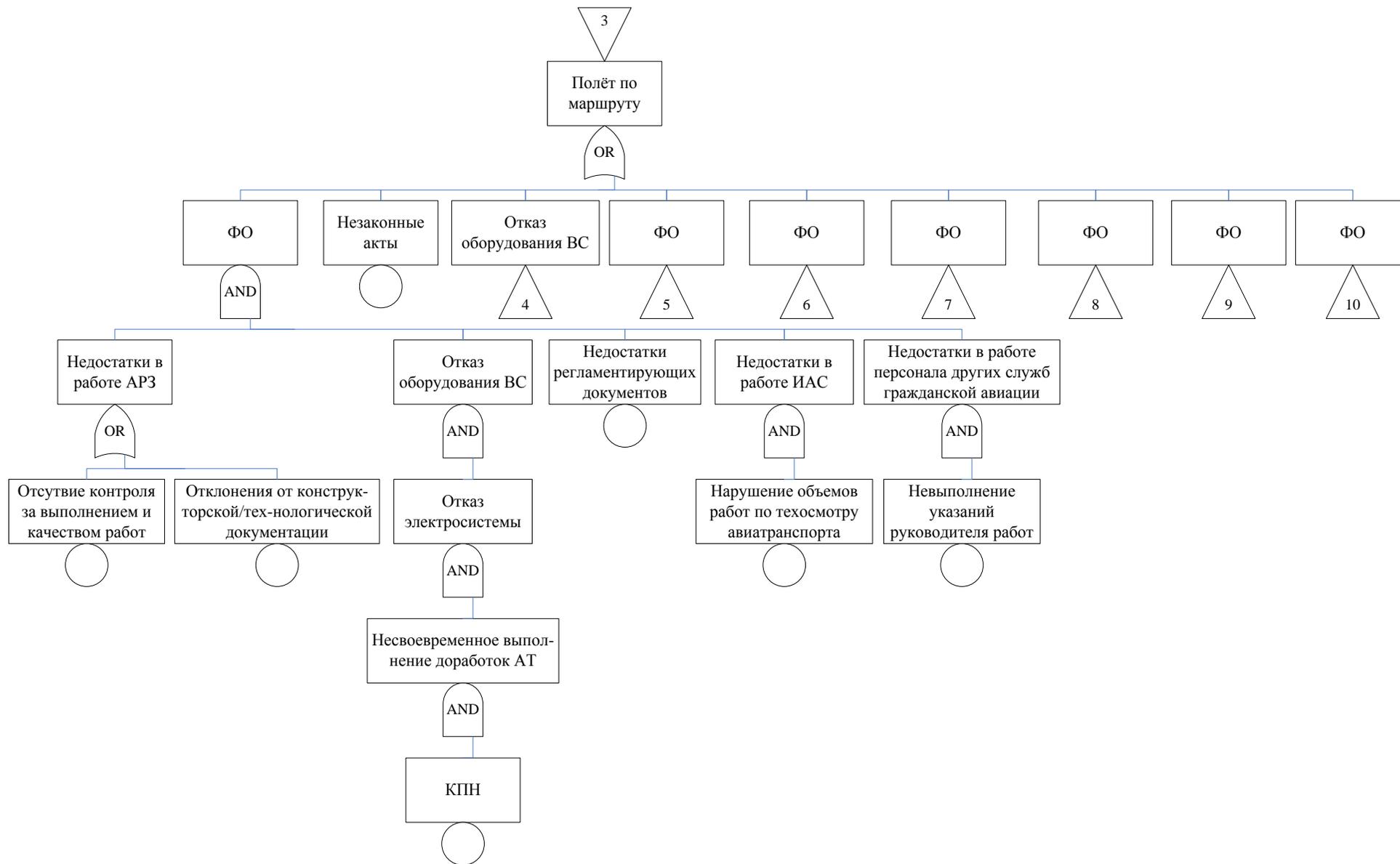


Рисунок Б.29 – Продолжение дерева событий «Пожеар»

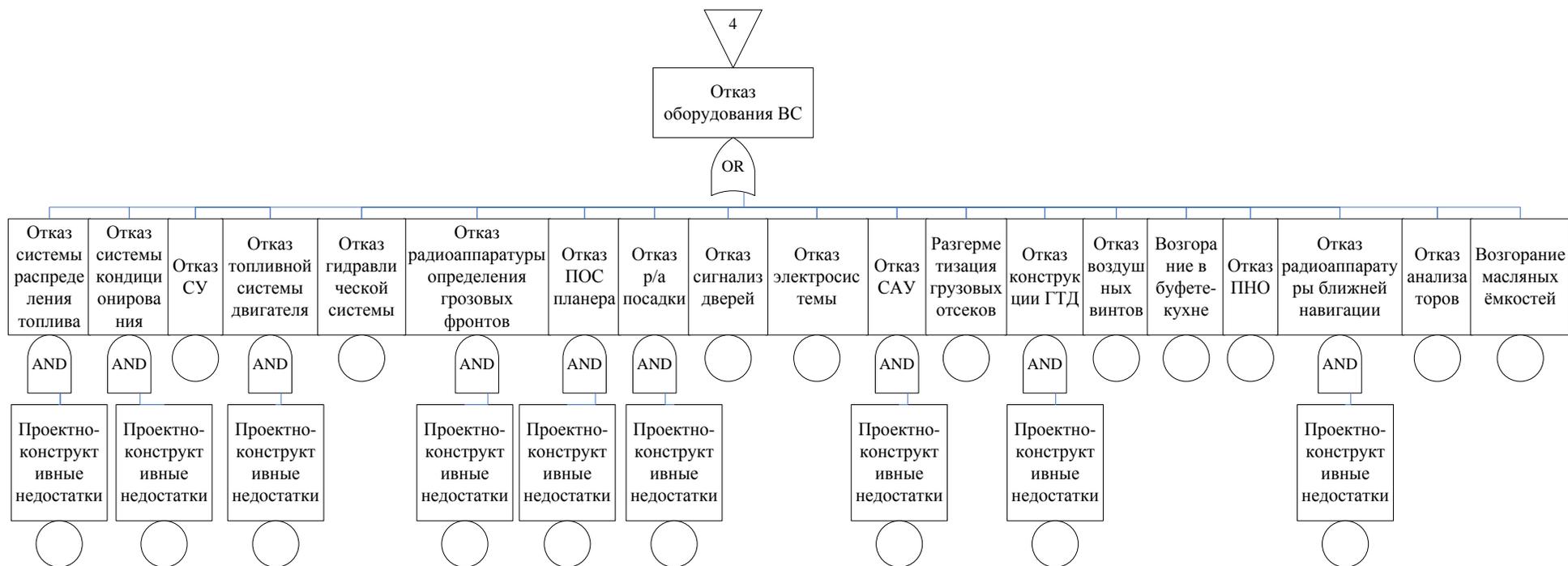


Рисунок Б.30 – Продолжение дерева событий «Пожар»

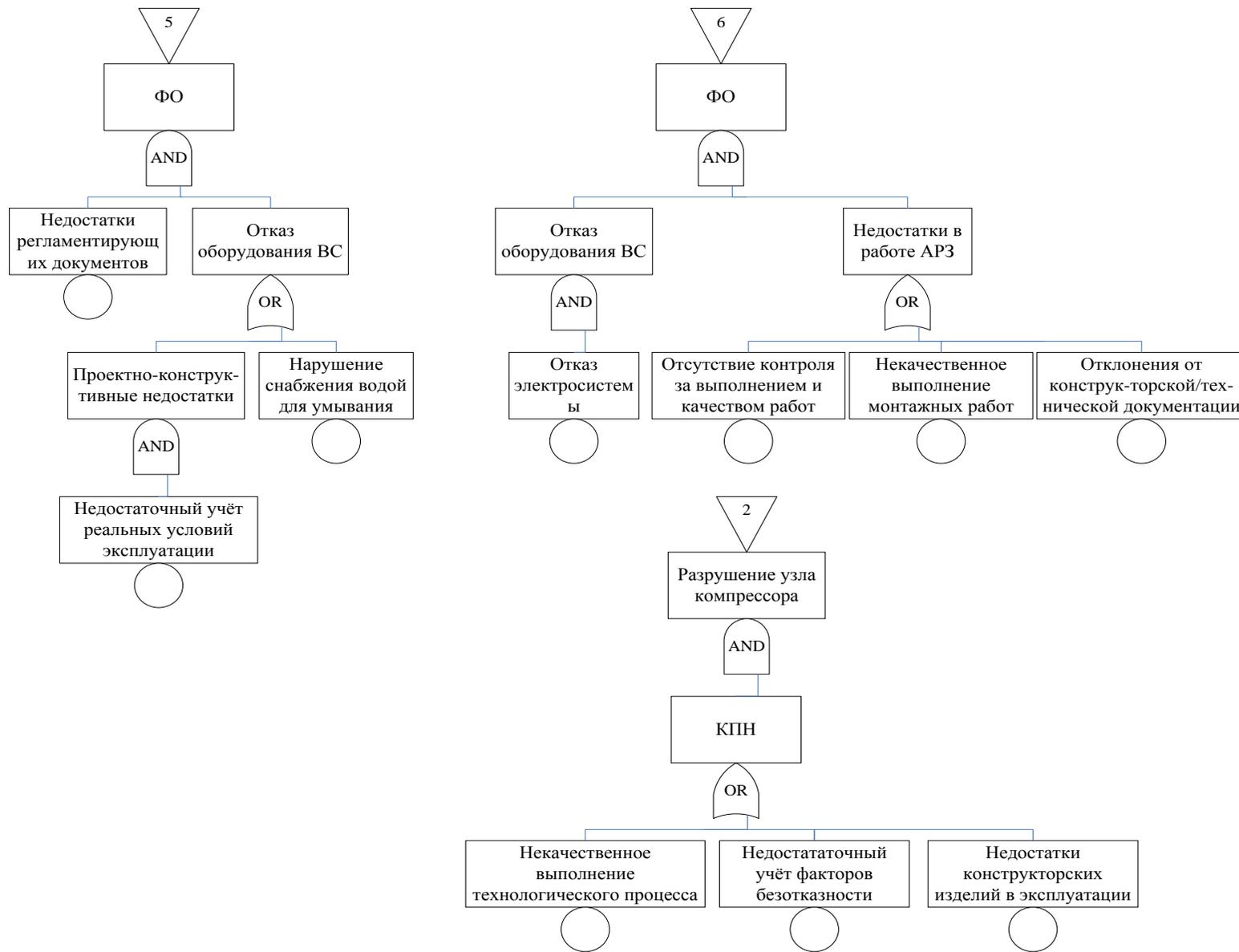


Рисунок Б.31 – Продолжение дерева событий «Пожар»

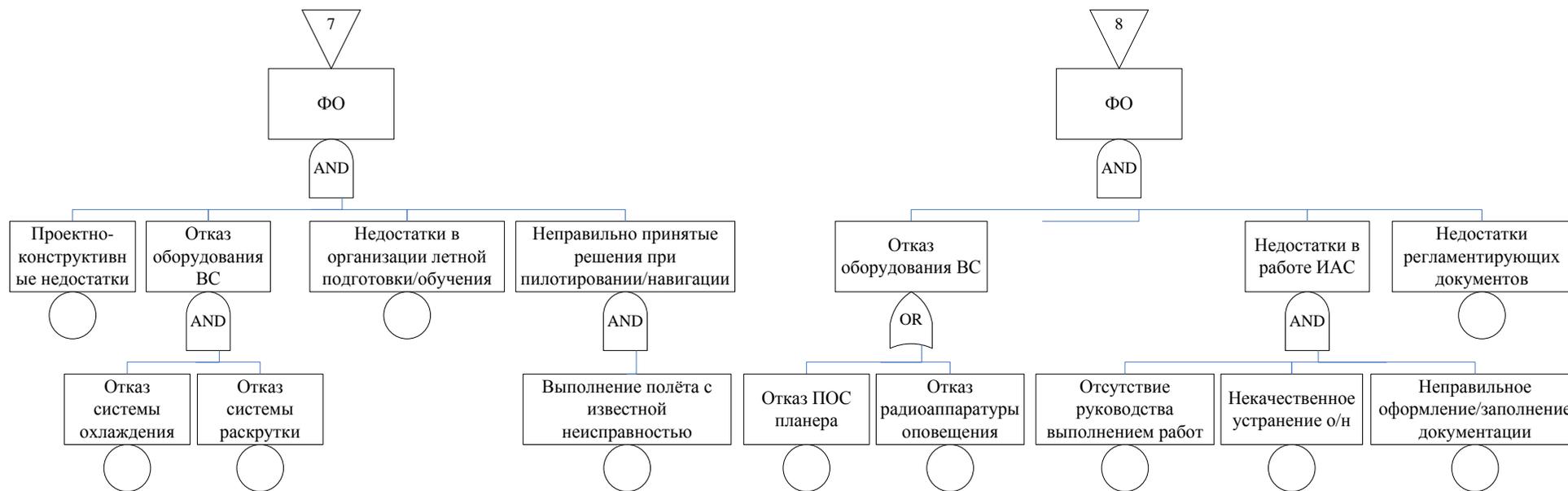


Рисунок Б.32 – Продолжение дерева событий «Пожар»

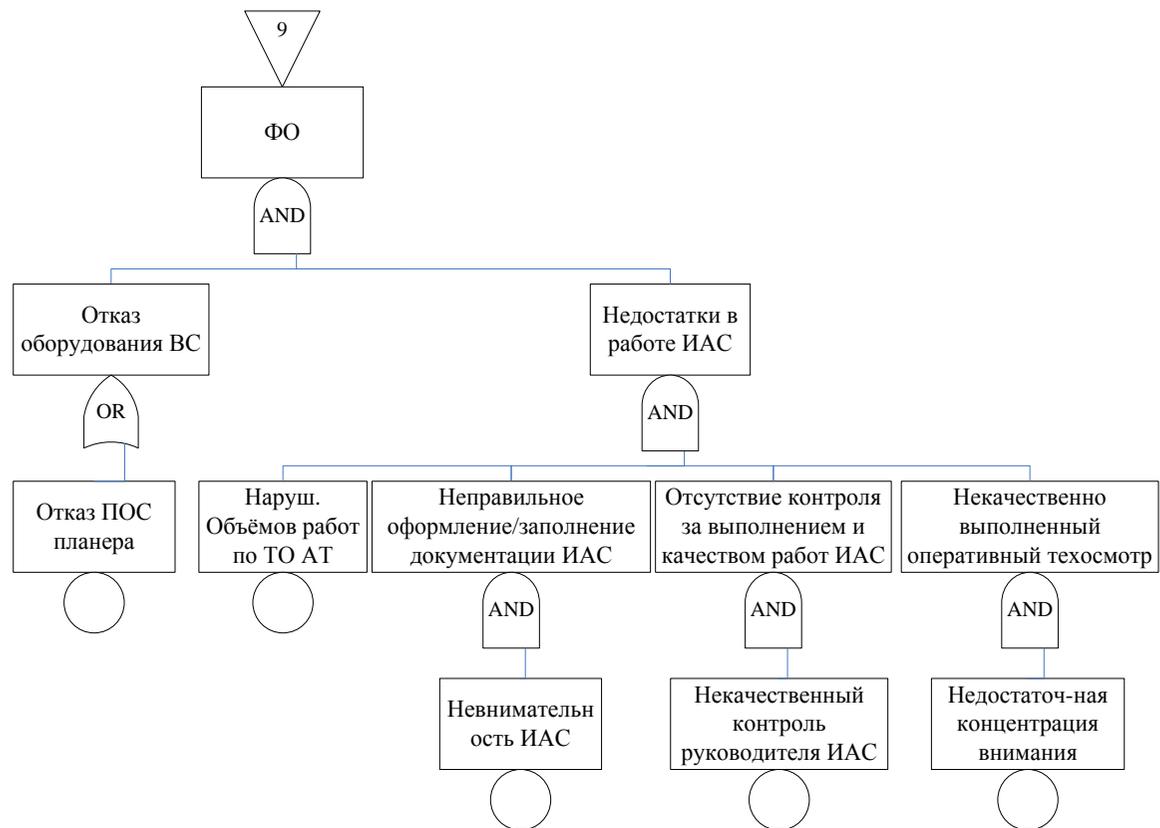


Рисунок Б.33– Продолжение дерева событий «Пожар»

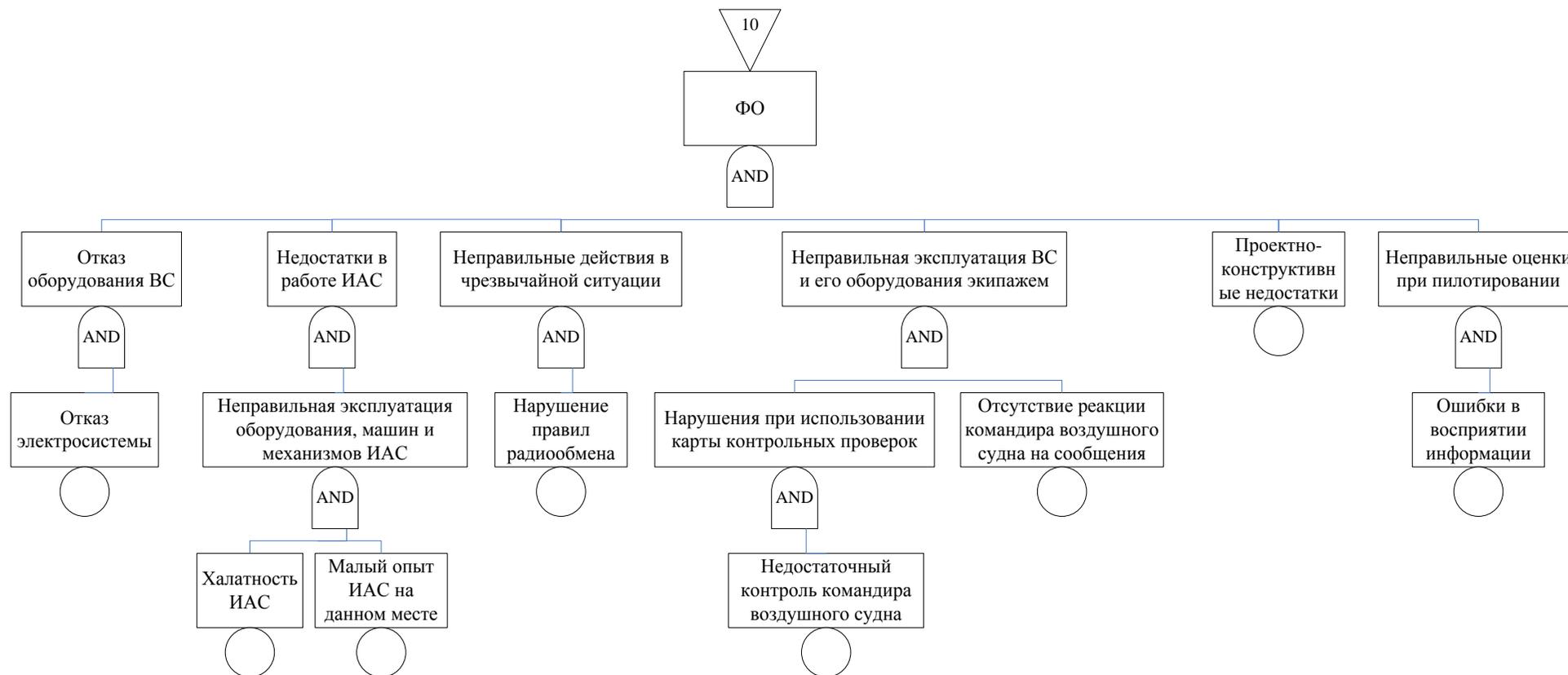


Рисунок Б.34 – Продолжение дерева событий «Пожар»

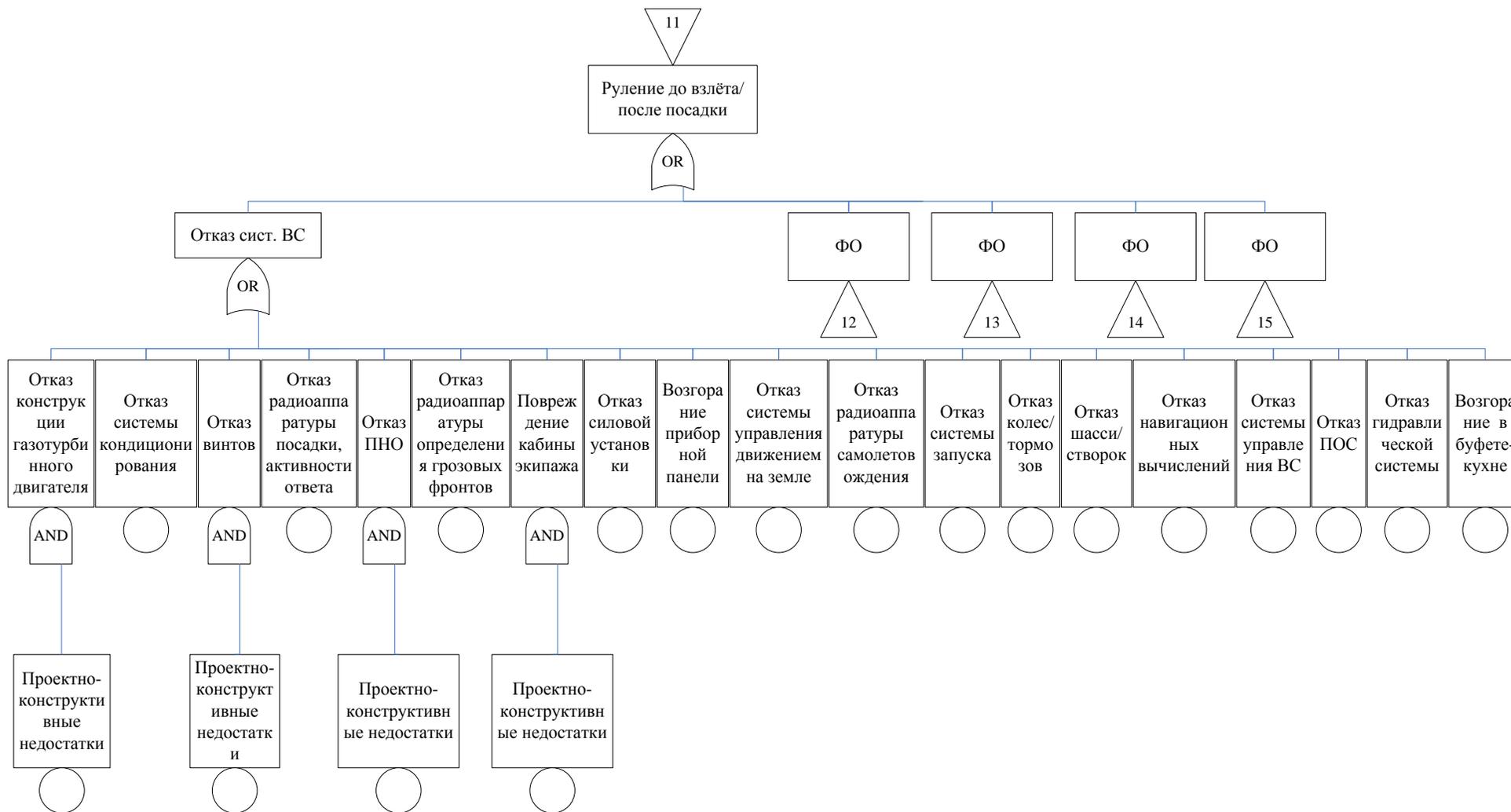


Рисунок Б.35 – Продолжение дерева событий «Пожар»

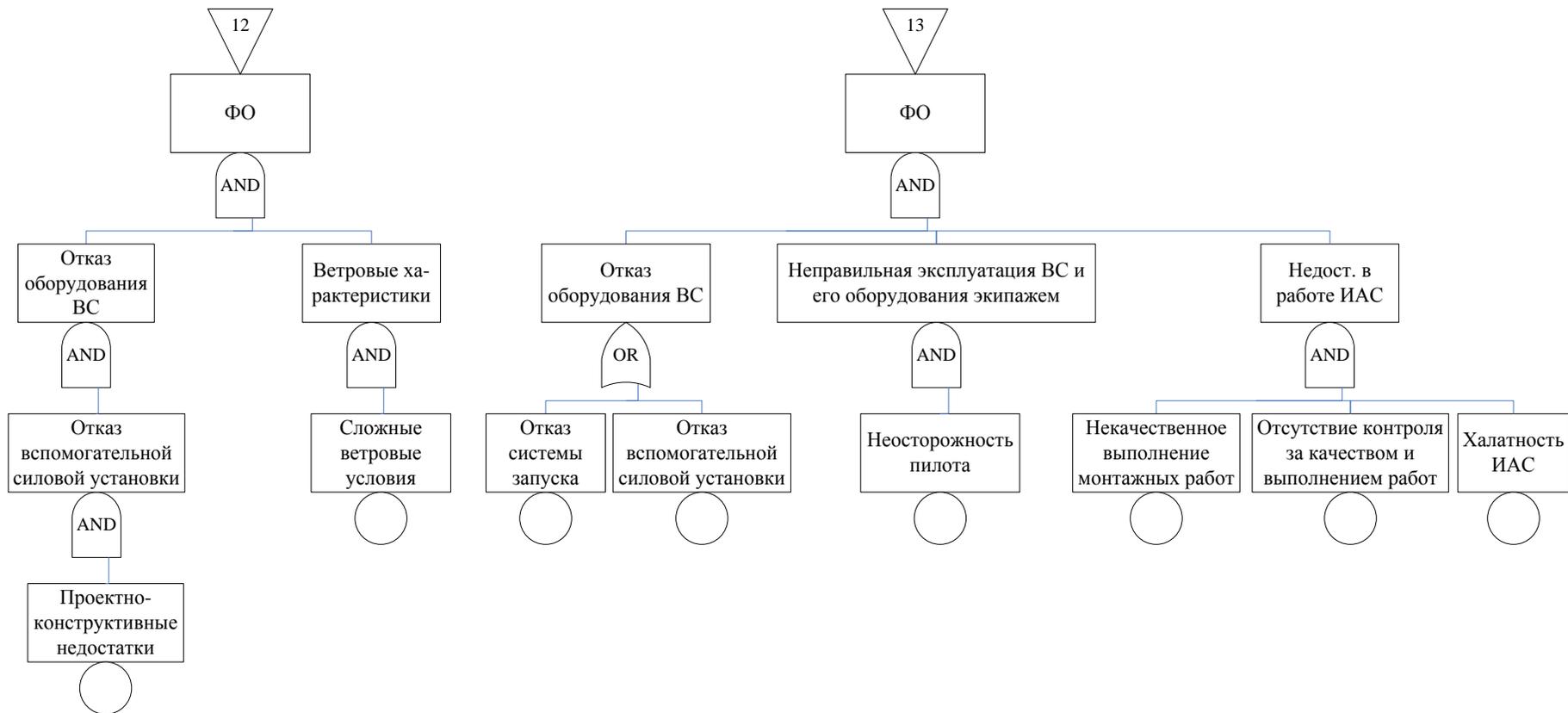


Рисунок Б.36 – Продолжение дерева событий «Пожар»

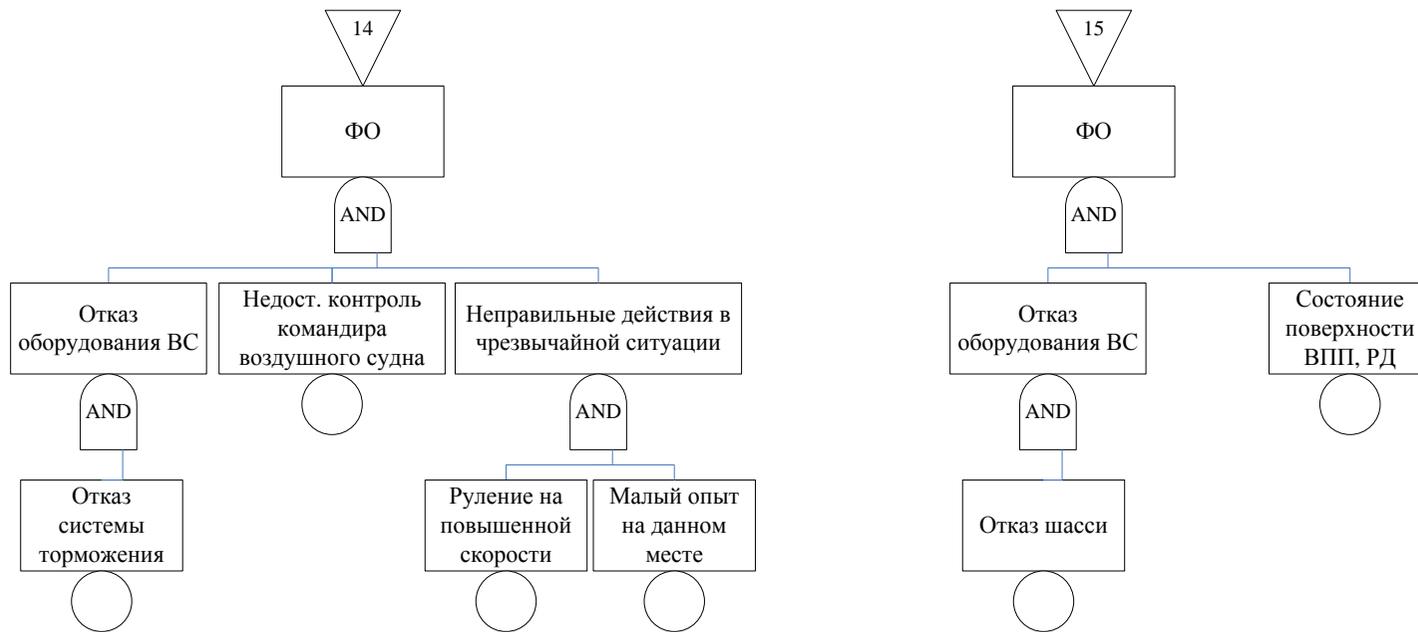


Рисунок Б.37 – Продолжение дерева событий «Пожар»

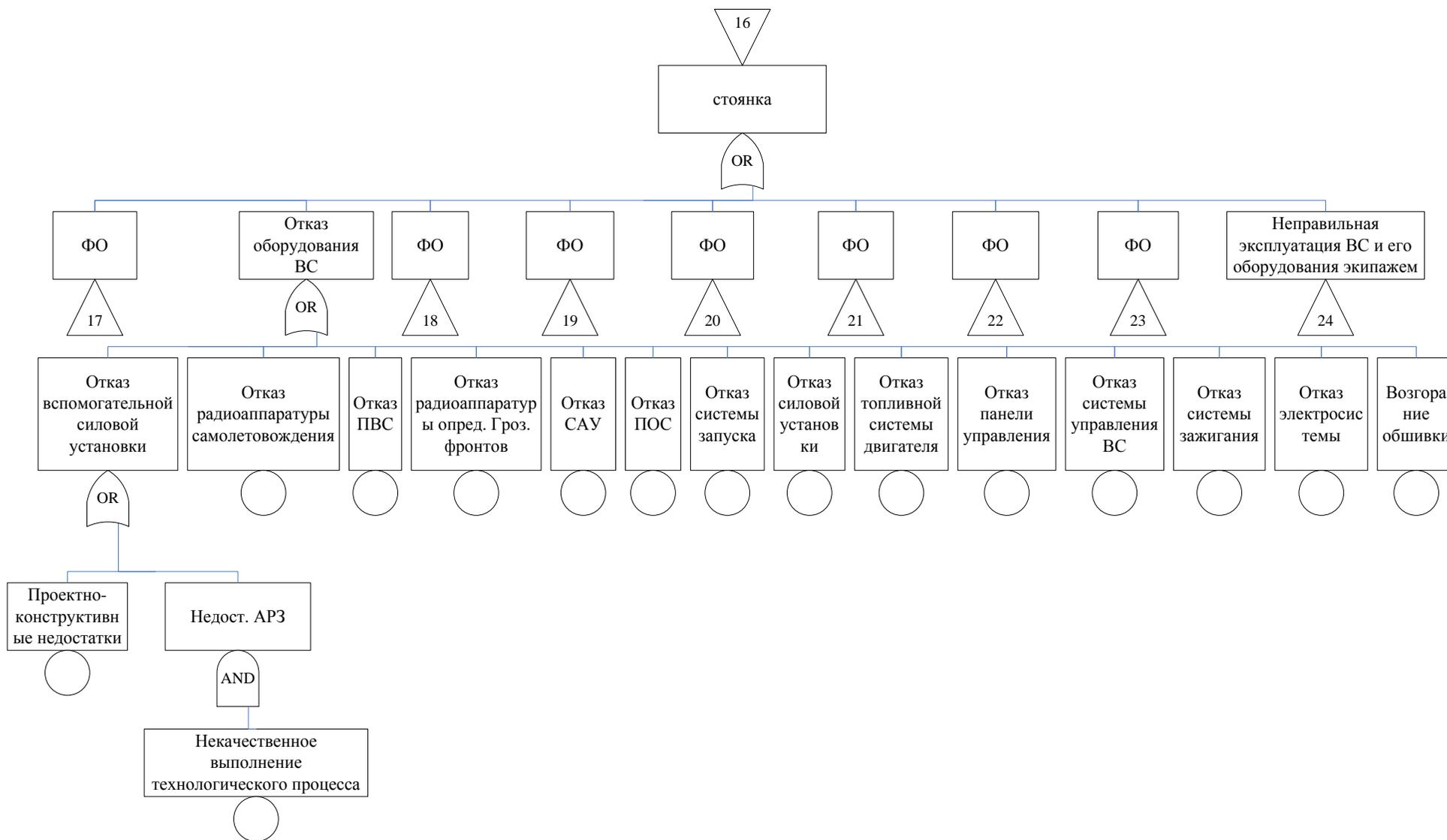


Рисунок Б.38 – Продолжение дерева событий «Пожег»

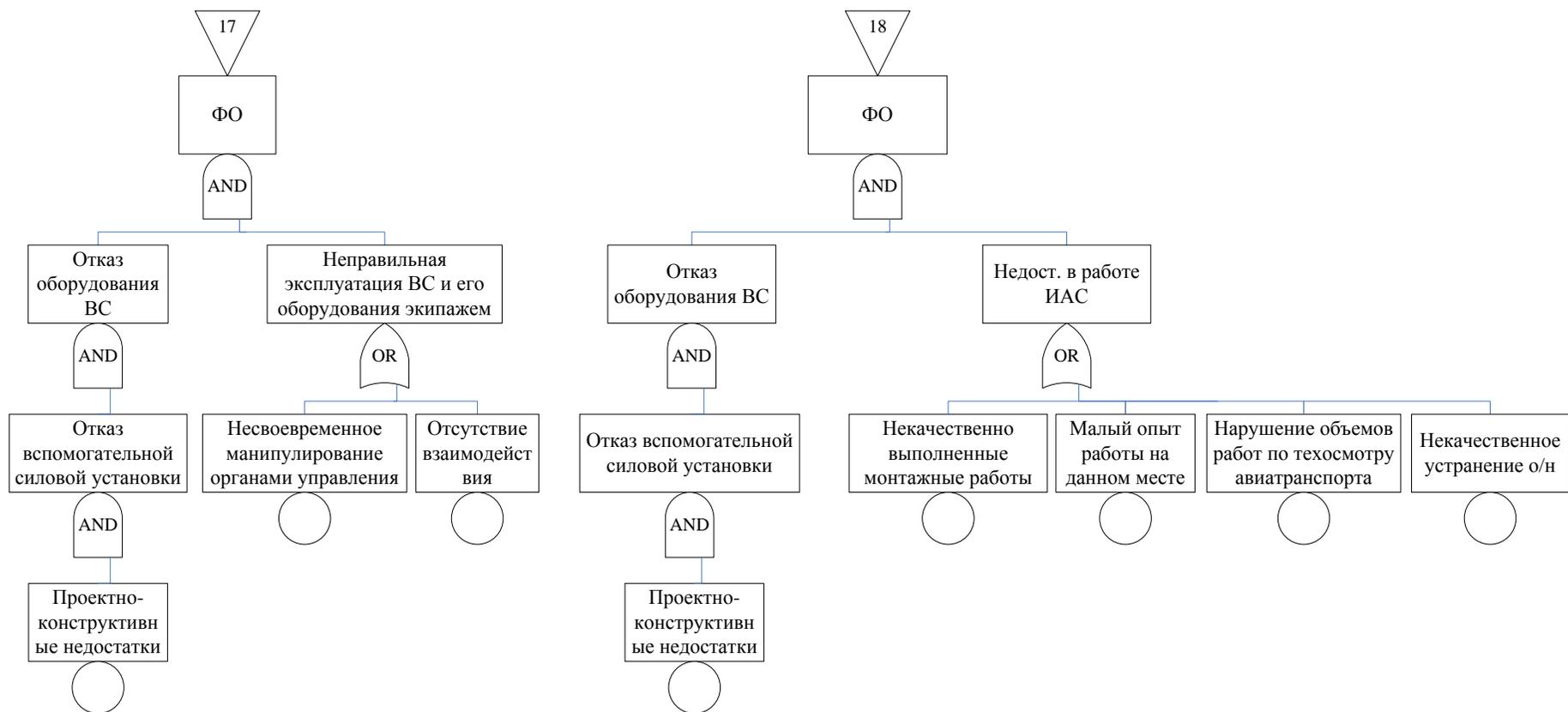


Рисунок Б.39 – Продолжение дерева событий «Пожар»

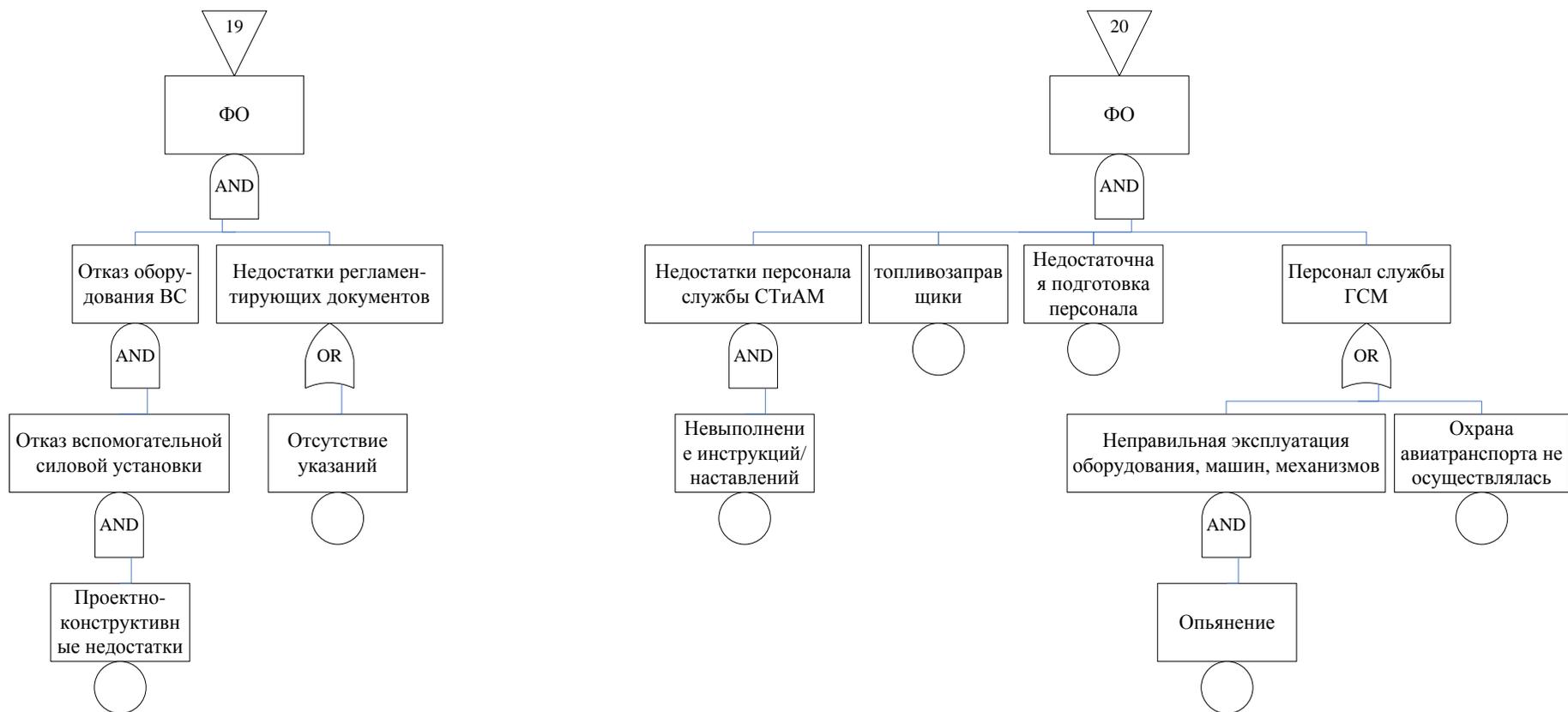


Рисунок Б.40 – Продолжение дерева событий «Пожар»

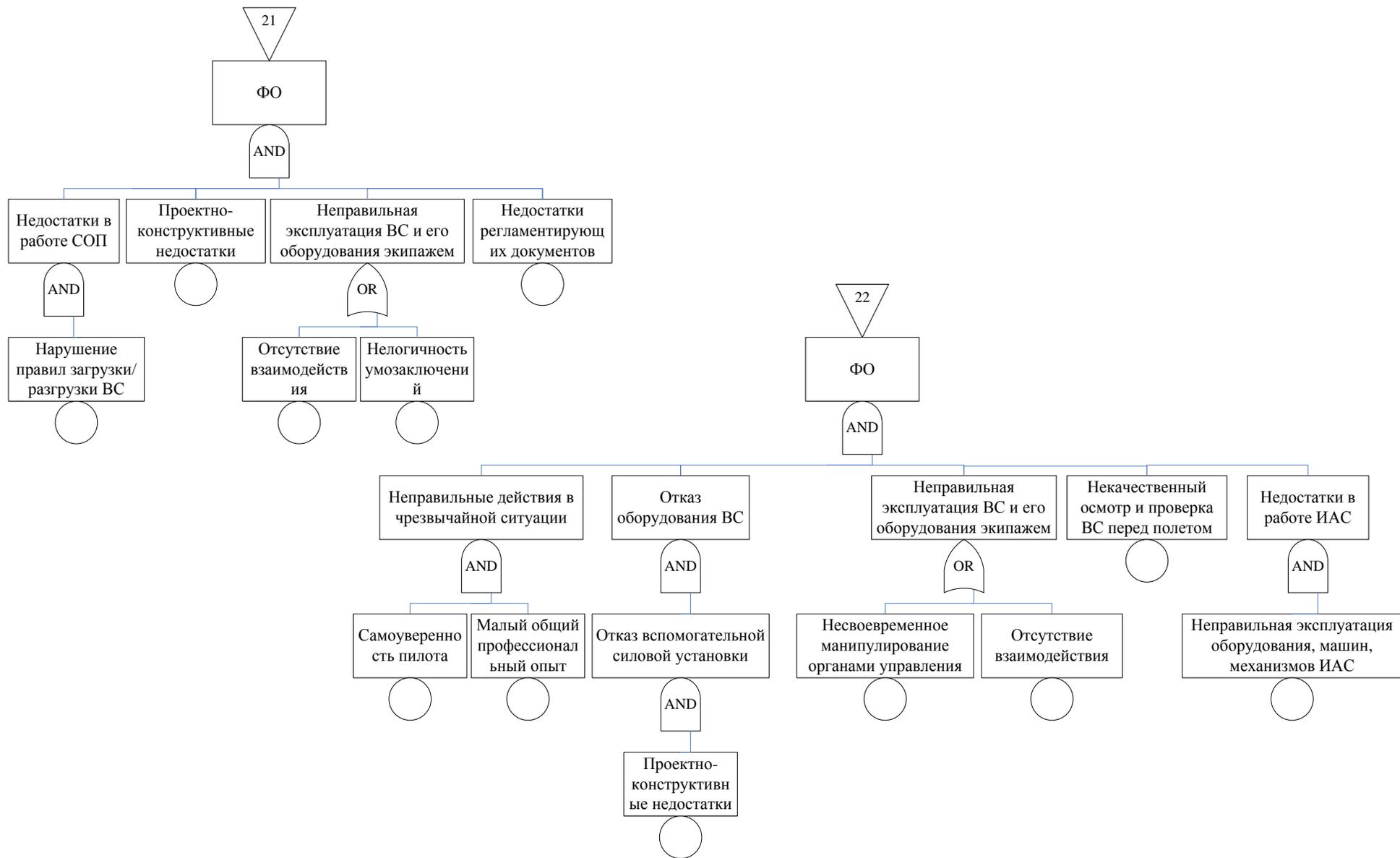


Рисунок Б.41 – Продолжение дерева событий «Пожеар»

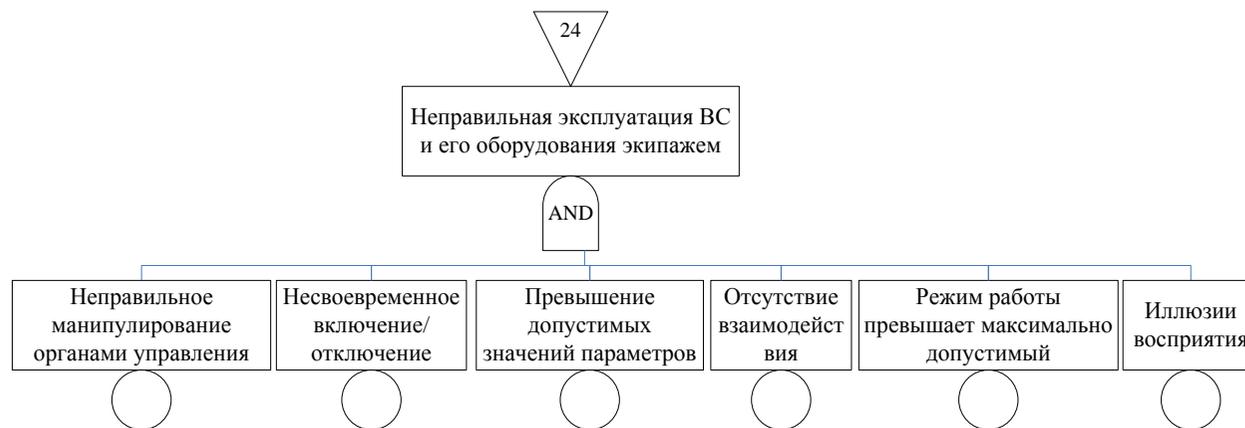
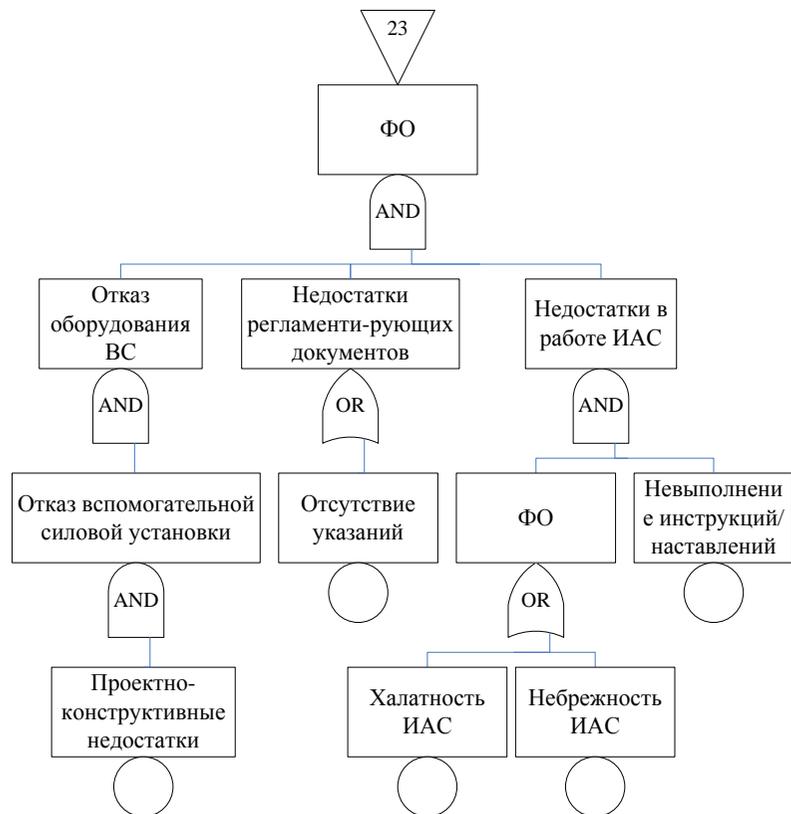


Рисунок Б.42 – Продолжение дерева событий «Пожар»

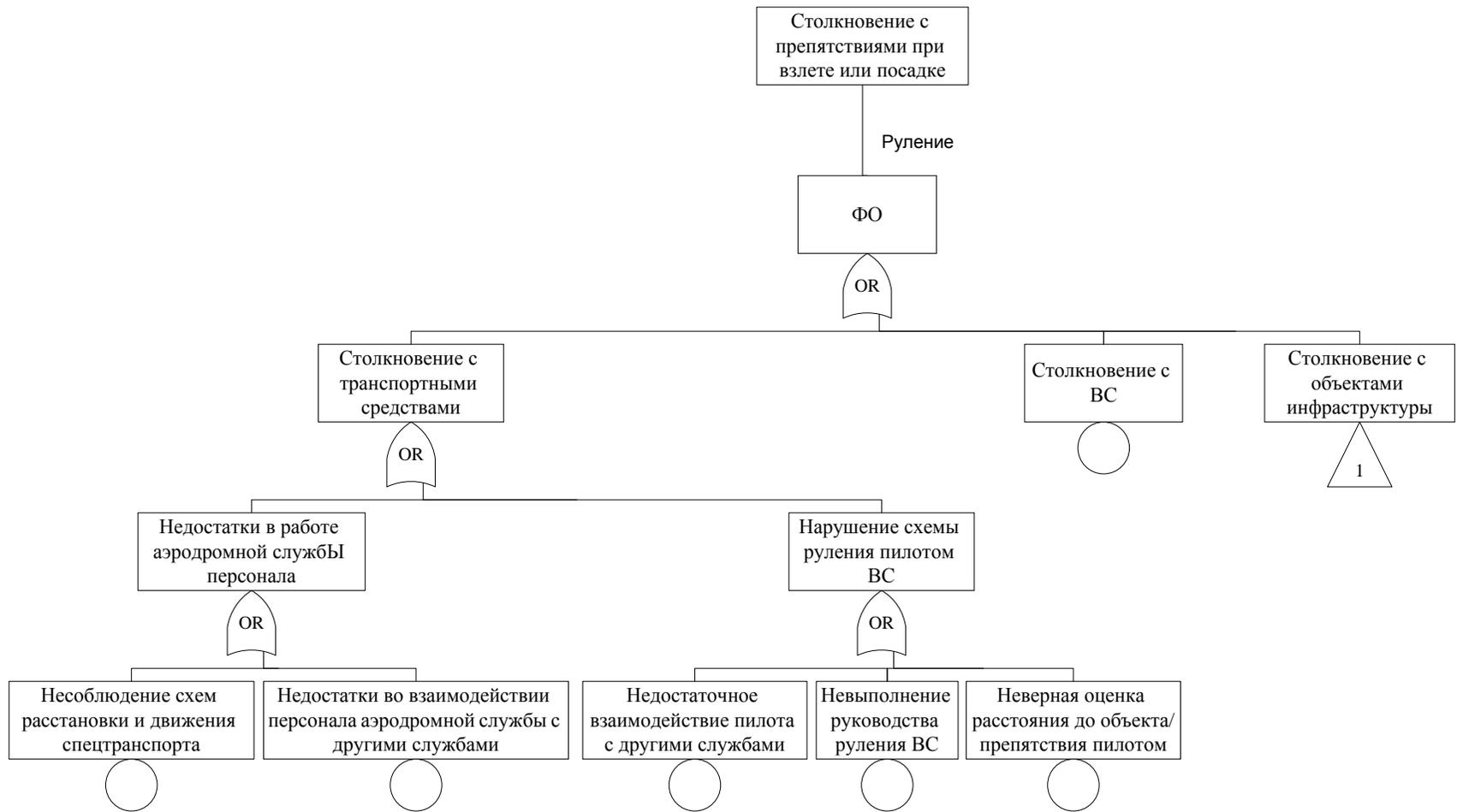


Рисунок Б.43 –Дерево событий «Столкновение с препятствиями при взлете или посадке»



Рисунок Б.44 – Продолжение дерева событий «Столкновение с препятствиями при взлете или посадке»

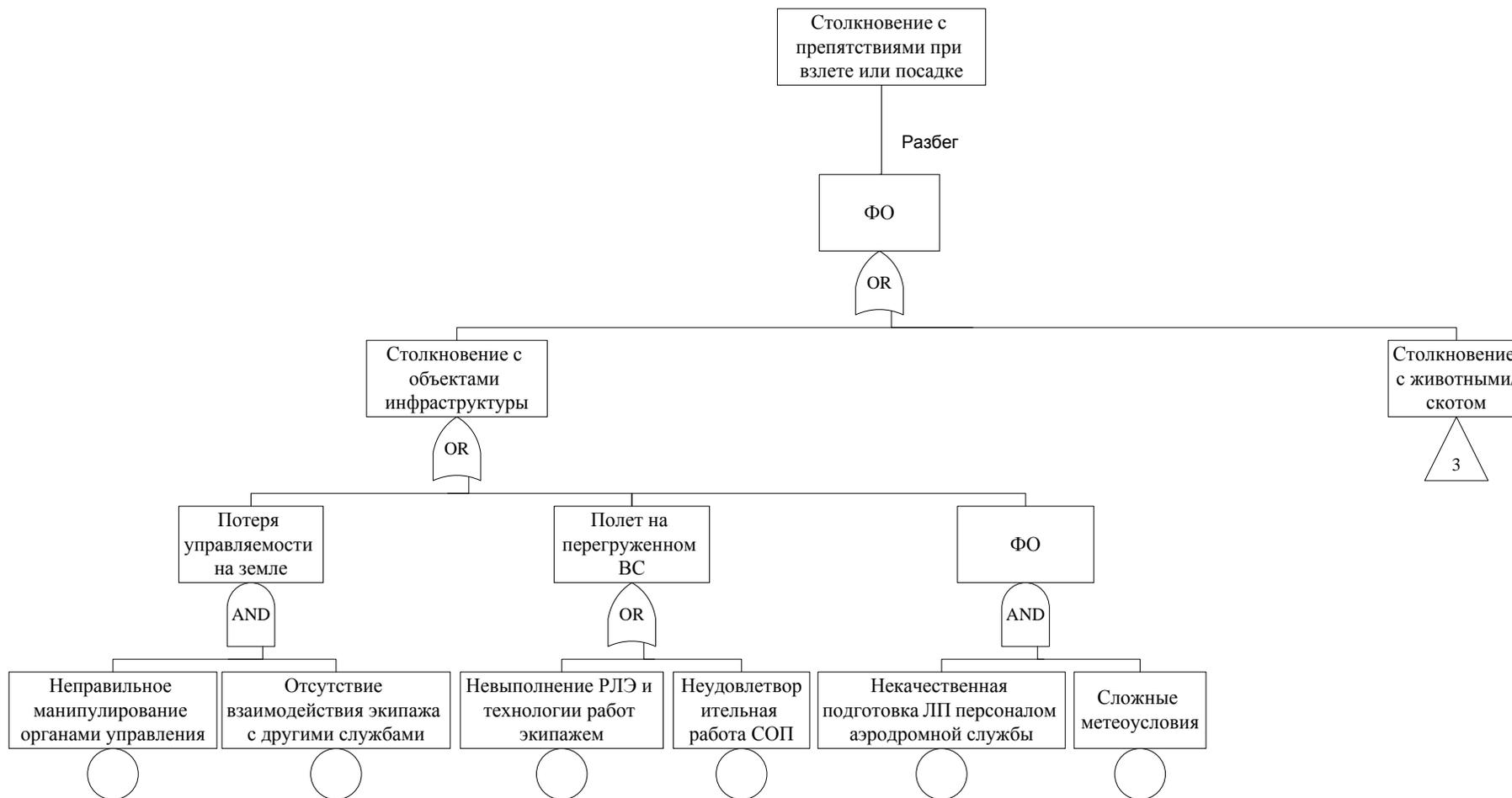


Рисунок Б.45 – Продолжение дерева событий «Столкновение с препятствиями при взлете или посадке»

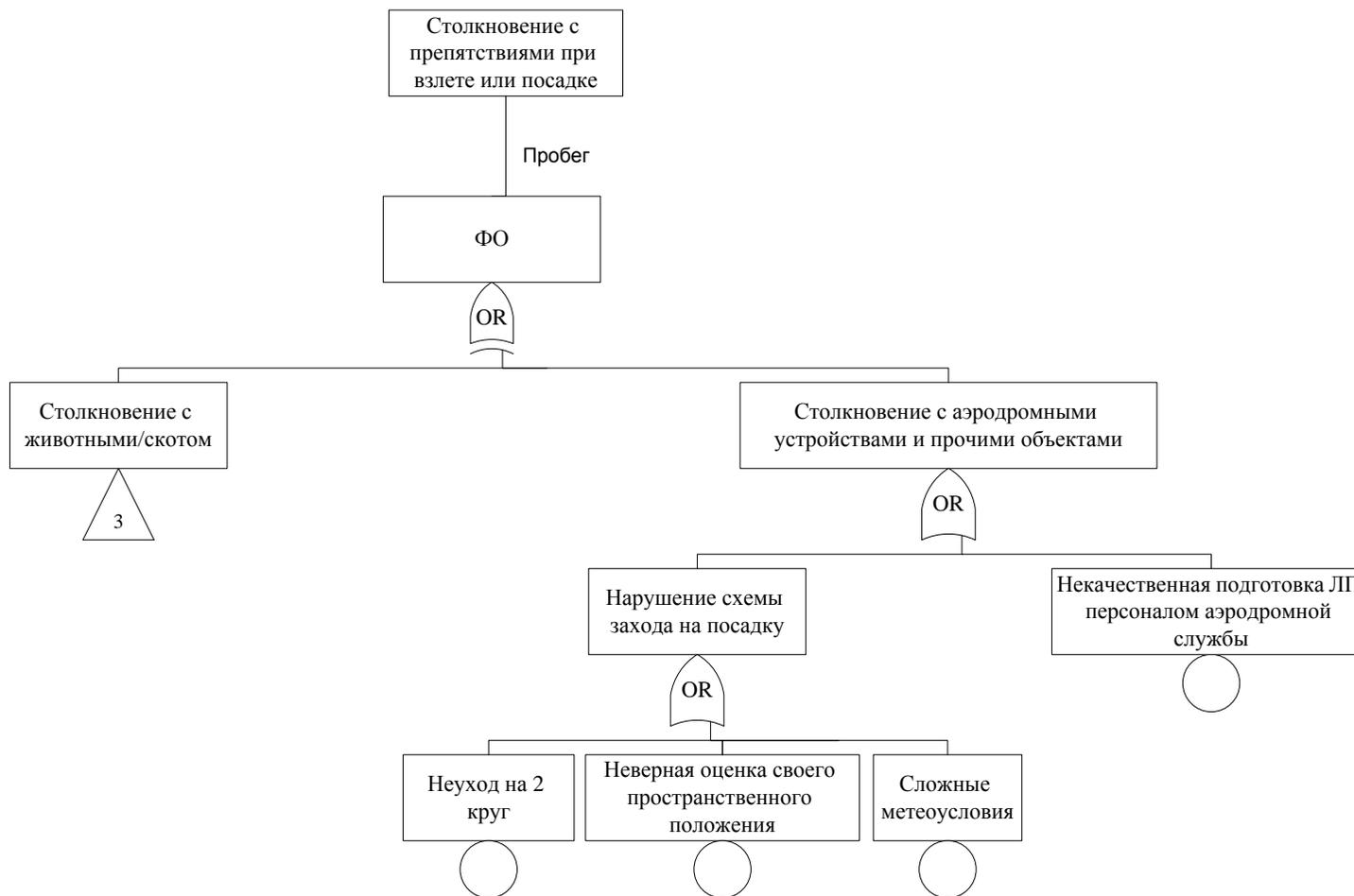


Рисунок Б.46 – Продолжение дерева событий «Столкновение с препятствиями при взлете или посадке»

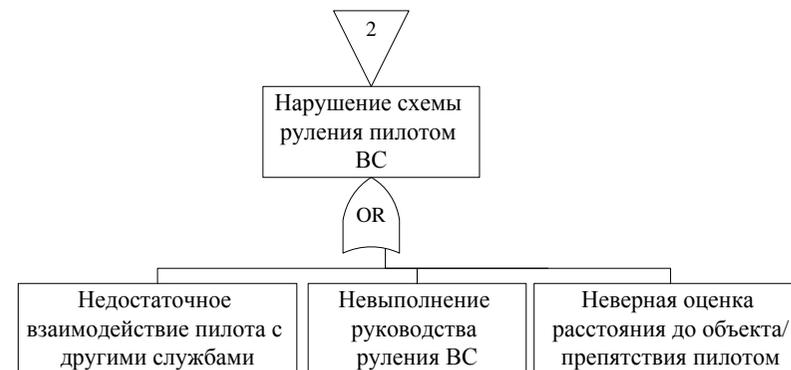
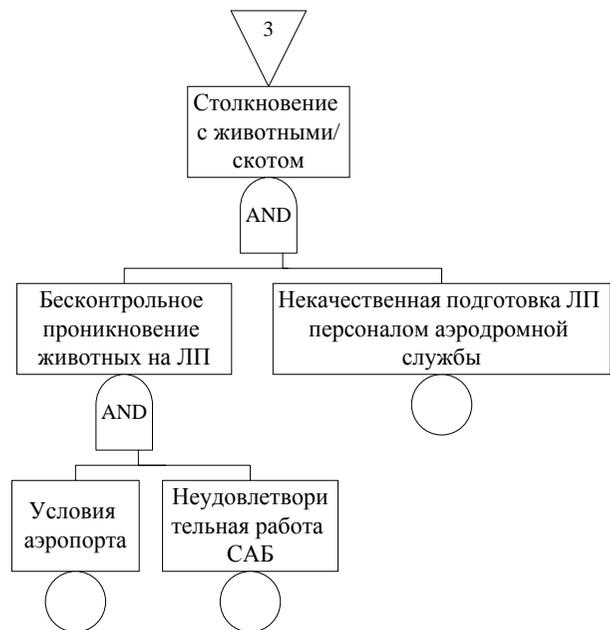


Рисунок Б.47 – Продолжение дерева событий «Столкновение с препятствиями при взлете или посадке»

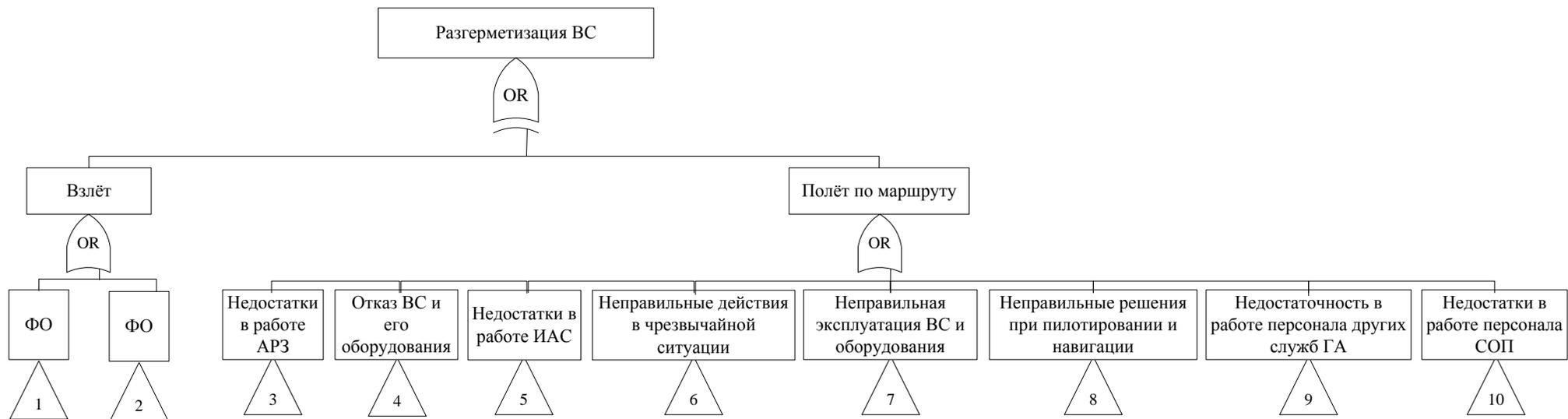


Рисунок Б.48 –Дерево событий «Разгерметизация воздушного судна»

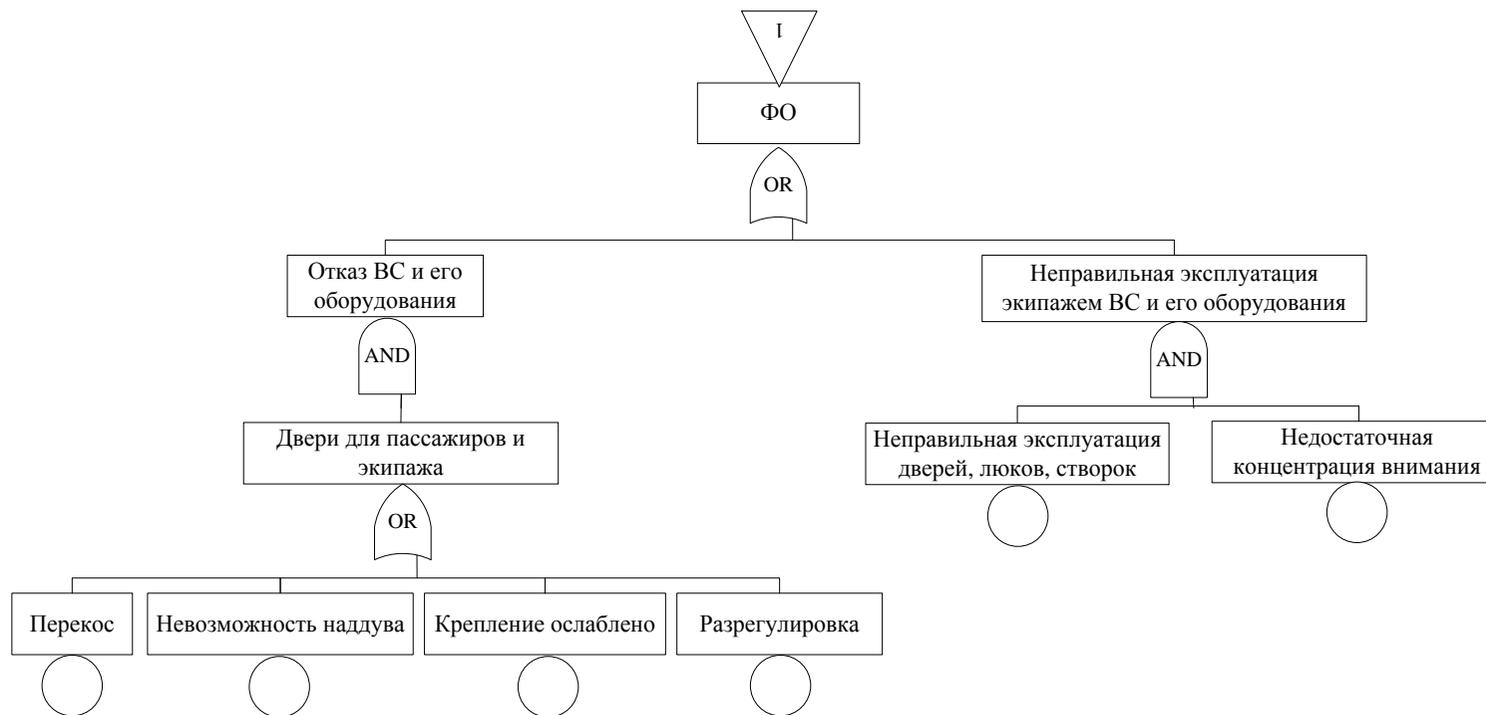


Рисунок Б.49 – Продолжение дерева событий «Разгерметизация воздушного судна»

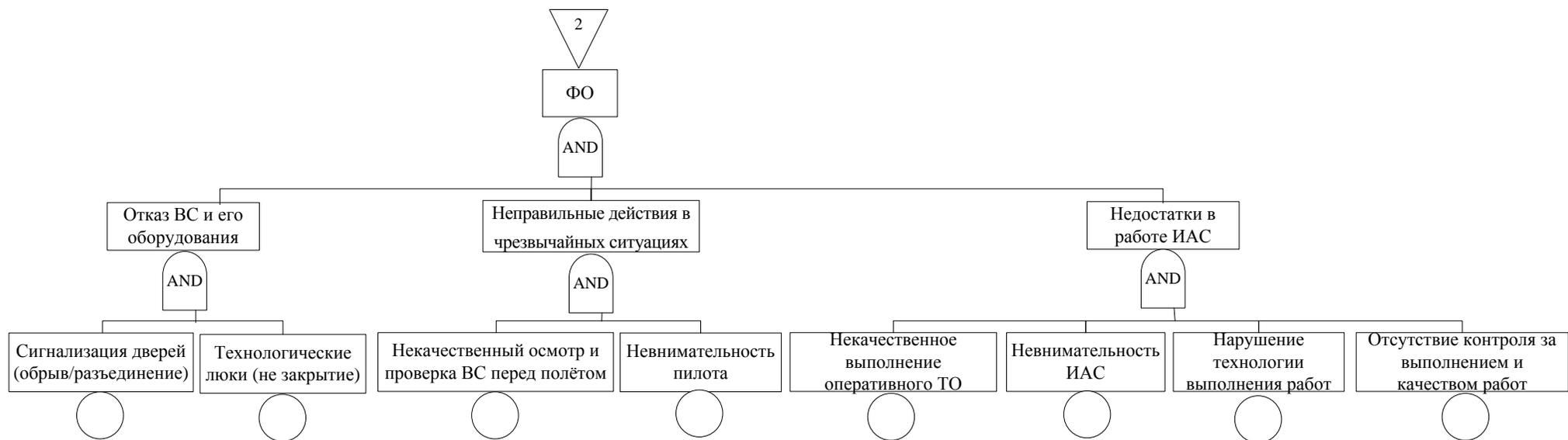


Рисунок Б.50 – Продолжение дерева событий «Разгерметизация воздушного судна»

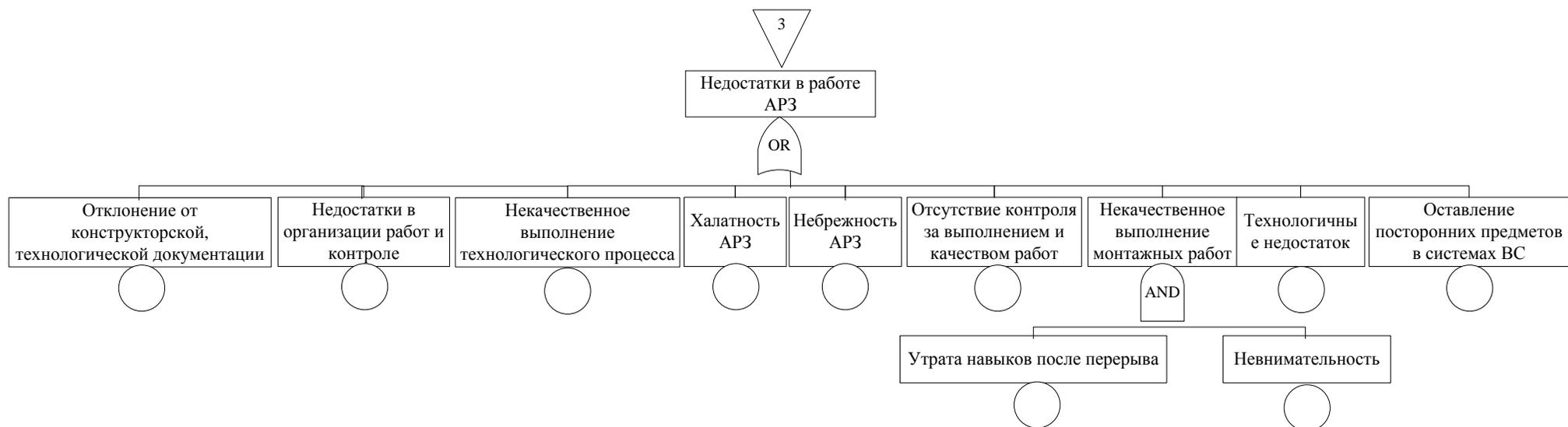
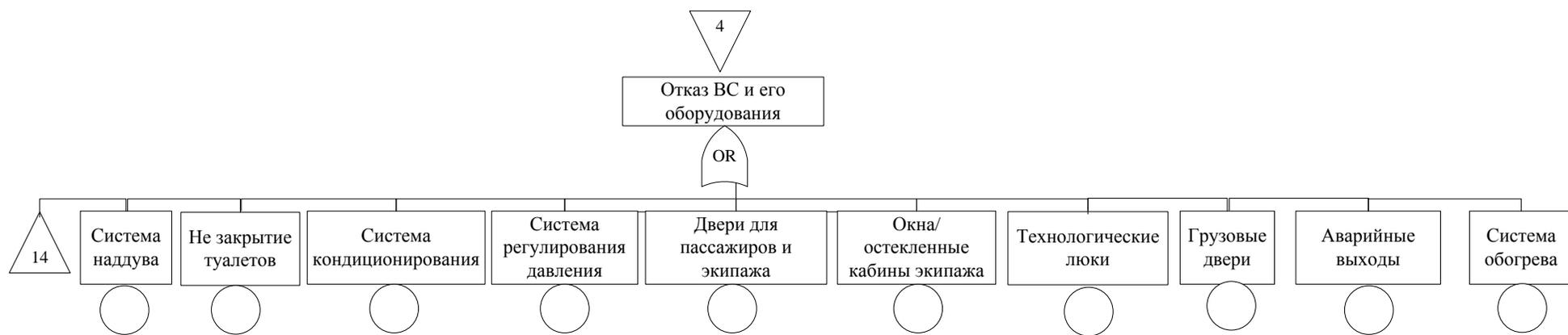


Рисунок Б.51 – Продолжение дерева событий «Разгерметизация воздушного судна»



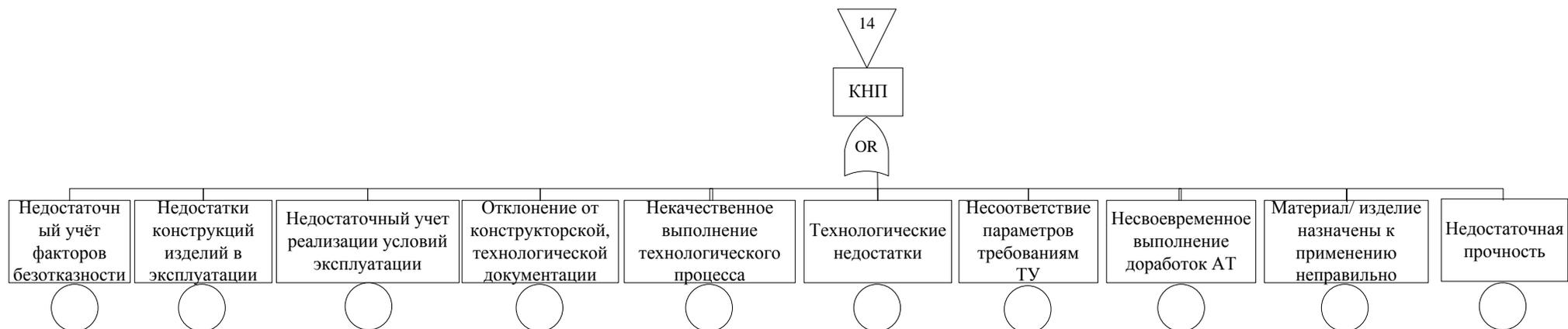
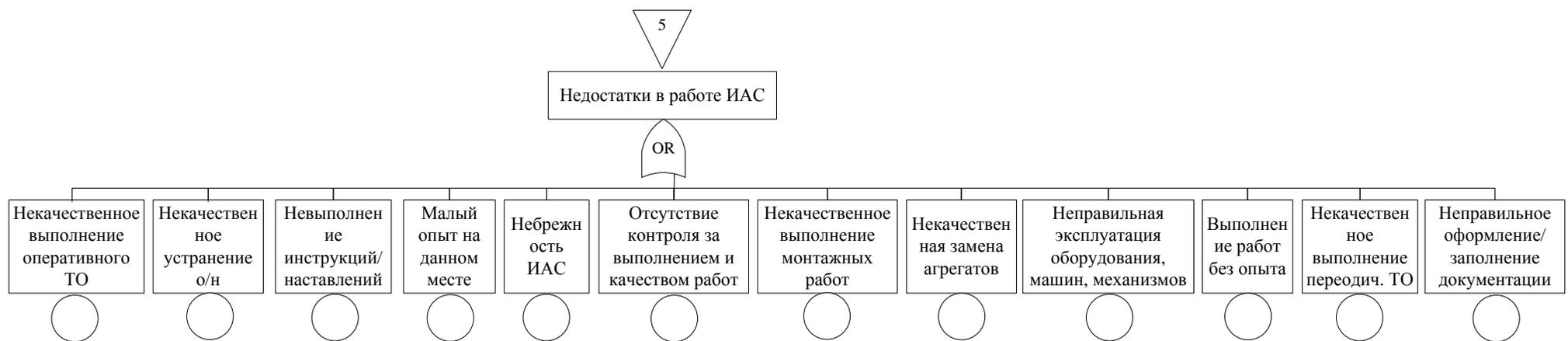


Рисунок Б.52 – Продолжение дерева событий «Разгерметизация воздушного судна»



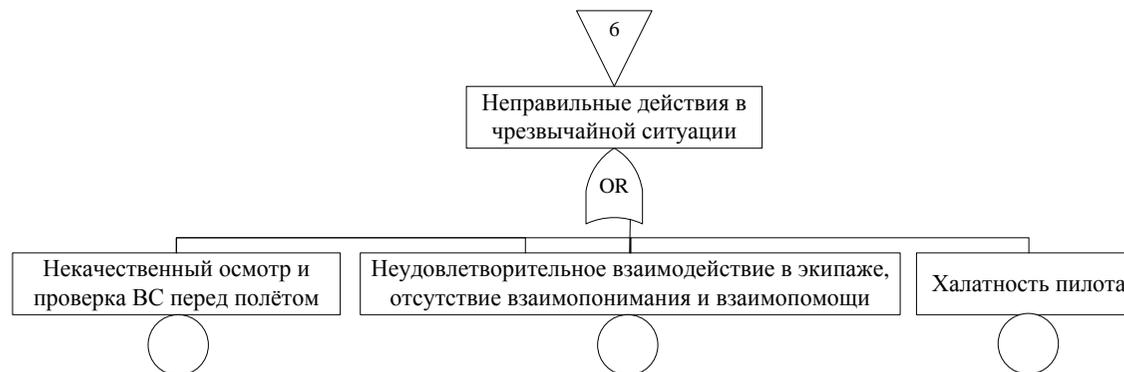
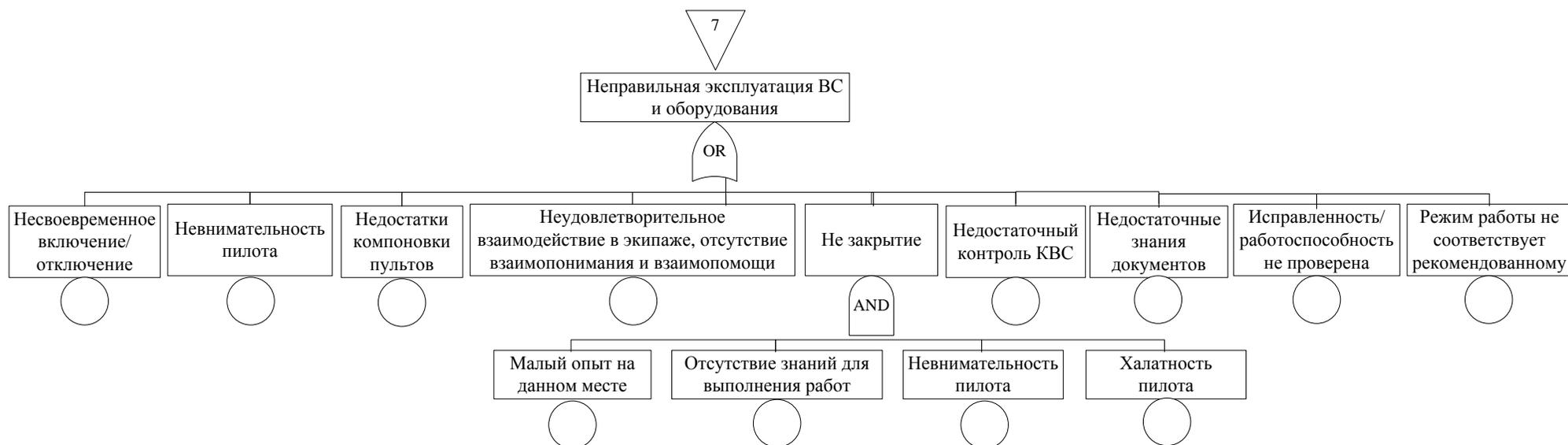


Рисунок Б.53 – Продолжение дерева событий «Разгерметизация воздушного судна»



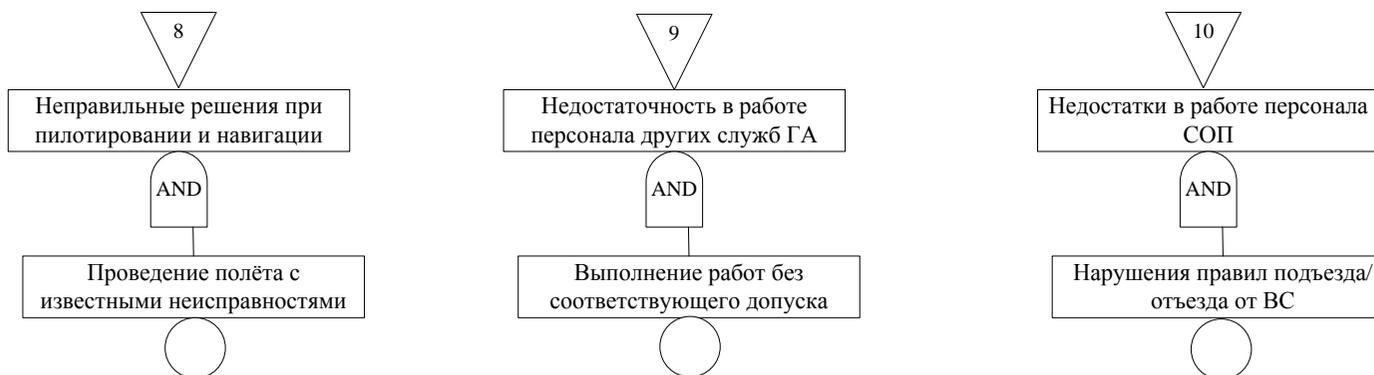


Рисунок Б.54 – Продолжение дерева событий «Разгерметизация воздушного судна»

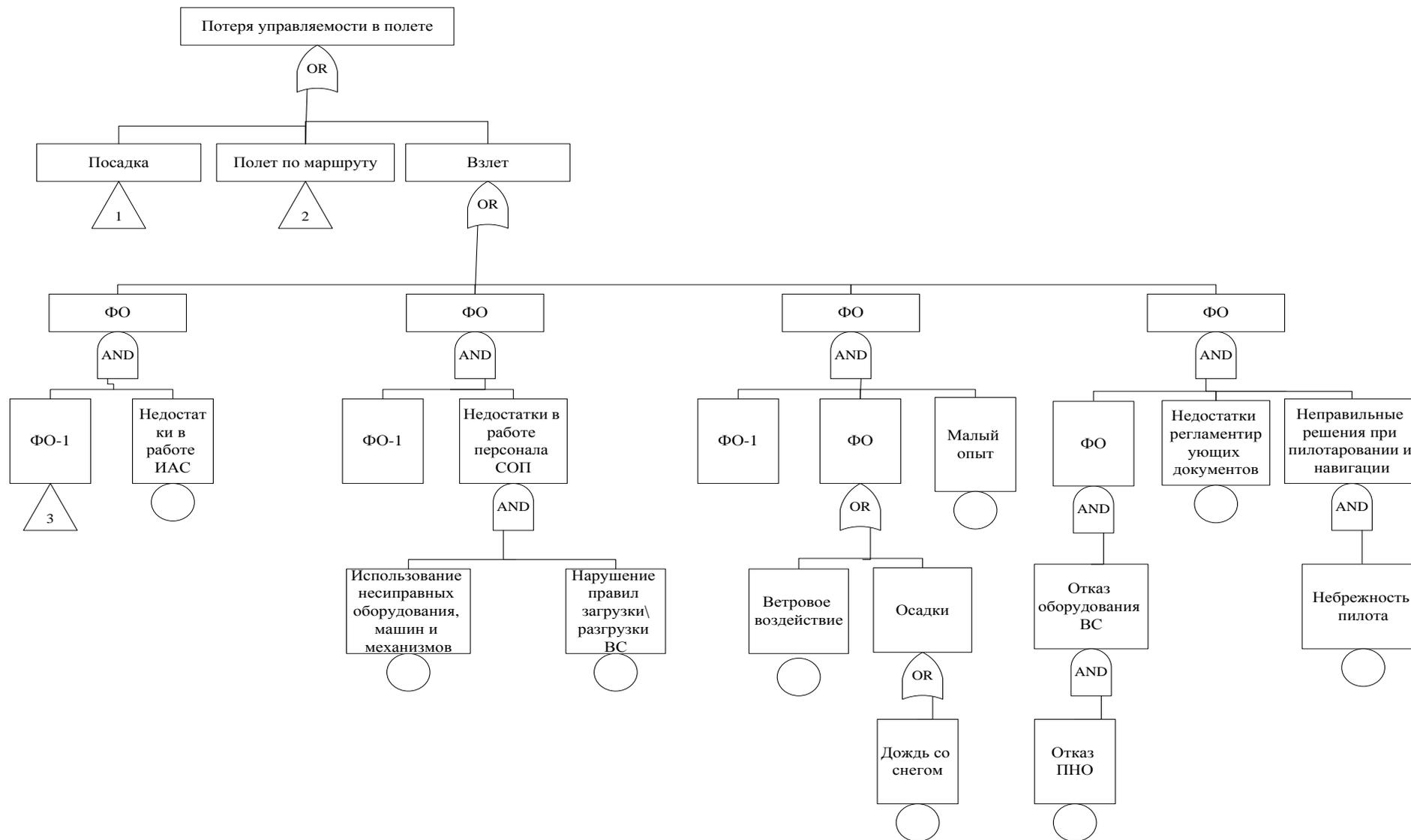


Рисунок Б.55 –Дерево событий «Потеря управляемости в воздухе»

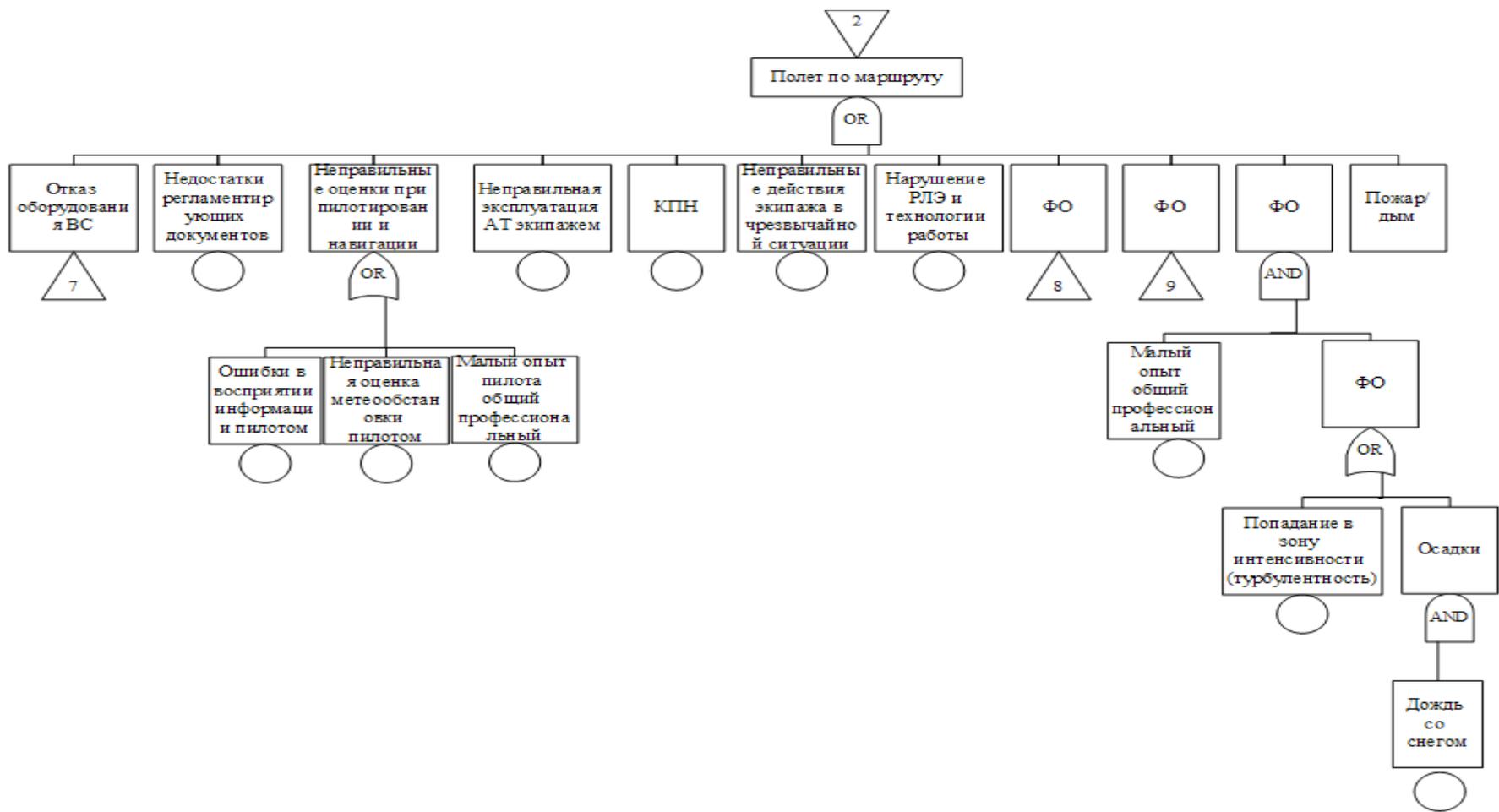


Рисунок Б.56 –Продолжение дерева событий «Потеря управляемости в воздухе»

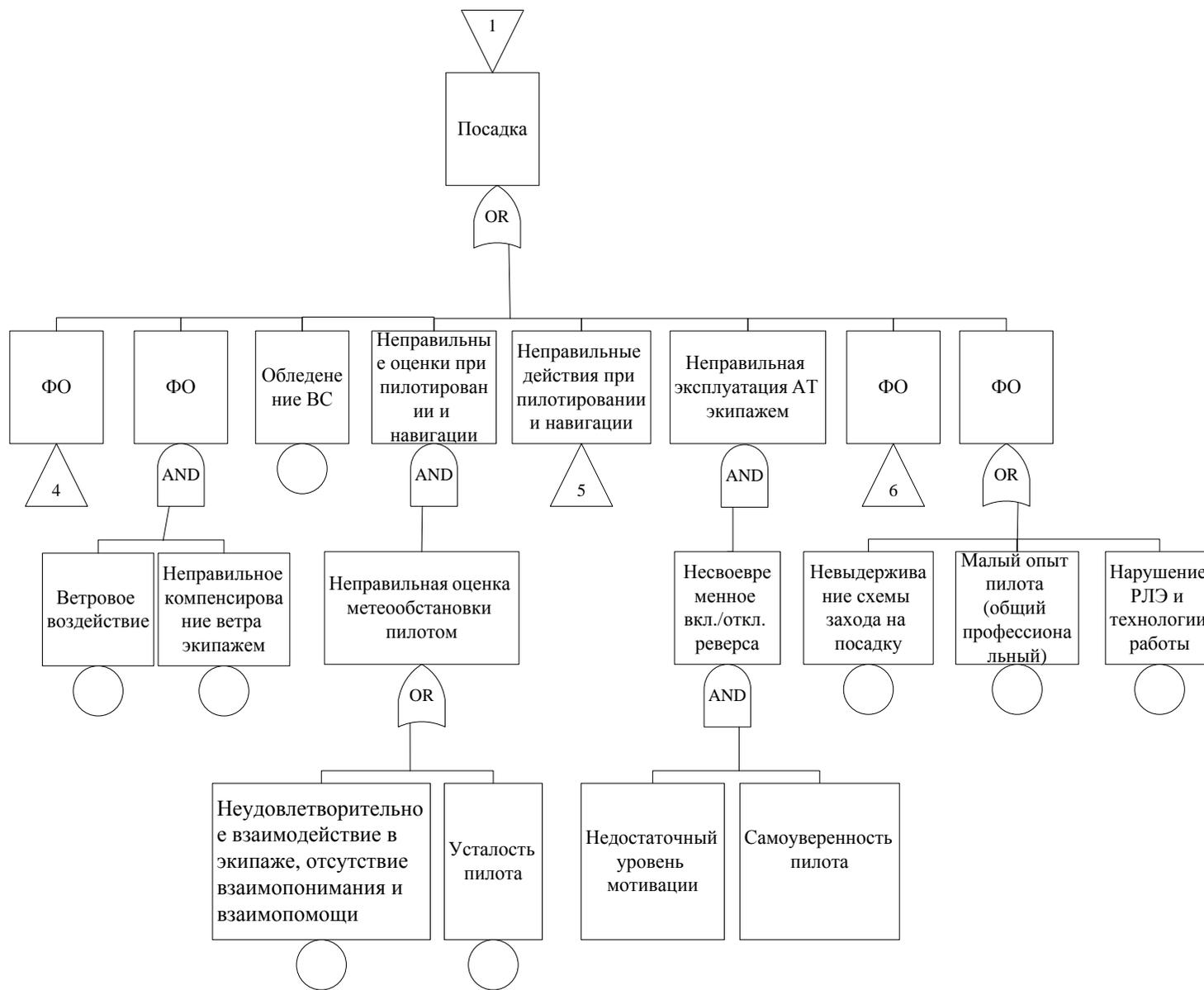


Рисунок Б.57 – Продолжение дерева событий «Потеря управляемости в воздухе»

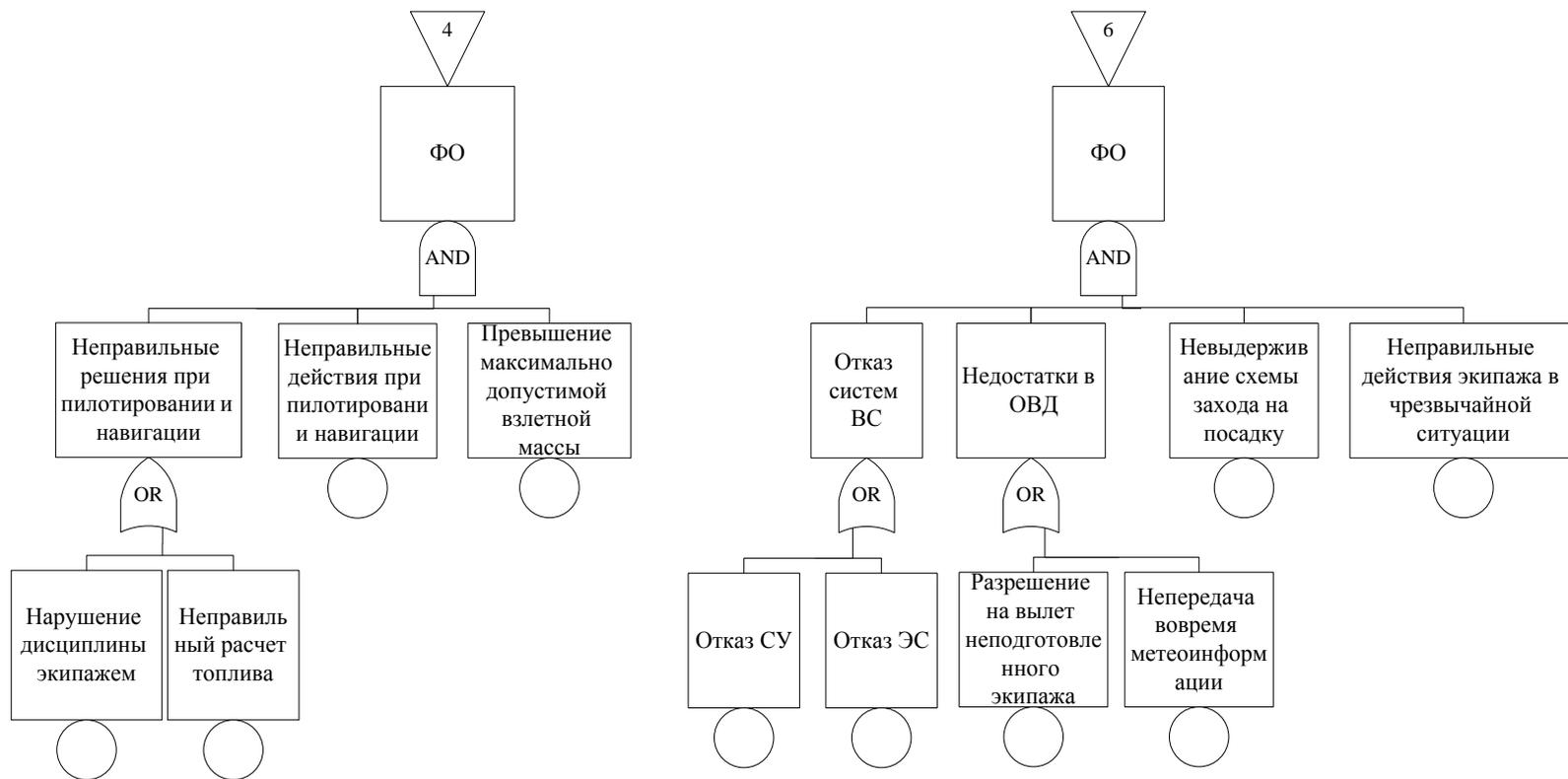


Рисунок Б.58 – Продолжение дерева событий «Потеря управляемости в воздухе»

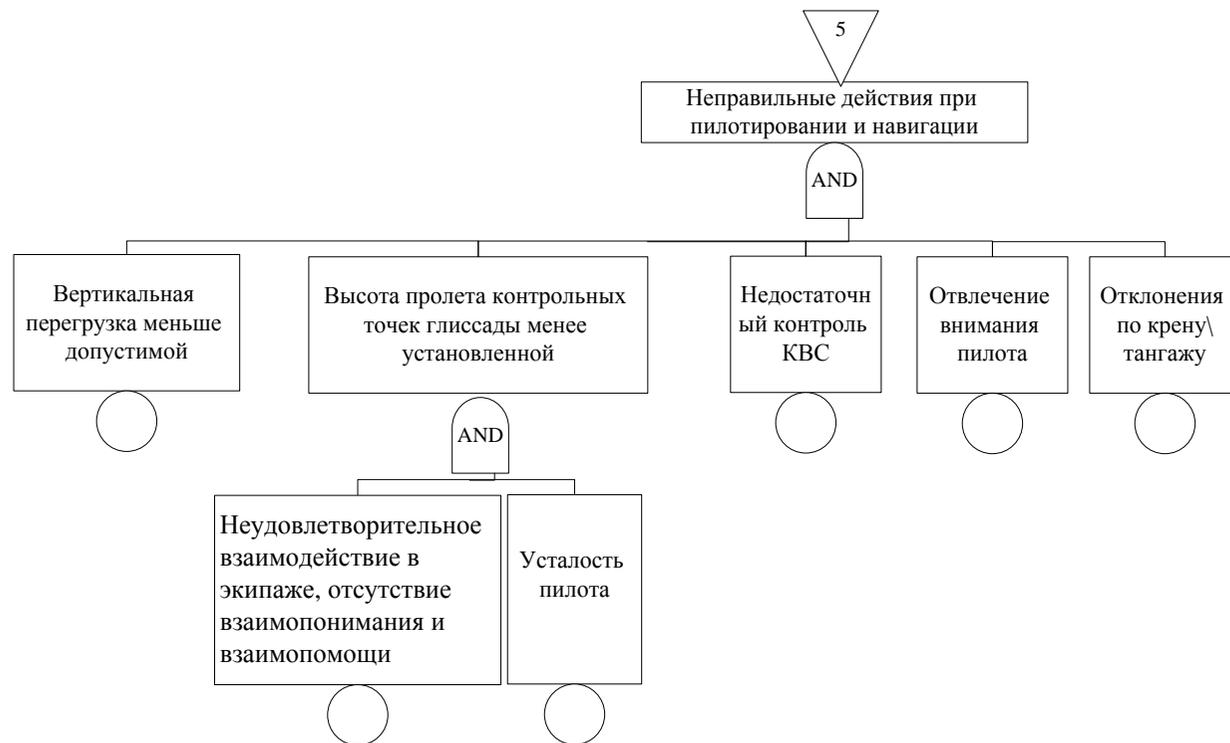


Рисунок Б.59 – Продолжение дерева событий «Потеря управляемости в воздухе»

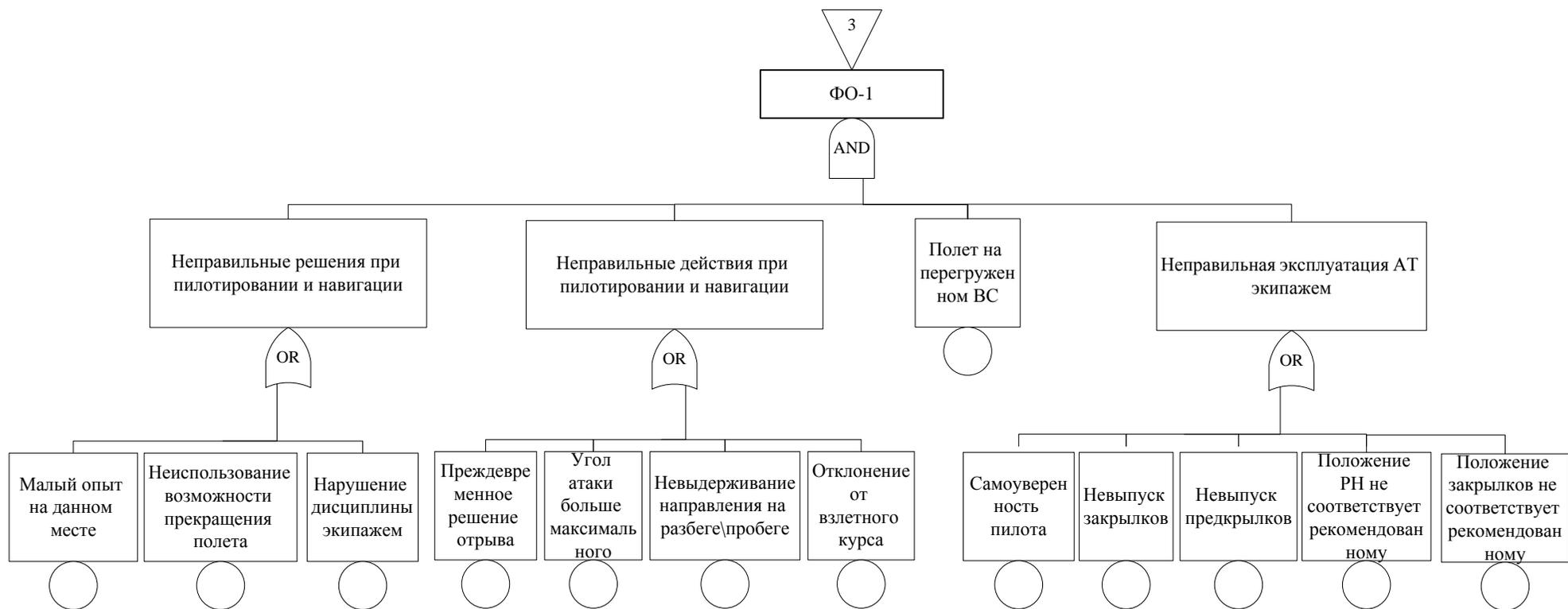


Рисунок Б.60 – Продолжение дерева событий «Потеря управляемости в воздухе»

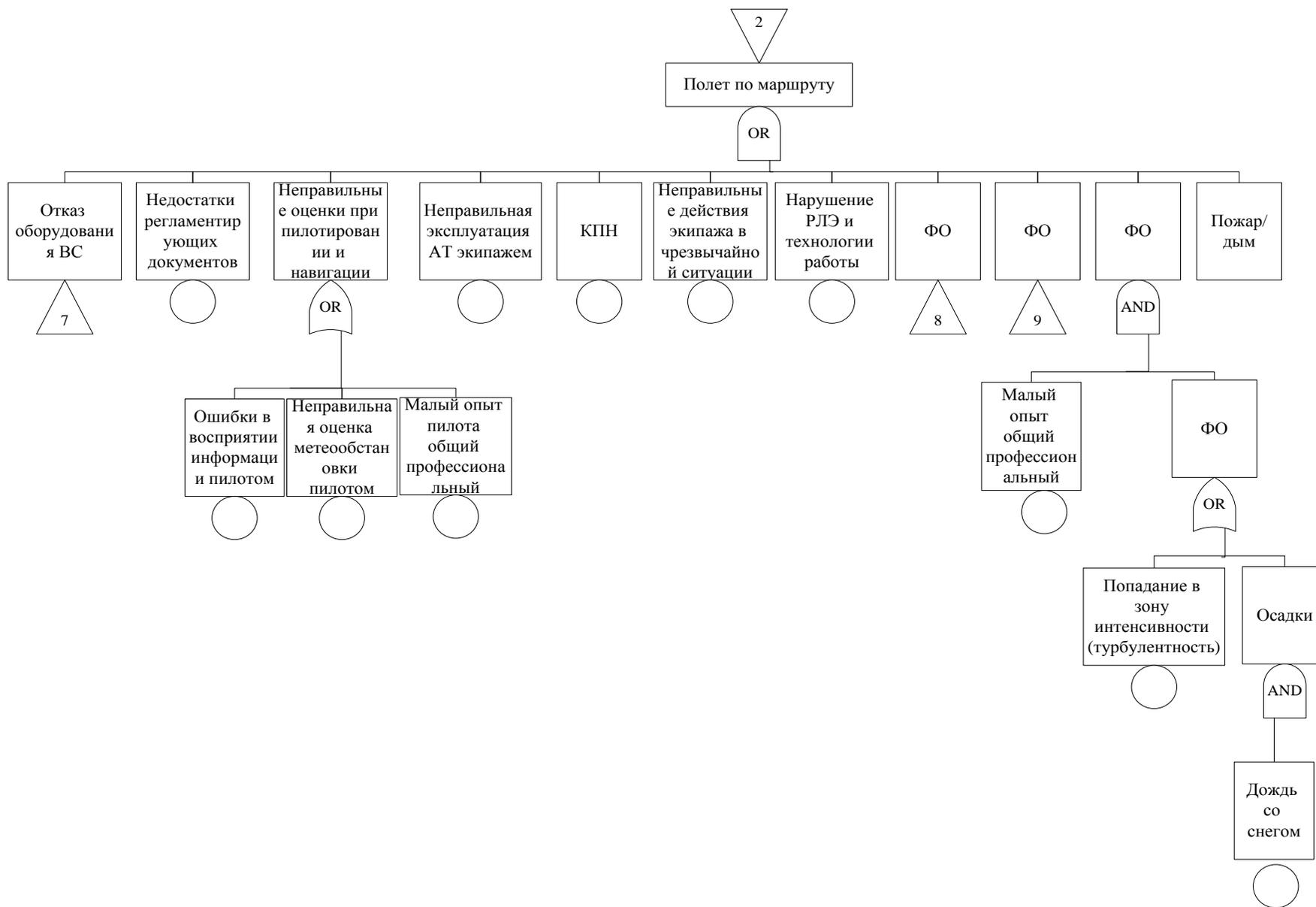


Рисунок Б.67 – Продолжение дерева событий «Потеря управляемости в воздухе»

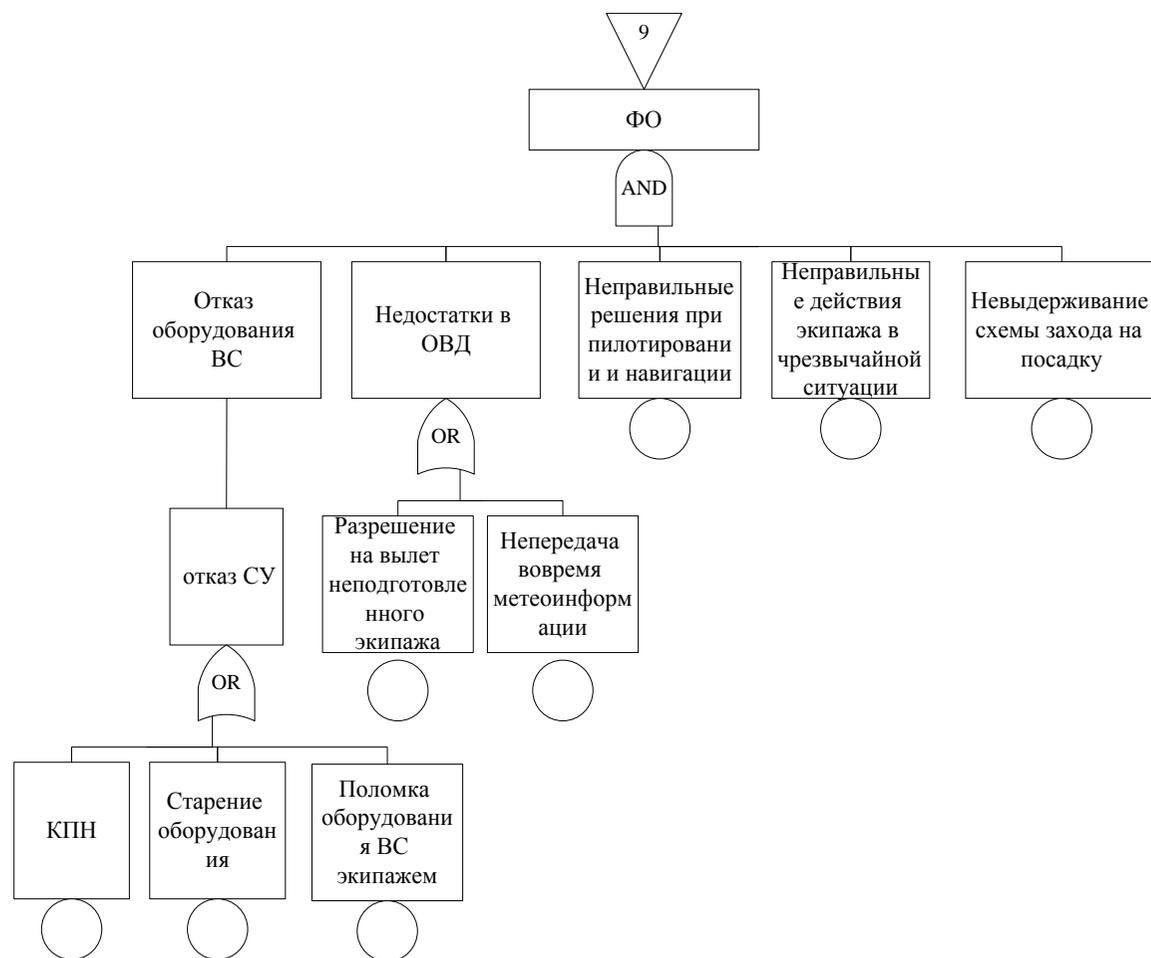
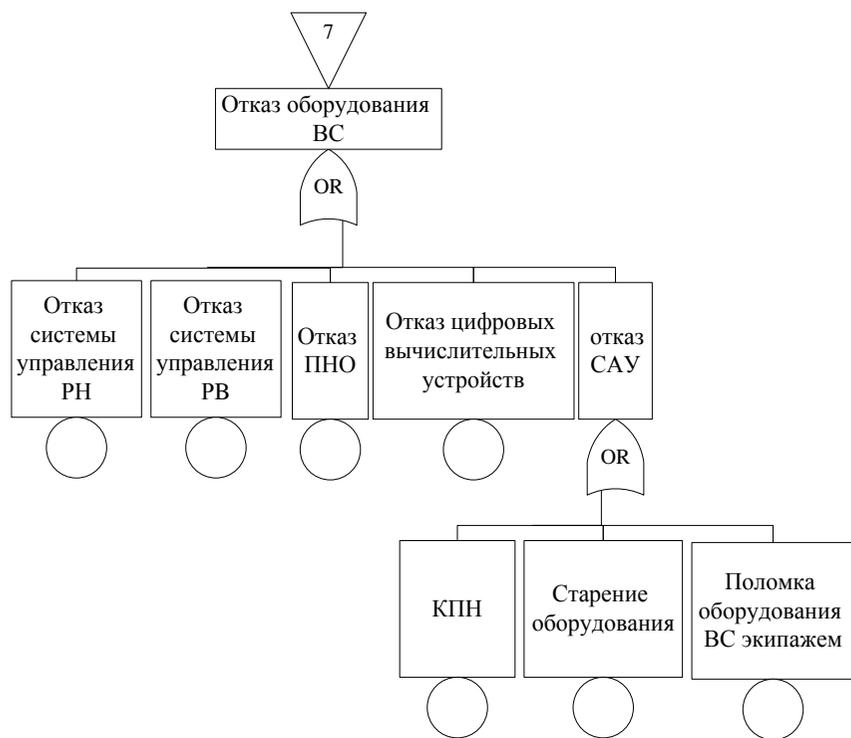


Рисунок Б.62 – Продолжение дерева событий «Потеря управляемости в воздухе»

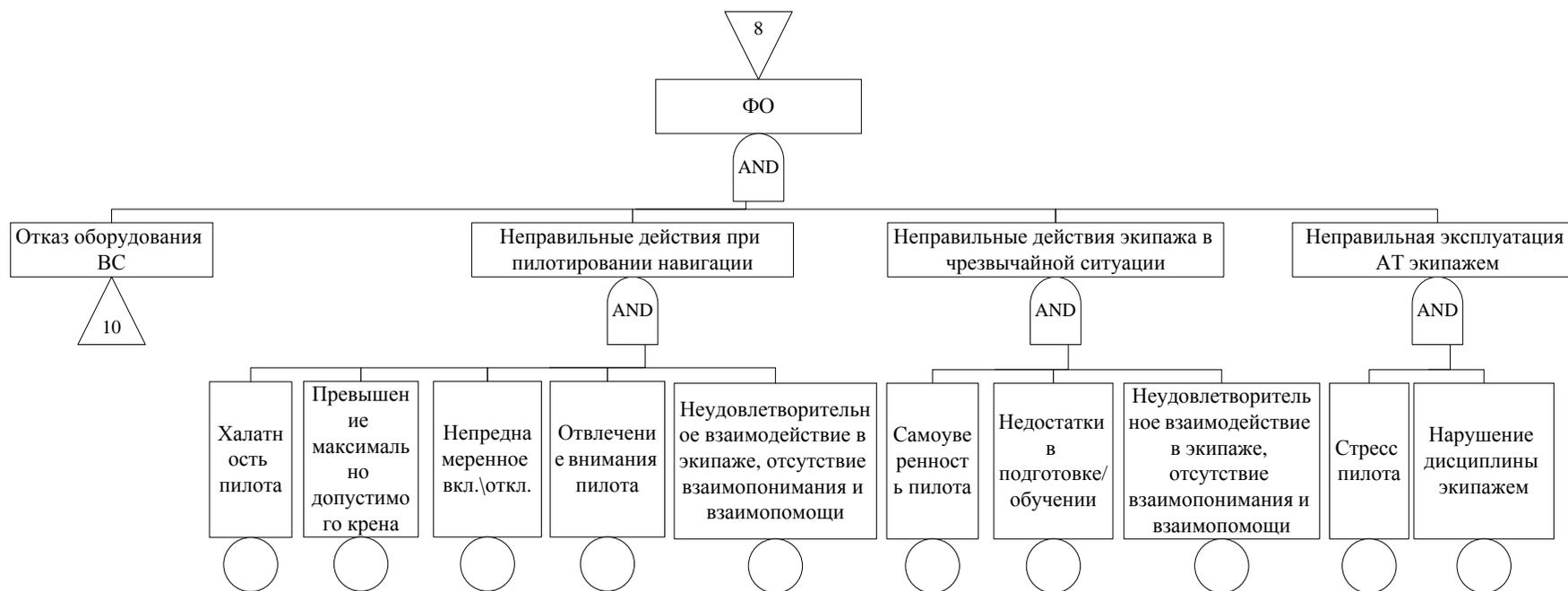


Рисунок Б.62 – Продолжение дерева событий «Потеря управляемости в воздухе»

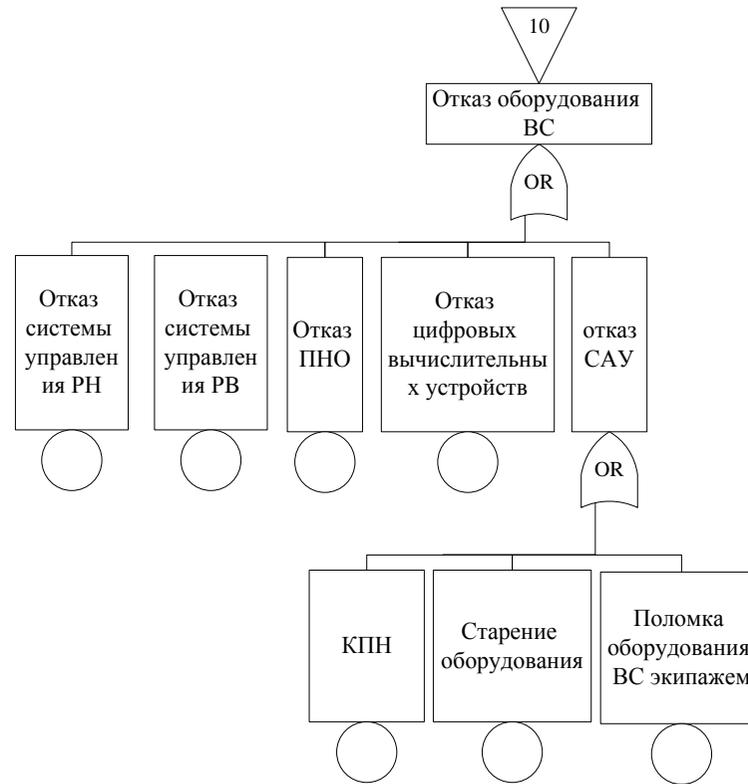


Рисунок Б.63 – Продолжение дерева событий «Потеря управляемости в воздухе»



Рисунок Б.64 – Дерево событий «Происшествия, связанные с авиационной безопасностью (военно-политическая или террористическая чрезвычайная ситуация)»

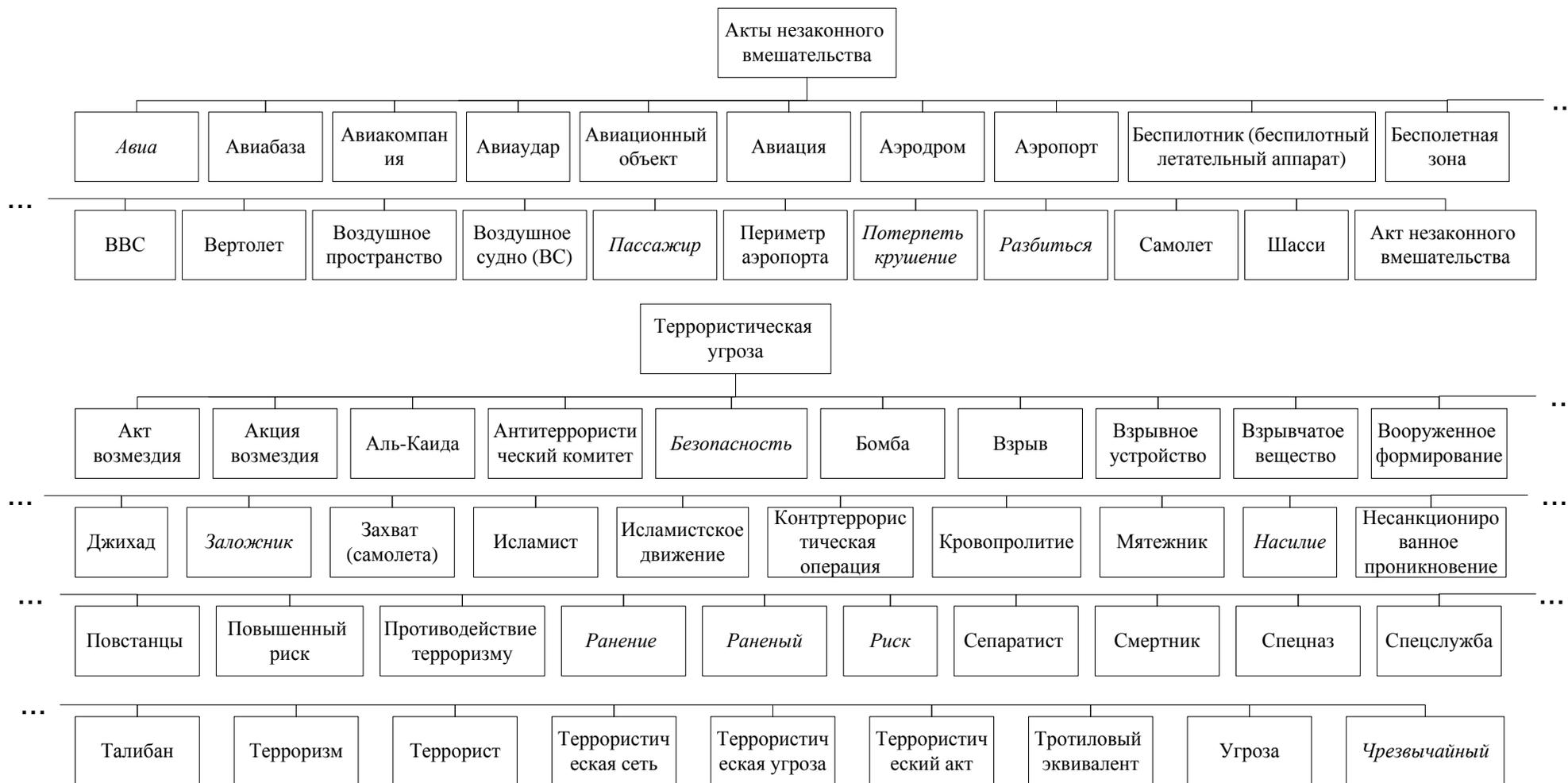


Рисунок Б.65 – Продолжение дерева событий «Происшествия, связанные с авиационной безопасностью (военно-политическая или террористическая чрезвычайная ситуация)»

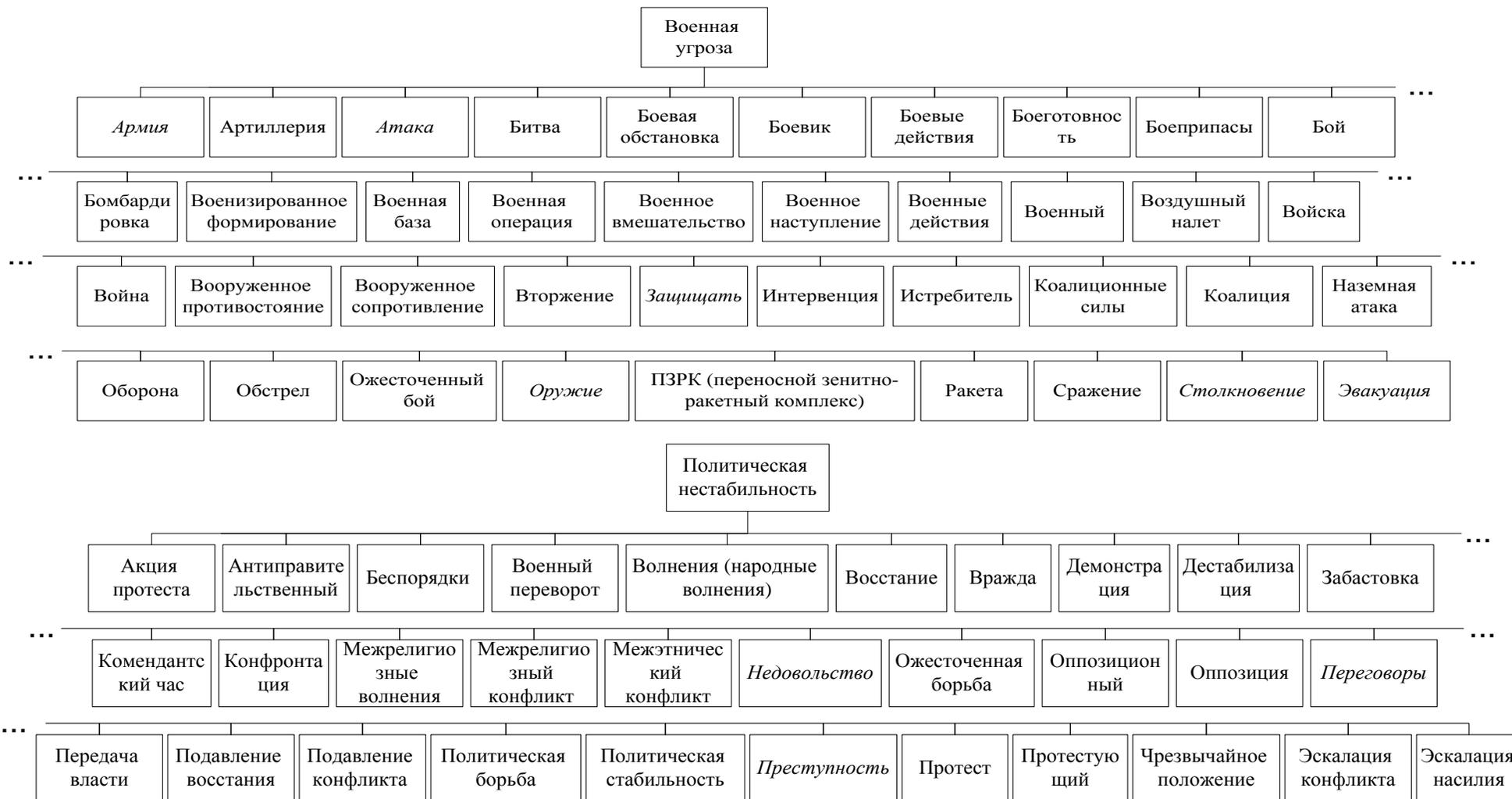


Рисунок Б.65 – Продолжение дерева событий «Происшествия, связанные с авиационной безопасностью (военно-политическая или террористическая чрезвычайная ситуация)»

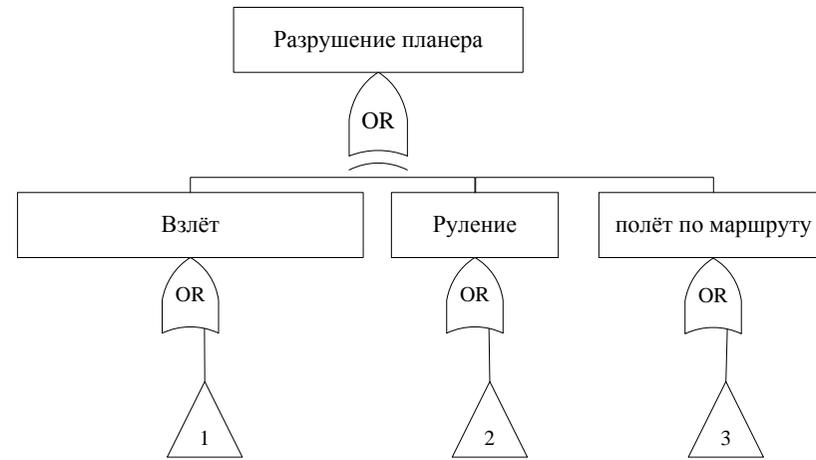


Рисунок Б.66 - Дерево событий «Разрушение планера»

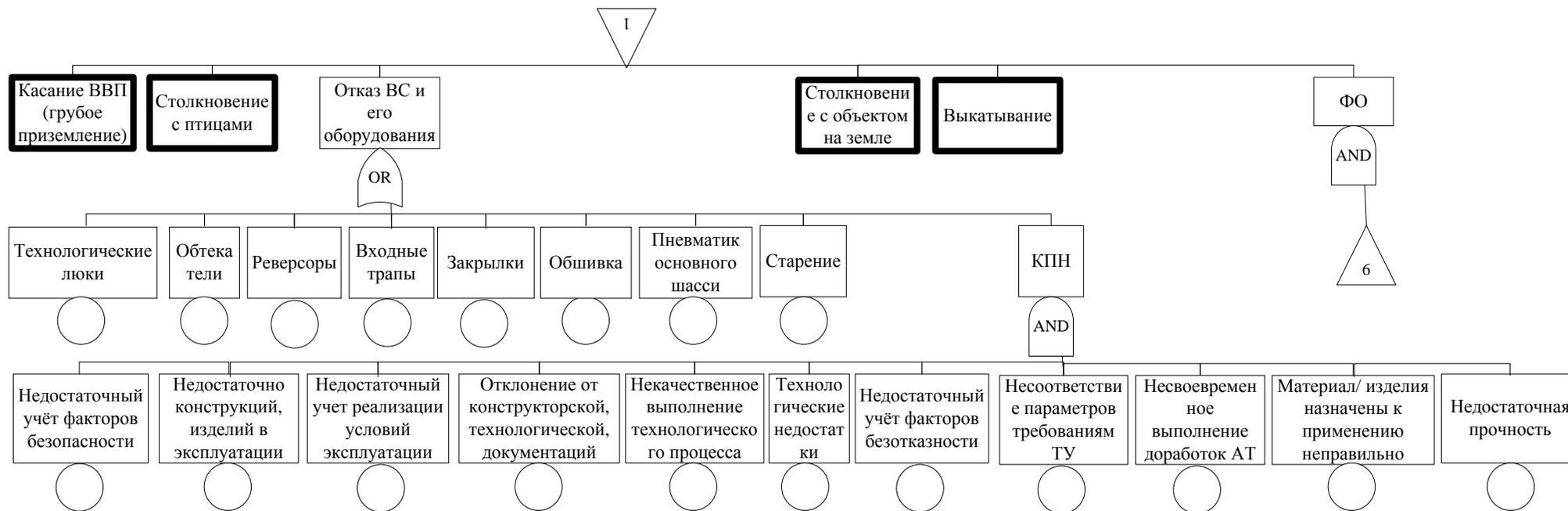


Рисунок Б.67 – Продолжение дерева событий «Разрушение планера»

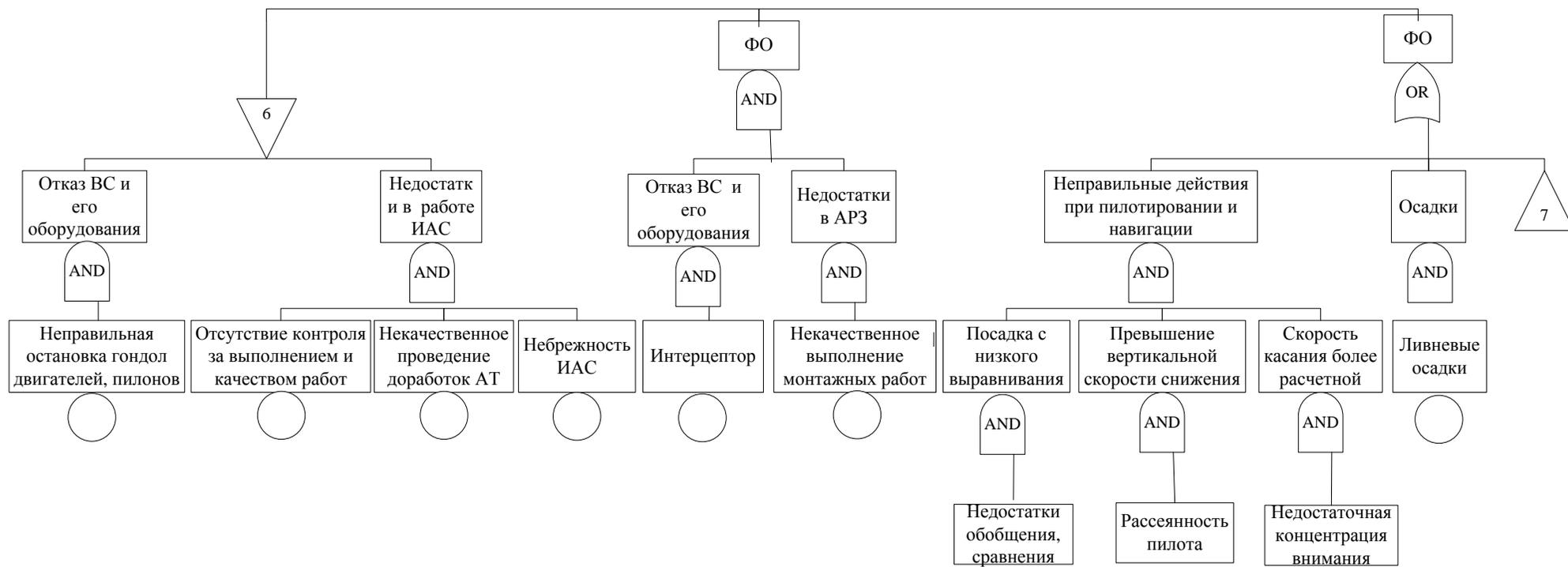


Рисунок Б.68 – Продолжение дерева событий «Разрушение планера»

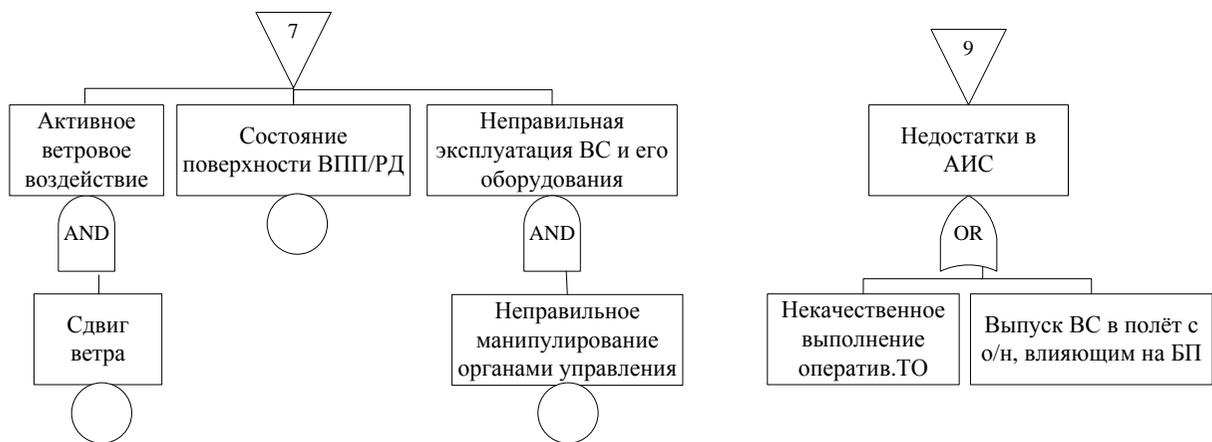


Рисунок Б.69 – Продолжение дерева событий «Разрушение планера»

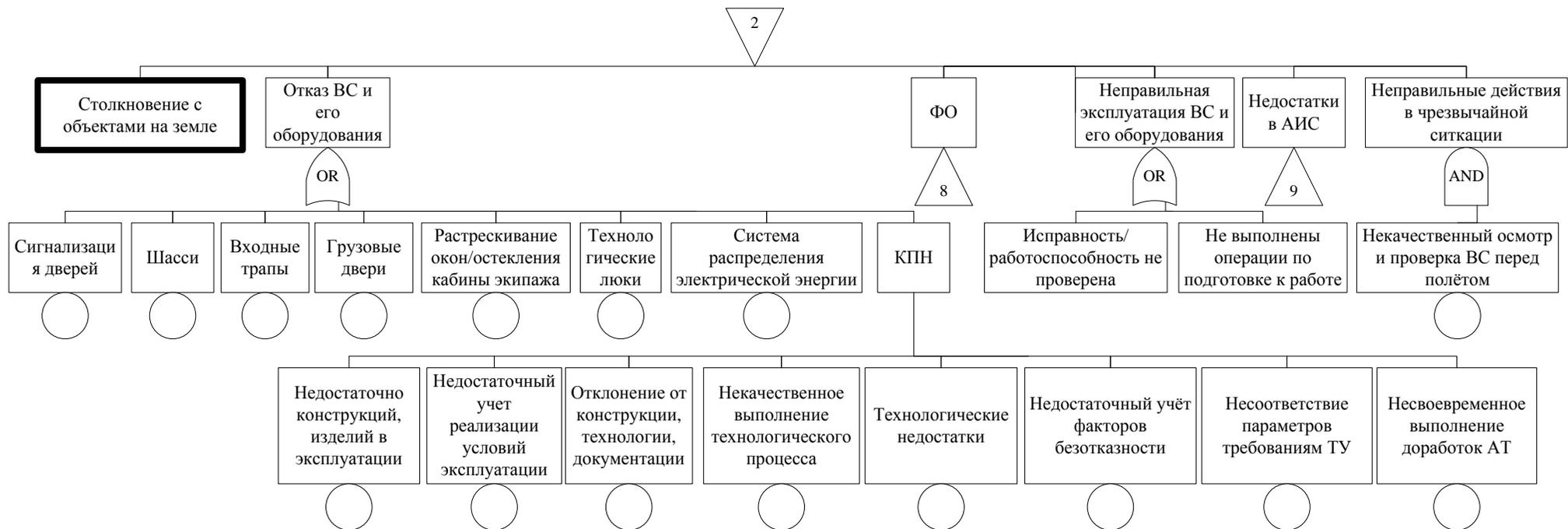


Рисунок Б.70 – Продолжение дерева событий «Разрушение планера»

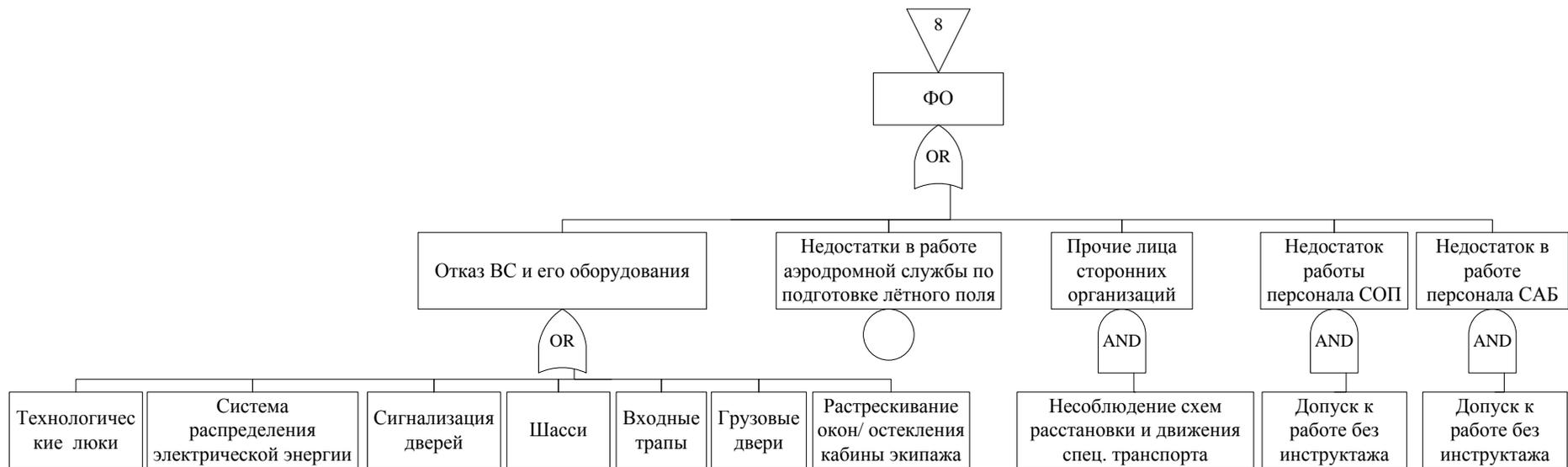


Рисунок Б.71 – Продолжение дерева событий «Разрушение планера»

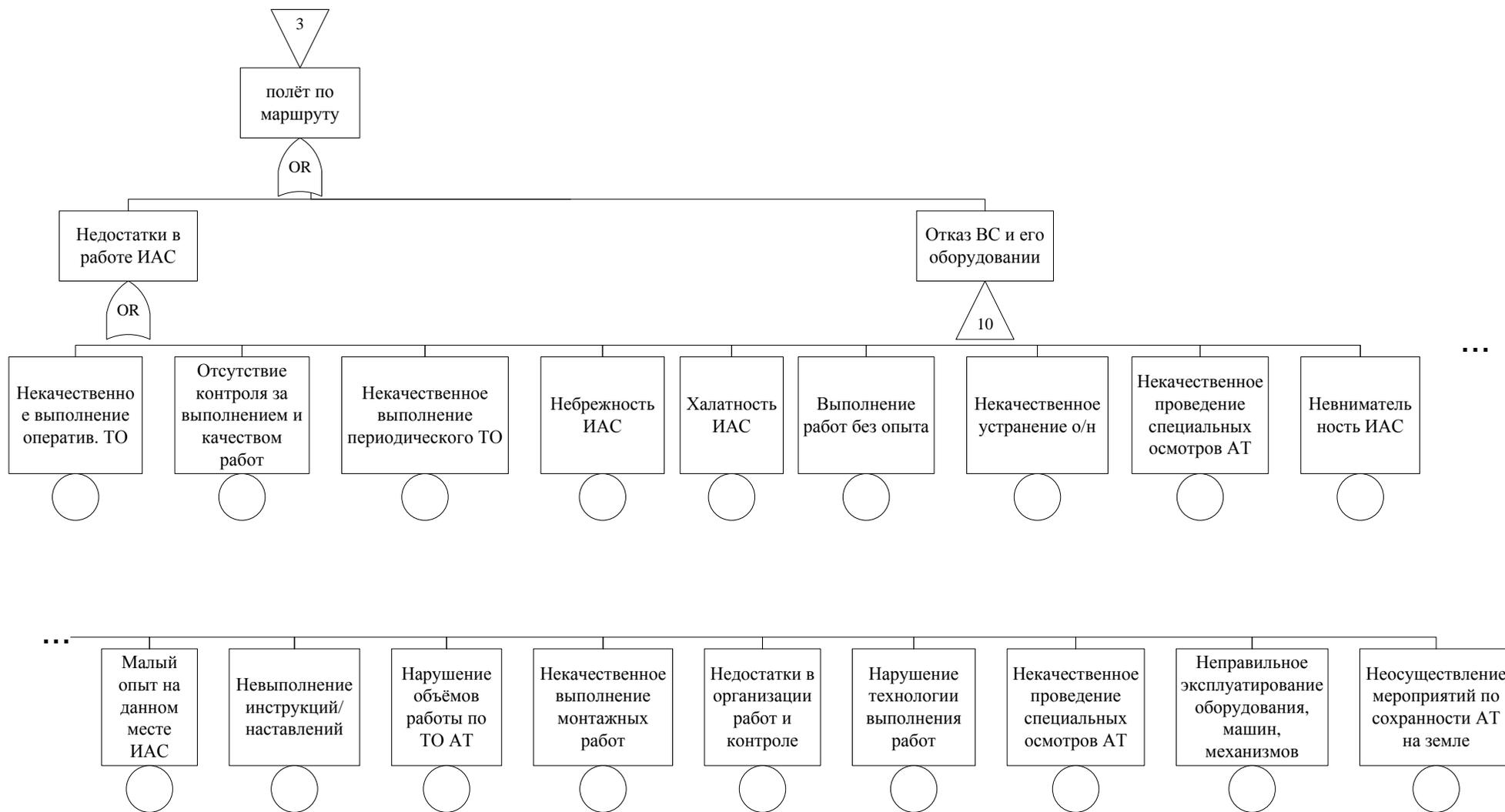


Рисунок Б.72 – Продолжение дерева событий «Разрушение планера»

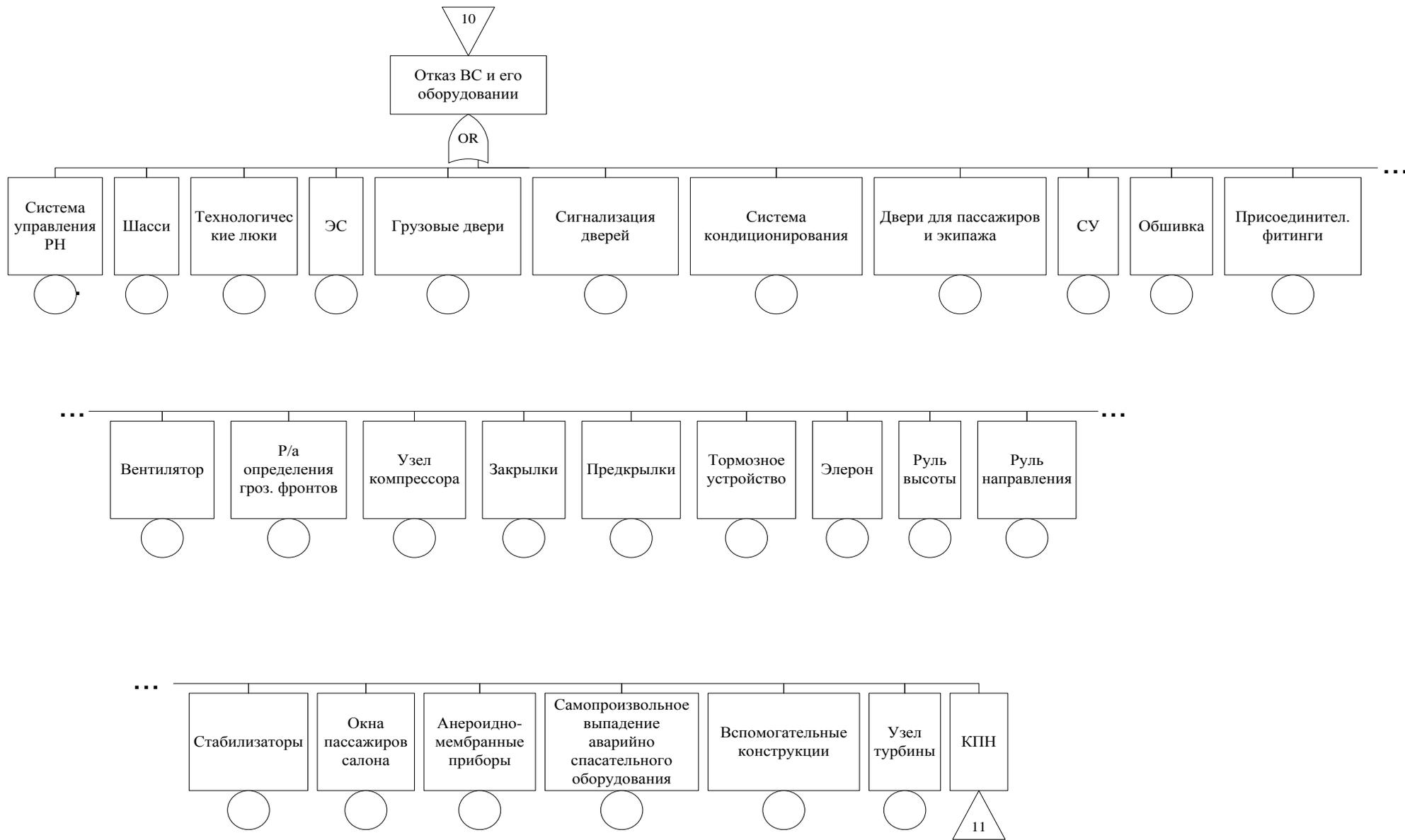


Рисунок Б.73 – Продолжение дерева событий «Разрушение планера»

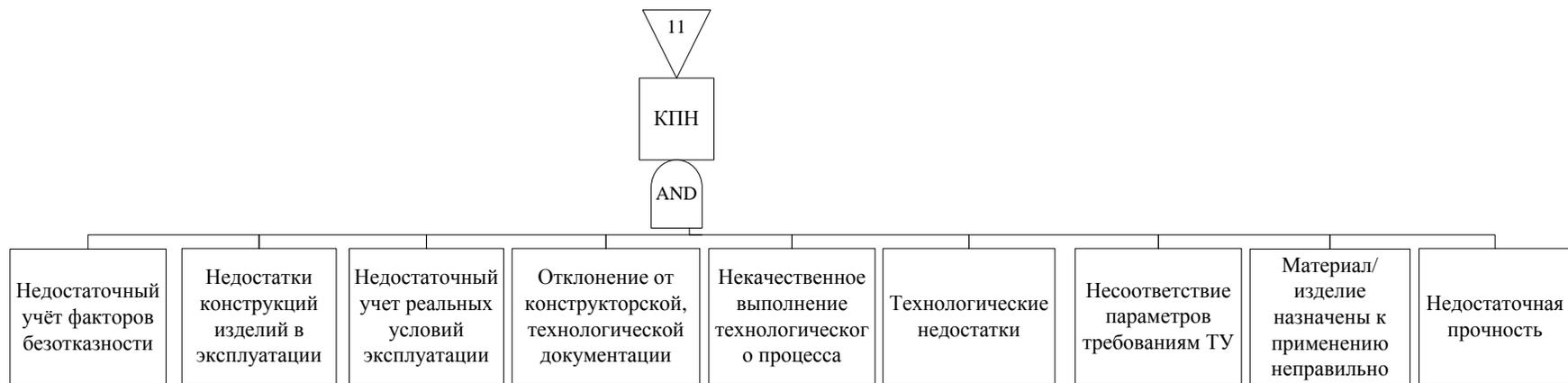


Рисунок Б.74 – Продолжение дерева событий «Разрушение планера»



Рисунок Б.75 – Дерево событий «Столкновение исправного ВС с землей»

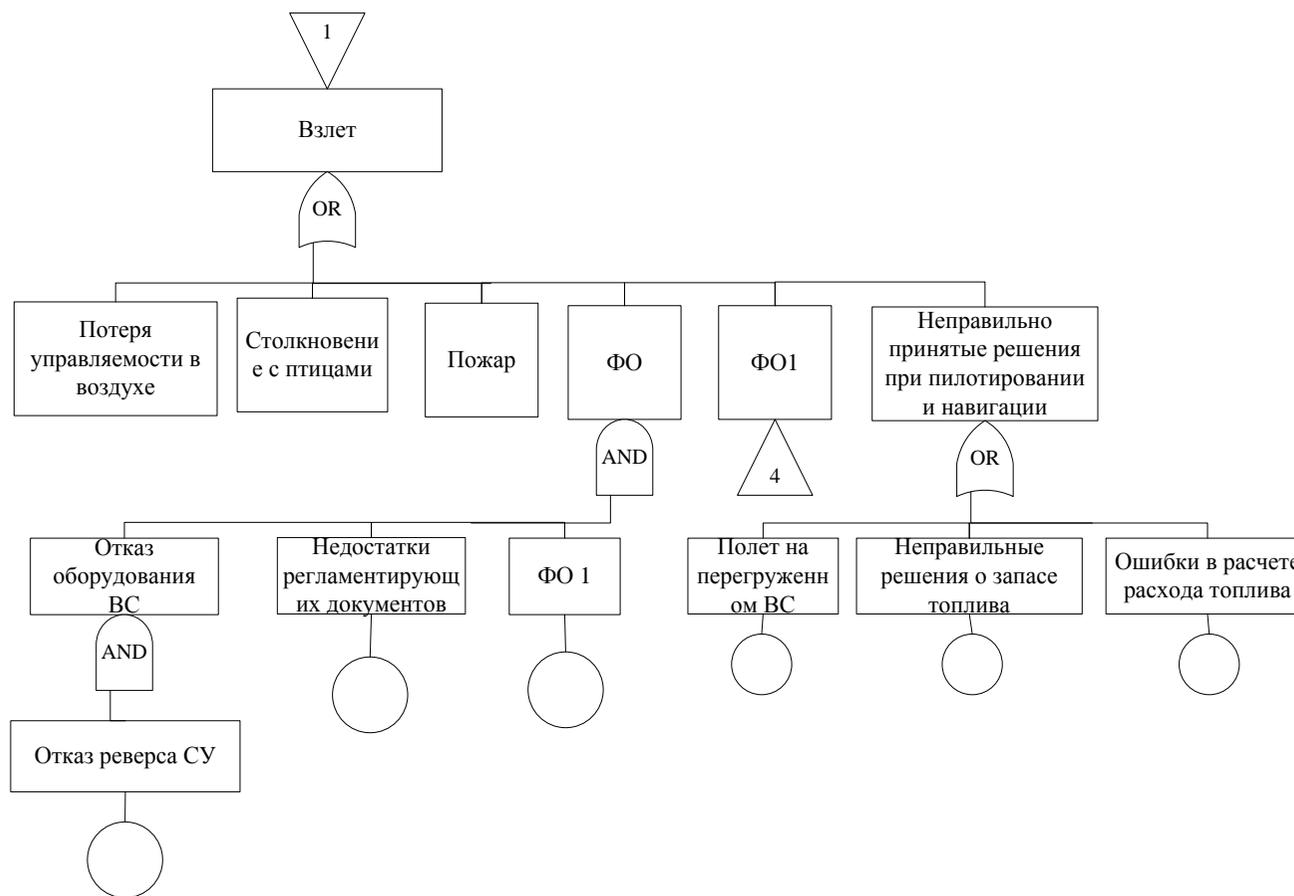


Рисунок Б.76 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

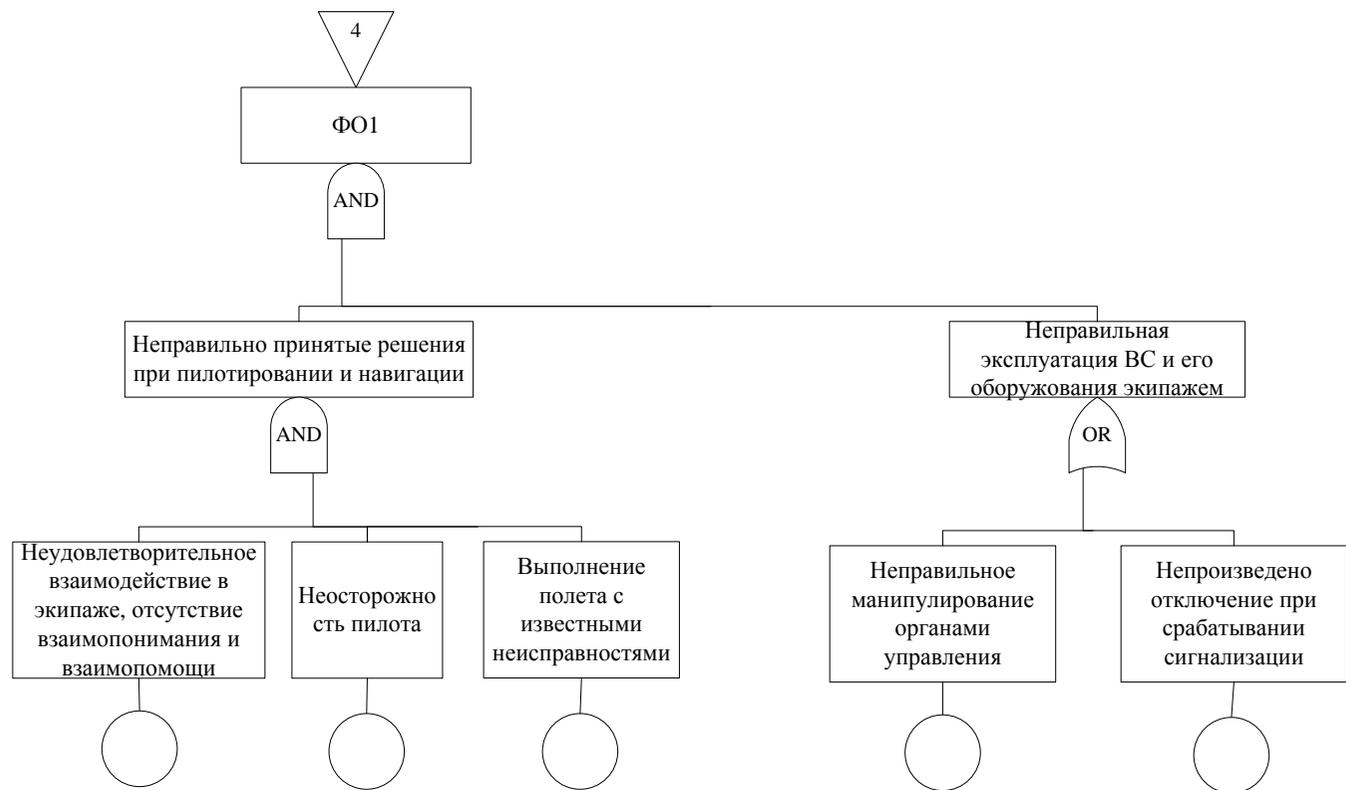


Рисунок Б.77 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

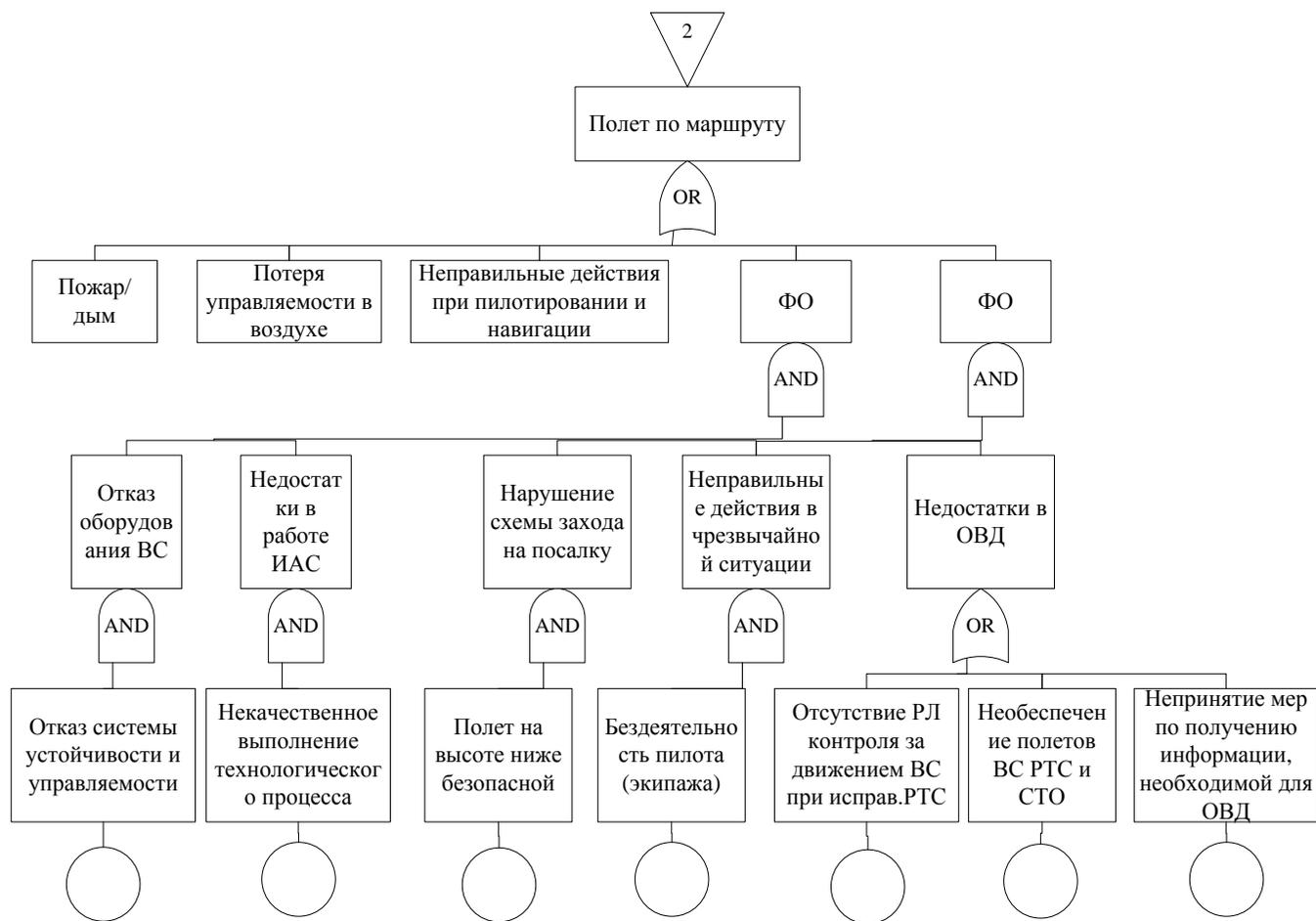


Рисунок Б.78 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

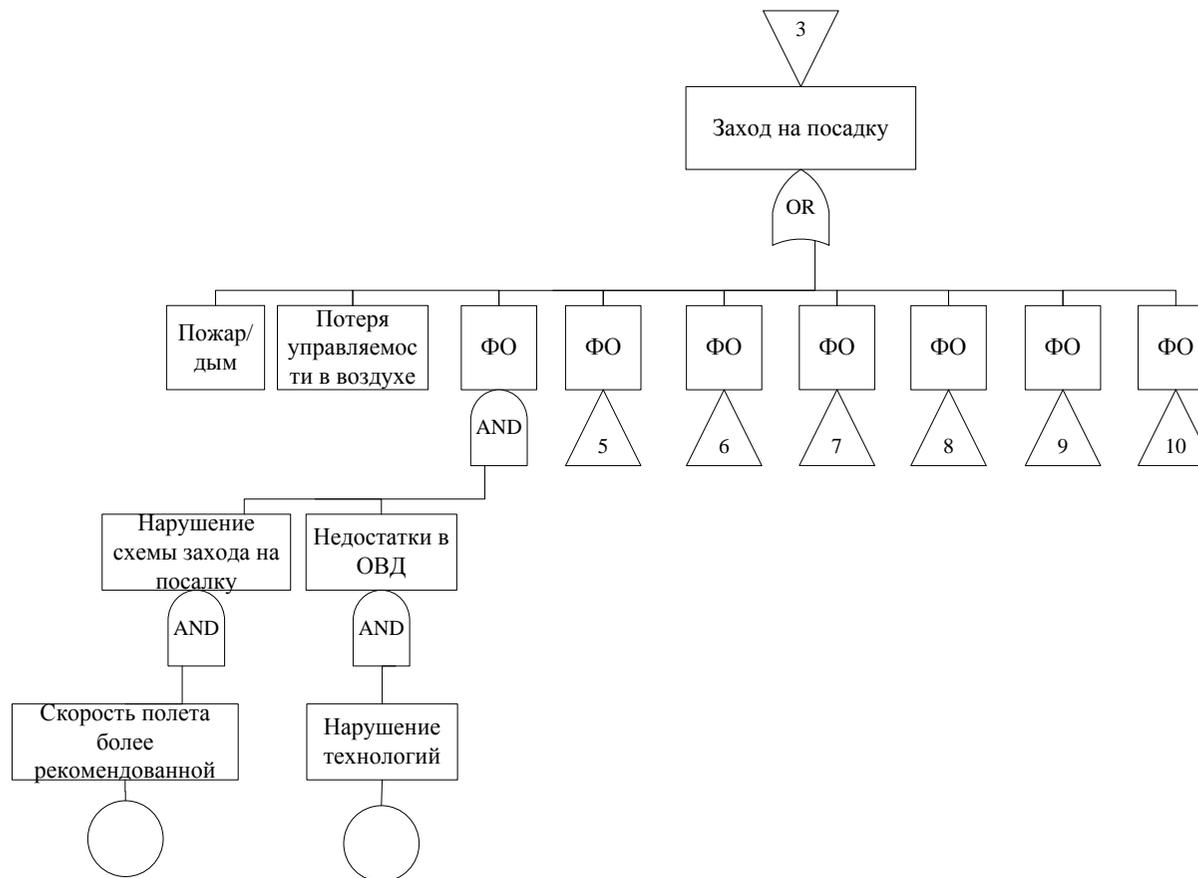


Рисунок Б.79 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

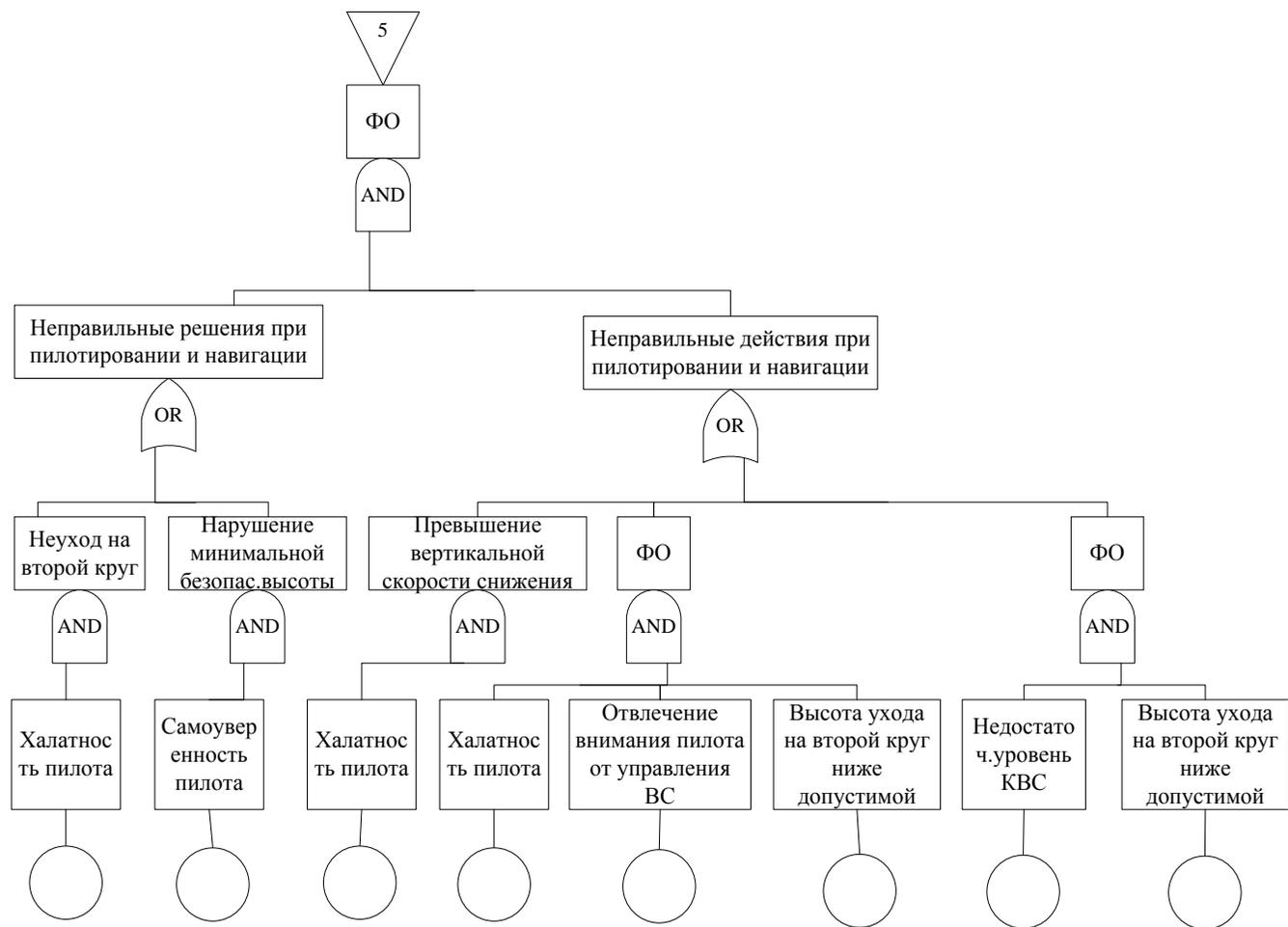


Рисунок Б.80 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

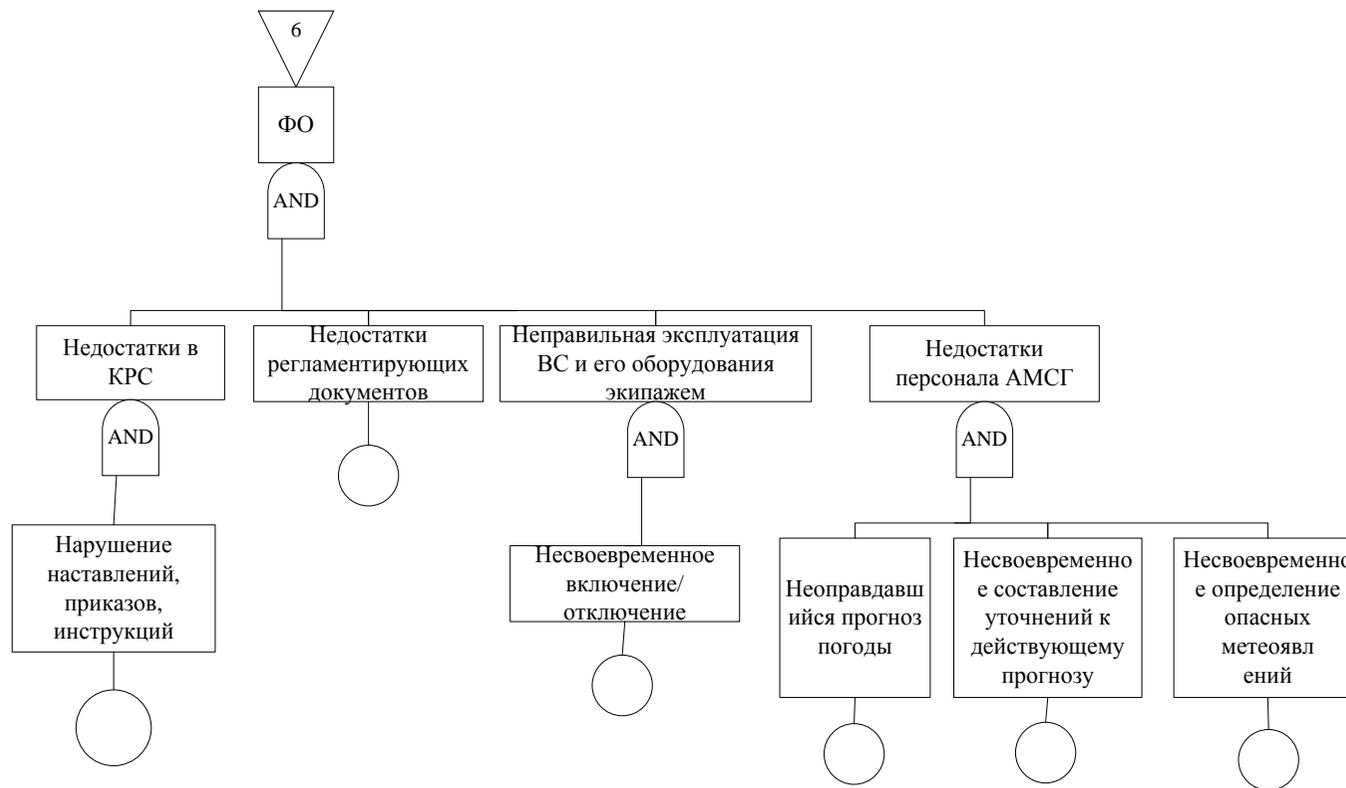


Рисунок Б.81 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

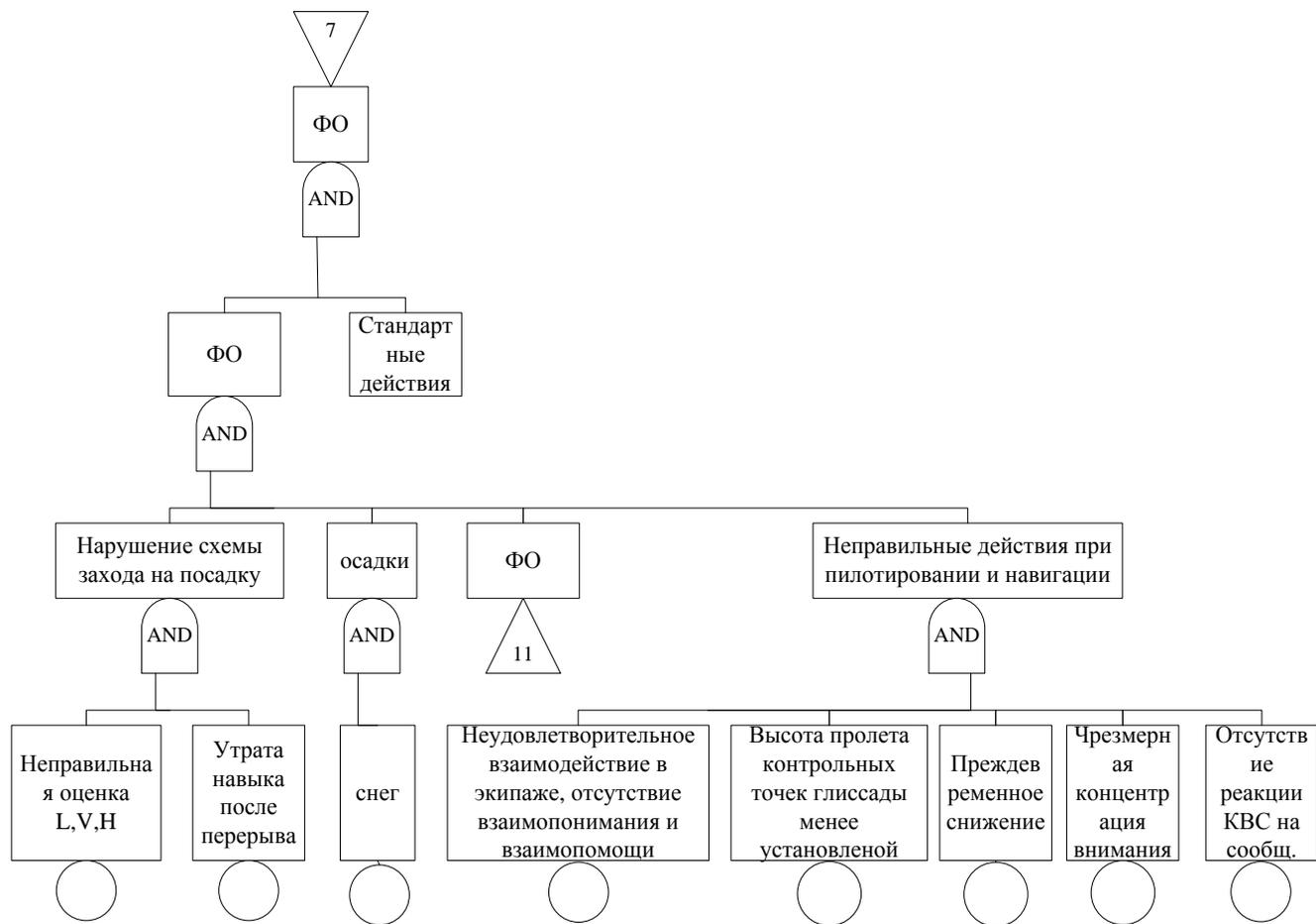


Рисунок Б.82 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

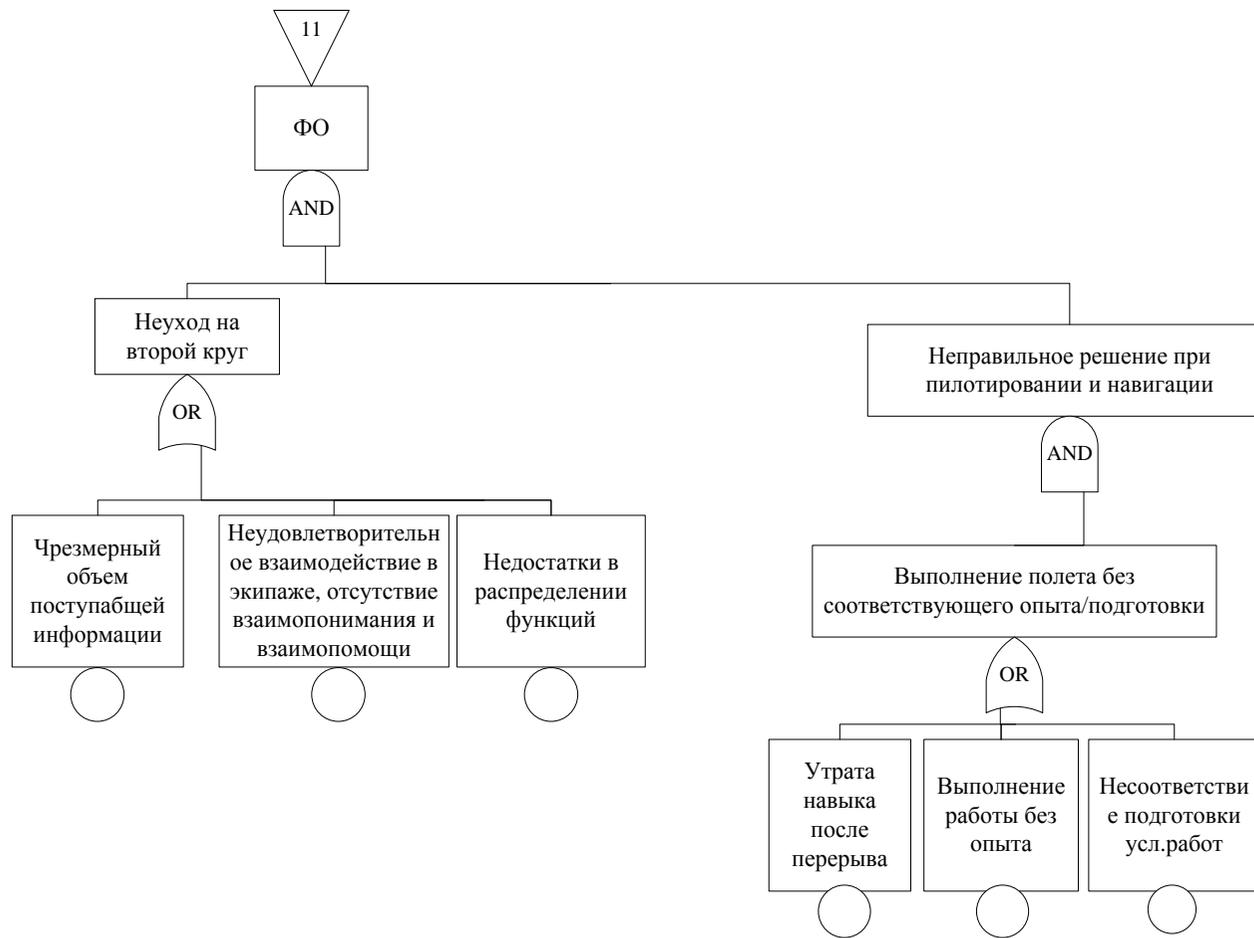


Рисунок Б.83 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

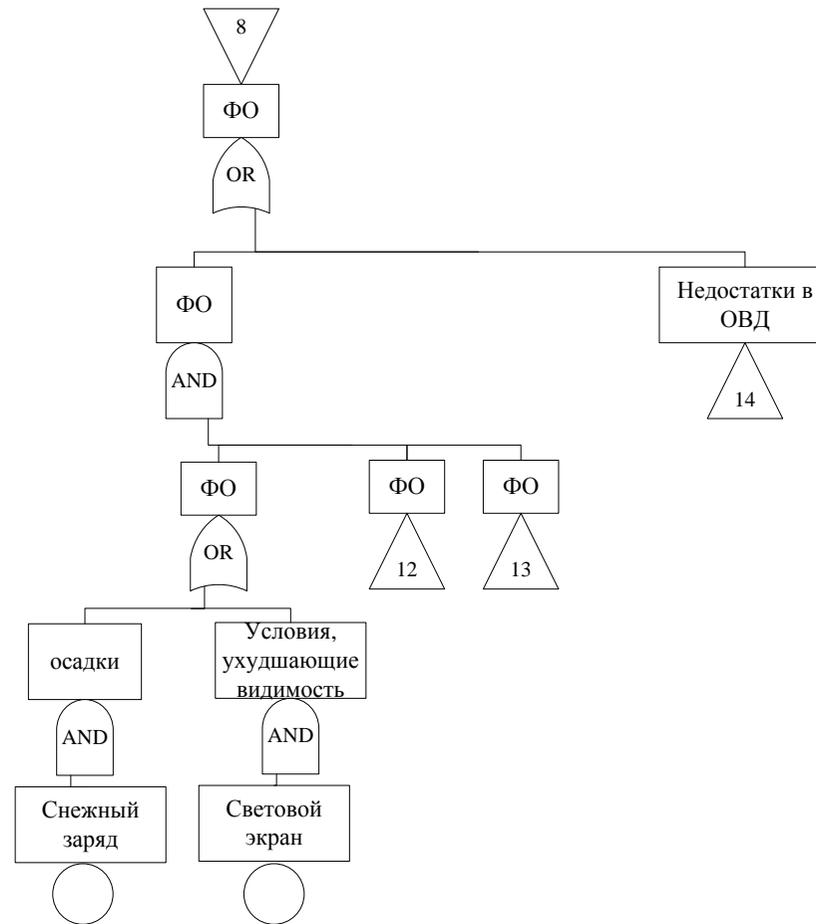


Рисунок Б.84 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

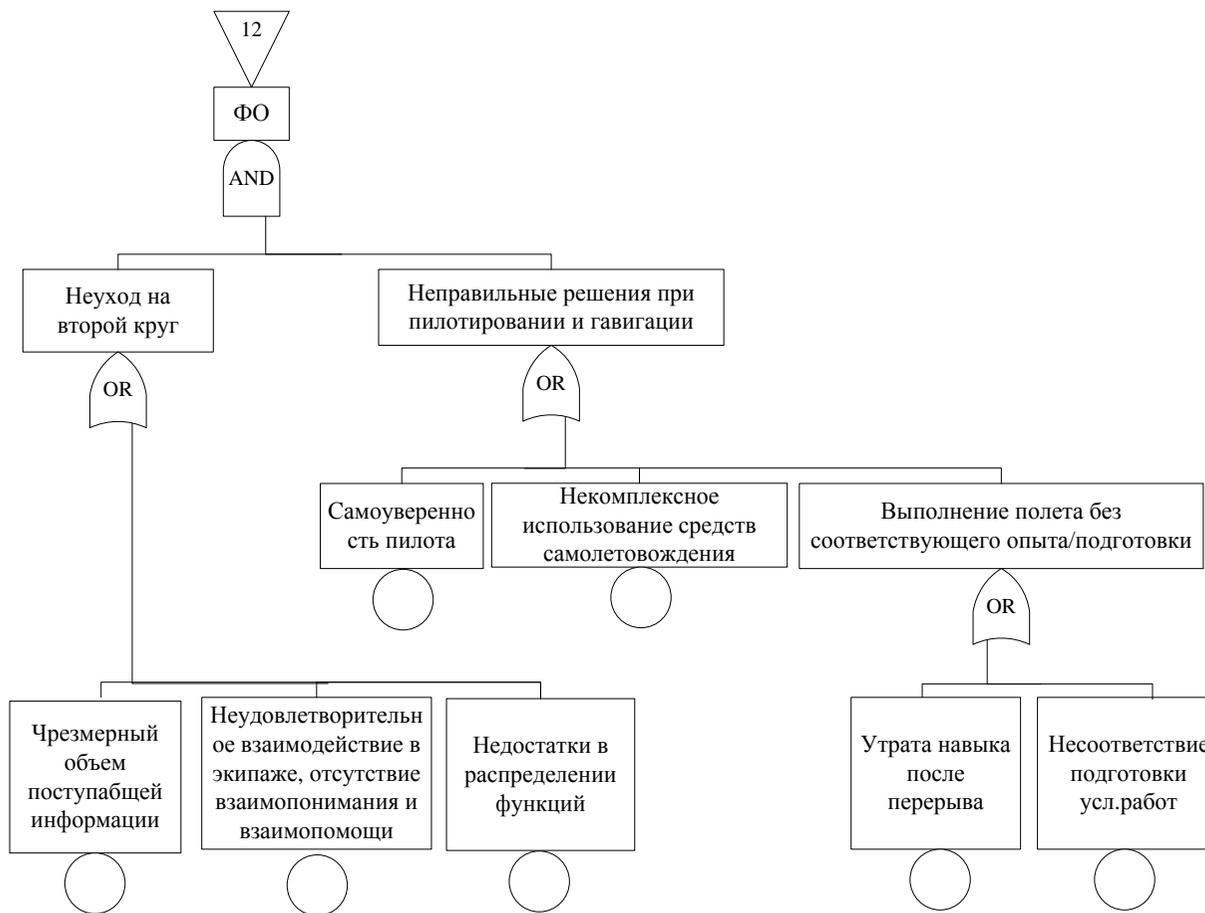


Рисунок Б.85 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

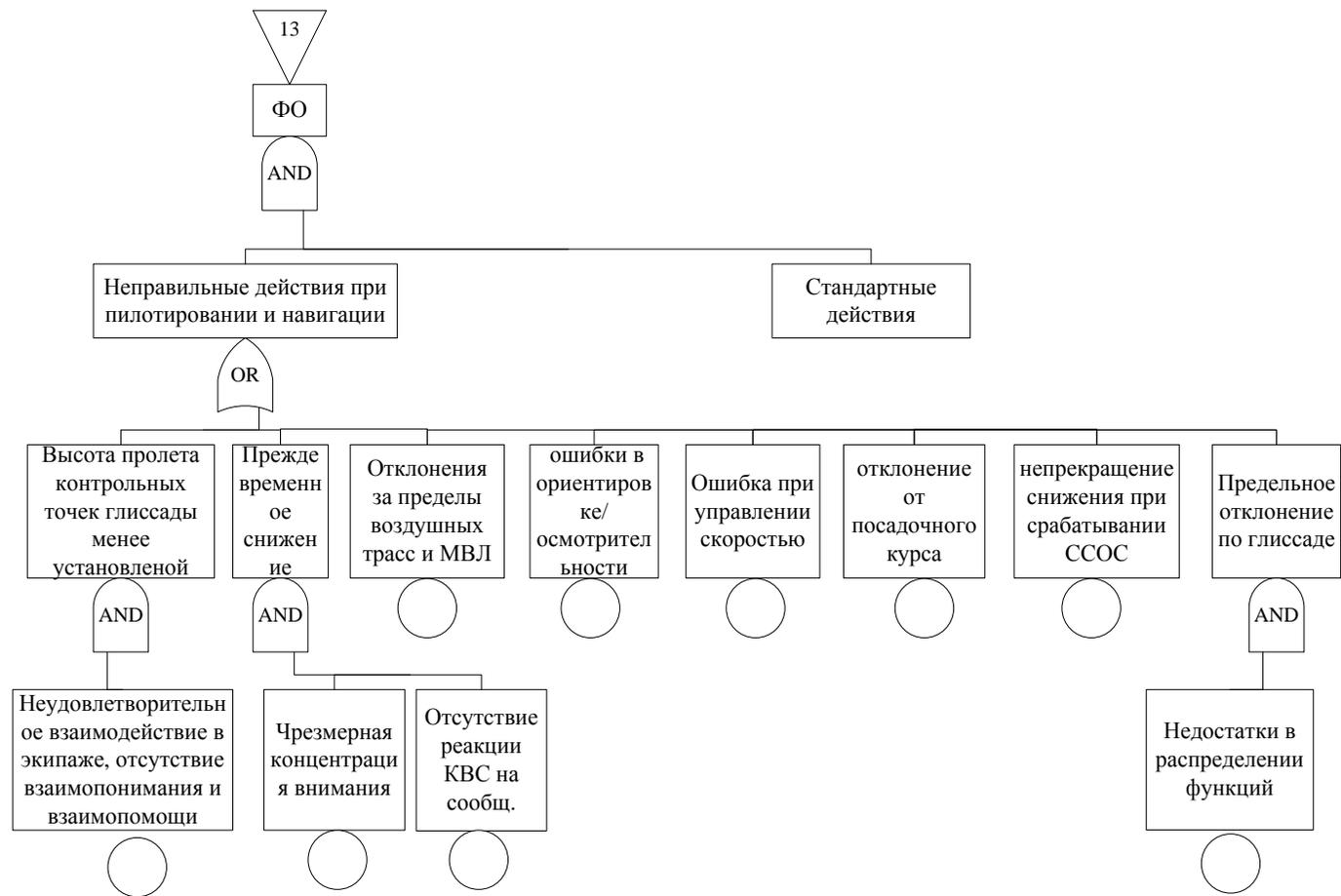


Рисунок Б.86 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

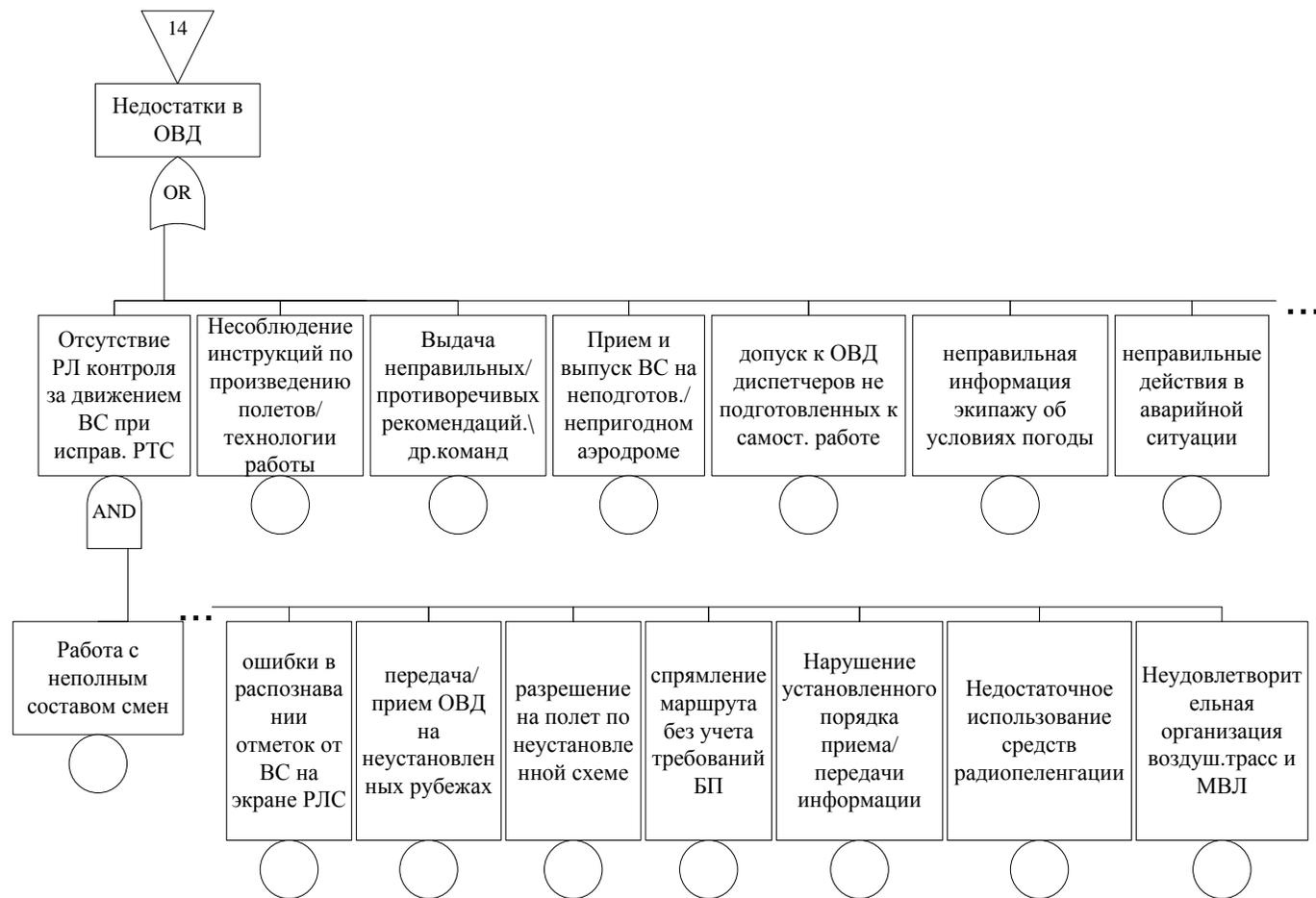


Рисунок Б.87 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

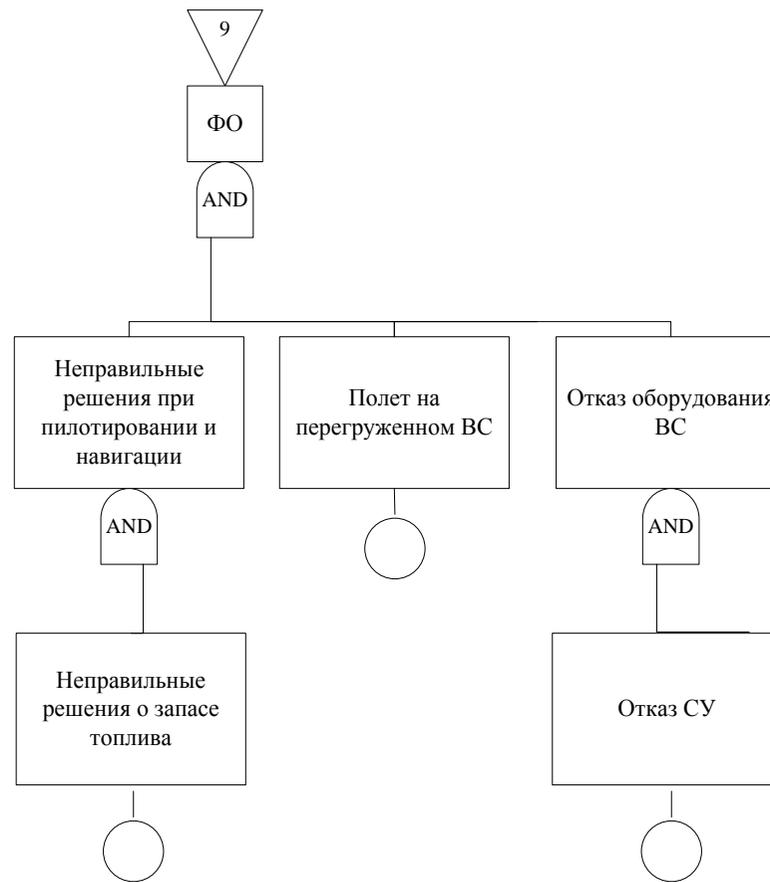


Рисунок Б.88 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

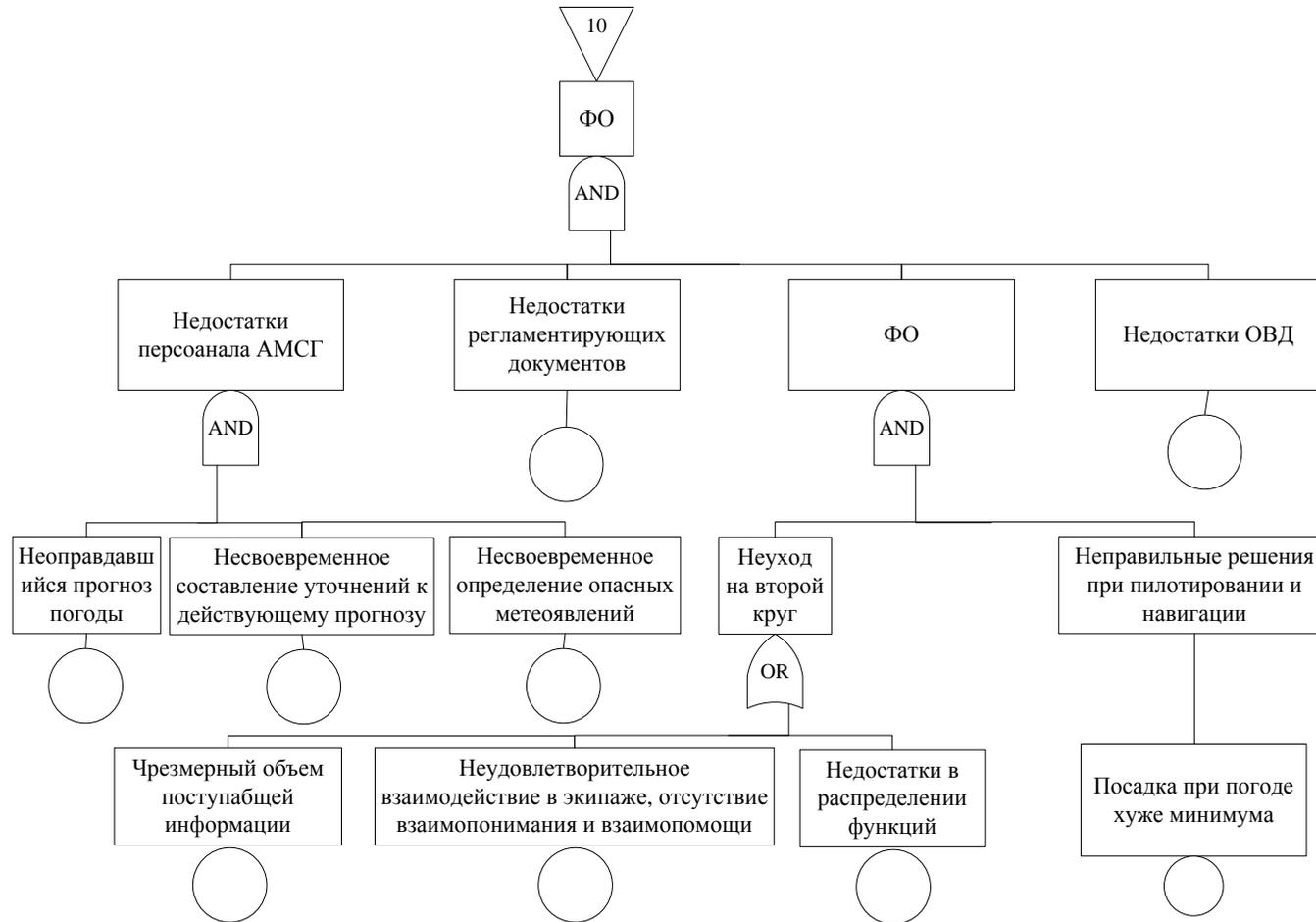


Рисунок Б.89 – Продолжение дерева событий «Столкновение исправного ВС с землей»

Приложение В Резервирование технических систем

Таблица В.1 – Резервирование технических систем

№	Система	Подсистема	Степень резервирования
21	СИСТЕМА КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ	211 - Наддув	2
		212 - Распределение	2
		213 - Система автоматического регулирования давления	2
22	ОБОРУДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ	221 - автопилот	3
		227 – система автоматического контроля (А821 УВС)	2
23	СВЯЗНОЕ РАДИООБОРУДОВАНИЕ	231 - КВ-радиостанция	2
		232 - УКВ-радиостанция	2
		234 - внутренняя связь	2
24	СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ		6
26	ПРОТИВОПОЖАРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	для двигателей	1
27	СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЕТОМ	271 - управление элеронами	4
		272 - управление рулем направления	4
		273 - управление рулем высоты	4

Продолжение таблицы В.1

№	Система	Подсистема	Степень резервирования
		275 - управление закрылками	2
		276 - управление интерцепторами	1
		278 - система управления предкрылками	2
28	ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА		2
29	ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА		6
30	ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА	301 - планера	1
		302 - воздухозаборников и капотов СУ	1
		303 - приемников давления	2
		304 - окон, лобовых стекол, фонаря	3
		308 - сигнализаторы обледенения	2
31	ПРИБОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	311 - приборные доски и панели управления	4
		312 - автономные приборы	3
		- авиагоризонт	2
		- вариометр	4
32	ШАССИ	323 - система уб./вып.шасси, управл.створ.	3
		БУПТ – 5 блоков	

Продолжение таблицы В.1

№	Система	Подсистема	Степень резервирования
33	ОСВЕЩЕНИЕ И СВЕТОВАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ		1
34	ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ		4
35	КИСЛОРОДНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ		1
49	ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ СИЛОВАЯ УСТАНОВКА		2
52-57	ПОВЕРХНОСТЬ ПЛАНЕРА (ФЮЗЕЛЯЖ, КРЫЛО, ОПЕРЕНИЕ, ДВЕРИ, ЛЮКИ)		1
72	ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ		1
73	ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА ДВИГАТЕЛЯ		1
76	СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ		2
77	ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ		2
78	СИСТЕМА ВЫХЛОПА		1
79	МАСЛЯНАЯ СИСТЕМА		-
83	ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ КОРОБКИ ПРИВОДОВ		1
110	РАДИОАППАРАТУРА САМОЛЕТОВОЖДЕНИЯ	1101 - р/а определения курсовых углов	2

Продолжение таблицы В.1

№	Система	Подсистема	Степень резервирования
		1102 - р/а дальней навигации	1
		1104 - р/высотомер больших и малых высот	2
		1108 - р/а ближней навигации	2
113	РАДИОАППАРАТУРА ОПОЗНАВАНИЯ, ОПОВЕЩЕНИЯ И АКТИВНОГО ОТВЕТА	TCAS (Система предупреждения столкновения самолетов в воздухе)	2
118	КОМПЛЕКСЫ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СВЯЗНОГО ОБОРУДОВАНИЯ		
177	КОМПЛЕКС СВЯЗИ		

Приложение Г Факторы опасности

Таблица Г.1 – Факторы опасности по отказам технических систем ВС

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
07830	Отказ реверса	07830	Отказ реверса СУ1	Число	Частота отказов СУ1 относительно полетов СУ1, частота отказов подсистем реверса СУ1 (АУР, РУ) относительно полетов СУ 1, частота неправильной летной эксплуатация СУ или реверса у КВС относительно полетов КВС.	323-разрушение, 350- старение, 701, 702 КПН
		07830	Отказ	Число	Частота отказов СУ2	323-разрушение,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
			реверса СУ2		относительно полетов СУ2, частота отказов подсистем реверса СУ2 (АУР, РУ) относительно полетов СУ2, частота неправильной летной эксплуатация СУ или реверса у КВС относительно полетов КВС.	350- старение, 701, 702 КПН
		07830	Отказ реверса СУ3	Число	Частота отказов СУ1 относительно полетов СУ1, частота отказов подсистем реверса СУ3 (АУР, РУ) относительно полетов СУ3,	323-разрушение, 350- старение, 701, 702 КПН

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
					частота неправильной летной эксплуатация СУ или реверса у КВС относительно полетов КВС.	
		07830	Отказ реверса СУ4	Число	Частота отказов СУ4 относительно полетов СУ4, частота отказов подсистем реверса СУ4 (АУР, РУ) относительно полетов СУ4, частота неправильной летной эксплуатация СУ или реверса у КВС относительно полетов КВС.	323-разрушение, 350- старение, 701, 702 КПН

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
		024	Отказ/неисправность ЭС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ЭС относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350-старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
03240	Отказ системы торможения шасси	029	Отказ/неисправность ГС	Число	Частота отказов/неисправностей отказ подсистем ГС	отказ насосов, 701, 702 КПН, 350- старение,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
					относительно полетов ВС	разрушение трубопроводов, 502- нарушение технологии выполнения работ
		024	Отказ/неисправность ЭС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ЭС относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350-старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						технологии выполнения работ
		032	Отказ в системе шасси	Число	Частота отказов подсистем шасси относительно полетов ВС	323-разрушение, 350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
		03242,03 244	Разрыв пневматиков в	Число	Частота разрывов пневматиков при посадке относительно полетов ВС	350- старение

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
02761	Отказ системы управления интерцепторам и	029	Отказ/неисправность ГС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ГС относительно полетов ВС	отказ насосов, 701, 702 КПН, 350- старение, разрушение трубопроводов, 502- нарушение технологии выполнения работ
		024	Отказ/неисправность ЭС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ЭС относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						350-старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
		02761	Отказ системы управления интерцепторами	Число	Частота отказов подсистем управления интерцепторами (отказ БУКИ, отказ гидроприводов, отказ приводных валов и др.) относительно полетов ВС	323-разрушение, 350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
021	Отказ системы кондиционирования воздуха	024	Отказ/неисправность ЭС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ЭС относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350-старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
		0218	Отказы приборов и устройств	Число	Частота отказов приборов и устройств контроля относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
			контроля			электроцепи, 350-старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
		320	Разгерметизация	Число	Частота событий разгерметизации относительно полетов ВС	повреждение планера, попадание постороннего предмета, неправильное

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						закрепление груза, 502- нарушение технологии выполнения работ
			Механическое разрушения в подсистемах 0211-0216	Число	Частота механических разрушений в подсистемах 0211-0216 относительно полетов ВС	350-старение 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
022	Отказ/неисправн	320	Разгерметиз	Число	Частота событий	350-старение

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
	ость САУ		ация		разгерметизации системы относительно полетов ВС	701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
		031	Отказ/неисправность приборного оборудования	Число	Частота отказов/неисправностей приборного оборудования относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350 – старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						выполнения работ
		0118	Отказ/неисправность комплекса функционально связанного оборудования	Число	Частота отказов/неисправностей комплекса функционально связанного оборудования относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350 – старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
023	Отказ/неисправ	024	Отказ/неис	Число	Частота	101-короткое

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
	ность связного оборудования		правность ЭС		отказов/неисправностей подсистем ЭС относительно полетов ВС	замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350 – старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
024	Отказ/неисправность электрической системы	0241	Отказ генераторов	Число	Частота отказов генераторов относительно полетов ВС	02410- разрушение привода генератора,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						07-отказ/неисправность двигателя, 101-короткое замыкание, 025-возгорание, 350 – старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
			Отказ	Число	Частота отказов	разрушение

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
			аккумуляторы		аккумуляторов относительно полетов ВС	аккумуляторных батарей, тепловой разгон, 350 – старение
026	Отказ/неисправность ППО	160	Ложное срабатывание	Число	Частота ложных срабатываний относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 350 – старение, 701, 702 КПН
		261	Отказ средств пожарной сигнализации	Число	Частота отказов средств пожарной сигнализации относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350- старение,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
		024	Отказ/неисправность ЭС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ЭС относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						выполнения работ
027	Отказ/неисправность системы управления ВС		Отказы в подсистемах 0271-0278	Число	Частота отказов в подсистемах 0271-0278 относительно полетов ВС	разрушение узлов (кронштейны), 350- старение, 101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						выполнения работ
		029	Отказ/неисправность ГС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем систем ГС относительно полетов ВС	отказ насосов, 701, 702 КПН, 350- старение, разрушение трубопроводов 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
028	Отказ/неисправ	0282	Отказ	Число	Частота	отказ насосов

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
	ность топливной системы		системы распределения топлива		отказов/неисправностей в системе распределения топлива относительно полетов ВС	ТС, отказ перекрывных кранов против пожаров, 350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
		0284	Отказ приборов и	Число	Частота отказов/неисправностей	101-короткое замыкание,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
			устройств контроля		приборов и устройств контроля относительно полетов ВС	324-разрыв электроцепи, 350 - старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
029	Отказ/неисправность ГС	0291	Отказ основной ГС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ГС относительно полетов ВС	отказ насосов, 701, 702 КПН, 350- старение, разрушение трубопроводов,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
		0293	Отказ/неисправность приборов контроля	Число	Частота отказов/неисправностей приборов контроля относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350 - старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						выполнения работ
030	Отказ/неисправность ПОС	0301-0304	Отказы в подсистемах 0301-0304	Число	Частота отказов/неисправностей в подсистемах 0301-0304 относительно полетов ВС	отказ кранов ПОС, 284-повреждения, 350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
		024	Отказ/неис	Число	Частота	101-короткое

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
			правность ЭС		отказов/неисправностей подсистем ЭС относительно полетов ВС	замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
031	Отказ/неисправность приборного оборудования	0311	Отказы приборных досок и панелей	Число	Частота отказов/неисправностей приборных досок и панелей управления относительно	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
			управления		полетов ВС	350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
034	Отказ/неисправность пилотажно-навигационного оборудования	024	Отказ/неисправность ЭС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ЭС относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						технологии выполнения работ
		029	Отказ/неисправность ГС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ГС относительно полетов ВС	отказ насосов, 701, 702 КПН, 350- старение, разрушение трубопроводов, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
049	Отказ/неисправность ВСУ	0491	Отказ СУ	Число	Частота отказов СУ относительно полетов ВС	701, 702 КПН, 350- старение 323-разрушение, 502- нарушение технологии выполнения работ
		024	Отказ/неисправность ЭС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ЭС относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350- старение, 701, 702 КПН,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						502- нарушение технологии выполнения работ
		04913	Отказ/неисправность противопожарной защиты	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем противопожарной защиты относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						работ
		0282	Отказ в системе распределения топлива	Число	Частота отказов/неисправностей в системе распределения топлива относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
083	Отказ/неисправность	0832	Отказы в коробке	Число	Частота отказов/неисправностей в	284-повреждения,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
	вспомогательных коробок приводов		приводов		коробке приводов относительно полетов ВС	323-разрушение, 350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
		0833	Отказы приборов контроля	Число	Частота отказов/неисправностей приборов контроля относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350- старение, 701, 702 КПН

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						110-отказ/неисправность радиоаппаратуры самолетовождения, 502- нарушение технологии выполнения работ
110	Отказ/неисправность радиоаппаратуры	024	Отказ/неисправность ЭС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ЭС относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
	самолетовождения					350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
113	Отказ/неисправность радиопаратуры опознавания, оповещения и оперативного ответа	024	Отказ/неисправность ЭС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ЭС относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						технологии выполнения работ
118	Отказ/неисправность комплекса функционально связанного оборудования	024	Отказ/неисправность ЭС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ЭС относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
142	Отказ/неисправность бортовых средств контроля и регистрации полетных данных	024	Отказ/неисправность ЭС	Число	Частота отказов/неисправностей подсистем ЭС относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350- старение, 701, 702 КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
07	Отказ/неисправность двигателя	079	Отказ/неисправность масляной	Число	Частота отказов/неисправностей в масляной системе двигателя	разгерметизация масляной системы, 340-

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
			системы двигателя		относительно полетов ВС	стружка в масле, 701, 702-КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
		293	Помпаж	Число	Частота помпажей двигателя относительно полетов ВС	низкая ГДУ, 404- неправильная эксплуатация АТ, 701, 702-КПН
		072	Отказ/неис	Число	Частота	323-разрушение,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
			правность конструкции и ГТД		отказов/неисправностей конструкции ГТД относительно полетов ВС	701, 702-КПН, 350-старение, 502- нарушение технологии выполнения работ
		073	Отказ/неисправность топливной системы двигателя	Число	Частота отказов/неисправностей в топливной системе двигателя относительно полетов ВС	350- старение, разрушение трубопроводов, 701, 702-КПН, 502- нарушение технологии выполнения

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности и по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
						работ
		076	Отказ/неисправность системы управления двигателем	Число	Частота отказов/неисправностей в системе управления двигателем относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, 324-разрыв электроцепи, 350-старение, 701, 702-КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ
		077	Отказ/неисправность	Число	Частота отказов/неисправностей	101-короткое замыкание,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
			<i>приборов контроля двигателем</i>		<i>приборов контроля двигателем относительно полетов ВС</i>	<i>324-разрыв электроцепи, 350-старение, 701, 702-КПН, 502- нарушение технологии выполнения работ</i>
		51	Нелокализованное разрушение двигателя	Число	Частота нелокализованных разрушений двигателя относительно полетов ВС	323-разрушение, 701, 702-КПН, 350-старение
		54	Пожар	Число	Частота пожаров в двигателе	701, 702-КПН,

Продолжение таблицы Г.1

Код фактора опасности по АСОБП	Фактор опасности	Код источника фактора опасности по АСОБП	Источники фактора опасности	Единицы измерения	Входные данные	Уточняющие характеристики
					относительно полетов ВС	101-короткое замыкание, высокая температура
05	Разрушение/повреждение планера	052-057	повреждения в подсистемах 052-057	Число	Частота повреждений в подсистемах 052-057 относительно полетов ВС	старение клеевого соединения, отслоения композитных материалов, попадание посторонних предметов

Таблица Г.2 – Факторы опасности по подсистеме «Человек»

Тип событий	Фактор опасности	Источники фактора опасности (могут быть интегральными)	Входные данные
Выкатывание за ВПП, Сход с РД	Перелет порога ВПП		Параметры СОК
Потеря управляемости в полете, Столкновение исправного ВС с землей	Недостатки в организации летной подготовки/обучения	Утрата навыка после перерыва	Налёт за последние три месяца
		Выполнение работы без опыта	Перерывы в работе
		Недоученность	
Выкатывание за ВПП, Потеря управляемости в	Несвоевременное включение/отключение реверса	Малый опыт	Возраст
			Общий налёт
			Налёт на данном типе ВС

Продолжение таблицы Г.2

полете			Количество посадок на предстоящий аэродром
			Количество посадок в сложных метеоусловиях по категориям ИКАО
			Наличие случаев авиационных событий и предпосылок за последний год
			Повышение квалификации и подтверждение летной годности членов экипажа (подтвержденные и планируемые)
			Уровень английского

Продолжение таблицы Г.2

		Невнимательность	языка
			Данные CRM
			Психофизиологическое состояние
			Стрессоустойчивость
			Наличие случаев авиационных событий и предпосылок за последний год
			Режим труда и отдыха
Утомляемость			
Выкатывание за ВПП, Сход с РД, Потеря управляемости в полете	Нарушение схемы захода на посадку	Невнимательность	Психофизиологическое состояние
			Стрессоустойчивость
			Наличие случаев авиационных событий и предпосылок за последний год
			Режим труда и отдыха

Продолжение таблицы Г.2

			Утомляемость
		Ошибочное восприятие (обстановки)	Профессиональная подготовленность по способам преодоления иллюзорных ощущений
		Усталость	Утомляемость
			Режим труда и отдыха
			Налёт за последние три месяца
			Количество ночных вылетов за неделю
			Количество посадок в полётную смену
		Малый опыт	Возраст
			Общий налёт
			Налёт на данном типе ВС
			Количество посадок

Продолжение таблицы Г.2

			на предстоящий аэродром
			Количество посадок в сложных метеоусловиях по категориям ИКАО
			Наличие случаев авиационных событий и предпосылок за последний год
			Повышение квалификации и подтверждение летной годности членов экипажа (подтвержденные и планируемые)
			Уровень английского языка

Продолжение таблицы Г.2

			Данные CRM
		Неправильная оценка пространственного положения	Количество подобных ошибок на тренажере
			Уровень эргономики ВС
			Высота пролета контрольных точек глиссады менее установленной
		Неправильная оценка L,V,H	Параметры СОК
		Неправильная оценка скорости	Параметры СОК
		Неправильная оценка высоты	Параметры СОК
		Невыдерживание заданной высоты эшелона/маршрута	Параметры СОК
		Высота пролета контрольных точек глиссады менее/более установленных	Параметры СОК
		Скорость полета менее/более минимально	Параметры СОК

Продолжение таблицы Г.2

		допустимой/рекомендованной	
		Угол тангажа менее/более рекомендованного	Параметры СОК
		Утрата навыка после перерыва	Налёт за последние три месяца
			Перерывы в работе
		Невыдерживание направления на разбеге/пробеге	Параметры СОК
Выкатывание за ВПП, Сход с РД, Пожар/дым, Потеря управляемости в полете,	Неправильная эксплуатация ВС и его оборудования	Несвоевременное/непреднамеренное включение/отключение (шасси, предкрылков, интерцепторов, освещения и световой сигнализации, реверса)	Параметры СОК и тренажера
		Несвоевременное манипулирование органами управления противопожарного оборудования/системы управления ВС	Параметры СОК и тренажера

Продолжение таблицы Г.2

Столкновение исправного ВС с землей		Невыпуск интерцепторов	Параметры СОК и тренажера
		Малый опыт	Возраст
			Общий налет
			Налет на данном типе ВС
			Количество посадок на предстоящий аэродром
			Количество посадок в сложных метеоусловиях по категориям ИКАО
Наличие случаев авиационных событий и предпосылок за последний год			

Продолжение таблицы Г.2

			Повышение квалификации и подтверждение летной годности членов экипажа (подтвержденные и планируемые)
			Уровень английского языка
			Данные CRM
		Самоуверенность пилота	Данным CRM
			Налёт в должности КВС
			Возраст
		Невыпуск закрылков/предкрылков	Параметры СОК
		Положение закрылков не соответствует рекомендованному	Параметры СОК
		Неправильное распределение	Психофизиологически

Продолжение таблицы Г.2

		внимания (чрезмерная концентрация, перегрузка внимания)	й фактор
			Количество подобных ошибок на тренажере (инструкторский контроль)
		Несвоевременная перестановка стабилизатора	Параметры СОК
		Непреднамеренный выпуск/уборка закрылков	Параметры СОК
		Недостаточный уровень мотивации	Стрессоустойчивость
		Отсутствие взаимодействия и взаимопомощи в экипаже	Данные CRM
		Отрицательный перенос навыка	Количество подобных ошибок на тренажере (инструкторский контроль)
	Стресс	Стрессоустойчивость	

Продолжение таблицы Г.2

		Не произведено отключение при срабатывании сигнализации	Количество подобных ошибок на тренажере (инструкторский контроль)
			Нарушения дисциплины
Выкатывание за ВПП, Потеря управляемости в полете, Сход с РД, Столкновение исправного ВС с землей	Неправильные действия при пилотировании и навигации	Руление на повышенной скорости	Параметры СОК
		Невыдерживание заданной высоты эшелона/маршрута	Параметры СОК
		Ошибки при управлении скоростью	Параметры СОК
		Отклонения по крену и тангажу	Параметры СОК
		Нарушение схемы руления по аэродрому	Параметры СОК
		Медлительность	Психофизиологический фактор (темперамент)
			Утомляемость
	Малый опыт	Возраст	

Продолжение таблицы Г.2

			Общий налет
			Налет на данном типе ВС
			Количество посадок на предстоящий аэродром
			Количество посадок в сложных метеоусловиях по категориям ИКАО
			Наличие случаев авиационных событий и предпосылок за последний год
			Повышение квалификации и подтверждение летной годности членов экипажа

Продолжение таблицы Г.2

			(подтвержденные и планируемые)
			Уровень английского языка
			Данные CRM
		Самоуверенность пилота	Данные CRM
			Налёт в должности КВС
			Возраст
		Стресс	Стрессоустойчивость
		Неправильное распределение внимания (чрезмерная концентрация, чрезмерная перегрузка внимания) у пилота	Психофизиологический фактор
			Количество подобных ошибок на тренажере (инструкторский контроль)
		Подъем передней опоры на скорости менее расчетной	Параметры СОК

Продолжение таблицы Г.2

		Преждевременный отрыв	Параметры СОК
		Угол атаки более максимально допустимого	Параметры СОК
		Невыдерживание направления на разбеге/пробега (стандартные действия)	Параметры СОК
		Отклонение от взлетного/посадочного курса	Параметры СОК
		Вертикальная перегрузка более допустимой	Параметры СОК
		Отвлечение внимания от управления ВС	Дисциплина
		Превышение максимально допустимого крена	Параметры СОК
		Неоптимальный уровень автоматизации	Уровень эргономики ВС
		Высота пролета контрольных точек глиссады более установленной	Параметры СОК

Продолжение таблицы Г.2

		Неудовлетворительное взаимодействие в экипаже, отсутствие взаимопонимания и взаимопомощи	Данные CRM
		Усталость	Утомляемость
			Режим труда и отдыха
			Налёт за последние три месяца
			Количество ночных вылетов за неделю
		Превышение вертикальной скорости снижения	Количество посадок в полётную смену
			Параметры СОК
		Высота ухода на второй круг ниже допустимой	Параметры СОК
Чрезмерная концентрация внимания			
Отсутствие реакции КВС на	Данные CRM		

Продолжение таблицы Г.2

		сообщения членов экипажа	
		Преждевременное снижение	
		Отклонение за пределы воздушных трасс и МВЛ	
		Непрекращение снижения при срабатывании ССОС	
		Ошибки в ориентировке/осмотрительности	
		Предельное отклонение по глиссаде	Параметры СОК
		Скоростные параметры более рекомендованных	Параметры СОК
Выкатывание за ВПП, Сход с РД	Запоздалое применение системы торможения	Ошибочное восприятие пилота	Психофизиологический фактор (Мышление)
			Стрессоустойчивость
			Усталость
			Утомляемость
		Медлительность пилота	Психофизиологический фактор

Продолжение таблицы Г.2

			(темперамент)
			Утомляемость
Выкатывание за ВПП, Потеря управляемости в полете	Нарушение РЛЭ и технологии работы	Несвоевременное манипулирование органами управления	Параметры СОК
			Общий налёт
			Повышение квалификации и подтверждение летней годности членов экипажа (подтвержденные и планируемые)
			Налёт в должности
			Налёт на тренажере
			Налёт за последние три месяца
			Параметры СОК
		Общий налёт	
		Несвоевременное включение/отключение (реверса)	

Продолжение таблицы Г.2

			Повышение квалификации и подтверждение летной годности членов экипажа (подтвержденные и планируемые)
			Налёт в должности
			Налёт на тренажере
			Налёт за последние три месяца
		Положение закрылков не соответствует рекомендованному	Параметры СОК
			Общий налёт
			Повышение квалификации и подтверждение летной годности членов экипажа (подтвержденные и

Продолжение таблицы Г.2

			планируемые)
			Налёт в должности
			Налёт на тренажере
			Налёт за последние три месяца
		Нарушения при исполнении карты контрольных проверок	Дисциплина
		Самоуверенность пилота	Данные CRM
			Налёт в должности
			Возраст
		Малый опыт	Возраст
			Общий налет
			Налет на данном типе ВС
			Количество посадок на предстоящий аэродром

Продолжение таблицы Г.2

			Количество посадок в сложных метеоусловиях по категориям ИКАО
			Наличие случаев авиационных событий и предпосылок за последний год.
			Повышение квалификации и подтверждение летной годности членов экипажа (подтвержденные и планируемые).
			Уровень английского языка
			Данные CRM
		Недостатки подготовки/обучения	Недоученность

Продолжение таблицы Г.2

<p>Выкатывание за ВПП, Сход с РД, Пожар/дым, Потеря управляемости в полете</p>	<p>Несоблюдение регламентирующих документов</p>	<p>Дисциплина</p>	
	<p>Неудовлетворительное взаимодействие в экипаже, отсутствие взаимопонимания и взаимопомощи</p>	<p>Отсутствие взаимодействия пилота с членами экипажа</p>	<p>Данные CRM</p>
		<p>Недостаточный уровень КВС</p>	<p>Данные по CRM</p>
			<p>Налёт в должности КВС</p>
		<p>Неправильная/несвоевременная передача информации</p>	
		<p>Непонимание команд, инструкций</p>	<p>Данные CRM</p>
		<p>Недостаточный контроль КВС за работой экипажа</p>	<p>Данные CRM</p>
		<p>Отсутствие реакции КВС на сообщения членов экипажа</p>	<p>Данные CRM</p>
		<p>Учет мнений и идей членов экипажа</p>	<p>Данные CRM</p>

Продолжение таблицы Г.2

		Авторитет и уверенность в себе члена экипажа	Данные CRM
Выкатывание за пределы ВПП, Сход с РД	Неуход на второй круг		Ложный стыд
		Самоуверенность	Данные CRM
			Налёт в должности
			Возраст
		Несоблюдение пилотом регламентирующих документов	Дисциплина
		Неправильные действия в экстремальной ситуации КВС	Недоученность
			Данные с тренажёра
		Утрата навыка после перерыва	Налёт за последние три месяца
			Перерывы в работе
		Недостаточный уровень мотивации пилотом	Стрессоустойчивость
	Чрезмерный объем поступающей информации		
	Недостатки в		

Продолжение таблицы Г.2

			распределении функций	
			Недостаточный уровень дисциплины	Четкое соблюдение стандартных операционных процедур
			Снижение ресурса и надежности членов экипажа	Медицинские показатели
Возраст				
Профессиональная подготовка				
Выкатывание за пределы ВПП, Потеря управляемости в полете	Неправильно принятые решения при пилотировании и навигации	Выполнение полета без соответствующего опыта/подготовки	Возраст	
			Общий налет	
			Налет на данном типе ВС	
			Количество посадок на предстоящий аэродром	

Продолжение таблицы Г.2

			Количество посадок в сложных метеоусловиях по категориям ИКАО
		Продолжение полета в зоне известной активной турбулентности	Параметры СОК
		Выбор неподходящей площадки для руления, взлета, посадки	Параметры СОК
			Нарушение минимума погоды
			Выполнение полета с известными неисправностями
			Ошибки в расчете топлива
			Некомплексное использование средств

Продолжение таблицы Г.2

			самолётовождения	
			Неправильное решение о запасе топлива	
			Нарушение минимальной безопасной высоты	
		Самоуверенность	Данные CRM	
			Налёт в должности	
			Возраст	
		Полет на перегруженном ВС	Параметры СОК	
		Неправильное компенсирование ветра экипажем	Усталость	Утомляемость
				Режим труда и отдыха
				Налёт за последние три месяца
				Количество ночных вылетов за неделю
				Количество посадок в полётную смену

Продолжение таблицы Г.2

		Малый опыт	Возраст
			Общий налет
			Налет на данном типе ВС
			Количество посадок на предстоящий аэродром
			Количество посадок в сложных метеоусловиях по категориям ИКАО
			Наличие случаев авиационных событий и предпосылок за последний год
			Повышение квалификации и подтверждение летной годности

Продолжение таблицы Г.2

			членов экипажа (подтвержденные и планируемые)	
			Уровень английского языка	
			Данные по CRM	
		Ошибочное восприятие (обстановки) пилота		Психофизиологический фактор (Мышление)
				Стрессоустойчивость
				Усталость
				Утомляемость
		Медлительность пилота		Психофизиологический фактор (темперамент)
				Утомляемость
				Неправильная оценка метеоусловий
Ошибки в восприятии информации				
Пожар/дым,	Неправильные оценки при пилотировании		Ошибки в восприятии информации	

Продолжение таблицы Г.2

Потеря управляемости в полете		Недостаточность компоновки пультов	Уровень эргономики ВС
			Неправильная оценка метеоусловий
		Усталость пилота	Утомляемость
			Режим труда и отдыха
			Налёт за последние три месяца
			Количество ночных вылетов за неделю
	Количество посадок в полётную смену		
	Невыполнение указаний ИАС		
Выкатывание за пределы ВПП, Сход с РД,	Неправильные действия в чрезвычайной ситуации		Нарушения при исполнении карты контрольных проверок
			Недостаточный

Продолжение таблицы Г.2

Пожар/дым, Потеря управляемости в полете			контроль
			Недостаточный уровень
			Некачественный осмотр и проверка ВС перед полетом членом ВС
			Недоученность
		Самоуверенность пилота	Данные CRM
			Налёт в должности
			Возраст
		Нарушение правил радиообмена/фразеологии	Параметры СОК
		Непонимание команд службы ОВД	Параметры СОК
		Бездеятельность	Данные CRM
Отсутствие контроля за каналом связи	Параметры СОК		
Столкновение	Стандартные действия		Параметры СОК и

Продолжение таблицы Г.2

исправного ВС с землей			тренажера
---------------------------	--	--	-----------

Таблица Г.3 – ФО по фактору «Среда»

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
С1	Недостатки орнитологического обеспечения аэродрома	Недостаточное качество орнитологического оборудования	Наличие аудиотелескопов
			Наличие биоакустических установок
			Наличие ультразвуковых установок
			Наличие лазерных установок
			Наличие механических птицеотпугивателей
			Наличие ружей
			Наличие ракетниц
			Наличие газовых пушек

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
			Наличие пиротехнических средств
		Наличие трещоток	
		Наличие зеркальных шаров	
		Наличие сетей	
		Наличие тушек мертвых птиц	
С2	Эколого-орнитологические условия	Неиспользование орнитологического оборудования	
		Отсутствие орнитологического оборудования	
		Наличие массовых скоплений птиц опасных для ВС	Наличие гнездовых колоний
			Наличие дневок
			Наличие ночевок
		Наличие миграционных путей птиц	Наличие зимовок
			Наличие весенних перелетов
		Наличие массовых кормовых перелетов птиц	Наличие осенних перелетов
			Наличие утренних перелетов
		Наличие вечерних перелетов	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		Наличие источников корма	Наличие свалки Наличие скотоферм, птицеферм Наличие элеваторов, зернопотоков Наличие рыбных прудов Наличие полей зерновых культур
С3	Недостатки в ОВД	Аффективные состояния членов ОВД	
		Бездеятельность членов ОВД	
		Выдача неправильных/противоречивых рекомендаций и других команд ОВД	
		Халатность членов ОВД	
		Допуск к ОВД диспетчеров не подготовленных к самостоятельной работе	
		Выполнение работы без опыта (члены ОВД)	
		Забывчивость членов ОВД	
		Нарушение технологии работы - диспетчер и оператор за 1 пультом	
		Прием и выпуск ВС на	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		неподготовленном/непригодном аэродроме	
		Нарушение порядка использования ВП	
		Нарушение порядка обеспечения информацией о ВД	
		Нарушение правил и фразеологии радиообмена членами ОВД	
		Нарушение правил эксплуатации РТС и СТО членами ОВД	
		Нарушение установленного порядка приема/передачи информации членами ОВД	
		Нарушения дисциплины в ОВД	
		Нарушения организации воздушного пространства	
		Нарушения организации рабочих мест у членов ОВД	
		Передача/прием ОВД на неустановленных рубежах	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		Нарушения технологии выполнения работ членами ОВД	
		Небрежность членов ОВД	
		Невнимательность членов ОВД	
		Недостаточный контроль руководителя ОВД	
		Недостаточный уровень начальника службы ОВД	
		Не обеспечение полетов ВС РТС и СТО	
		Не своевременная передача метеоинформации диспетчерами	
		Непередача информации о птицах членами ОВД	
		Спрявление маршрута членами ОВД без учета требований безопасности полетов	
		Неправильная передача членами ОВД информации экипажу об условиях погоды	
		Неправильное ведение/неведение графика	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		движения членами ОВД	
		Неправильное опознание местонахождения отметки ВС на экране диспетчером	
		Неправильные действия членов ОВД в аварийной ситуации	
		Неправильный расчет членами ОВД интервалов при догоне	
		Нарушение установленного порядка приема/передачи информации членами ОВД	
		Неправильный расчет членами ОВД интервалов при пересечении эшелона членами ОВД	
		Неправильный расчет членами ОВД интервалов при пересечениях маршрутов	
		Непринятие мер по получению информации необходимой для ОВД	
		Чрезмерный объем поступающей	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		информации членам ОВД	
		Непроведение инструктажа перед заступлением на дежурство у членов ОВД	
		Несоблюдение инструкций по произв.полетов/технологии работы членами ОВД	
		Несоблюдение правил вертикального эшелонирования членами ОВД	
		Несоблюдение правил продольного эшелонирования членами ОВД	
		Несообщение о движении других ВС диспетчеров ОВД	
		Недостаточное использование средств радиопеленгации членами ОВД	
		Несоответствие подготовки условиям работ у членов ОВД	
		Нет взаимодействия в службе ОВД	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		Неудовлетворительное взаимодействие между органами ОВД ГА	
		Неудовлетворительная организация инструктажа перед дежурством и разбора после дежурства у членов ОВД	
		Неудовлетворительная организация воздушных трасс и МВЛ в районе ответственности ОВД	
		Неудовлетворительная организация работы диспетчерских смен членов ОВД	
		Неустойчивость навыка у членов ОВД	
		ОВД без знания фактической воздушной и метеобстановки	
		Оставление рабочего места без подмены членами ОВД	
		Отклонение за пределы воздушных трасс и МВЛ членами ОВД	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		Отсутствие знаний для выполнения работ у членов ОВД	
		Отсутствие взаимодействия между диспетчерами ОВД	
		Отсутствие второго диспетчера (оператора) ОВД за пультом	
		Отсутствие контроля за работой диспетчеров ОВД	
		Отсутствие РЛ контроля за движением ВС при исправных РТС членами ОВД	
		Отсутствие указаний членам ОВД	
		Ошибки в прогнозировании/оценке воздушной обстановки членами ОВД	
		Ошибки в распознавании отметок от ВС на экране РЛС членами ОВД	
		Ошибочное восприятие членами ОВД	
		Ошибочные расчеты членами ОВД	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		Работа с неполным составом смен членов ОВД	
		Разрешение на полет по неустановленной схеме членами ОВД	
		Рассеянность членов ОВД	
		Рубеж приема/передачи ОВД в непросматриваемой зоне РЛК	
		Самоуверенность членов ОВД	
		Совмещение функций в условиях не обеспечивающих БП членами ОВД	
		Стресс психологический членов ОВД	
		Управление ВС не в своей зоне ответственности членами ОВД	
		Утеря/искажение информации при хранении членами ОВД	
С4	Недостатки СОП (служба организации перевозок)	Использование неисправного оборудования, машин и механизмов персоналом СОП	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		Нарушение правил загрузки/разгрузки ВС персоналом СОП	
		Нарушение правил подъезда/отъезда от ВС персоналом СОП	
		Невыполнение инструкций/наставлений персоналом СОП	
		Отсутствие контроля за перевозкой опасных грузов в СОП	
		Халатность персонала СОП	
		Отсутствие контроля за выполнением и качеством работ в СОП	
		Отсутствие руководства выполнением работ в СОП	
		Нарушения технологии выполнения работ персоналом СОП	
		Допуск пассажиров не прошедших регистрацию и досмотр персоналом СОП	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		Нарушение правил оформления пассажиров и грузов персоналом СОП	
С5	Недостатки диспетчерской службы (производственно-диспетчерская служба предприятия)	Отсутствие взаимодействия между диспетчерами ПДС	
		Отсутствие контроля за работой диспетчеров ПДС	
С6	Недостатки в работе персонала АМСГ (авиационная метеорологическая станция (гражданская))	Неоправдавшийся прогноз погоды АМСГ	
		Несвоевременное составление уточнений к действующему прогнозу персоналом АМСГ	
		Несвоевременное определение опасных метеоявлений персоналом АМСГ	
С7	Недостатки ИАС (инженерно-авиационная служба)	Нарушение объемов работ по ТО АТ персоналом ИАС	
		Выполнение работ без соответствующего допуска персоналом ИАС	
		Отсутствие руководства выполнением работ в ИАС	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		Некачественное устранение о/н персоналом ИАС	
		Неправильное оформление, заполнение документации персоналом ИАС	
		Неправильная эксплуатация оборудования, машин и механизмов персоналом ИАС	
		Отсутствие контроля за выполнением и качеством работ в ИАС	
		Некачественное выполнение оперативного ТО персоналом ИАС	
		Некачественное выполнение периодического ТО персоналом ИАС	
		Выпуск ВС в полет с о/н, влияющими на БП, персоналом ИАС	
		Некачественное выполнение монтажных работ персоналом ИАС	
		Несвоевременное проведение доработок АТ	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		персоналом ИАС	
		Несвоевременное проведение специальных осмотров АТ персоналом ИАС	
		Недостатки в организации работ и контроле в ИАС	
		Невыполнение инструкций, наставлений персоналом ИАС	
		Малый опыт работы на данном месте у персонала ИАС	
		Халатность персонала ИАС	
		Невнимательность персонала ИАС	
		Небрежность персонала ИАС	
		Недостаточный контроль руководителя в ИАС	
		Выполнение работ без опыта персоналом ИАС	
		Недозатяжка персоналом ИАС	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		Некачественная замена агрегатов персоналом ИАС	
		Неустойчивость навыка персонала ИАС	
		Забывчивость персонала ИАС	
		Неправильное оформление/заполнение документации персоналом ИАС	
		Нарушения технологии выполнения работ персоналом ИАС	
		Недостаточная концентрация внимания персонала ИАС	
С8	Недостатки персонала службы ГСМ (горюче-смазочные материалы)	Неправильная эксплуатация оборудования, машин и механизмов персоналом службы ГСМ	
		Охрана АТ не осуществлялась персоналом ГСМ	
		Отсутствие знаний для выполнения работ у персонала службы ГСМ	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		Выполнение работы в состоянии опьянения персоналом службы ГСМ	
С9	Недостатки в работе персонала АРЗ (авиационный ремонтный завод)	Невыполнение инструкций, наставлений персоналом АРЗ	
		Некачественное выполнение технологического процесса персоналом АРЗ	
		Отклонения от конструкторской/технологической документации персоналом АРЗ	
		Некачественное выполнение монтажных работ персоналом АРЗ	
		Оставление посторонних предметов в системах ВС персоналом АРЗ	
		Отсутствие контроля за выполнением и качеством работ у персонала АРЗ	
		Небрежность персонала АРЗ	
		Халатность персонала АРЗ	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		Недостатки в организации работ и контроле у персонала АРЗ	
		Некачественное проведение доработок АТ персоналом АРЗ	
		Технологический недостаток (АРЗ)	
		Отсутствие указаний у персонала АРЗ	
С10	Недостатки СТ и АМ (служба спецтранспорта и аэродромной механизации)	Невыполнение инструкций, наставлений персоналом СТ и АМ	
		Отсутствие контроля за выполнением и качеством работ у персонала СТ и АМ	
		Нарушение правил подъезда/отъезда от ВС персоналом СТ и АМ	
		Недостатки в организации работ и контроле у персонала СТ и АМ	
С11	Недостатки других служб ГА (гражданская авиация)	Невыполнение указаний руководителя работ у персонала других служб ГА	
		Выполнение работ без допуска персоналом	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		других служб ГА	
		Отсутствие контроля за выполнением и качеством работ у персонала других служб ГА	
С12	Недостатки САБ (служба авиационной безопасности)	Допуск к работе без инструктажа персонала САБ	
		Выполнение работ без соответствующего допуска персоналом САБ	
		Использование неисправного оборудования, машин и механизмов персоналом САБ	
		Невыполнение инструкций, наставлений персоналом САБ	
		Бесконтрольное проникновение лиц, транспортных средств, животных на территорию аэродрома (САБ)	
		Досмотр не проводился персоналом САБ	
		Досмотр проведен не в полном	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		объеме/некачественно персоналом САБ	
		Недостатки в распределении функций в САБ	
		Неправильная координация действий САБ с другими службами	
		Халатность персонала САБ	
		Недостаточный контроль руководителя в САБ	
		Недостаточный уровень начальника САБ	
		Стандартные действия персонала САБ	
С13	Недостатки в работе персонала аэродромных служб	Нарушение технологий выполнения работ персоналом аэродромной службы	
		Некачественная подготовка ЛП персоналом аэродромной службы	
		Несоблюдение схем расстановки и движения спецтранспорта персоналом аэродромной службы	
		Небрежность персонала аэродромной службы	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		Несвоевременный ремонт ЛП персоналом аэродромной службы	
		Халатность персонала аэродромной службы	
		Самоуверенность персонала аэродромной службы	
		Отсутствие контроля со стороны руководителя аэродромной службы	
		Недостатки во взаимодействии персонала аэродромных служб с другими службами	
		Отсутствие маркировки аэродрома и препятствий	
		Неверная оценка расстояния до объекта/препятствия персоналом аэродромной службы	
		Недостатки в организации и контроле персонала аэродромной службы	
		Несоответствие маркировки аэродрома и	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		препятствия	
		Неполные смены аэродромной службы	
		Устаревшая техника	
		Некачественная подготовка ВПП персоналом аэродромной службы	
		Слабый уровень контроля со стороны руководителя полета	
		Нехватка оборудования	
		Размещение ВС на стоянке не по разметке персоналом аэродромной службы	
С14	Сложная специфика передачи информации о состоянии ВПП		Быстро меняющиеся погодные условия
С15	Фактический коэффициент сцепления ниже переданного	Плохое оборудование аэродрома для измерения коэффициента сцепления	
		Несвоевременное измерение коэффициента сцепления	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
		Халатность аэродромных служб	
С16	Недостоверный метеопрогноз	Ошибки метеопрогноза перед полетом при оперативном прогнозировании	
С17	Преждевременная посадка	Касание земли шасси до порога ВПП	Превышение над уровнем моря (высота аэродрома (горный))
			Малый опыт пилота
			Распределение недолетов пилотом порога ВПП
С18	Увеличение длины пробега	Располагаемая дистанция меньше необходимой для этого экипажа	Фактическая дистанция
			Потребная дистанция
			Распределение перелетов пилотом порога ВПП
		Снижение тяги реверса двигателя (Разреженность воздуха)	Прогнозируемый коэффициент сцепления
			Малый опыт пилота Распределение перелетов пилотом порога ВПП

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
			Превышение над уровнем моря (высота аэродрома (горный))
			Имеющаяся дистанция
			Необходимая дистанция
		Снижение тяги реверса двигателя	Высокая температура воздуха
			Высота над уровнем моря
C19	Воздействие попутной составляющей ветра	Скорость ветра более допустимой	
C20	Боковая составляющая скорости ветра более допустимой		Скорость ветра
			Направление ветра
			Направление ВПП
C21	Осадки	Дождь/ливневый дождь	
		Снег	
		Снег с дождем/дождь со снегом	
		Переохлажденные осадки	
		И д.р.	
C22	Опасные	Гроза	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности	
	метеорологические явления	Пыльная/песчанная буря		
			Вулканический пепел	
			Сильный дождь, сильный ливневый дождь, ухудшающий видимость менее 0600м	
			Переохлажденные осадки, образующие гололед	
			Сильная турбулентность	
			Сильный сдвиг ветра	
			Сильное обледенение	
			Град	
С23	Значения горизонтальной видимости ниже эксплуатационных минимумов			
С24	Значение нижней границы облаков	Гроза (в группе TEMPO, INTER)		
	ниже эксплуатационных	Пыльная/песчаная буря (в группе TEMPO, INTER)		

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
	минимумов	Вулканический пепел (в группе TEMPO, INTER)	
		Сильные осадки	Ранжирование по прогнозу вида и интенсивности осадков
		Переохлажденные осадки, образующие гололед Пепел (в группе TEMPO, INTER)	Ранжирование по прогнозу вида и интенсивности осадков
		Турбулентность	Ранжирование по прогнозу интенсивности
		Сдвиг ветра	Ранжирование по прогнозу интенсивности
		Обледенение	Ранжирование по прогнозу интенсивности
		Град (в группе TEMPO, INTER)	
С25		Неблагоприятные метеорологические условия		Наличие зон турбулентности и геофизических явлений
С26	Сильное температурное	Обледенение	Низкая температура

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
	воздействие	Разреженность воздуха	Высокая температура
C27	Попадание в зону вулканического пепла		
C28	Попадание в зону песчанной бури		
C29	Состояние ВПП неудовлетворительное	Недостатки в работе аэродромной службы по подготовке ВПП	
		Сложная специфика передачи информации о состоянии ВПП	
		Фактический коэффициент сцепления ниже переданного	
C30	Несообщение об опасных препятствиях/условиях экипажу аэродромными службами	Недостаточная работа служб ОВД во взаимодействии с другими службами	
		Недостатки в работе аэродромной службы по подготовке ВПП	
C31	Военно-политическая или террористическая	Акты незаконного вмешательства	
		Террористическая угроза	

Продолжение таблицы Г.3

Код	Фактор опасности	Источники фактора опасности	Входные данные источников фактора опасности
	чрезвычайная ситуация в районе аэропорта	Военная угроза	
		Политическая нестабильность	

Приложение Д Виды турбулентности. Оценка интенсивности турбулентности

Виды турбулентности

Понятие турбулентности интересует учёных более 70 лет. Т. Карман в 1938 году предложил следующее определение: «Турбулентность – неупорядоченное движение, которое в общем случае возникает в жидкостях, газообразных или капельных, когда они обтекают непроницаемые поверхности или же когда соседние друг с другом потоки одной и той же жидкости следуют рядом или проникают один в другой» [35]. Взяв приведенное выше определение в качестве основы, Хинце уточнил его следующим образом: «Турбулентное движение жидкости предполагает наличие неупорядоченности течения, в котором различные величины претерпевают хаотическое изменение по времени и пространственным координатам и при этом могут быть выделены статистически точные их осредненные значения» [36]. Чэпмен и Тобак определяют турбулентность как любое хаотическое решение трехмерных уравнений Навье-Стокса, чувствительное к начальным условиям и появляющееся как результат последовательного ряда неустойчивостей ламинарного потока, возникающих при постепенном увеличении значения параметра бифуркации [37]. В настоящем проекте используется определение, предложенное Брэдшоу в 1974 году в работе [38]: «Турбулентность – трехмерное нестационарное движение, в котором вследствие растяжения вихрей создается непрерывное распределение пульсаций скорости в интервале длин волн от минимальных, определяемых вязкими силами, до максимальных, определяемых граничными условиями течения», приведенное в списке определений, обозначений и сокращений.

В атмосфере возникновение турбулентности связано с действием целого ряда факторов. По преобладанию того или иного фактора принято условное деление турбулентности на механическую, термическую, связанную с кучево-дождевыми облаками, в зоне атмосферных фронтов, в ясном небе и орографическую. Далее

приводится описание указанных видов турбулентности и метеорологических условий их развития.

Таблица Д.1 - Вид турбулентности и условия их развития.

Вид турбулентности	Метеорологические условия развития
Механическая	<p>Механическая турбулентность зависит от скорости ветра у поверхности земли, шероховатости земной поверхности, а также от направления ветра относительно неровностей рельефа. Причиной турбулентности воздушного потока в этом случае является потеря устойчивости со сдвигом ветра в пограничном слое. Неровности рельефа обуславливают появление возмущений, амплитуда которых увеличивается в неустойчивом потоке. Эти возмущения при разрушении порождают турбулентные зоны. Возмущения, возникающие за счет неровностей земной поверхности, часто носят волновой характер, проникая в вышележащие слои воздуха. Эти волны смещаются по потоку с затухающей амплитудой и прослеживаются до высот, в 4–5 раз превышающих высоту орографического препятствия (горного хребта), и на расстояниях, в 10-20 раз больших, чем высота препятствия. В гребнях этих волн может развиваться мелкомасштабная турбулентность. Такой вид турбулентности может наблюдаться не только в облаках, но и при безоблачном небе [39].</p>
Термическая	<p>Термическая (конвективная) турбулентность создается за счет неравномерного нагрева земной поверхности или при адвекции холодного воздуха на теплую подстилающую</p>

Продолжение **таблицы Д.1**

Вид турбулентности	Метеорологические условия развития
	<p>поверхность. Процессы подобного рода приводят к образованию облаков вертикального развития, которые могут быть на всех высотах тропосферы; вершины таких облаков иногда могут проникать и в нижнюю стратосферу. Вертикальные токи в кучево-дождевых облаках могут достигать 50 м/с и более; полет в этих облаках категорически запрещается. Однако интенсивная турбулентность термического происхождения может наблюдаться и вне облаков. Этот вид турбулентности имеет хорошо выраженный годовой и суточный ход. Максимального развития термическая (конвективная) турбулентность достигает летом в послеполуденные часы, а ее повторяемость увеличивается с уменьшением широты места [39].</p>
Динамическая	<p>Динамическая турбулентность обусловлена существованием значительных вертикальных и горизонтальных сдвигов ветра, возникающих при взаимодействии воздушных масс с разными характеристиками (например, различные скорости воздушных масс приводят к трению одной воздушной массы о другую). Динамическая турбулентность проявляется на всех высотах, но большая повторяемость наблюдается в зоне струйных течений [40].</p>
Турбулентность при наличии кучево-дождевых	<p>Около кучево-дождевого облака в нижнем слое атмосферы обычно образуется полоса, характеризующаяся резким изменением скорости и направления ветра. Она получила название зоны шквала, или фронта</p>

Продолжение таблицы Д.1

Вид турбулентности	Метеорологические условия развития
облаков	<p>порывистости. Фронт порывистости образуется в результате опускания холодного воздуха под кучево-дождевым облаком, вызванного вовлечением воздуха выпадающими осадками. Передний край холодного воздуха у земной поверхности представляет собой как бы мелкомасштабный холодный фронт, который характеризуется большими контрастами температуры, наличием зоны сильной турбулентности, больших вертикальных и горизонтальных сдвигов ветра, а также резкими колебаниями вертикальной составляющей скорости ветра [40].</p>
Турбулентность в зоне атмосферных фронтов	<p>Резкие контрасты температуры и изменчивость поля ветра в зонах фронтов способствуют развитию турбулентности. Ширина турбулентной зоны обычно составляет несколько десятков километров, а высота ее расположения зависит от высоты фронтальной поверхности.</p> <p>В зоне холодного фронта развитие турбулентности связано как с резким изменением направления и скорости ветра, так и с развитием вынужденной конвекции и образованием кучево-дождевой облачности. Наиболее интенсивная турбулентность наблюдается при прохождении быстро перемещающихся холодных фронтов, в тылу которых осуществляется активная адвекция холодного воздуха. У земной поверхности наблюдается интенсивный рост давления, при котором барические тенденции достигают 4-6 гПа и более за 3 ч. В этом случае интенсивная турбулентность отмечается не только в зоне фронта, но и за</p>

Вид турбулентности	Метеорологические условия развития
	<p>ним – на расстоянии 100-150 км от приземной линии фронта. Значительная турбулентность вызывается не столько термическими факторами, сколько динамическими, связанными в свою очередь со значительными изменениями направления и скорости ветра с высотой и за счет влияния трения воздуха о подстилающую поверхность. В зоне теплого фронта скорость ветра, как правило, значительно меньше, чем в зоне холодного. Возникновение турбулентности на теплом фронте связано в основном с вертикальным сдвигом ветра, определяемым изменением направления и скорости ветра с высотой. Болтанка отмечается как при пересечении фронтальной зоны, так и перед теплым фронтом на расстоянии в несколько десятков километров от приземной линии фронта. Пространственная структура развивающейся при этом турбулентности весьма неоднородна – в виде отдельных тонких слоев или пятен [40].</p>
Турбулентность в ясном небе	<p>Под турбулентностью в ясном небе (ТЯН) понимают турбулентность в свободной атмосфере вне зон конвективной деятельности, а также турбулентность в перистых облаках. Воздушные потоки свободной атмосферы вне зон конвективной деятельности являются, как правило, слабовозмущенными. Турбулентное перемешивание в них обычно крайне слабое, что дает основание рассматривать эти потоки как квазиламинарные. Сильная турбулентность встречается в свободной атмосфере в виде отдельных слоев либо вкрапленных в</p>

Продолжение **таблицы Д.1**

Вид турбулентности	Метеорологические условия развития
	сравнительно спокойную среду пятен или линз. При этом турбулентные слои и перемежающиеся турбулентные пятна в атмосфере отличаются очень высоким уровнем возмущенности и представляют определенную опасность для воздушных судов [40].
Орографическая турбулентность	<p>Турбулентность воздуха, вызываемую неровностями местности, называют орографической. Ее влияние на полеты бывает сильным в холмистой местности и особенно в горных районах. Воздушный поток при обтекании горных препятствий деформируется.</p> <p>Степень и характер этой деформации зависят от характера набегающего потока – его скорости, направления и температурной стратификации, а также от формы и размеров горного хребта. Наибольшую деформацию воздушный поток испытывает на подветренной стороне хребта, где часто образуется система так называемых горных волн и вихрей, вызывающая болтанку [40].</p>

Оценка интенсивности турбулентности

В турбулентном потоке, представляющем собой совокупность неупорядоченных вихрей различного масштаба, воздушные суда испытывают перегрузки, которые ощущаются экипажем и пассажирами в виде толчков и бросков, получивших название болтанки. Интенсивность болтанки зависит от интенсивности вертикальных и горизонтальных пульсаций воздуха, от размеров и аэродинамических качеств воздушных судов, от скорости полета и других факторов [40].

Оценку эффективности турбулентности рекомендуется проводить по эффективной скорости дискретного порыва ($W_{эф}$), рассчитываемой по значению перегрузок с учетом аэродинамических характеристик самолета [40]:

$$W_{эф} = \frac{2 \cdot \Delta n \cdot m}{S \cdot \rho \cdot V_{BC}}, \quad (Д.1)$$

где Δn – приращение вертикальной перегрузки в центре тяжести самолета; m – полетная масса самолета; S – несущая площадь крыла; ρ – плотность воздуха; V_{BC} – скорость полета воздушного судна.

Перегрузку можно оценить по формуле [40]:

$$n = 1 \pm \frac{\rho \cdot V \cdot W_{эф} C_y^a}{2m / s}, \quad (Д.2)$$

где V – воздушная скорость; C_y^a – производная от коэффициента подъемной силы по углу атаки. Знак плюс относится к случаю восходящего потока, знак минус – к случаю нисходящего [40].

При расчетах $W_{эф}$ используются экспериментальные данные о величине приращения перегрузки Δn , получаемых с помощью акселерометров, установленных на воздушном судне.

Второе слагаемое в формуле (Д.2) представляет собой приращение перегрузки Δn , т.е.

$$\Delta n = \frac{\rho \cdot V \cdot W_{эф} C_y^a}{2m / s} \quad (Д.3)$$

При спокойном горизонтальном полете $n = 1$, $\Delta n = 0$. При воздействии на воздушное судно восходящего потока возникает положительное приращение

перегрузки. Находящиеся в это время в воздушном судне пассажиры и грузы становятся как бы тяжелее. Нисходящие потоки, наоборот, приводят к отрицательным перегрузкам, вследствие чего пассажиры и груз становятся как бы легче в число раз, равное приращению перегрузки. Если приращение перегрузки равно -1, возникает невесомость [40].

Формула (Д.3) показывает, что перегрузка (болтанка) пропорциональна скорости вертикального порыва. Это обстоятельство позволяет решить и обратную задачу – оценивать интенсивность турбулентности по перегрузке воздушного судна, т.е. по интенсивности болтанки. Такая оценка в практической работе вполне приемлема, хотя и является приближенной.

Таблица Д.2 - Шкала для оценки интенсивности болтанки [40].

Интенсивность болтанки	Диапазон	Скорость одиночного порыва	Характеристика поведения самолета
Слабая	$\Delta n < 0.5$	<10	Толчки, покачивание. Режим полета сохраняется. Не требуется вмешательство в управление. Пассажиры переносят хорошо.
Умеренная	$0.5 < \Delta n < 1$	10-15	Отдельные броски ($\Delta H < 20$ м/с), крены, рыскание изменение скорости (до 20 км/ч). вмешательство в управление. Изменяется режим полета. Переносится удовлетворительно.
Сильная	$\Delta n > 1$	>15	Исключительно резкие броски, большие перегрузки, резкие изменения по высоте (до 40 м и более) и скорости (более 40 км/ч).

Продолжение таблицы РРР.2

Интенсивность болтанки	Диапазон	Скорость одиночно- го порыва	Характеристика поведения самолета
			Переносится плохо. Требуется изменение параметров полета.

Важно отметить, что болтанка воздушных судов в атмосфере бывает связана не только с турбулентностью. Волновые или полуупорядоченные конвективные движения также могут приводить к вертикальным перегрузкам воздушных судов, пересекающих такие зоны с большой скоростью. Однако такие случаи сравнительно редки, поэтому практически болтанку почти всегда отождествляют с турбулентностью, а турбулентность – с болтанкой. Поскольку перегрузка зависит от удельной нагрузки воздушного судна, его скорости и других характеристик, то при одних и тех же скоростях порывов воздушные суда различных типов и даже одно и то же воздушное судно на различных режимах полета могут испытывать болтанку различной интенсивности. Исходя из этого, при заходе на посадку после создания посадочной конфигурации воздушного судна болтанка считается умеренной при Δn от $\pm 0,3g$ до $\pm 0,4g$ и сильной при $\Delta n \geq \pm 0,4g$ [40].

Оценка интенсивности аэрографической турбулентности

Для ориентировочной оценки интенсивности турбулентности могут быть использованы три графика (см. рисунок Д.1 а,б,в). По результатам зондирования в ближайшем к горному хребту пункте определяется изменение скорости ветра с высотой (V м/с) и угол, который составляет вектор ветра с осью хребта (см. рисунок Д.1 б).

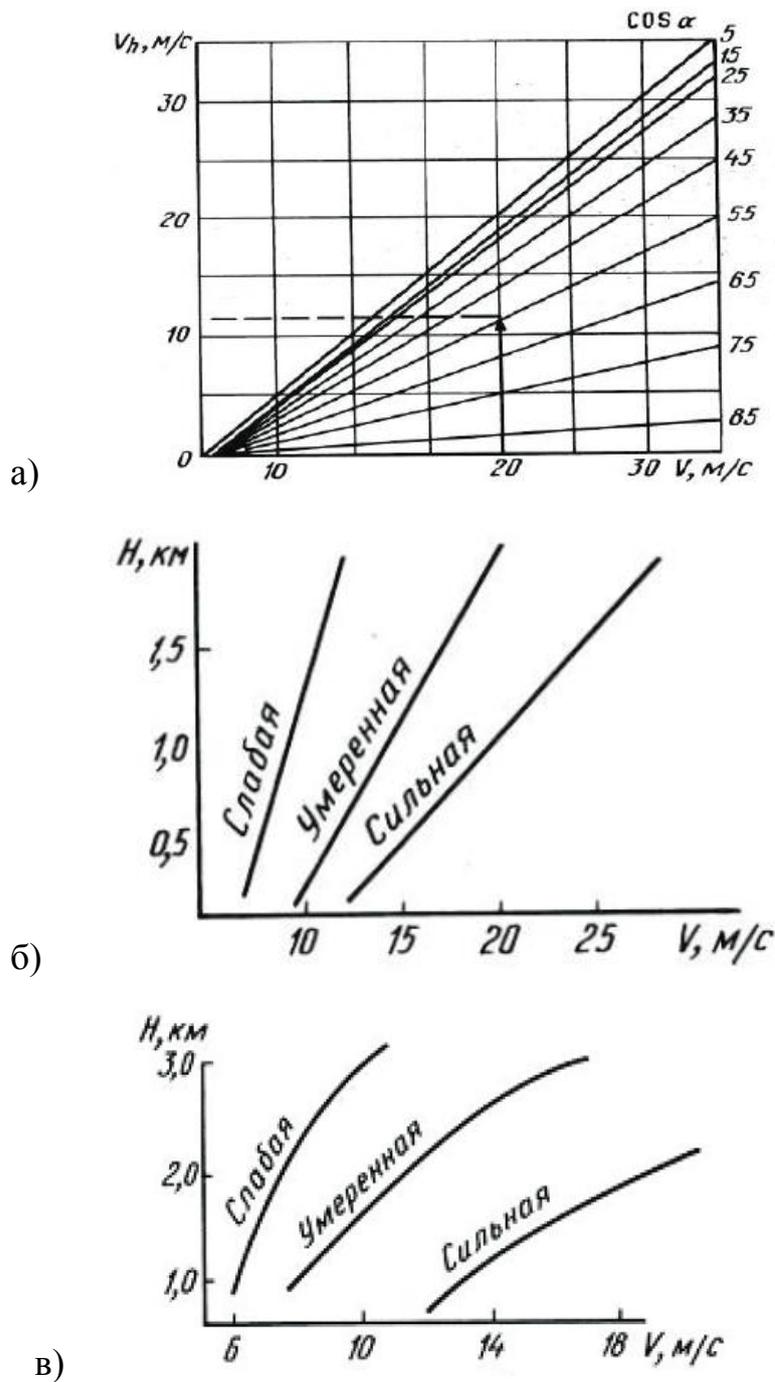


Рисунок Д.1 – Графики для оценки орографической турбулентности [40].

По номограмме, представленной на рисунке Д.1а, определяется составляющая ветра, перпендикулярная к хребту (V_h). При высоте гор до 1000 м используется номограмма, представленная на рисунке Д.1б, где по горизонтальной оси отложены значения V_h по вертикальной – значения высот над горным хребтом. Наклонные линии разграничивают зоны турбулентности разной интенсивности.

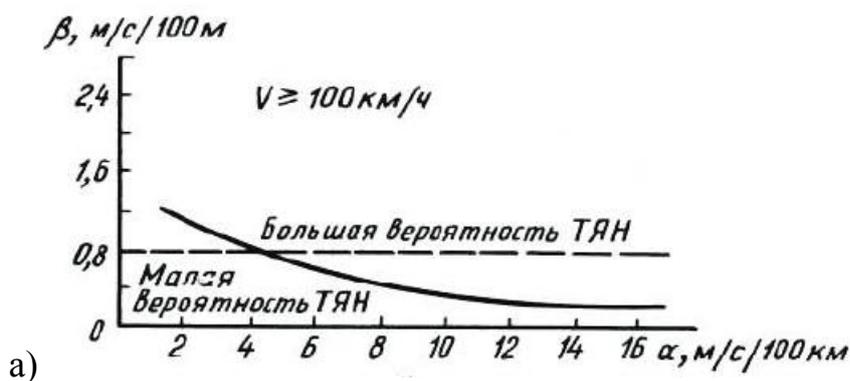
Так, при $V_h = 20$ м/с сильная турбулентность (болтанка) будет отмечаться до высоты 1000 м над хребтом, выше она будет умеренной.

Аналогичный прием используется при оценке турбулентности над горами выше 1000 м (см. рисунок Д.1в).

Оценка интенсивности турбулентности в ясном небе

Для оценки вероятности ТЯН в зависимости от вертикальных и горизонтальных сдвигов ветра можно использовать графики, приведенные на рисунке Д.2.

Сдвиг ветра, представляющий собой изменение вектора ветра от одной точки пространства до другой, выражается разностью между векторами ветра в двух точках, которая сама является вектором (так как обладает скоростью и направлением). Интенсивность сдвига ветра рассчитывается путем деления разности между векторами в двух точках на расстояние между ними. Единицами измерения сдвига ветра являются: м/с на 30 м (метр в секунду на 30 метров) – для вертикального сдвига; м/с на 600 м (метр в секунду на 600 метров) – для горизонтального сдвига.



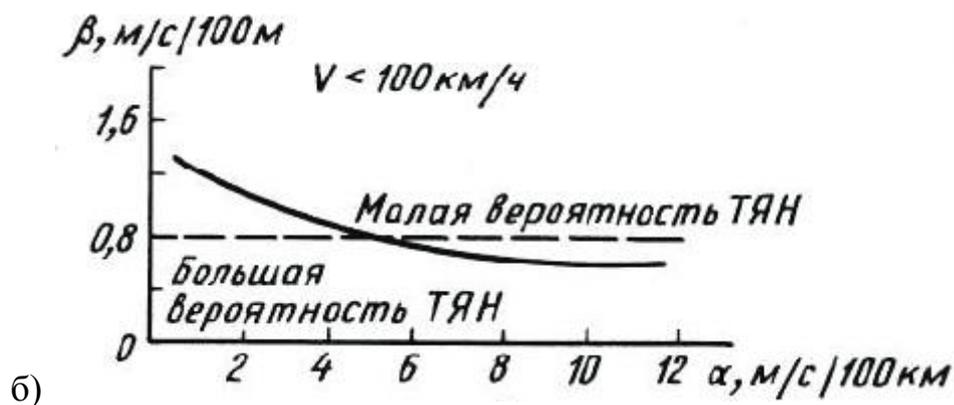


Рисунок Д.2 – Вероятность умеренной и сильной ТЯН в зависимости от вертикальных (β) и горизонтальных (α) сдвигов при скоростях ветра 100 км/ч и более (а) и менее 100 км/ч (б) [40].

Сдвиг ветра равен отношению единицы скорости к единице расстояния (высоты), т.е. единица скорости единица расстояния

$$\frac{\text{единица скорости}}{\text{единица расстояния}} = \frac{L/t}{L} = 1/t, \quad (\text{Д.4})$$

где L – расстояние; t – время. Таким образом, сдвиг ветра может выражаться в с^{-1} .

Метеорологические и синоптические условия вызывающие болтанку летательных аппаратов

Турбулентные зоны чаще всего возникают там, где наблюдаются значительные градиенты температуры и скорости ветра [40]. Экспериментальные и теоретические исследования показали, что наиболее важной и определяющей величиной, характеризующей термическую и динамическую структуру потока, является число Ричардсона [39, 41]:

$$R_i = \frac{g/t(\gamma_\alpha - \gamma)}{\beta}, \quad (\text{Д.5})$$

где t – температура в °К; g – ускорение свободного падения; γ_α , γ – адиабатический и наблюдаемый вертикальные градиенты температуры; β – сдвиг ветра, вертикальный градиент скорости ветра.

С помощью радиозондирования атмосферы можно получить сведения о температуре, скорости и направлении ветра, их изменениях с высотой. Исследуя эти параметры по слоям мощностью порядка 500-600 м (или 1000 м) и подставляя их значения в формулу Д.4 можно с помощью числа Ричардсона оценить влияние температуры и ветра на атмосферную турбулентность (болтанки), определив пороговые значения R_i . Теоретически установлено [40], что при $\frac{1}{4}$ в каком-либо слое вследствие гидродинамической неустойчивости возможно возникновение турбулентности (болтанки), а для ее сохранения достаточно выполнение условия $R_i \leq 1$. Однако, в реальных условиях турбулентные очаги встречаются и при числах R_i , превышающих эти критические значения (от $\frac{1}{4}$ до 10), и зависят от степени возмущенности атмосферы, характера вертикального и горизонтального распределения скорости ветра и температуры [42]. Причем, вклад градиента скорости (сдвига ветра) часто намного превышает вклад вертикального градиента температуры [39].

Поэтому для конкретных районов число Ричардсона может иметь свои, отличающиеся от вышеуказанных значений. Важно учитывать, что болтанка чаще наблюдается там, где имеется облачность (см. таблицу Д.3), особенно конвективных форм, где болтанка наблюдается в 90-95% случаев [40].

Анализ случаев попадания ВС в зоны атмосферной турбулентности позволяет обобщить и выявить синоптические условия (обстановки, ситуации), при которых наблюдалась болтанка воздушного судна, а также сформулировать некоторые прогностические правила. Это не означает, что только на основе определения синоптической ситуации можно сделать вывод о наличии болтанки.

Таблица Д.3 - Повторяемость болтанки в облаках различных форм [40].

Формы облаков	Число Ричардсона
Слоистые (St)	34
Слоисто-дождевые (Ns)	30
Высоко-слоистые (As)	30
Высоко-кучевые (Ac)	29
Высоко-кучевые (Ci)	34
Перисто-слоистые (Cs)	34
Перисто-кучевые (Cc)	34
Кучево-дождевые или грозовые (Cb)	90-95
Без уточнения формы	40

Однако, привлекая к анализу статистические характеристики и особенности физико-метеорологических процессов, при которых происходит полет, можно определить типичные области, в которых интенсивная турбулентность (болтанка) наблюдалась наиболее часто [40].

При наличии форм барического рельефа на высоте полета повторяемость болтанки самолета наибольшая, особенно в случае, когда происходит дальнейшее падение давления или наблюдается расходимость (сходимость) потоков. Повторяемость болтанки для различных синоптических ситуаций представлена в таблице Д.4 [40].

Таблица Д.4 - Повторяемость болтанки для различных синоптических ситуаций [40].

Тип синоптической ситуации	Интенсивность болтанки	
	Любой	Умеренной и сильной
А) Скорость ветра ≥ 90 км/ч	0,54	0,26
Циклоническая часть струи	0,61	0,33

Продолжение таблицы Д.4

Антициклоническая часть струи	0,51	0,23
Осевая часть струи	0,28	0,07
Гребень в струе	0,75	0,41
Ложбина в струе	0,51	0,26
Прямолинейная струя	0,50	0,23
Б) Скорость ветра < 90 км/ч	0,35	0,12
Гребень	0,39	0,11
Ложбина	0,43	0,20
Прямолинейный поток	0,31	0,10
В) Все скорости	0,41	0,16
Сходимость или расходимость изогипс	0,51	0,21
Отсутствие их	0,37	0,15

Сочетание нескольких синоптических ситуаций позволяют получить комплексные признаки, с помощью которых можно определить вероятность болтанки в данном барическом слое на высоте полета. Например, при различных комбинациях сочетаний 1, 2, 4, 10 и 11 ситуаций вероятность болтанки составляет 77-90 % [40].

Приложение Е Классификация туманов. Методы прогнозирования туманов

Туман – помутнение приземного слоя воздуха из-за наличия взвешенных в нем капель воды или кристаллов льда или смеси тех и других, при котором горизонтальная дальность видимости становится меньше 1 км [43]. Если взвешенные в воздухе мельчайшие капли воды, кристаллы льда или их смесь снижают дальность видимости лишь до 1 км или более 1 км, то такое явление называют дымкой.

Достижение состояния насыщения воздуха с последующей конденсацией водяного пара в приземном слое атмосферы, вызывающей образование тумана, происходит вследствие двух основных процессов: понижения температуры воздуха и увеличения его влагосодержания. При сильных морозах образованию тумана способствует обогащение воздуха водяным паром при сгорании топлива в печах, котельных электростанций, авиационных двигателях и др. [43].

Увеличение влагосодержания воздуха происходит за счет испарения с поверхности воды, почвы или капель дождя в более холодный воздух. Испарение пропорционально разности

$$T_w - T_d, \quad (\text{E.1})$$

где T_w – температура воды, поверхности почвы или капель дождя; T_d – точка росы в нижнем слое воздуха, температура которого $T > T_d$. [39].

В зависимости от причин образования тумана различают два основных вида: туманы охлаждения и туманы испарения. Туманы охлаждения в соответствии с тремя указанными выше процессами охлаждения воздушной массы делятся на адвективные, радиационные и орографические, или туманы склонов (гор и возвышенностей).

При этом туманы могут образовываться как в однородных воздушных массах (внутримассовые туманы), так и в зоне атмосферных фронтов

(фронтальные туманы). Образование фронтальных туманов обусловлено испарением капель дождя, выпадающего из теплой воздушной массы; адвективным понижением, температуры холодного воздуха, перемещающегося из более южных районов; адиабатическим охлаждением воздуха при предфронтальном падении давления. К внутримассовым туманам относятся туманы охлаждения и туманы испарения, образующиеся при насыщении холодного воздуха над теплой водой.

В отдельную группу выделяются туманы смешения, которые образуются при смешении двух воздушных масс с разной температурой и влажностью. Туманы смешения могут возникать вблизи границы холодных и теплых морских течений, вблизи побережья [43].

Условия образования различных видов тумана

Адвективный туман

Адвективный туман возникает при переносе теплого влажного воздуха над холодной подстилающей поверхностью в тыловой части антициклона и в передней части или в теплом секторе циклона.

Для существования этого тумана адвективное охлаждение воздуха должно быть достаточным, чтобы турбулентное перемешивание, зависящее от скорости ветра и стратификации воздушной массы, не успевало переносить образующиеся в приземном слое продукты конденсации вверх. Если же при аналогичном синоптическом положении турбулентность приводит к повышению уровня конденсации на некоторую высоту, то вместо тумана будут наблюдаться низкие слоистые облака [43].

Радиационный туман

Радиационный туман образуется через несколько часов после захода Солнца, чаще во второй половине ночи, при следующих условиях: 1) безоблачное небо или небольшая тонкая облачность (менее 5 баллов); 2)

скорость ветра на высоте 10 м от 0 до 3 м/с; 3) небольшое увеличение скорости ветра с высотой (в слое 300–600 м на 2–6 м/с); 4) разность между значениями температуры и точки росы на высоте 2 м около времени захода Солнца не больше 6–8 °С и небольшое уменьшение ее с высотой в нижнем слое 300–600 м. Наиболее часто такие условия создаются в антициклонах, гребнях, отрогах и барических седловинах. Летом радиационные туманы могут образоваться и в поле пониженного давления с малым барическим градиентом [43].

Адвективно-радиационный туман

Адвективно-радиационный туман образуется над сушей преимущественно в холодное время года и, как правило, ночью при слабой адвекции теплого воздуха на западной или северной периферии антициклона. Скорость ветра в приземном слое составляет 1–2, реже 3–4 м/с.

Для достижения состояния насыщения и конденсации излишков водяного пара требуется дополнительное радиационное охлаждение теплого воздуха в приземном слое. Это возможно лишь при незначительной плотности и вертикальной мощности слоистых облаков или при полном прояснении хотя бы на короткое время. В результате ночного охлаждения воздуха под слоем приподнятой инверсии происходит уплотнение ранее наблюдавшейся тонкой облачности или плотной дымки сначала на некоторой высоте над поверхностью Земли, а затем постепенное опускание их и превращение в туман. Процессу туманообразования способствует ослабление ветра ночью. Иногда после прояснений под приподнятой инверсией формируется небольшая приземная инверсия, в которой начинается образование тумана; затем происходит его слияние с уплотняющейся дымкой или тонкой слоистой облачностью под приподнятой инверсией. Точка росы в слое приподнятой инверсии, как и при адвективном тумане, увеличивается с высотой; дефицит точки росы обычно небольшой, над слоем тумана он возрастает [43].

Орографический туман, или туман склонов

Основной причиной образования тумана склонов является адиабатическое охлаждение воздуха при его подъеме по наветренным склонам возвышенностей и гор. Вертикальный турбулентный обмен является дополнительным фактором охлаждения поднимающихся объемов воздуха.

Туман склонов образуется при следующих условиях:

1) уровень конденсации должен быть ниже вершины возвышенности или горы;

2) над вершиной возвышенности или горы должна быть инверсия температуры, препятствующая распространению продуктов конденсации водяного пара в вышележащие слои.

Значительная часть туманов на склонах гор и возвышенностей образуется, когда при адиабатическом охлаждении восходящего потока нижний слой воздуха увлажняется, а иногда насыщается выпадающими дождями [43].

Туман испарения

Туман испарения в холодной воздушной массе над более теплой водной поверхностью образуется следующим образом. Осенью и зимой в нижнем слое воздуха, охлаждающегося в антициклоне над материком или над ледяными полями Арктики, формируется инверсия температуры до высоты нескольких сотен метров. После перемещения на незамерзшие реки, озера, водохранилища или акватории морей охлажденный воздух прогревается над более теплой водной поверхностью в самом нижнем слое. Благодаря слабому турбулентному обмену над водной поверхностью инверсия температуры частично разрушается до высоты 50–100 м. В то же время испарение с поверхности воды вызывает насыщение водяным паром соприкасающегося с нею воздуха. Если разность между температурой относительно теплой воды и холодного воздуха до его перемещения на водную поверхность составляет 10–15 °С и более, под приподнятой инверсией образуется избыток водяного пара.

В результате смешения с более холодным воздухом у нижней границы приподнятой инверсии избыточный водяной пар конденсируется [43].

Прогнозирование туманов

Адвективный туман

Адвективный туман следует ожидать, когда согласно прогнозу синоптического положения ожидаются условия для адвекции теплого влажного воздуха на более холодную подстилающую поверхность. При этом температура и точка росы приходящего воздуха в начале его прогностической траектории при прогнозе на последующие 10–12 ч должны быть выше их значений в данном районе или пункте хотя бы на 0,5 °С, чаще на 1–3, реже на 4–6 °С. Дефицит точки росы в теплом воздухе в начале траектории обычно не превышает 2 °С при положительной температуре и 3 °С при отрицательной. Указанные значения дефицита точки росы в начале траекторий характерны для случаев образования тумана при скорости ветра у поверхности Земли не более 10 м/с. При скорости ветра более 10 м/с и разности между температурой в начале и конце траектории 7 °С и более может происходить очень быстрая трансформация теплого воздуха, например, при переходе с воды на холодную почву или с почвы на снежный покров. Тогда возникновение тумана возможно при дефиците точки росы в начале траектории 2–3 °С [39].

Для прогноза адвективного тумана необходим расчет индивидуального изменения температуры и точки росы (трансформации) воздуха при его перемещении на более холодную поверхность воды, почвы или снега.

Изменение температуры теплого воздуха в приземном слое при сплошной низкой облачности пропорционально разности температур в конечной и начальной точках траектории и обратно пропорционально скорости ветра. Чем больше скорость ветра, тем интенсивнее турбулентный обмен. С усилением ветра уменьшается индивидуальное понижение

температуры движущегося воздуха соответственно увеличению толщины слоя перемешивания, в котором происходит охлаждение воздуха.

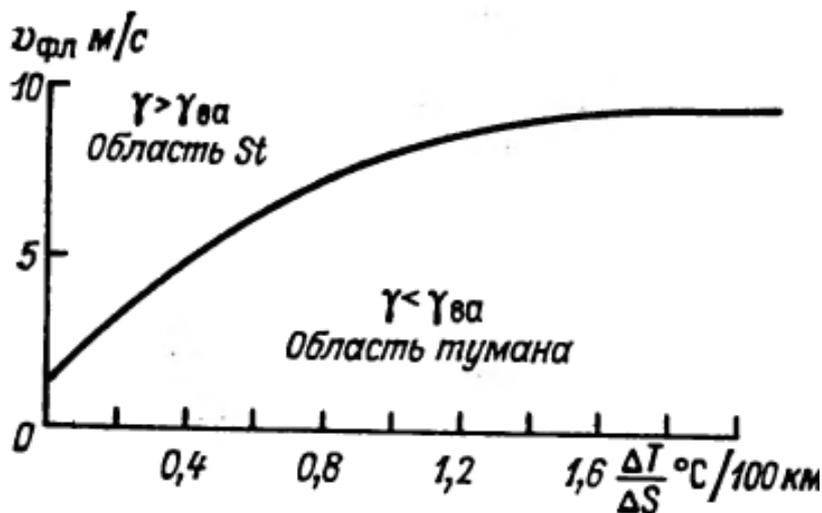


Рисунок Е.1 – График для прогноза адвективного тумана, адаптировано из [43].

На этом основании построен эмпирический график для прогноза адвективного тумана на суше (см. рисунок Е.1) в зависимости от составляющей горизонтального градиента температуры $\Delta T/\Delta S$ вдоль пути перемещения воздушной частицы и ожидаемой скорости ветра в пункте прогноза на уровне флюгера и $v_{фл}$. Траектория воздушной частицы в приземном слое строится на 810 ч от срока исходной карты, что обеспечивает заблаговременность прогноза тумана около 6 ч. В качестве траектории принимается линия, отклоненная от изобар в сторону высокого давления на половину угла между направлением касательной к изобаре и направлением ветра на уровне флюгера. Длина ΔS траектории определяется с помощью экстраполяционной линейки как отрезок пути ΔS (в сотнях км), пройденного частицами воздуха за 8–10 ч со скоростью, равной половине скорости градиентного ветра.

Если имеются данные о ветре на высоте 100–300 м, то траектория проводится вдоль направления ветра на этой высоте. Длина траектории

определяется как путь частиц воздуха за 8–10 ч при скорости этого ветра. В начальной точке траектории следует брать среднее значение температуры по данным 3–5 ближайших к этой точке станций, в конечной точке траектории – температуру в пункте, для которого дается прогноз. Разделив ΔT на ΔS , найдем искомое значение горизонтального градиента температуры (в $^{\circ}\text{C}/100$ км) [43].

В случае, когда на ближайшие 8–10 ч ожидается существенное изменение барического поля, траектория строится по начальной и прогностической картам погоды.

По значениям $\Delta T/\Delta S$ и $v_{\phi l}$ находится точка на графике (см. рисунок Е.1). Если точка попадает в область между осью абсцисс и кривой, то следует ожидать адвективный туман. Если же она попадает выше кривой, то следует ожидать сохранение низких облаков.

График (см. рисунок Е.1) позволяет определить, переместится ли зона наблюдающегося тумана по направлению потока в тот район, по которому требуется дать прогноз, или же эта зона не достигнет данного района. Если по траектории перемещается воздух из зоны тумана, но точка, соответствующая найденным величинам горизонтального градиента температуры и скорости ветра, расположена на графике в области ΔS , то туман не достигнет района, по которому дается прогноз. В этом случае туман будет приподниматься и превращаться в низкую облачность. Если же указанная точка расположена на графике в области тумана, туман распространится в данный район.

График, приведенный на рисунке Е.1, был уточнен по данным метеорологических наблюдений в Шереметьево (см. рисунок Е.2). Для использования этого графика необходимы еще данные о дефиците точки росы в начальной точке траектории Δ' . Если точка, соответствующая значениям $\Delta T/\Delta S$ и Δ' (в верхней части графика), попадает в область тумана, то от нее надо опуститься по вертикали до пересечения с изотаксой (горизонтальной линией), соответствующей ожидаемой через 8–10 ч скорости ветра v в пункте

прогноза на уровне флюгера. Туман прогнозируется, если точка пересечения (теперь в нижней части графика) попадает в область тумана [43].

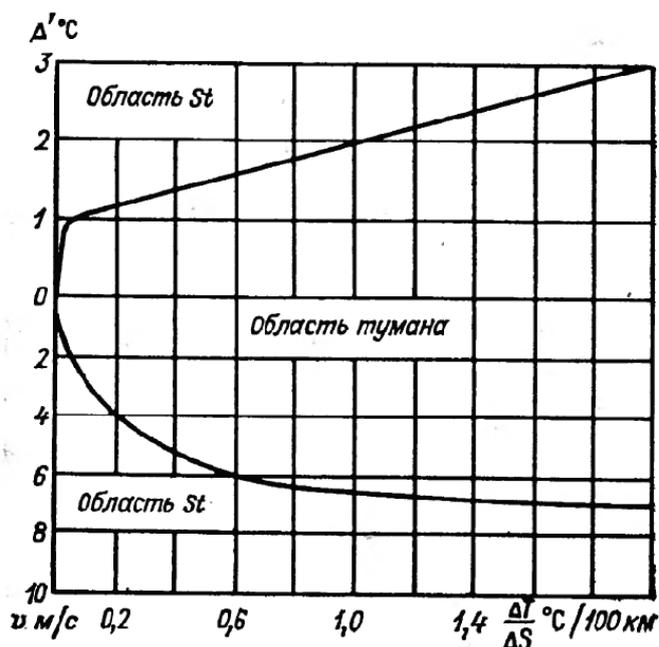


Рисунок Е.2 – Комплексный график для прогноза адвективного тумана по составляющей горизонтального градиента температуры ($\Delta T/\Delta S$) вдоль 9-часовой траектории частицы воздуха, дефициту точки росы (Δ') в начале этой траектории и ожидаемой скорости ветра (v) в пункте прогноза, адаптировано из [43].

Подобные графики рекомендуется строить для каждого географического района. Детализация возможна путем учета направления траектории частицы и свойств подстилающей поверхности (особенно границ снежного покрова).

Кроме расчетов с помощью рассмотренных графиков при составлении прогноза полезно учитывать, что адвективный туман следует ожидать, когда по прогнозу температура приходящей в данный район (пункт) воздушной массы в результате трансформации окажется ниже исходного значения точки росы в начале траектории. Возможность такого понижения температуры определяется косвенным путем по значению разности между точкой росы в начале траектории T_d' и исходной температурой воздуха T в конце траектории [43].

Эмпирические исследования показали, что адвективный туман следует ожидать при $(T_d' - T) > 0$.

Прогноз адвективного тумана над морским побережьем в случае выноса влажного теплого воздуха с водной поверхности на сушу дается с помощью номограммы (см. рисунок Е.3) и предельных значений скорости ветра для данного места и района. Основным прогностическим параметром образования адвективного тумана на побережье является разность между температурой поверхностей воды и суши.

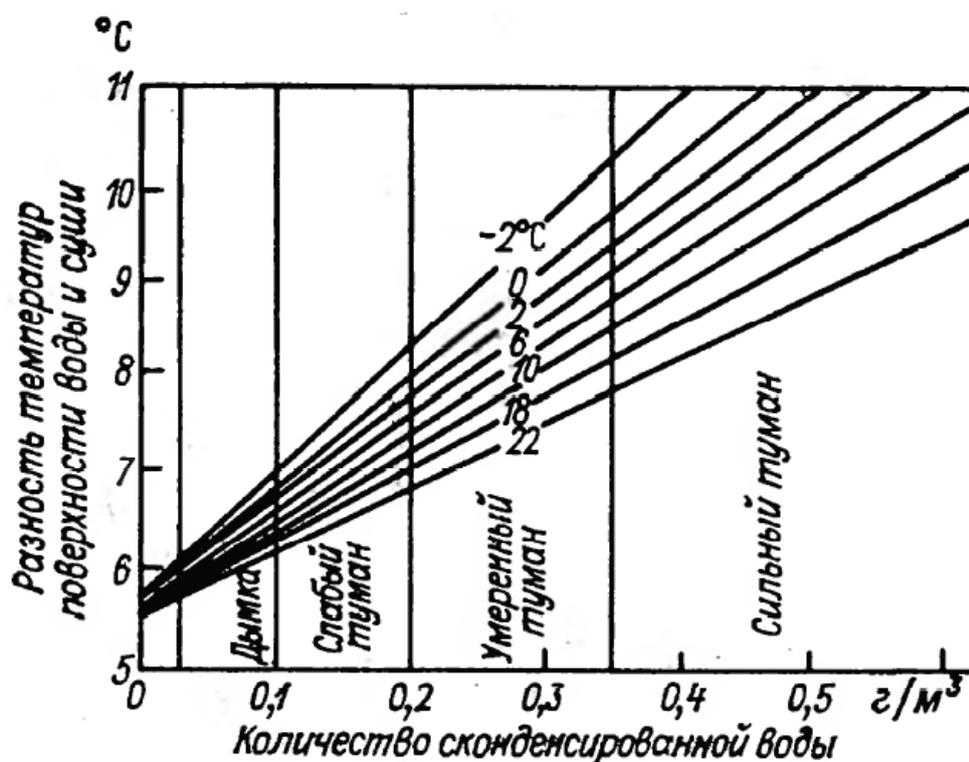


Рисунок Е.3 – Номограмма для определения условий образования адвективного тумана охлаждения. (Наклонные линии – изолинии температуры воды), адаптировано из [43].

Номограмма позволяет определить ожидаемую плотность тумана примерно в 50 км от берега по количеству сконденсировавшейся воды в приземном слое воздуха.

Прогноз адвективного тумана над открытым морем дается, когда происходит перемещение воздуха с теплой водной поверхности (теплого

течения) на холодную водную поверхность (холодное течение). Так как над теплой водой воздух бывает близок к насыщению, то при переходе на холодную воду требуется небольшая разность температур поверхностного слоя теплой и холодной воды. Однако ширина холодного течения или акватории холодной части моря на пути воздушного потока должна быть достаточно большой (не менее 100–200 км), чтобы произошло необходимое для образования тумана понижение температуры воздуха на 1–3°С ниже начального значения точки росы [43].

Прогноз радиационного тумана

Радиационный туман предсказывается в случаях, когда создаются следующие благоприятные условия для его образования:

- ясная погода или небольшая облачность ночью;
- слабый ветер (не более 3–4 м/с);
- малый начальный дефицит точки росы, большая относительная влажность вечером (более 60 %);
- увлажнение вечером в связи с выпадением дождя;
- приземная инверсия температуры.

В основу прогноза радиационного тумана положено соотношение между ожидаемой температурой образования тумана T_m и ожидаемой минимальной температурой воздуха T_{min} ночью.

Если, согласно синоптическому положению в исходный вечерний срок наблюдений и по прогнозу его изменения, ночью ожидается безоблачная или малооблачная погода и слабый ветер, то при $T_{min} \leq T_m$ следует ожидать туман. Если T_m будет на 1–2°С меньше T_{min} , то возможна дымка. Таким образом, прогноз радиационного тумана сводится к прогнозу T_m и T_{min} , а также времени образования и рассеяния тумана [43].

Температура образования тумана определяется по формуле

$$T_m = T_d - \delta T_d, \quad (\text{E.2})$$

где T_d начальное значение точки росы в вечерний срок наблюдений, близкий по времени к заходу Солнца; δT_d – понижение точки росы до момента образования тумана [43].

Начальное значение точки росы следует брать в вечерний срок наблюдений, близкий к моменту составления прогноза. На Европейской территории России для прогнозов от 19 до 7 ч принято использовать значение точки росы в 18 ч, так как данные наблюдений в этот срок наносятся на кольцевую карту погоды

Понижение точки росы δT_d зависит от начальных значений температуры и точки росы, состояния почвы, скорости ветра, вертикального градиента T_d или $(T - T_d)$ и т. п. Роль этих факторов обычно оценивается путем сопоставления значений T_d в исходный срок наблюдений и в момент образования тумана. При этом можно детализировать получение средних δT_d в зависимости от начальных численных значений указанных факторов. Эмпирическая оценка δT_d позволяет косвенно учитывать и другие местные особенности пункта.

Температура туманообразования может быть также определена по значению точки росы в 18 ч по графику на рисунке Е.4 в точке пересечения вертикали, соответствующей данной точке росы, с наклонной линией на графике. Например, при точке росы в 18 ч, равной 10 °С, температура образования тумана равна 8,4 °С. Если требуется определить по ожидаемой минимальной температуре воздуха вероятность образования тумана, то нужно найти данное значение температуры на вертикальной шкале, от этой точки нужно переместиться по горизонтали до пересечения с наклонной линией, затем от точки пересечения – по вертикали до горизонтальной шкалы, где отсчитать значение точки росы.

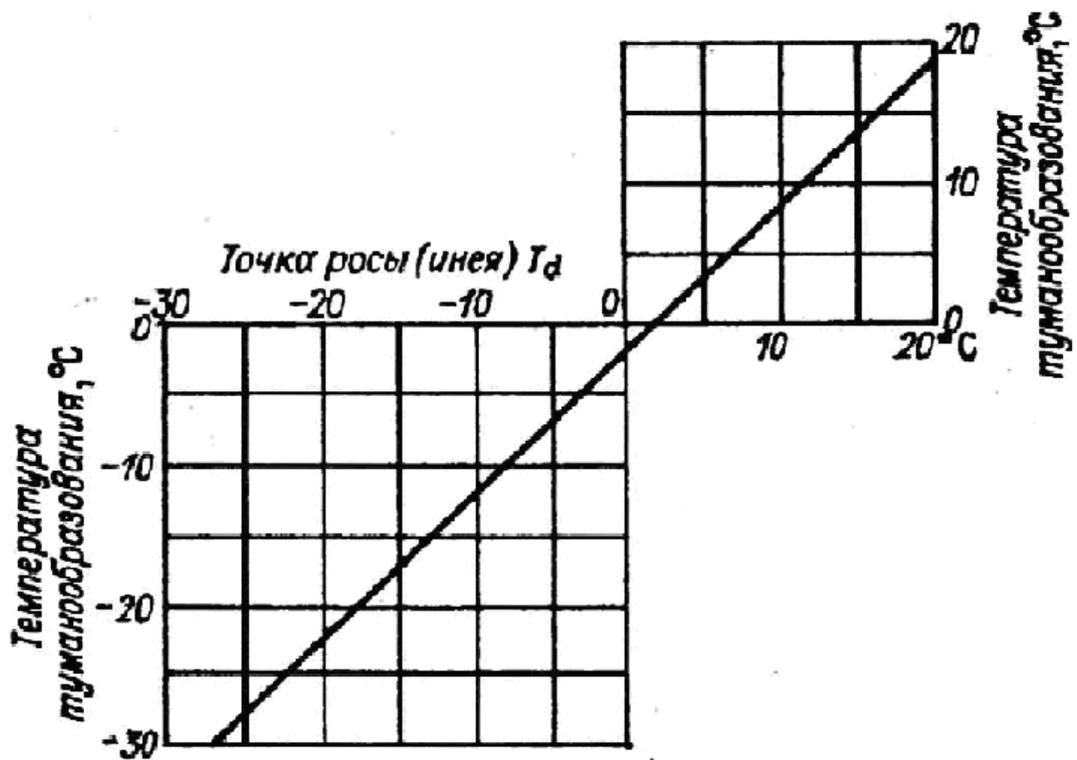


Рисунок Е.4 – График для определения температуры образования тумана (T_m) по значению точки росы (T_d) в 18 ч), адаптировано из [43].

Туман возможен, когда найденное по графику значение точки росы равно или меньше точки росы в начальный срок, например, ожидается $T_{min} = -10$ °C, а T_d в 18 ч имеет значение -7 °C, расчеты по графику показывают, что при ожидаемой T_{min} для образования тумана необходима точка росы -8 °C. Следовательно, в данном примере туман вероятен [43].

Прогноз фронтального тумана

Туман перед медленно перемещающимся теплым фронтом или теплым фронтом окклюзии, а также за малоподвижным холодным фронтом следует ожидать, главным образом, поздней осенью и зимой при выпадении слабого дождя или мороси в клине холодного воздуха. Фронтальная поверхность в таком случае обнаруживается по данным вертикального зондирования в виде

инверсии температуры, которая нередко сливается с приземной инверсией в пленке выхоложенного воздуха. При этом в слое инверсии температуры значения точки росы также растут с высотой. В образовании тумана основную роль играет испарение с капель дождя или мороси. Испарение будет тем сильнее, чем выше температура на верхней границе фронтальной инверсии по сравнению с температурой в слое холодного воздуха у поверхности Земли (на высоте 2 м).

Прогноз фронтального тумана дается на основании прогноза перемещения фронта, прогноза фронтальных осадков (их фазы – жидкой или кристаллической) и ветра в зоне фронта.

Благоприятными условиями для образования фронтального тумана являются следующие:

1) температура теплого воздуха на верхней границе фронтальной инверсии выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а разность между ее значением на этом уровне и температурой холодного воздуха на высоте 2 м вблизи интересующего участка фронта составляет $3\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$;

2) дефицит точки росы в холодном воздухе вне зоны фронтальных осадков не превышает $2\text{ }^{\circ}\text{C}$;

3) скорость ветра в холодном подфронтальном воздухе не больше 6 м/с.

Для прогноза фронтального тумана рекомендуется использовать график (см. рисунок Е.5), на горизонтальной оси которого откладывается дефицит точки росы или относительная влажность у поверхности Земли в холодном воздухе, на вертикальной оси – разность температур на верхней границе фронтальной инверсии (T_k) и на высоте 2 м (T). В случае, когда точка, соответствующая дефициту точки росы (относительной влажности) в холодном воздухе и разности ($T_k - T$), попадает на графике выше кривой, то следует ожидать образование тумана или усиление ранее возникшего тумана.

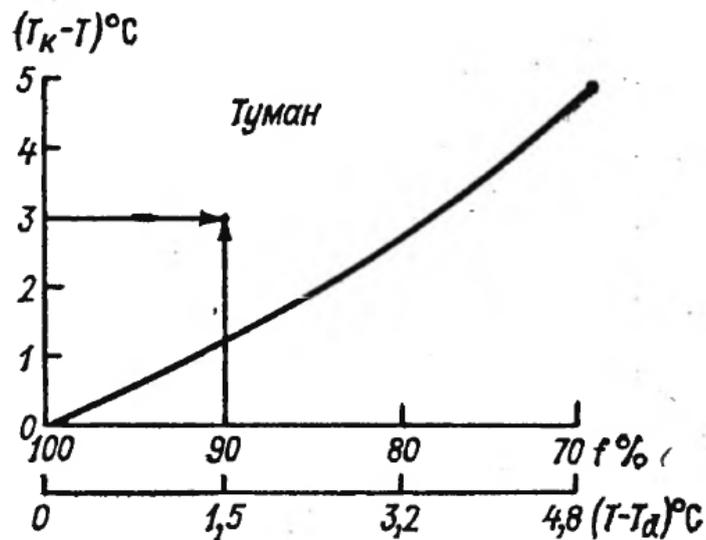


Рисунок. Е.5 - График прогноза фронтального тумана), адаптировано из [43].

Для определения эволюции уже образовавшегося фронтального тумана необходимо руководствоваться следующими положениями:

- 1) если в нижнем километровом слое имеется инверсия температуры и ее величина больше 2°C , то дождь, как правило, усиливает туман;
- 2) при понижении температуры в том же слое более чем на $0,4-0,5^{\circ}\text{C}$ на 100 м в большинстве случаев дождь рассеивает туман тем быстрее, чем выше нижняя граница облаков и больше падение температуры с высотой;
- 3) при изотермии слабый и умеренный дождь может лишь вызвать ослабление тумана вследствие частичной коагуляции капель тумана с каплями дождя, а не полное рассеяние его. Благодаря одинаковой температуре капель дождя и тумана испарения ни тех, ни других не будет;
- 4) если дождь переходит в снег, то независимо от стратификации он ослабляет или рассеивает капельножидкий туман вследствие переконденсации водяного пара с капель на ледяные кристаллы [43].

Прогноз тумана испарения

Туман испарения над водной поверхностью возникает в случаях, когда температура поверхности воды значительно выше температуры воздуха,

перемещающегося с суши. Обычно при тумане разность $\Delta T = (T_{\text{воды}} - T_{\text{возд}}) \geq 10$ °С, а относительная влажность окружающего воздуха $f \geq 70\%$. С понижением¹ относительной влажности f минимальная разность ΔT , при которой начинается образование тумана, увеличивается:

Таблица Е.1 - Зависимость образования тумана от температуры и влажности воздуха.

$f(\%)$	90-85	85-80	80	80-75	75-70
$\Delta T(^\circ\text{C})$	8,6	9,7	10,3	12,6	14,5

Поскольку с ростом скорости ветра усиливается турбулентное перемешивание, распространяющееся на слой большей толщины, минимальная разность ΔT тоже увеличивается при усилении скорости ветра v . Так, при $f = 85:80\%$ разность ΔT при разных значениях v имеет следующие значения (по данным наблюдений в лабораторных условиях):

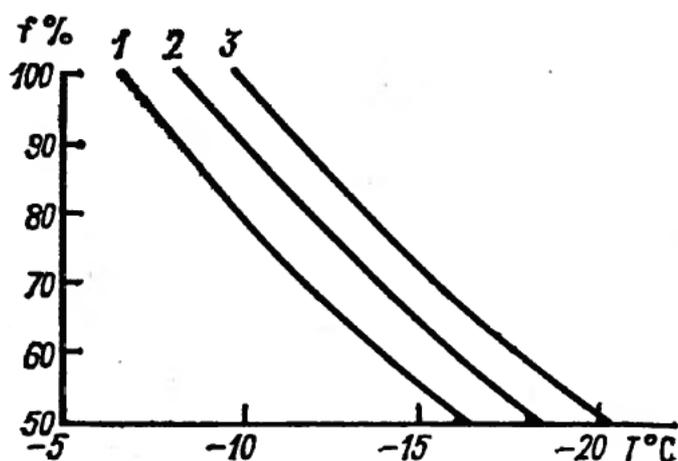


Рисунок Е.6 - График для определения условий образования тумана испарения различной водности. 1 – водность 0,03 г/м³, 2 – 0,03–0,04 г/м³, 3 – 0,05–0,01 г/м³), адаптировано из [43].

Зимой, когда температура открытой поверхности воды обычно близка к 0°C, можно рассматривать непосредственно зависимость образования тумана от температуры и влажности воздуха. В связи с этим был получен эмпирический график (см. рисунок Е.6), по оси абсцисс которого откладывается начальная температура, по оси ординат – начальная относительная влажность воздуха над сушей или ледяными полями. Если точка, соответствующая начальным значениям температуры и относительной влажности, находится слева от линии 7, то тумана не следует ожидать. В случае, когда указанная точка окажется между линиями 1 и 2, возможен слабый туман (видимость 500–1000 м), между линиями 2 и 3 – умеренный туман (видимость 200–500 м), справа от линии 3 – сильный туман (видимость 50–200 м). График рекомендуется использовать, если согласно прогнозу синоптического положения ожидается сильное выхолаживание воздуха на суше или над ледяными полями замерзшей части моря, а затем перемещение воздуха на открытую водную поверхность. Температуру и влажность воздуха следует брать на характерной станции или группе станций на суше, откуда перемещается воздух.

Приложение Ж Прогнозирование обледенений ВС

Под обледенением ВС в [44] понимают отложение льда в полете на различных частях ВС. В [45] дают следующее определение: обледенение ВС - отложение льда на поверхности самолета при полете в капельножидких или смешанных облаках при отрицательных температурах или в переохлажденном дожде, мокром снеге и мороси, а также на земле, в [46] - явление, при котором воздушное судно во время полета или стоянки на аэродроме покрывается слоем льда, в [47] - покрытие льдом частей воздушного судна, силовых установок и внешних деталей специального оборудования, обтекаемых в полете воздушным потоком.

По статистике ИКАО из-за обледенения ежегодно происходит около 7% всех авиационных катастроф, связанных с метеорологическими условиями. Это немногим меньше 1% всех авиакатастроф вообще.

Для современных самолетов обледенение уже не представляет серьезной опасности, так как они оснащены надежными антиобледенительными средствами (электрообогрев уязвимых мест, механическое скалывание льда и химическая защита поверхностей). Кроме того, лобовые поверхности самолетов, летящих со скоростью более 600 км/ч, сильно нагреваются вследствие торможения и сжатия воздушного потока, обтекающего самолет. Это так называемый кинетический нагрев деталей самолета, из-за которого температура поверхности самолета сохраняется выше точки замерзания воды даже при полете в облачном воздухе со значительной отрицательной температурой.

Однако интенсивное обледенение самолета при вынужденном длительном полете в переохлажденном дожде или в облаках с большой водностью представляет реальную опасность и для современных самолетов [48].

Причинами обледенения могут быть:

1. Замерзание переохлажденных капель, сталкивающихся с поверхностью ВС, на передних (выступающих) частях ВС.

2. Отложение ледяных кристаллов на поверхности ВС при температуре поверхности ВС ниже температуры окружающего воздуха (например, при снижении ВС с более холодных слоев воздуха в теплые).

При этом виды льда подразделяют на четыре типа: прозрачный, матовый, белый крупнообразный, иней [44].

Классифицировать виды обледенения можно несколькими способами. В зависимости от интенсивности отложения льда [44] обледенение бывает: слабым (0,5 мм/мин), умеренным (0,5-1,0 мм/мин), сильным (более 1,0 мм/мин). Также выделяют капельное, сублимационное, сухое и топливное обледенения. Капельное обледенение – оседание на поверхности капель переохлажденной воды, существование которой возможно при температуре атмосферного воздуха до -40°C с последующим переходом в кристаллическое состояние. Сублимационное обледенение – обледенение, обусловленное переходом водяных паров, содержащихся в окружающем воздухе, непосредственно в твердое состояние, минуя жидкую фазу. Ввиду незначительности, такое обледенение особой опасности для полета не представляет. Сухое обледенение – оседание на поверхности воздушного судна кристаллов льда при полете в кристаллических облаках. Особой опасности для полета сухое обледенение ввиду своей незначительности не представляет. Топливное обледенение (эффект переохлаждения) – обледенение, возможное при температуре окружающего воздуха от -2°C до $+15^{\circ}\text{C}$. Когда воздушное судно осуществляет посадку после выполнения полета на большой высоте или заправляется очень холодным топливом, вода,

находящаяся в воздухе, конденсируется на охлажденной поверхности и замерзает в виде кристаллов льда и инея. Крыло воздушного судна становится «переохлажденным». При выпадении осадков на холодной поверхности воздушного судна, находящегося на земле, возможно образование прозрачного льда, который может проявить себя во время или после взлета. Переохлаждению способствуют температура и количество топлива в баках, тип и расположение топливных баков, продолжительность полета на большой высоте, температура дозакраченного топлива и время, прошедшее после дозакрачки [47].

Форма ледяных наростов и интенсивность их образования в основном определяются метеорологическими условиями, но в значительной степени также зависят от формы деталей самолета и скорости полета. Причем, с увеличением скорости до 600 км/ч интенсивность обледенения возрастает, так как за единицу времени к единице поверхности самолета подходит большее количество переохлажденных капель воды, находящихся в воздушном потоке.

При малых скоростях полета отложение льда обычно происходит на передних кромках деталей ВС. При больших скоростях вследствие адиабатического сжатия и трения воздуха в пограничном слое потока повышается температура поверхности самолета. Вследствие этого интенсивность обледенения и температура воздуха, в котором оно возможно, уменьшается. Кроме того, изменяется форма ледяных наростов и их расположение на поверхности самолета. Наибольшему нагреву подвергается передняя кромка крыла, стабилизатора и киля, точнее их критическая линия (линия, на которой происходит полное затормаживание потока).

Прирост температуры в критической точке профиля крыла при различных скоростях полета вне облаков представлен в таблице Ж.1.

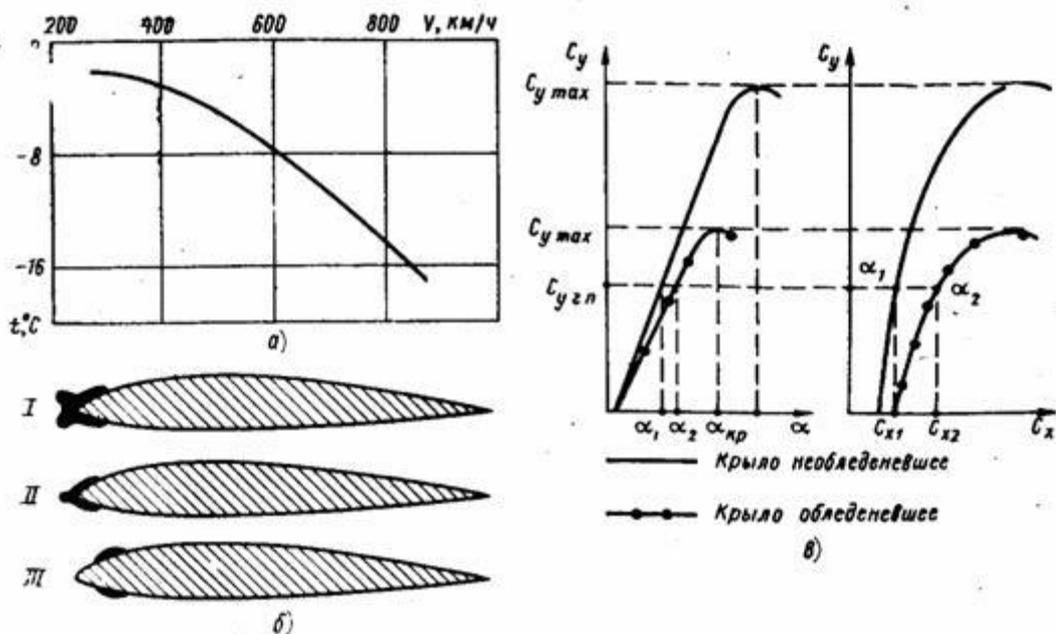
Таблица Ж.1 – Прирост температуры в критической точке профиля крыла при различных скоростях полета вне облаков.

Скорость полета, км/ч	300	400	500	600	700	800	900	1000
Прирост температуры в критической точке профиля крыла, °С	3,5	6,2	9,6	13,9	19	24,6	31,2	38,7

При полете в облаках (в условиях обледенения) нагрев несколько меньше, так как происходит некоторая потеря тепла вследствие испарения капельной влаги. По мере удаления от критической линии к задней кромке профиля температура постепенно понижается и, таким образом, возможна ситуация, когда температура крыла может быть положительной на передней кромке и отрицательной в задней части. При таком характере изменения температуры по крылу переохлажденные капли воды на передней кромке нагреваются и лед не образуется. Перемещаясь по направлению течения пограничного слоя, вода постепенно охлаждается и в определенном месте на поверхности крыла замерзает.

Учитывая нагрев воздуха в точках торможения потока и в пограничном слое, можно сделать вывод, что обледенение скоростных самолетов происходит при более низких температурах. Причем, на

больших скоростях температура вероятного обледенения ниже (рисунок Ж.1а).



Полет в условиях обледенения:
 а—зависимость $t^\circ\text{C}$ воздуха от скорости полета V , при которой возможно обледенение самолета; б—виды обледенения крыла; в—изменение аэродинамических характеристик при обледенении самолета

Рисунок Ж.1. Полет в условиях обледенения, адаптировано из [49].

Нарушение плавности обтекания вызывает значительное перераспределение давления по профилю и изменяет величину сил трения. Вследствие этого на каждом угле атаки коэффициент C_y уменьшается, C_x возрастает, а аэродинамическое качество самолета резко уменьшается. Критический угол атаки крыла и оперения, а также $C_{y \max}$ и $C_{удоп}$ уменьшаются (см. рисунок Ж.1в). Такое изменение аэродинамических характеристик самолета вызывает ухудшение и летных характеристик на всех этапах полета.

Скорость и тяга, потребные для горизонтального полета, возрастают вследствие уменьшения C_y , увеличения C_x и падения аэродинамического

качества самолета. В случае обледенения воздухозаборников двигателей возможно падение тяги силовой установки, а также повреждение двигателей. Увеличение потребной тяги и некоторое уменьшение располагаемой вызывает уменьшение запаса тяги. Минимальная и минимально допустимая скорость горизонтального полета увеличиваются, а максимальная и число M уменьшаются. Диапазон скоростей, практический потолок, скороподъемность и угол подъема самолета уменьшаются.

Нарушение плавности обтекания крыла и оперения значительно уменьшает диапазон центровок, при которых возможно обеспечить устойчивое продольное равновесие, а также вызывает ухудшение и боковой устойчивости самолета. Значительно ухудшается эффективность рулей.

Для обеспечения безопасности полета следует перед вылетом тщательно изучить метеобстановку на трассе, особенно в районе аэродромов взлета и посадки, учитывая, что большинство случаев обледенения самолетов наблюдается на меньших высотах (менее 5000 м). Обледенение самолета на больших высотах полета встречается редко, но возможно в любое время года.

Необходимо уточнить действия пилота на различных этапах полета при обледенении. При интенсивном обледенении запрещается производить полет в связи с возможным повреждением двигателей, а также значительным ухудшением летных характеристик самолета. Взлет на обледеневшем самолете производить запрещается, так как вследствие ухудшения обтекания значительно увеличивается скорость отрыва и длина разбега, а нарушение устойчивости и управляемости не гарантирует безопасности взлета. При взлете в условиях возможного обледенения: противообледенители двигателей, воздухозаборников и стекол фонаря кабины

пилотов включатся после запуска двигателей; противообледенитель крыла и оперения после взлета в наборе высоты. Набор высоты, горизонтальный полет и снижение в условиях обледенения при нормально действующих противообледенительных устройствах не имеют существенных отличий от нормального полета. Набор высоты при прохождении зон обледенения необходимо производить на номинальном режиме работы двигателей с максимальной вертикальной скоростью. Противообледенительную систему крыла и оперения при полете на эшелоне необходимо включать за 3-5 мин до входа в зону возможного обледенения. После выхода самолета из зоны обледенения противообледенители выключаются только после удаления льда с поверхности самолета. При обнаружении льда на стабилизаторе или при неуверенности в его отсутствии пилотирование должно быть плавным, координированным, с изменением перегрузки не более $\pm 0,3$. Учитывая ухудшение устойчивости и управляемости обледеневшего самолета в полете, особенно при снижении и посадке, следует создавать центровку, близкую к средней. При такой центровке самолет сбалансируется почти при нейтральном положении руля высоты, а это значит, что запас по рулю высоты для обеспечения равновесия и управляемости наибольший. При посадке на обледеневшем самолете посадочная скорость и длина пробега самолета будут большими [49].

Наиболее значительные отложения льда отмечаются на передней кромке крыла, горизонтального оперения, на отдельных частях фюзеляжа, остеклении кабины летчика, на антеннах, приемных трубках аэронавигационных приборов. На поршневых самолетах, кроме того, обледеневают винты, карбюраторы, а на реактивных самолетах с турбореактивными двигателями – входные кромки диффузоров, защитные сетки воздухозаборников, лопасти направляющего аппарата и первой ступени осевого компрессора. При сильном обледенении самолета происходит значительное ухудшение летных характеристик самолета. При горизонтальной скорости полета 700-800 км/ч обледенение самолета наблюдается

редко, т. к. вследствие кинетического нагрева температура поверхности самолета обычно выше 0 °С [45].

Однако пилот может не бояться обледенения, если он хорошо знает причины образования льда и умеет бороться с начавшимся обледенением самолета. Пилот должен по возможности избегать полетов в районах, где возможно обледенение. Он должен уметь бороться с образованием льда на наружных поверхностях самолета и во всасывающей системе двигателя.

Обледенение карбюратора может происходить в любое время года. Всасывающая система большинства поршневых двигателей очень легко подвергается обледенению. При этом образование льда не связано с какой-то определенной погодой. Для того чтобы произошло обледенение, необходимо только соответствующее сочетание температуры и влажности.

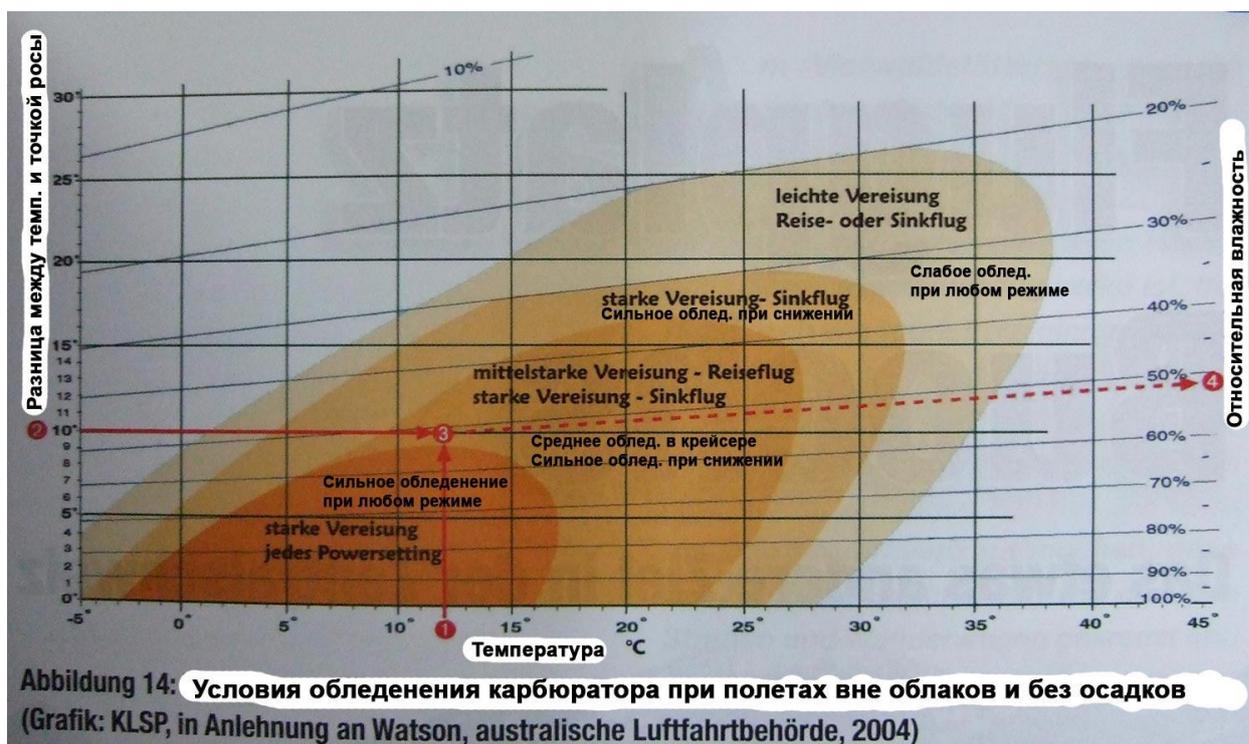


Рисунок Ж.2 – Условия обледенения карбюратора при полетах вне облаков и без осадков [50].

Имеется пять основных видов обледенения карбюратора:

1. Обледенение за счет ударного действия встречного потока воздуха.

Такие части всасывающей системы двигателя, как воздухозаборник, сетка карбюратора, диффузор и другие, выступающие внутри всасывающей магистрали детали, подвергаются обледенению аналогично наружным поверхностям самолета, т. е. в результате ударного действия встречного потока воздуха. Первым признаком обледенения карбюратора является блокирование поступления воздуха во всасывающую систему вследствие образования льда на сетке карбюратора. Обледенение воздухозаборника или диффузора карбюратора приводит к обеднению смеси.

2. Обледенение, вызываемое испарением горючего.

Поскольку принцип действия карбюратора аналогичен принципу действия расширительного клапана холодильника, обледенение карбюратора может происходить при температуре внешнего воздуха порядка 30°C и при точке росы, равной 12°C . В результате того, что на испарение горючего затрачивается большое количество тепла, которое отнимается у поступающего воздуха, происходит падение температуры воздуха в смесительной камере. Кроме того, увеличение скорости потока в смесительной камере приводит к понижению давления и дополнительному снижению температуры, что объясняется законами физики, согласно которым давление в потоке изменяется обратно пропорционально скорости, а температура прямо пропорциональна давлению газа.

Обледенение за счет испарения горючего является особенно опасным для тех двигателей, в карбюраторах которых впрыскивание горючего происходит в диффузор, например, двигатели Пратт-Уитни R-985, установленные на самолете «Туин Бичкрафт» (D18S).

В то же время на самолетах с моторами, у которых впрыскивание горючего происходит непосредственно в цилиндры (мотор R-3350) или в нагнетатель (мотор R-A360), обледенения во всасывающей системе двигателя за счет испарения горючего не наблюдается.

3. Обледенение за счет испарения влаги воздуха.

Испарение влаги, содержащейся во всасываемом воздухе, также вызывает охлаждение. Естественно, что охлаждение в этом случае не так велико, как охлаждение за счет испарения горючего (за исключением некоторых частных случаев, например, при сильном дожде или дожде со снегом).

4. Обледенение дроссельной заслонки.

Во время прохождения воздуха через щели, образуемые дроссельной заслонкой и стенками всасывающей трубы, происходит расширение воздуха, сопровождающееся падением его температуры. При наличии влаги во всасываемом воздухе это падение температуры может привести к обледенению дроссельной заслонки или стенок всасывающей трубы непосредственно за заслонкой.

5. Обледенение клапанов и жиклеров.

Внутри карбюратора имеется множество небольших отверстий, каналов, клапанов и жиклеров, через которые проходит воздух или жидкость. В некоторых случаях, когда воздушные и жидкостные магистрали расположены рядом, а температура протекающего горючего очень низка, возможно замерзание влаги в воздушной магистрали. Из практики известно, что обледенение клапана высотного корректора возможно у тех двигателей, в которых горючее подается под давлением, а сам клапан находится за дроссельной заслонкой. При достаточно низкой температуре горючего образование льда на клапане высотного корректора может происходить даже при максимально допустимом подогреве всасываемого воздуха.

Признаком обледенения клапана высотного корректора является резкое обогащение смеси.

В обычных условиях обледенение за счет низкой температуры горючего возможно только в случаях, когда самолет был заправлен на базе, где температура воздуха была очень низкой, либо длительное время находился в условиях низкой температуры. В случае длительного хранения горючего при очень низких температурах происходит замерзание содержащейся в нем воды. Образующиеся при этом кристаллы льда приводят к закупорке калиброванных отверстий.

Иногда лед, образовавшийся на жиклере высотного корректора, удается удалить путем включения обогрева карбюратора. Однако в большинстве случаев этим способом не удастся удалить лед даже при повышении температуры обогрева карбюратора до максимально допустимой. В этих случаях необходимо обеднять смесь до нормальной вручную. Обледенение жиклеров и калиброванных отверстий в топливной системе требует особых мер. Поэтому, если пилот заметил, что в условиях возможного обледенения падает мощность двигателя, причем ему известно о том, что температура горючего очень низка, необходимо выполнить следующие действия:

а) включить максимально допустимый обогрев карбюратора;

б) если самолет оборудован расходомерами горючего, то при падении мощности, сопровождающемся значительным увеличением расхода горючего, с помощью рычага высотного корректора вручную обеднить смесь, чтобы довести состав смеси и среднее эффективное давление до нормы.

Если на самолете нет расходомеров, качество смеси можно определить, плавно двигая рычаг высотного корректора от положения «богатая смесь» до положения «бедная смесь». Если при обеднении смеси происходит увеличение мощности, то следует обеднять смесь до тех пор, пока мощность не восстановится

до нормальной (если на самолете нет манометров, то восстановление мощности определяется по температуре головок цилиндров и показаниям прибора скорости).

Обеднение смеси вручную с помощью высотного корректора производится только до достижения крейсерской мощности (за исключением чрезвычайных случаев). Иногда для полного восстановления мощности бывает необходимо передвигать рычаг высотного корректора назад, почти до положения «выключено».

Различные типы авиационных двигателей подвергаются обледенению по-разному. Данные статистики показывают, что из общего числа аварий самолетов, происшедших по причине обледенения карбюратора, половина аварий приходится на легкие самолеты, тогда как на транспортные, тренировочные и тяжелые самолеты приходится другая половина.

Однако общей причиной всех этих случаев аварий, независимо от типа самолета, является слишком позднее обнаружение обледенения и, следовательно, позднее включение обогрева карбюратора.

Существует два применяющихся в настоящее время способа борьбы с обледенением карбюратора: обогрев карбюратора и применение спирта. Основным способом является обогрев карбюратора, спирт же применяется на некоторых ВС в качестве дополнительного средства. При этом обогрев карбюратора производится в течение длительного промежутка времени, а спирт применяется кратковременно. Действие спирта в карбюраторе мотора самолета ничем не отличается от его действия в радиаторе автомобиля.

Необходимо помнить, что в случае полного отказа мотора в результате обледенения карбюратора одновременно исчезает источник тепла для обогрева карбюратора. Поэтому на самолетах некоторых типов для борьбы с обледенением карбюратора в этих случаях применяется спирт. Это говорит о том, что обогрев карбюратора является, по существу, средством профилактики, а не лечения. При подходе к району возможного обледенения необходимо заранее включить обогрев и

держат его включенным в течение всего времени существования условий обледенения.

Если в полете обнаружится медленное падение мощности двигателя при условии, что высота полета, положение самолета и положение рычагов управления двигателем не менялись, можно предполагать, что происходит обледенение карбюратора. В большинстве случаев процесс обледенения карбюратора происходит сравнительно медленно, поэтому пилот, постепенно открывая дроссель, может поддерживать требуемое число оборотов и давление во всасывающей системе, не подозревая о том, что происходит обледенение карбюратора.

Для поршневых двигателей, не имеющих регуляторов давления или турбокомпрессоров, можно применить следующий способ проверки карбюратора на обледенение: при неизменном положении дросселя на несколько секунд полностью включить обогрев карбюратора, затем выключить его, наблюдая за давлением во всасывающей системе. Повышение давления будет служить показателем обледенения карбюратора.

Другим признаком обледенения карбюратора, кроме изменения давления на всасывании, является изменение показания расходомера, указывающее на обогащение или обеднение смеси. Чрезмерное обогащение смеси можно определить по уменьшению мощности двигателя и по длинным языкам пламени из выхлопных патрубков. Обеднение смеси можно определить также по падению мощности двигателя и по выхлопам в карбюратор. Заметив нарушение в работе двигателя, пилот должен стремиться определить, происходит ли оно от недостаточного поступления воздуха, как это показывает давление на всасывании, или вследствие неправильной регулировки карбюратора, о чем говорит обогащение или обеднение смеси.

Если произошло обледенение карбюратора и полностью включенный обогрев не дал положительных результатов, необходимо немедленно включить подачу

спирта в карбюратор. Если и это не привело к восстановлению нормальной работы двигателя, то пилот должен прибегнуть к последнему средству: он должен поставить рычаг обогрева карбюратора в положение «выключено» и обеднять смесь до тех пор, пока не начнутся выхлопы в карбюратор, которые могут сбить образовавшийся в карбюраторе лед. При этом двигатель должен работать на максимально возможной мощности, так как некоторые двигатели в подобных случаях легко останавливаются, работая на крейсерском режиме.

Необходимо помнить, что эта процедура опасна и ее следует применять только в крайнем случае. Если рычаг управления обогревом карбюратора при этом не поставить в положение «выключено», то неизбежно произойдет повреждение заслонки, регулирующей обогрев карбюратора. Пилот должен быть готовым немедленно перевести рычаг высотного корректора в положение «богатая смесь» и уменьшить открытие дросселя, как только двигатель начнет набирать мощность. Затем он должен включить обогрев карбюратора для предотвращения обледенения в дальнейшем.

Обледенение крыла приводит к нарушению характера обтекания крыла воздушным потоком, в результате чего уменьшается подъемная сила и увеличивается лобовое сопротивление. Основной вред, который приносит самолету обледенение, состоит не в увеличении веса самолета, а в ухудшении его аэродинамической формы. Если самолет DC-4 покроется слоем льда толщиной 12 мм, то вес его увеличится примерно на 3000 кг; при этом расход горючего увеличится всего на 70 л/час. Зато влияние этого льда на критическую скорость будет серьезным.

Образование инея на поверхности самолета происходит при полете в слоистых или слоисто-кучевых облаках вдоль фронта, поскольку в этих облаках влага находится в виде мельчайших капелек. При попадании этих капелек на поверхность крыла они не растекаются на ней и поэтому образуют непрозрачную шероховатую и пористую корку. Обычно такой вид обледенения не изменяет профиля крыла и

может быть легко удален с передней кромки крыла с помощью антиобледенительной системы. При обледенении такого вида увеличиваются лобовое сопротивление и критическая скорость самолета.

Образование чистого льда на поверхности самолета наблюдается при температуре от 0 до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в кучевых облаках, в которых капли переохлажденной воды вследствие большой турбулентности воздуха являются более крупными. Такое обледенение происходит вследствие замерзания пленки воды, которая образуется при растекании на поверхности самолета крупных переохлажденных капель дождя. Образующаяся при этом ледяная корка представляет собой чистый, гладкий и прозрачный лед. Образование льда на поверхности самолета – одна из наиболее опасных форм обледенения. В основном лед отлагается на передней кромке в виде грибовидного нароста, сильно искажающего аэродинамический профиль крыла.

Смешанное обледенение представляет собой одновременное образование инея и льда, которое может происходить при полетах в слоистых и кучевых облаках фронта окклюзии. Помимо уменьшения подъемной силы, увеличения лобового сопротивления и критической скорости, образующийся лёд за счет своего веса обуславливает увеличение нагрузки на крыло и смещение центра тяжести самолета. Лёд также препятствует отклонению рулей, что может привести к потере управления.

Как правило, обледенение ВС возникает при полетах ниже инверсионного слоя, вдоль фронтов и над горами. Температурные инверсии, встречающиеся перед холодным фронтом, происходят вследствие поднятия сравнительно теплых воздушных масс над переохлажденным дождем или снегом. Обледенение в слоях инверсии характеризуется образованием чистого льда. Во избежание обледенения необходимо подняться в более теплые слои воздуха, причём набор высоты следует продолжать до тех пор, пока температура увеличивается. Когда же температура перестанет расти, следует перейти в режим горизонтального полета, чтобы не попасть в следующий слой возможного обледенения. В теплых фронтах

температура натекающего теплого воздуха может быть выше температуры замерзания, вследствие чего обледенения здесь происходить не будет. В верхней же части облаков температура может быть достаточно низкой, поэтому в них возможно сильное обледенение.

В холодных фронтах благодаря наличию кучевых облаков, являющихся следствием сильных восходящих потоков, происходит обледенение в виде чистого льда. Хотя холодный фронт имеет меньшую глубину, чем теплый, в нем происходит более сильное обледенение вследствие наличия более благоприятных для этого условий. Наиболее частым и в то же время наиболее опасным является обледенение над горами.

Горные хребты вызывают сильные восходящие потоки, которые могут удерживать крупные капли воды, образующие при низких температурах чистый лед на поверхностях самолета. Наиболее сильное обледенение бывает над хребтом с наветренной стороны. Следует избегать областей с большой турбулентностью воздуха. Если самолет попадет в полосу сырого липкого снега, следует подняться выше, где температура ниже и снег не является таким липким. Районы обледенения нужно пролетать как можно быстрее.

При первых признаках обледенения нужно, прежде всего, попытаться выйти из района обледенения еще до применения пневматического антиобледенителя, так как при длительном его использовании наблюдается нарастание льда в местах соединения «галоши» с обшивкой крыла.

При обледенении самолета задача пилота сводится к выдерживанию требуемой скорости и малого угла атаки, так как на малых углах воздушный поток плавно обтекает крыло сверху, в то время как на больших возможен срыв потока, вызывающий полную потерю скорости.

При полете в сложных метеорологических условиях снижение следует производить только в том случае, если на это имеется разрешение. При полете в

зоне переохлажденного дождя необходимо увеличить мощность мотора и набирать высоту для выхода в слой более теплого воздуха, не увеличивая при этом угла атаки больше, чем это необходимо.

Пилот не должен забывать также важнейшего правила: «Для сохранения жизни – разворот на 180°!».

Потеря скорости, вызываемая обледенением, происходит иначе, чем потеря скорости в обычных условиях. Она происходит при большей скорости; непосредственно перед потерей скорости заметно ослабляется действие рулей и резко ухудшается устойчивость ВС. Потеря скорости происходит не сразу, а постепенно. Полет становится вялым, неустойчивым, и самолет сваливается на крыло (вправо или влево – в зависимости от индивидуальных особенностей воздушного судна). Критическая скорость, увеличивающаяся в результате обледенения самолета при прямолинейном горизонтальном полете, еще больше увеличивается при развороте.

Различают два вида антиобледенительных систем крыла. Первая - пневматическая антиобледенительная система, которой оборудуются многие самолеты («галоша»). Эти «галоши» представляют собой полосы резины, прикрепленные к передним кромкам крыла и хвостового оперения. Полосы резины по всей длине образуют полости, в которые нагнетается воздух с помощью специальной помпы. В результате многократного нагнетания и выпуска воздуха образовавшийся на передней кромке лед взламывается и сдувается встречным потоком воздуха.

Обычно цикл работы такой антиобледенительной системы длится 40 сек. Включение антиобледенительной системы производится после того, как на передней кромке крыла толщина слоя льда достигнет 5-6 мм. После взламывания льда система выключается. Включение нужно повторять каждый раз, когда толщина

льда достигает 5-6 мм. Если в полете ожидается обледенение, необходимо произвести проверку антиобледенительной системы на земле перед взлетом.

Пневматическую антиобледенительную систему нельзя включать при взлете и посадке, так как при этом ухудшаются аэродинамические качества крыла. Нельзя также пользоваться такой системой, если на поверхности крыла за «галошами» образуется толстый слой льда.

На некоторых самолетах для предотвращения обледенения несущих поверхностей производится обогрев передних кромок крыла и хвостового оперения. Нагретый воздух по трубопроводам подводится к передним кромкам крыла, хвостового оперения и к стеклам фонаря кабины. Такую антиобледенительную систему в случае необходимости можно включать непосредственно перед взлетом и держать ее включенной до тех пор, пока не минует опасность обледенения. Во время полета систему следует включать всякий раз, когда ожидается или уже началось обледенение самолета. Систему необходимо держать включенной достаточно долго, для того чтобы успела прогреться обшивка крыла. Лед при этом отскакивает от поверхности крыла как от взрыва.

Некоторые самолеты, как, например, Де Хэвилленд «Доув», оборудованы жидкостной антиобледенительной системой. Помпы нагнетают жидкость по трубам в пористые распределители, установленные в передней кромке крыла и хвостового оперения. Под действием воздушного потока жидкость растекается по поверхности крыла, препятствуя образованию на ней льда. Антиобледенительная система включает устройство, сигнализирующее о начинающемся обледенении и автоматически управляющее работой регулятора подачи жидкости.

Существует несколько составов, при нанесении которых на поверхность крыла, воздушного винта или хвостового оперения уменьшается сцепление льда с поверхностью. Данный способ борьбы с обледенением не препятствует образованию льда, а способствует его отделению от обледеневших поверхностей.

Перед вылетом необходимо тщательно очищать поверхность крыла от снега, инея, льда и грязи. Следует добиваться, чтобы поверхность крыла была абсолютно чистой. В зимнее время при стоянках в аэропортах крылья должны зачехляться; минуты, затраченные на то, чтобы зачехлить самолет, могут сберечь часы, которые нужно будет затратить, чтобы освободить самолет от льда. Иногда для очистки самолета от мокрого снега можно воспользоваться воздушной струей от винта работающего двигателя.

Обледенение воздушного винта снижает его коэффициент полезного действия, уменьшает воздушную скорость самолета и увеличивает расход горючего. В случае неравномерного обледенения лопастей винта может возникнуть сильная вибрация, представляющая серьезную опасность для самолета. Чаще всего это происходит в случае, когда лёд срывается с одной из лопастей, сохраняясь на остальных (обычно обледенение всех лопастей винта происходит более или менее одновременно). Большой частью обледенение винта происходит параллельно с обледенением всего самолета. Включение антиобледенителя винта должно производиться до входа в зону возможного обледенения. Для того чтобы жидкость полностью покрыла лопасти винта, кран антиобледенителя сначала открывают полностью, а затем подача жидкости регулируется в соответствии с потребностью. Признаками обледенения винта являются тряска мотора и уменьшение воздушной скорости, возникающее вследствие уменьшения тяги винта. Если пилот упустил момент начала обледенения винта и включение антиобледенителя уже не дает результата, следует несколько раз изменить число оборотов мотора, после чего опять включить подачу жидкости.

Некоторые механизмы управления шагом воздушного винта помещены внутри обтекателя втулки воздушного винта, покрытого обычно резиной. Обтекатель, смазанный перед взлетом маслом, хорошо предохраняет втулку винта от обледенения.

Во время проведения исследований по программе «Грозовой проект» при полетах в грозовых облаках в 200 случаях из 812 отмечалось налипание мокрого снега на переднюю кромку крыла. Толщина этого слоя ни разу не превышала 6 мм. При попадании самолета в область переохлажденного дождя толщина слоя льда на крыльях не превышала 1,5 мм, что, естественно, не было опасным. Более опасным было обледенение карбюратора, которое отмечалось при температурах окружающего воздуха от +18 до -10 °С.

Обледенение трубки Пито является чрезвычайно опасным, поскольку оно приводит к искажению показаний связанных с ней приборов. Однако с ним легче всего бороться. Для этого достаточно поместить внутрь трубки Пито обогреватель, которым следует пользоваться всякий раз, когда существует опасность обледенения.

Обледенение радиоантенны может привести к серьезным последствиям, особенно если учесть трудность борьбы с ним. Оно приводит к вибрациям мачт, к провисанию или обрыву проводов под тяжестью льда. Обледенение радиоантенны иногда нарушает изоляцию, в результате чего антенна замыкается на корпус самолета и прерывается связь. Единственным способом выхода из такого положения является изменение высоты полета для выхода в более теплые слои воздуха, где лед может растаять.

Обледенение переднего стекла фонаря в полете не создает для пилота особых трудностей до момента захода на посадку. Современные самолеты оборудованы различными системами (тепловыми и жидкостными) для эффективной борьбы с обледенением переднего стекла. Кроме того, если нет возможности восстановить видимость через передние стекла, всегда можно воспользоваться боковыми окнами, которые в этом случае необходимо открыть.

Туман, способный вызвать обледенение самолета, образуется обычно в ночное время и рассеивается вскоре после восхода солнца. Такой туман легко определить,

так как он вызывает образование инея в виде тонких кристаллов, которым обычно покрыты в утренние часы ветки деревьев.

Если вылет производится в утренние часы до того как рассеется туман, пилот должен тщательно удалить иней с передних кромок лопастей винта непосредственно перед стартом.

Этот туман, состоящий из мельчайших частиц влаги, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии, редко является причиной обледенения крыльев, фюзеляжа и хвостового оперения. Это объясняется тем, что мельчайшие частицы влаги, встречаясь с самолетом, не смачивают его обшивку, а обтекают крыло вместе с потоком воздуха. Они могут вызывать обледенение винта, в то время как обледенения других частей самолета не будет.

Реактивные двигатели с центробежным компрессором подвергаются обледенению в редких случаях при чрезвычайно неблагоприятных условиях, в то время как для реактивных двигателей с осевым компрессором обледенение представляет серьезную опасность.

Первым признаком обледенения реактивного двигателя является повышение температуры выхлопных газов (сопла). Часто этот признак остается единственным вплоть до самого момента полной остановки двигателя.

Образование льда чаще всего происходит на входных решетках и направляющих лопатках компрессора, в результате чего уменьшается количество всасываемого воздуха. Это ведет к резкому уменьшению тяги и значительному повышению температуры сопла. Происходит это вследствие того, что из-за уменьшения количества всасываемого воздуха смесь переобогащается, что в свою очередь приводит к увеличению температуры газов, поступающих в турбину. При уменьшении числа оборотов автоматически увеличивается подача горючего в камеру сгорания, что еще более усугубляет положение.

Полная остановка двигателя может произойти через несколько секунд после образования льда в воздухозаборнике. Обледенение же входных решеток при крайне неблагоприятных условиях может произойти менее чем за одну минуту.

Предположение, что нагрев воздуха на входе в двигатель за счет поджатия при полете на больших скоростях предотвратит обледенение, является ошибочным. Количество тепла, выделяющееся в этом случае на дозвуковых скоростях, является совершенно недостаточным для предотвращения обледенения.

Сильное обледенение воздухозаборника может произойти даже в случае, когда никакого обледенения ВС не происходит. Для того чтобы успешно бороться с обледенением такого вида, необходимо знать его причины. При скорости полета реактивного самолета ниже 450 км/час и больших оборотах турбины вместо поджатия имеет место засасывание воздуха, в результате которого происходит уменьшение его температуры (адиабатическое охлаждение). При этом положительная температура воздуха в воздухозаборнике может упасть ниже нуля.

Максимальное падение температуры, которое может вследствие этого произойти в реактивных двигателях, составляет 5 °С. Наибольшее падение температуры происходит при работе двигателя на больших оборотах на земле; оно уменьшается при уменьшении числа оборотов или при увеличении воздушной скорости. При температурах воздуха ниже 0 °С и воздушной скорости самолета менее 450 км/час скорость образования льда в двигателе остается почти постоянной.

При воздушной скорости свыше 450 км/час скорость образования льда в двигателе резко возрастает. Вполне понятно, что в этих условиях уменьшение воздушной скорости приведет к уменьшению скорости обледенения двигателя.

В связи с тем, что процесс обледенения двигателя является быстротечным, большое значение в этих условиях приобретает своевременное включение антиобледенительной системы. Поэтому взлет и посадку в условиях возможного обледенения надо производить с включенной системой антиобледенения.

Старое правило «избегай полета в зоне обледенения» остается справедливым и сейчас. При тщательной подготовке полета почти всегда можно избежать такой зоны.

Если в полете началось обледенение, необходимо немедленно включить антиобледенительную систему, изменить высоту полета или курс с целью обойти облака, при температуре окружающего воздуха ниже 0 °С уменьшить воздушную скорость и соответственно уменьшить обороты турбины для предотвращения чрезмерного повышения температуры сопла.

Чаще всего обледенение реактивных самолетов происходит на высотах ниже 2000 м. Однако обледенение может происходить на любой высоте. Зная признаки обледенения, а также способы борьбы с ним на самолете данного типа, пилот сможет успешно бороться с этим явлением в воздухе. [51].

Последствия, вызванные обледенением ВС, имеют различную степень тяжести. Обледенение приводит к увеличению веса воздушного судна и расхода топлива, к уменьшению тяги двигателей, может вывести из строя его компрессор и др. При этом искажаются показания ряда приборов ВС, может быть нарушена радиосвязь. Лед на остеклении кабины пилотов ухудшает условия обзора, затрудняет заход ВС на посадку и производство самой посадки.

Главная опасность при обледенении заключается в том, что нарушаются аэродинамические качества ВС. Несмотря на стремительное развитие авиационной техники, рост скоростей полета, повышение маневренности ВС и совершенствование противообледенительных устройств, обледенение продолжает оставаться одним из важных метеорологических явлений, от которых зависит безопасность и регулярность полетов.

Обледенение ВС происходит в облаках, располагающихся от земли до высоты 2-3 км. При отрицательных температурах наиболее вероятно обледенение в водных облаках. В смешанных облаках обледенение зависит от влажности их

капельножидкой части, в кристаллических облаках вероятность обледенения мала. Во внутримассовых слоистых и слоисто-кучевых облаках при температурах от 0 до -10 °С почти всегда наблюдается обледенение. Эти облака располагаются под слоями инверсии и имеют значительную водность около верхней кромки облачности.

Во фронтальной облачности наиболее интенсивное обледенение ВС происходит в кучево-дождевых облаках, связанных с холодными, теплыми фронтами и фронтами окклюзии.

В слоисто-дождевых и высоко-слоистых облаках теплого фронта интенсивное обледенение происходит, если выпадают слабые осадки или совсем не выпадают, в от время как при обильных обложных осадках на теплом фронте вероятность обледенения мала.

Наиболее интенсивное обледенение может наблюдаться при полете под облаками в зоне переохлаждения дождя и/или мороси. В облаках верхнего яруса обледенение маловероятно, однако следует помнить, что возможно интенсивное обледенение в перисто-слоистых и перисто-кучевых облаках, если они остались после разрушения грозных облаков.

Обледенение возможно при температуре от +5 до -50 °С в облаках, тумане и осадках. Как показывает статистика, наибольшее число случаев обледенения ВС наблюдается при температуре воздуха от 0 до -20 °С, и в особенности от 0 до -10 °С.

При анализе и оценке метеорологической обстановки в пунктах взлета и посадки необходимо обратить внимание на высоту изотермы 0 °С, интенсивность возможного обледенения, толщину слоя, высоту нижней и верхней границ слоя обледенения. Эти данные можно получить при консультации. На картах погоды в районе возможного обледенения ставятся условные обозначения (символы). Символ слабого обледенения не рекомендуется употреблять на картах погоды. При выполнении международного полета экипажа ВС может получить информацию о

наблюдаемом и ожидаемом обледенении ВС в телеграммах SIGMET, в специальной сводке и/или в дополнительной группе сводки METAR.

При полетах воздушных судов в зоне обледенения могут быть даны следующие рекомендации пилотам:

- На всех этапах полета противообледенительная система должна быть включена до входа в зону возможного обледенения, если Руководство по летной эксплуатации не предусматривает другого порядка использования системы.

- Если принятые меры по борьбе с обледенением оказываются неэффективными и не обеспечивается безопасное продолжение полета в этих условиях, командир ВС обязан, применив сигнал скорости, по согласованию с органом ОВД изменить высоту (маршрут) полета для выхода в район, где возможно безопасное продолжение полета, или принять решение об уходе на запасной аэродром (НПП ГА) [46].

Описание метода прогноза зон возможного обледенения воздушных судов [52].

В соответствии с Планом испытаний на 2009 г., в ГУ «Гидрометцентр России» проводились оперативные испытания метода прогноза зон возможного обледенения воздушных судов (ВС) по моделям ПЛАВ и NCEP в период с 1 апреля до 31 декабря 2009 г. Метод является составной частью технологии расчета карты особых явлений на средних уровнях атмосферы (Significant Weather at the Middle levels – SWM [53]) для авиации. Технология была разработана в Отделе авиационной метеорологии (ОАМ) в 2008 г. для внедрения в Лаборатории зональных прогнозов. Метод применим также для прогноза обледенения на нижних уровнях атмосферы. Разработка технологии расчета прогностической карты особых явлений на нижних уровнях (Significant Weather at the Low levels – SWL) была запланирована на 2010 г.

В общем случае обледенение воздушных судов может наблюдаться при необходимом условии, состоящем в наличии переохлажденных облачных капель в нужном количестве. Это условие не является достаточным. Чувствительность различных типов самолетов и вертолетов к обледенению неодинакова. Она зависит как от характеристик облака, так и от скорости полета и аэродинамических

характеристик ВС [54, 55]. Поэтому прогнозируется лишь возможное обледенение в слоях, где выполняется его необходимое условие. Такой прогноз в идеале должен слагаться из прогноза наличия облаков, их водности, температуры, а также фазового состояния облачных элементов.

На ранних стадиях развития расчетных методов прогноза обледенения [55] их алгоритмы опирались на прогноз температуры и точки росы, синоптический прогноз облачности и статистические данные о микрофизике облаков и повторяемости обледенения ВС. Опыт показал малую эффективность таких прогнозов.

Однако и впоследствии, вплоть до настоящего времени, даже лучшие численные модели мирового класса не обеспечивали надежного прогноза наличия облаков, их водности и фазы [56-58]. Поэтому прогноз обледенения в мировых центрах (для построения карт особых явлений; здесь речь не идет о сверхкраткосрочном прогнозе и наукастинге, состояние которых охарактеризовано в [58-60]) в настоящее время по-прежнему основывается на прогнозе температуры и влажности воздуха, а также, по возможности, простейших характеристик облачности (слоистая, конвективная). Успешность такого прогноза, однако, оказывается практически значимой, поскольку точность предвычисления температуры и влажности воздуха сильно повысилась по сравнению с состоянием, соответствующим времени написания [55].

В [61] представлены основные алгоритмы современных методов прогноза обледенения. Для целей построения карт SWM и SWL были отобраны те из них, которые базируются только на выходной продукции численных моделей. Алгоритмы расчета «потенциала обледенения», комбинирующие модельные и реальные данные в режиме наукастинга, в таком случае неприменимы.

Разработка метода прогноза.

В качестве выборок данных об обледенении самолетов, использованных для оценки сравнительной успешности алгоритмов, перечисленных в [61], а также известных ранее (в том числе известной формулы Годске) [55, 62] были взяты:

1) данные системы TAMDAR, установленной на самолетах, летающих над территорией США в пределах нижних 20 тыс. футов,

2) база данных самолетного зондирования над территорией СССР в 60-х гг. XX столетия, созданная в 2007 г. в ОАМ [62].

В отличие от системы AMDAR, система TAMDAR включает датчики обледенения и точки росы. Данные TAMDAR удалось собрать за период с августа по октябрь 2005 г., весь 2006 г. и январь 2007 г. с сайта <http://amdar.noaa.gov>. С февраля 2007 г. доступ к данным был закрыт для всех пользователей, кроме правительственных организаций США. Данные были собраны сотрудниками ОАМ и представлены в виде базы, пригодной для компьютерной обработки, путем ручной выборки с упомянутого выше сайта следующей информации: время, географические координаты, высота по GPS, температура и влажность воздуха, давление, ветер, обледенение и турбулентность.

Остановимся вкратце на особенностях системы TAMDAR, совместимой с международной системой AMDAR и оперативно работающей на самолетах гражданской авиации США с декабря 2004 г. Система разработана в соответствии с требованиями ВМО, а также NASA и NOAA США. Отсчеты датчиков производятся через заданные интервалы давления (10 гПа) на режимах набора высоты и снижения и через заданные промежутки времени (1 мин) на режиме горизонтального полета. Система включает многофункциональный датчик, устанавливаемый на передней кромке крыла самолета, и микропроцессор, обрабатывающий сигналы и передающий их в пункт обработки и распространения данных, расположенный на земле (система AirDat). Неотъемлемой частью является также спутниковая система GPS, работающая в реальном времени и обеспечивающая пространственную привязку данных.

Если говорить о дальнейшем анализе данных TAMDAR совместно с данными ОА и численного прогноза, то метод ограничивается выпиской данных только в окрестности ± 1 ч от сроков 00 и 12 ВСВ. Собранный таким путем массив данных включает 718417 отдельных отсчетов (490 дат), в том числе 18633 отчета с наличием обледенения. Практически все они относятся к сроку 12 ВСВ. Данные группировались по квадратам широтно-долготной сетки размером 1.25×1.25 градуса и по высоте в окрестностях стандартных изобарических поверхностей 925, 850, 700

и 500 гПа. Окрестностями считались слои 300 – 3000, 3000 – 7000, 7000 – 14000 и 14000 – 21000 ф., соответственно. Выборка содержит 86185, 168565, 231393, 232274 отсчетов (случаев) в окрестностях 500, 700, 850 и 925 гПа, соответственно.

Для анализа данных TAMDAR об обледенении необходимо учитывать следующую их особенность. Датчик обледенения фиксирует наличие льда слоем не менее 0.5 мм. С момента появления льда и до момента его полного исчезновения (т. е. в течение всего периода наличия обледенения) датчики температуры и влажности не работают. Динамика отложений (скорость нарастания) в этих данных не отражена. Таким образом, не только нет данных об интенсивности обледенения, но нет и данных о температуре и влажности за период обледенения, что предопределяет необходимость анализа данных TAMDAR совместно с независимыми данными об указанных величинах. В качестве таковых использовались данные ОА из базы ГУ «Гидрометцентр России» о температуре воздуха и относительной влажности. Выборка, включающая данные TAMDAR о предиктанте (обледенении) и данные ОА о предикторах (температуре и относительной влажности), будет обозначаться как выборка TAMDAR-ОА.

В выборку данных самолетного зондирования над территорией СССР были включены все отсчеты, содержащие информацию о наличии либо отсутствии обледенения, а также о температуре и влажности воздуха, независимо от наличия облаков. Поскольку нет данных реанализа за период 1961 – 1965 гг., не было смысла ограничиваться окрестностями сроков 00 и 12 МСВ или окрестностями стандартных изобарических поверхностей. Данные самолетного зондирования, таким образом, использовались непосредственно как измерения *in situ*. Выборка данных самолетного зондирования включала более 53 тыс. отсчетов [63].

В качестве предикторов из данных численного прогноза использовались прогностические поля геопотенциала, температуры воздуха (Т) и относительной влажности (RH) с заблаговременностью 24 ч глобальных моделей: полулагранжевой (в узлах сетки 1.25x1.25°) и модели NCEP (в узлах сетки 1x1°) за периоды сбора информации и сравнения моделей в апреле, июле и октябре 2008 г. (с 1 по 10 числа месяца).

Результаты.

1. Температура и влажность воздуха (относительная влажность либо температура точки росы) являются значимыми предикторами зон возможного обледенения ВС, при условии, что эти предикторы измерены in situ (рисунок Ж.3).

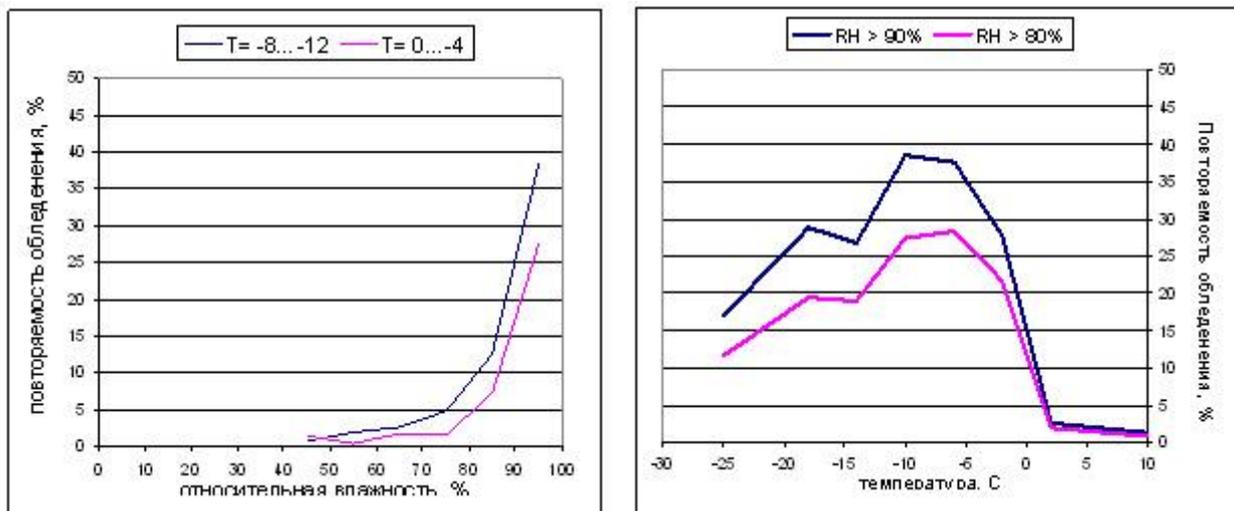


Рисунок Ж.3 – Повторяемость обледенения в зависимости от относительной влажности в фиксированных интервалах температур (слева) и от температуры в фиксированных интервалах относительной влажности по данным самолетного зондирования, адаптировано из [52].

Все испытываемые алгоритмы, включая формулу Годске, на выборке данных самолетного зондирования показали вполне практически значимую успешность разделения случаев наличия и отсутствия обледенения. Однако в случае данных TAMDAR об обледенении, дополненных данными объективного анализа температуры и относительной влажности, успешность разделения понижена, в особенности на уровнях 500 и 700 гПа (рисунок Ж.4 – Ж.7), вследствие того, что значения предикторов усреднены по пространству (в пределах квадрата сетки $1.25 \times 1.25^\circ$) и могут отстоять по вертикали и по времени от момента наблюдения на 1 км и 1 ч, соответственно; сверх того, точность объективного анализа относительной влажности существенно понижается с высотой.

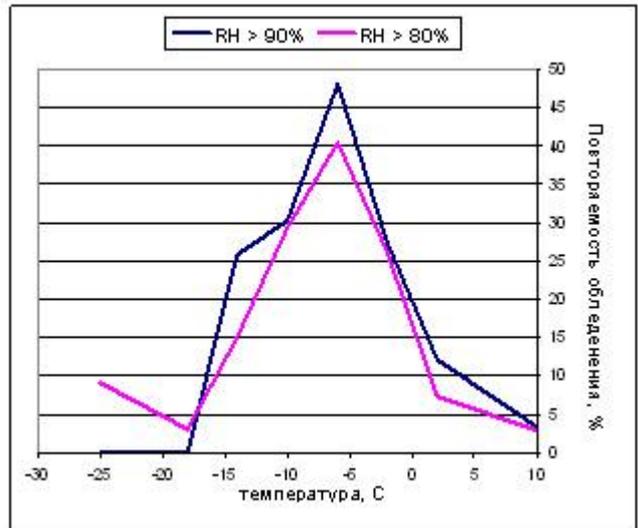
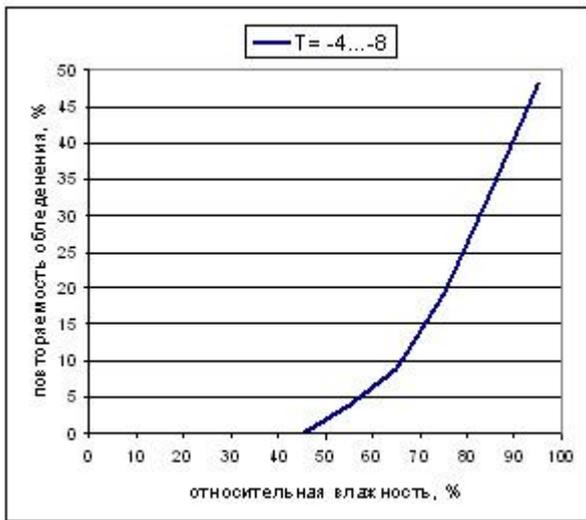


Рисунок Ж.4 - То же, что на рисунке Ж.3, но по данным TAMDAR-ОА на уровне 925 гПа.

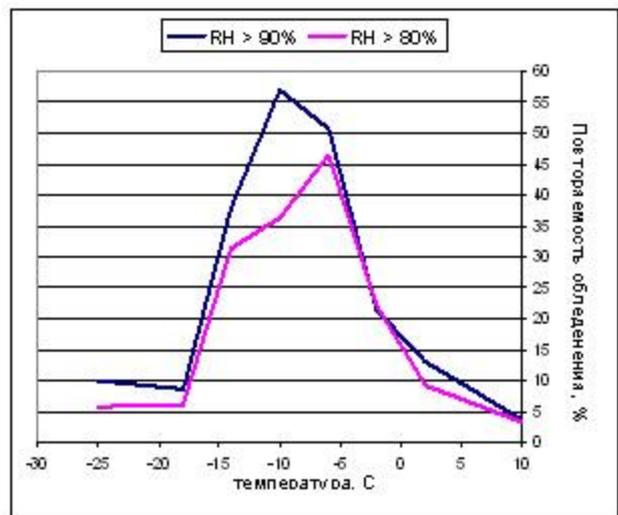
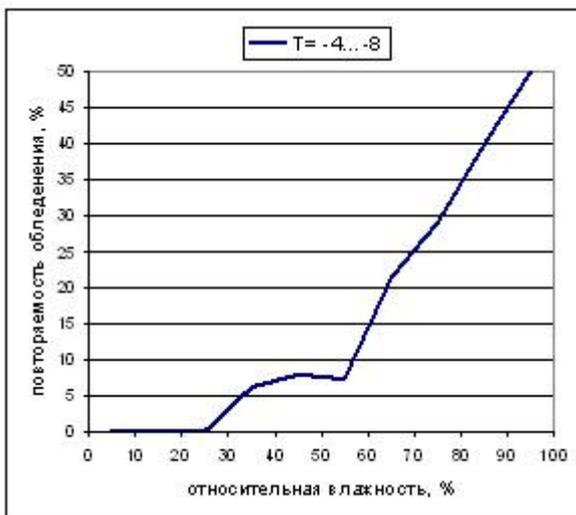


Рисунок Ж.5 - То же, что на рисунке Ж.3, но по данным TAMDAR-ОА на уровне 850 гПа.

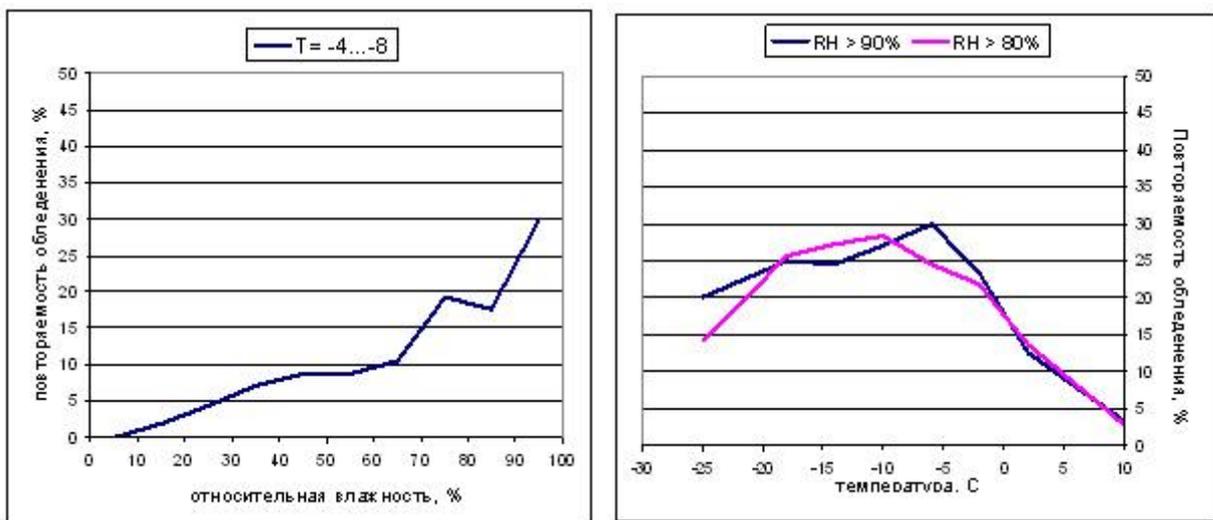


Рисунок Ж.6 - То же, что на рисунке Ж.3, но по данным TAMDAR-OA на уровне 700 гПа.

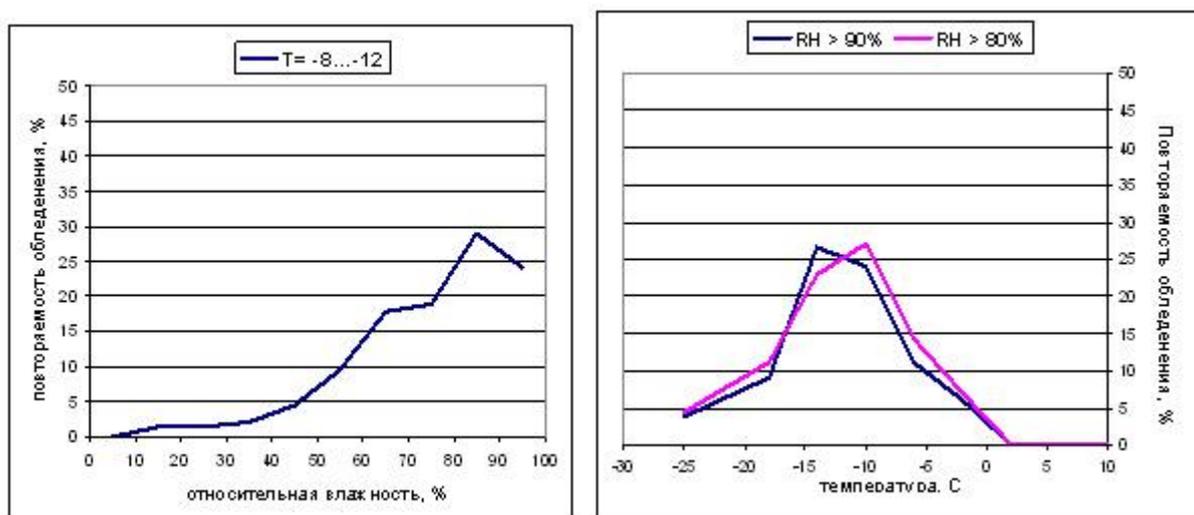


Рисунок Ж.7 - То же, что на рисунке Ж.3, но по данным TAMDAR-OA на уровне 500 гПа.

2. Хотя обледенение ВС может наблюдаться в широком интервале отрицательных температур, его вероятность максимальна в сравнительно узких интервалах температуры и относительной влажности (-5...-10 °C и > 85 %, соответственно). Вне этих интервалов вероятность обледенения быстро понижается. При этом зависимость от относительной влажности представляется более сильной: именно, при RH > 70 % наблюдалось 90,6 % всех случаев обледенения. Эти выводы получены на выборке данных самолетного зондирования; они находят полное

качественное подтверждение на данных TAMDAR-OA. Факт хорошего согласия результатов анализа двух выборок данных, полученных различными методами в сильно различающихся географических условиях и в разные периоды времени, показывает репрезентативность обеих используемых выборок для характеристики физических условий обледенения самолетов.

3. На основании результатов выполненного тестирования различных алгоритмов для расчета зон обледенения и с учетом имеющихся данных о зависимости интенсивности обледенения от температуры воздуха, выбран и рекомендован к практическому использованию наиболее надежный алгоритм, ранее хорошо зарекомендовавший себя в международной практике (алгоритм, разработанный в NCEP). Этот алгоритм оказался наиболее успешным (значения критерия качества Пирси-Обухова составили 0.54 на выборке данных самолетного зондирования и 0.42 на выборке данных TAMDAR-OA). В соответствии с этим алгоритмом, прогноз зон возможного обледенения самолетов представляет собой диагноз указанных зон по прогностическим полям температуры, T °C, и относительной влажности, RH %, на изобарических поверхностях 500, 700, 850, 925 (900) гПа в узлах модельной сетки.

Узлами сетки, принадлежащими к зоне возможного обледенения самолетов, считаются узлы, в которых выполняются следующие условия:

$$-16^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C} \text{ и } R_H \geq 63\% \quad (\text{Ж.1})$$

Неравенства (Ж.1) получены в NCEP в рамках программы RAP (Research Application Programme) [61] на большой выборке данных измерений с помощью самолетных датчиков обледенения, температуры, влажности воздуха и применяются на практике для расчетов прогностических карт особых явлений для авиации. Показано, что повторяемость обледенения самолетов в зонах выполнения неравенств (Ж.1) на порядок выше, чем вне этих зон.

Специфика оперативных испытаний метода.

Программа оперативных испытаний метода прогноза зон возможного обледенения самолетов с использованием (Ж.1) имеет определенные особенности, отличающие ее от стандартных программ испытаний новых и усовершенствованных методов прогноза. Прежде всего, алгоритм не является оригинальной разработкой

ГУ «Гидрометцентр России». Он в достаточной степени проверен и оценен на разных выборках данных [61].

Далее, успешность разделения случаев наличия и отсутствия обледенения ВС не может являться в данном случае объектом оперативных испытаний, ввиду невозможности получения оперативных данных об обледенении ВС. Единичные, нерегулярные рапорты пилотов, поступающие в МЦ АУВД, не могут в обозримое время составить репрезентативную выборку данных. Объективные данные типа TAMDAR над территорией России отсутствуют. Невозможно получить такие данные и над территорией США, поскольку на сайте, с которого нами были получены данные, составившие выборку TAMDAR-ОА, информация об обледенении теперь закрыта для всех пользователей, кроме государственных организаций США.

Однако, учитывая, что решающее правило (Ж.1) получено на большом архиве данных и внедрено в практику NCEP, причем его успешность многократно подтверждена на независимых данных (в том числе на выборках из базы данных самолетного зондирования и TAMDAR-ОА), можно полагать, что в диагностическом плане статистическая связь между вероятностью обледенения и выполнением условий (Ж.1) является достаточно тесной и достаточно надежно оценена для практического применения.

Остается невыясненным вопрос о том, насколько правильно воспроизводятся в численном прогнозе зоны выполнения условий (Ж.1), выделенные по данным объективного анализа.

Иначе говоря, объектом испытаний должен являться численный прогноз зон, в которых выполняются условия (Ж.1). То есть, если в диагностическом плане решающее правило (Ж.1) является эффективным, то необходимо оценить успешность прогноза этого правила численными моделями.

Испытания показали, что модель ПЛАВ достаточно успешно прогнозирует зоны возможного обледенения ВС, определяемые через условия (Ж.1), однако уступает в этом отношении модели NCEP [64, 65]. Поскольку в настоящее время оперативные данные модели NCEP поступают в ГУ «Гидрометцентр России»

достаточно рано, можно полагать, что, при условии значительного перевеса в точности прогноза, целесообразно использовать эти данные для расчета карт особых явлений. Поэтому была выполнена оценка успешности прогноза зон выполнения условий (Ж.1) как по модели ПЛАВ, так и по модели NCEP.

Методика оценки прогнозов.

В базу данных записывались поля результатов расчетов на каждой из четырех указанных изобарических поверхностей в дихотомических переменных: 0 означает невыполнение условий (Ж.1), 1 – выполнение. Параллельно рассчитывались аналогичные поля по данным объективного анализа. Для оценки точности прогноза необходимо сравнить результаты расчета (Ж.1) в узлах сетки по прогностическим полям и по полям объективного анализа на каждой изобарической поверхности.

В качестве фактических данных о зонах возможного обледенения ВС использовались результаты расчетов соотношений (Ж.1) по данным объективного анализа. Применительно к модели ПЛАВ это результаты расчетов (Ж.1) в узлах сетки с шагом 1.25 град, применительно к модели NCEP – в узлах сетки с шагом 1 град; в обоих случаях расчет производится на изобарических поверхностях 500, 700, 850, 925 гПа.

Прогнозы оценивались в рамках технологии оценки для дихотомических переменных. Оценки выполнялись и анализировались в Лаборатории испытаний и оценки методов прогнозов ГУ «Гидрометцентр России».

Для определения успешности прогнозов зон возможного обледенения самолетов рассчитывались следующие характеристики: оправдываемость прогнозов наличия явления, отсутствия явления, общая оправдываемость, предупрежденность наличия и отсутствия явления, критерий качества Пирси -Обухова и критерий надежности Хайдке- Багрова. Оценки выполнялись для каждой изобарической поверхности (500, 700, 850, 925 гПа) и отдельно для прогнозов, стартующих в 00 и 12 ВСВ.

Результаты оперативных испытаний.

Результаты испытаний представлены в таблице Ж.2 для трех областей прогноза: для северного полушария, для территории России и ее европейской территории (ЕТР) при заблаговременности прогноза 24 ч.

Таблица Ж.2 - Характеристики успешности прогнозов зон возможного обледенения самолетов на 24 ч по моделям ПЛАВ и NCEP на изобарических поверхностях 850, 700, 500 и 400 гПа [52].

Уровни гПа	Повторяемость по анализу		Общая оправдываемость прогнозов		Оправдываемость наличия обледенения		Оправдываемость отсутствия обледенения		Предупрежденность наличия обледенения		Предупрежденность отсутствия обледенения		Критерий Пирси - Обухова		Критерий Хайдке-Багрова	
	ГМЦ	NCEP	ПЛАВ	NCEP	ПЛАВ	NCEP	ПЛАВ	NCEP	ПЛАВ	NCEP	ПЛАВ	NCEP	ПЛАВ	NCEP	ПЛАВ	NCEP
Северное полушарие (7721502 узлов сетки модели ПЛАВ, 11859120 узлов сетки модели NCEP)																
850	17.7	17.8	92.8	96.3	79.2	88.5	95.8	98.0	80.2	91.0	95.5	97.4	0.758	0.88	0.754	0.87
700	21.4	21.4	89.6	93.2	75.9	85.6	93.3	95.2	75.2	82.2	93.5	96.2	0.687	0.78	0.689	0.79
500	18.8	17.8	88.0	91.9	68.9	79.0	92.3	94.4	66.5	74.0	93.0	95.7	0.596	0.69	0.604	0.71
400	8.4	6.7	93.7	96.2	65.6	73.5	95.7	97.7	51.7	67.6	97.5	98.3	0.493	0.65	0.545	0.68
Россия (1702998 узлов сетки модели ПЛАВ, 2612192 узла сетки модели NCEP)																
850	20.3	20.7	91.3	95.2	79.7	87.8	94.2	97.2	76.9	89.3	95.0	96.8	0.719	0.86	0.729	0.85
700	32.7	32.5	84.6	89.7	78.1	86.9	87.5	91.0	73.5	80.5	90.0	94.2	0.635	0.74	0.644	0.76
500	10.6	13.2	90.4	93.2	53.7	75.3	95.6	95.8	63.8	72.6	93.5	96.4	0.573	0.69	0.530	0.70
400	0.9	1.4	99.1	99.2	50.6	73.1	99.6	99.6	56.8	73.7	99.5	99.6	0.563	0.73	0.531	0.73
ЕТР (398574 Узла сетки модели ПЛАВ, 608522 узла сетки модели NCEP)																
850	18.1	18.2	92.2	95.6	80.0	88.0	94.7	97.3	75.8	88.0	95.8	97.3	0.716	0.85	0.731	0.85
700	31.3	32.6	84.2	88.9	76.5	87.0	87.4	89.7	71.5	77.7	90.0	94.4	0.615	0.72	0.626	0.74
500	7.4	9.7	91.4	93.7	43.0	68.1	95.9	96.2	49.7	64.8	94.7	96.7	0.444	0.61	0.414	0.62

Из таблицы видно, что повторяемость обледенения по объективному анализу обеих моделей близка, причем она максимальна на поверхности 700 гПа, минимальна на поверхности 400 гПа. При расчете по полушарию на втором месте по повторяемости обледенения стоит поверхность 500 гПа, затем – 700 гПа, что, очевидно, объясняется большим вкладом глубокой конвекции в тропиках. При расчете по России и ЕТР на втором месте по повторяемости обледенения находится поверхность 850 гПа, а на поверхности 500 гПа повторяемость обледенения уже вдвое меньше. Все характеристики оправдываемости прогнозов оказались высокими. Хотя показатели успешности модели ПЛАВ несколько уступают модели NCEP, однако и они вполне практически значимы. На уровнях, где повторяемость обледенения высока и где оно представляет наибольшую опасность для ВС,

показатели успешности следует признать очень высокими. Они заметно снижаются на поверхности 400 гПа, особенно в случае модели ПЛАВ, оставаясь значимыми (критерий Пирси по северному полушарию понижается до 0.493, по России – до 0.563). По ЕТР результаты испытаний на уровне 400 гПа не приводятся ввиду того, что случаев наличия обледенения на этом уровне было крайне мало (37 узлов сетки модели NCEP за весь период), и результат оценки успешности прогноза статистически незначим. На остальных уровнях атмосферы результаты, полученные по ЕТР и России, очень близки.

Таким образом, оперативные испытания показали, что разработанный метод прогноза зон возможного обледенения ВС, реализующий алгоритм NCEP, обеспечивает достаточно высокую успешность прогноза, в том числе на выходных данных глобальной модели ПЛАВ, которая в настоящее время является основной прогностической моделью. Решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета от 1 декабря 2009 г. метод рекомендован к внедрению в оперативную практику Лаборатории зональных прогнозов ГУ «Гидрометцентр России» для построения карт особых явлений для авиации.

Приложение И Столкновение ВС с птицами

Столкновения самолетов с пернатыми нередко приводят к авариям. Международная Организация Гражданской Авиации (ИКАО) ежегодно регистрирует порядка 5400 столкновений воздушных судов с птицами. Ущерб авиакомпаний, наносимый пернатыми в результате столкновений с ВС, достигает 1 млрд. долларов в год. Авиационные перевозки имеют стандартный ежегодный 5%-ный рост. Численность птиц, обитающих в городской черте, в том числе на территориях аэропортовых комплексов, также возрастает в не меньшем темпе [66].

Сотрудники аэропортов кроме РООП ГА-89 [67] используют в своей работе документ Международной Организации Гражданской Авиации ИКАО-9137 [68], который позволяет разрабатывать и внедрять в аэропортах эффективные программы по борьбе с условиями концентрации птиц в районе аэродромов. В программах ИКАО изложены роль и обязанности всех, кто причастен к борьбе с птицами в аэропорту.

Для осуществления визуального и радиолокационного контроля за скоплениями и массовыми перелетами птиц на пути технических средств аэродрома и с целью устранения концентрации птиц в зонах ответственности аэропортов были созданы инспекционные группы авиационной орнитологии. Специалисты этих групп призваны внедрять на аэродромах современные методы орнитологического обеспечения безопасности полетов. Работать группы авиационной орнитологии должны в режиме круглосуточного дежурства (далеко не все аэропорты придерживаются этого требования). Отпугивание птиц от аэродромов производится с помощью различных средств: биоакустических установок, ультразвуковых и лазерных установок, механических птицеотпугивателей, ружей, ракетниц, газовых пушек и других механических и пиротехнических средств, трещоток, зеркальных шаров, сетей, тушек мертвых птиц. Одной из новейших разработок является аудиотелескоп, который идентифицирует виды подлетающих птиц по их крикам на большом удалении. Эта система состоит из 192 микрофонов, расположенных на земле в форме концентрических кругов диаметром 2 м. Сотрудники Института

проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН разработали специальную систему орнитологического мониторинга аэропортов – лазерную установку, сканирующую небо над ВПП. Луч имеет ширину 30-40 см и попадает на сетчатку глаза птицы, которая тут же теряет ориентацию в пространстве и разворачивается в другую сторону. Лазерный «зайчик» слепит птиц и вызывает болевой шок. Данный способ отпугивания эффективен в комплексе с биоакустическим методом. Естественно, наиболее опасной является ситуация, когда птица попадает в двигатель летящего авиалайнера. В случае столкновения со стаей птиц возможно даже их фатальное попадание во все двигатели самолета. Подобный случай имел место в 2000 году, когда в простых метеоусловиях, при посадке в аэропорту «Шереметьево» произошел серьезный инцидент с самолетом Ил-96 авиакомпании «Аэрофлот» – столкновение ВС со стаей сизых чаек (примерно около 200 птиц). Экипаж формально был предупрежден о нахождении пернатых на территории летного поля, а вот то, что стая находилась на ВПП в момент посадки ВС, диспетчеры не знали, так как специалисты аэродромной службы не заметили ее. Экипаж увидел стаю только во второй половине пробега на скорости около 100 км/час, когда она взлетела прямо перед самолетом. В итоге взлетевшие птицы погибли, столкнувшись с ВС, повредив планер и все 4 двигателя авиалайнера. Посадка не привела к человеческим жертвам потому, что самолет уже находился на пробеге по ВПП, но два двигателя, значительно поврежденных, были досрочно сняты с ВС в ремонт [69].

На современных самолетах используют различные технологии и уловки для предотвращения столкновений с птицами. Так, на обтекатели двигателей наносятся изображения каплевидной линии различного цвета переменной толщины в виде спирали, получившее условное название «орлиный глаз». Предполагается, что при вращении обтекателя с этим изображением на работающем двигателе происходит визуальный эффект, отпугивающий птиц [69].

Над территориями европейской части России основные направления перелетов птиц пролегают с северо-востока на юго-запад осенью, и с юго-запада на северо-восток весной, в диапазоне высот от 500 до 3000 м. При этом наиболее

опасны осенние перелеты птиц, так как они более многочисленны и интенсивны. В крупных аэропортах разрабатываются и применяются карты-схемы орнитологической обстановки на весну, лето, осень и зиму в районах аэропортов. Орнитологи подробно отмечают расположение водоемов, подвиды птиц, места гнездования и кормежки, основные направления перелетов и их высоты, а также время суток перелетов птиц. Информация включается в сообщения ATIS. Экипажи обязаны учитывать подобную информацию при принятии решения на вылет/посадку или во время полета в районе аэродрома [69].

Орнитологическое обеспечение полетов содержит комплекс мероприятий, направленных на предотвращение столкновений воздушных судов с птицами, и включает [66, 70-72]:

- орнитологическое обследование района аэродрома;
- ликвидацию условий, способствующих скоплению птиц на аэродромах, и проведение мероприятий по их отпугиванию;
- проведение визуальных и радиолокационных системных наблюдений для обеспечения контроля за орнитологической обстановкой;
- сбор и оценку сведений о фактической орнитологической обстановке в районе аэродрома в целях определения опасности, создаваемой птицами для полетов воздушных судов;
- доведение до летных экипажей информации об орнитологической обстановке (предупреждение об ее усложнении и возникновении орнитологической опасности на аэродромах, в районах аэродромов, на маршрутах, в районах полетов);
- проведение занятий по авиационной орнитологии с летным составом, специалистами ОВД, аэродромной службы и других служб, связанных с орнитологическим обеспечением полетов, по утвержденным в установленном порядке программам.

Эколого-орнитологическое обследование производится по специально разработанному плану в соответствии с авиационными правилами специальными орнитологическими или биологическими организациями и осуществляется в целях определения характера орнитологической обстановки на аэродроме и прилегающей

к нему территории, выявления условий, способствующих концентрации птиц [66, 70].

Один раз в пять дней проводятся визуальные наблюдения за птицами: по 2 часа утром и вечером с мест, расположенных возле торцов взлетно-посадочной полосы. В этот же день производятся обходы ВПП для подсчета птиц на летном поле.

Во время наблюдений устанавливаются маршруты, высоты, интенсивность и суточная активность перелетов птиц, места их концентрации, численность и видовой состав скапливающихся птиц, характер их поведения (гнездятся, кормятся, отдыхают, ночуют), периоды суток, когда образуются скопления, особенности среды обитания, способствующие концентрации птиц.

В остальные дни обследуется приаэродромная территория в радиусе 10-30 км (в зависимости от дальности перелетов местных птиц). Во время обследования отмечаются перечисленные выше характеристики, при этом особое внимание уделяется выявлению и описанию различных хозяйственных объектов, способствующих концентрации птиц (сельхозугодий, ското- и звероферм, водоемов, элеваторов, свалок и других объектов).

Особенно тщательно обследуются крупные водоемы, расположенные в радиусе 10-15 км от аэродрома [66, 70]. При этом выявляют следующие показатели:

- площадь водоема;
- средняя и максимальная глубина водоема;
- тип берегов (отлогий, крутой, обрывистый, изрезанный, песчаный, илистый, глинистый, гравийный, скалистый);
- степень загрязненности водоема (слабая, средняя, сильная);
- состав преобладающей наземной и водной растительности;
- наличие зарослей рогоза, камыша, тростника;
- наличие на берегах древесной и кустарниковой растительности, т.е. открытость водоема;
- источник наполнения водоема;

- колебания уровня воды (сильные, средние, слабые);
- длительность и регулярность замерзания, пересыхания водоема и половодий.

Осматривать водоем рекомендуется с лодки при помощи бинокля, а также с деревьев, растущих на берегу водоема, или с иного возвышенного места. Частичное представление о видовом составе птиц, обитающих на водоеме, можно получить сбором и последующей идентификацией перьев, прибиваемых ветрами к берегу, а также по следам птиц, оставленным в приливно-отливной полосе.

Маршруты для обследования приаэродромной территории прокладываются с таким расчетом, чтобы были осмотрены все участки местности. Каждый участок осматривается в утренние, околополуденные и вечерние часы для выявления суточных изменений орнитологической обстановки.

При обнаружении гнездовых колоний птиц рекомендуется отмечать следующие сведения [66, 70]:

- площадь колонии;
- расположение гнезд: на земле, в траве, на складах, деревьях, в тростнике;
- место кормежки птиц из колонии: у водоема, на звероферме, усорной свалке, сельхозугодьях;
- возраст колонии (с какого года известно о ее существовании);
- годовая динамика численности птиц: увеличивается, падает, колеблется, не изменяется;
- охранный статус места расположения колонии: заповедник, заказник, санитарная зона;
- вид человеческой деятельности в окрестностях колонии: сбор ягод, охота, выпас скота, сельскохозяйственные работы;
- степень беспокойства со стороны человека: сильная, слабая, отсутствует.

Подсчет птиц в колонии может производиться различными методами [70]:

- поштучный пересчет всех гнезд (в случае небольших колоний);
- пересчет всех гнезд на какой-либо площадке с последующей экстраполяцией полученных сведений на всю площадь колонии (используется в большинстве

случаев), при этом учитывается число гнезд на 1 кв.м в центре и на периферии колонии (то есть в местах с различной плотностью гнездования птиц), затем выводится средняя плотность на 1 м² и она экстраполируется на всю площадь колонии.

Для выявления сезонных особенностей орнитологической обстановки обследование проводится в различные периоды годовой активности птиц [66, 70]:

- зимний (конец ноября-февраль), который характеризуется относительно простой и стабильной орнитологической обстановкой;
- весенний (март-май) – период массовой миграции птиц;
- раннелетний (середина мая-первая половина июля) – период гнездования до появления летающих птенцов;
- позднелетний (вторая половина июля-август) – период массового вылета птенцов;
- осенний (сентябрь-ноябрь) – период массовой миграции птиц.

Начало и окончание каждого из этих периодов можно определить путем систематических наблюдений, выяснения у местных специалистов-орнитологов, использования данных справочной литературы.

Для облегчения и ускорения обследования используются различные транспортные средства, такие как вертолеты, легкомоторные самолеты, автомашины, лодки.

Рекомендуется раз в 2-3 года повторно обследовать приаэродромную территорию или ее наиболее птицепасные участки в связи с тем, что орнитологическая обстановка за это время может значительно измениться. Если аэродром находится в интенсивно осваиваемом районе, то обследование его территории целесообразно повторять ежегодно [70].

Результаты обследования дополняются сведениями, полученными при визуальных наблюдениях за птицами на аэродромах, а также при радиолокационном контроле за орнитологической обстановкой. На основании этой информации составляются специальные сезонные карты-схемы орнитологической обстановки и вспомогательные графики, показывающие места скопления, основные маршруты и

высоты перелетов наиболее опасных для ВС птиц, а также суточную и сезонную динамику их перелетов в районе аэродрома. Указанные карты-схемы рекомендуется размещать в штурманской комнате.

После сбора и нанесения на карту-схему сведений об орнитологической обстановке в тот или иной период года необходимо их проанализировать и установить характер опасности, создаваемой птицами для полетов ВС на данном аэродроме. При этом опасными птицами для ВС считаются такие, которые систематически прилетают на аэродром или пролетают через его территорию.

Визуальные орнитологические наблюдения на аэродромах осуществляют диспетчеры ОВД. Эти наблюдения проводятся только в светлое время суток во время взлета и захода на посадку ВС в пределах секторов взлета и захода ВС на посадку. Особенно внимательно осматриваются взлетно-посадочная полоса и прилегающая к ней территория летного поля.

При обнаружении птиц, находящихся на траектории полета ВС или в непосредственной близости от данной траектории, диспетчер ОВД информирует экипаж ВС, выполняющего взлет или заход на посадку. При обнаружении большой стаи птиц (несколько десятков особей) сведения о них немедленно передаются руководителю полетов или диспетчеру ОВД. В случаях, когда на аэродроме чрезвычайно высокая концентрация птиц, представляющих серьезную опасность для полетов ВС (на ВПП или вблизи нее собираются в стаи десятки и сотни птиц, через ВПП или подходы к ней в течение нескольких минут летят одна за другой большие стаи птиц), руководитель полетов может принять решение о временном прекращении полетов.

В целях накопления информации о возникающих на аэродроме сложных орнитологических ситуациях и разработки в отношении птиц соответствующих профилактических мер диспетчером ОВД, осуществляющим визуальное наблюдение за взлетом и посадкой ВС, ведется специальный журнал орнитологической обстановки на аэродроме, см. таблицу И.1.

В журнале указываются [66, 70]:

- дата (число, месяц, год) и время (местное) наблюдения на аэродроме опасных концентраций птиц;
- участок летного поля, на котором наблюдалась концентрация птиц;
- общее число обнаруженных птиц (записывается с округлением до десятков, сотен, тысяч);
- наиболее часто отмечающаяся градация величины стай; малая (менее 10 особей) или большая (10 и более особей);
- наиболее часто отмечающаяся видовая принадлежность птиц (при возможности) или градация размера птиц; мелкие птицы (величиной с воробья, скворца и мельче), средние птицы (величиной с голубя, чайку, утку, ястреба, грача), крупные птицы (величиной с гуся, аиста, орла и крупнее);
- преобладающее направление перелетов птиц (за направление перелетов птиц принимается направление, указывающее, куда летели птицы, записывается в румбах: С, С-В, В, Ю-В, Ю, Ю-З, З, С-З);
- интервал высот, в котором пролетело большинство птиц (записывается с точностью до десятков и сотен метров).

Таблица И. 1 – Образец журнала орнитологической обстановки на аэродроме [66].

№ п/п	Дата	Время обнаружения птиц (местное)	Участок аэродрома, где замечены скопления птиц	Сведения о птицах	Фамилия, инициалы наблюдателя, подпись
1	21.03.04	08.30	Перрон	Сидело около 50 чак	Петров П. П.
2	22.03.04	09.00	СДП-314	Пролетела большая стая скворцов (около 100 особей) на С-В 50-100 м	Иванов С. С.

Радиолокационный контроль за орнитологической обстановкой в секторе взлета и захода ВС на посадку и сообщения о ней экипажам ВС, находящимся в воздухе, осуществляют диспетчеры ОВД при условии работы радиолокаторов. Для слежения за орнитологической обстановкой диспетчер ОВД использует экран

индикатора радиолокатора. Радиолокационный контроль за орнитологической обстановкой производится параллельно с радиолокационным контролем за движением ВС. При обнаружении на экране индикатора отметок от стай птиц, находящихся на траектории полета ВС или в непосредственной близости от данной траектории, диспетчеры ОВД оповещают об этом экипажи ВС. Заступающие на дежурство диспетчеры ОВД обязаны ознакомиться с информацией об орнитологической обстановке в зоне своей ответственности.

Радиолокационный контроль за перелетами птиц осуществляется в соответствии с технологией работы диспетчеров ОВД. Опознавание эхо-сигналов от стай птиц на экране радиолокаторов производится с учетом их отличительных признаков, см. рисунки И.1, И.2.

Опознавание засветок от стай птиц на экранах индикаторов радиолокаторов сравнительно сложно и требует от диспетчеров ОВД определенного навыка. Основная трудность заключается в том, что эти засветки сравнительно малозаметны и чрезвычайно разнообразны по своему виду. В связи с этим трудно дать единое и точное описание засветок от птиц, а также указать какой-либо их признак, позволяющий с полной уверенностью отличить их от прочих засветок. Однако всем засветкам от птиц свойствен ряд особенностей, по совокупности которых можно вполне надежно осуществлять идентификацию данных засветок. К числу основных отличительных признаков засветок от птиц относятся [66, 70]:

- размер;
- яркость;
- форма;
- выраженность границ;
- скорость перемещения;
- направление перемещения;
- постоянство изображения;
- расположение на экране индикатора радиолокатора.

Размер засветок

Засветка от плотных стай птиц на экране индикатора посадочного радиолокатора в большинстве случаев по своим размерам соответствует засветкам от небольших ВС, а от одиночных птиц имеет часто размер точки.

Тип ВС	Последствия для полета	
Управление ГА	отсутствуют	<input type="checkbox"/>
Дата: день..... месяц..... год	прерванный взлет	<input type="checkbox"/>
Местное время	посадка из-за мер предосторожности	<input type="checkbox"/>
Рассвет <input type="checkbox"/> день <input type="checkbox"/> сумерки <input type="checkbox"/> ночь <input type="checkbox"/>	двигатели остановлены	<input type="checkbox"/>
Название аэродрома	прочие (охарактеризовать).....	<input type="checkbox"/>
Используемая ВПП.....	Состояние неба	
месторасположение ВС если оно находится на маршруте	безоблачно	<input type="checkbox"/>
Высота (над уровнем земли)..... м	редкая облачность	<input type="checkbox"/>
Скорость (приборная)..... км/ч	густая облачность	<input type="checkbox"/>
Этап полета:	Осадки:	
стоянка <input type="checkbox"/> на маршруте <input type="checkbox"/>	туман	<input type="checkbox"/>
руление <input type="checkbox"/> снижение <input type="checkbox"/>	дождь	<input type="checkbox"/>
разбег <input type="checkbox"/> заход на посадку <input type="checkbox"/>	снег	<input type="checkbox"/>
набор высоты <input type="checkbox"/> пробег <input type="checkbox"/>	Вид птиц	
Часть (части) ВС, подвергнувшаяся удару	Количество птиц	
обтекатель <input type="checkbox"/>	увиденные	участвующие в столкновении
лобовое стекло <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Нос (исключая упомянутое выше) <input type="checkbox"/>	2-10 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
двигатель №1 <input type="checkbox"/>	11-100 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
двигатель №2 <input type="checkbox"/>	более <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
двигатель №3 <input type="checkbox"/>	Размер птиц:	
двигатель №4 <input type="checkbox"/>	небольшая <input type="checkbox"/>	
воздушный винт <input type="checkbox"/>	средняя <input type="checkbox"/>	
крыло/несущий винт <input type="checkbox"/>	большая <input type="checkbox"/>	
фюзеляж <input type="checkbox"/>	Был ли предупрежден о птицах пилот	
шасси <input type="checkbox"/>	да <input type="checkbox"/> нет <input type="checkbox"/>	
хвост <input type="checkbox"/>	Составлено (указать кем).....	
огни <input type="checkbox"/>		
прочие (указать).....	Примечание. Все останки птиц направить в ГосНИИ ГА	

Эта информация требуется для обеспечения безопасности полетов.

Рисунок И. 1 – Форма отчётности о столкновениях ВС с птицами [67].

Дополнительная форма отчётности о столкновениях ВС с птицами
Сведения о расходах эксплуатантов и повреждении двигателей

А. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Эксплуатант	01/02
Тип ВС	03/04
Тип двигателей	05/06
Регистрационный знак ВС	07
Дата столкновения: число, месяц, год	08
Аэродром / местоположение, если известно	11/12/14

В. СВЕДЕНИЯ О РАСХОДАХ

Время простоя ВС часов	52
Ориентировочная стоимость ремонта или замены (тыс. долларов США)	53
Прочие ориентировочные расходы (потери доходов, стоимость топливо и др.)	54

С. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПОВРЕЖДЕНИИ ДВИГАТЕЛЕЙ
В РЕЗУЛЬТАТЕ СТОЛКНОВЕНИЯ

Номер двигателя	1	2	3	4
Причина отказа / выключения	55	56	57	58
нелокализованный отказ	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> A	<input type="checkbox"/> A
пожар	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> B	<input type="checkbox"/> B
выключение - вибрация	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> C
выключение - температура	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> D
выключение - пожарная сигнализация	<input type="checkbox"/> E	<input type="checkbox"/> E	<input type="checkbox"/> E	<input type="checkbox"/> E
выключение - другие причины (указать)	<input type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> Y
выключение - причина неизвестна	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> Z
Приблизительный процент потери тяги	59	60	61	62
Приблизительное количество попавших в двигатель птиц	63	64	65	66
Вид птиц				41
Составитель отчета				

Рисунок И. 2 – Сведения о расходах эксплуатантов и повреждении двигателей [73].

Яркость засветок

На экранах посадочных радиолокаторов яркость засветок от птиц значительно меньше яркости эхо-сигналов от ВС. Засветки от птиц могут несколько отличаться

между собой по размеру и яркости, так как эти признаки зависят от количества и размеров птиц, удаления их от радиолокатора, взаимного размещения птиц в стае, положения тела птицы относительно антенны радиолокатора и прочих факторов.

Форма засветок

Эхо-сигналы от птицы чаще всего выглядят на экранах в виде округлого пятна или точки. В редких случаях, когда обнаруженная большая стая птиц (тысячи особей) широко растянута по фронту, засветка от нее может быть линией или дугой.

Выраженность границ засветок

Засветки от птиц не имеют таких резких очертаний, как отметки от ВС и наземных предметов, и вместе с тем не так размыты, как отметки от облаков.

Скорость перемещения засветок

Большинство птиц летит со скоростью около 20-50 км/ч, поэтому визуально заметить смещение засветок от птиц на экране довольно трудно. Во время полета по ветру на больших высотах скорость полета птиц может достигать 120 км/ч и даже 150 км/ч. В этом случае можно сравнительно легко заметить смещение засветок от птиц, что позволяет только по скорости смещения отличить их от неподвижных эхо-сигналов, образованных наземными предметами, а также аэростатами, шарами-пилотами, радиозондами, облаками и прочими воздушными образованиями, перемещающимися со скоростью ветра.

Однако при идентификации засветок только по скорости их перемещения приходится учитывать скорость и направление ветра на различных высотах, что в оперативной работе бывает трудно осуществимо. Разность в скорости позволяет легко отличить засветки от птиц лишь от самолетных и вертолетных отметок, перемещающихся на экране радиолокатора значительно быстрее.

Направление перемещения засветок

Птицы совершают полеты в любых возможных направлениях, что позволяет отличить засветки от них от эхо-сигналов аэростатов, шаров-пилотов, радиозондов, облаков, перемещающихся только по ветру. Малоскоростная цель, идущая под углом к направлению ветра, почти всегда оказывается птицами.

Постоянство изображения засветок

Эхо-сигналы птиц в отличие от прочих отметок могут резко изменять свою яркость, размеры и форму, направление смещения, временами исчезать. Это связано с тем, что птицы часто меняют скорость, высоту и направление полета, перестраиваются в воздухе, летят то более, то менее плотными группами.

Расположение засветок

Эхо-сигналы птиц часто располагаются на экране индикатора радиолокатора группами, состоящими иногда (особенно весной и осенью) из десятков и даже сотен отдельных отметок. Частота и время появления засветок от птиц на экране индикатора радиолокатора в значительной степени обусловлены сезонными особенностями перелетов птиц. Поэтому летом и зимой засветки от птиц обнаруживаются преимущественно в светлое время суток (зимой весьма часто в темных сумерках), а весной и осенью круглосуточно, причем ночью они отмечаются иногда чаще, чем днем. Летом и зимой на экране индикатора радиолокатора наблюдаются, как правило, одиночные засветки от птиц, а весной и осенью – часто десятки засветок. Знание сезонных особенностей перелетов птиц в данной местности значительно облегчает идентификацию засветок от птиц.

В целях совершенствования комплекса мер по предотвращению столкновения ВС с птицами в организациях ГА производится анализ орнитологического обеспечения. Данный анализ является составной частью анализа обеспечения безопасности полетов.

Анализ орнитологического обеспечения составляется специалистом по авиационной орнитологии, а если такового не имеется, то другим должностным лицом согласно указанию руководителя организации ГА. В анализ входят [66, 70]:

- уточнение по результатам визуальных и радиолокационных наблюдений и орнитологического обследования (если оно проводилось) сроков и мест скопления и перелетов птиц на аэродроме и прилегающей территории;
- уточнение причин концентрации и массовых перелетов птиц в районе аэродрома;

- выявление наиболее часто повторяющихся обстоятельств столкновения ВС с птицами (тип ВС, высота и скорость полета, место столкновения, вид птиц, время суток и года);

- определение последствий столкновения (число и характер повреждений ВС, материальный ущерб из-за ремонта, простоя, задержки, прекращения взлетов и вынужденных посадок ВС);

- анализ деятельности служб и подразделений организаций ГА по выполнению мер защиты ВС от столкновения с птицами.

Для сравнения статистических данных рекомендуется пользоваться также относительным показателем числа столкновения – коэффициентом столкновения, который в соответствии с международной практикой определяется отношением числа столкновений, умноженного на 10000, к общему числу взлетов и посадок. Рекомендуется производить также анализ последствий столкновения ВС с птицами, который необходим для обоснования затрат на мероприятия по орнитологическому обеспечению полетов. По результатам анализа вышеперечисленной информации определяется перечень дополнительных мер, направленных на предотвращение столкновения ВС с птицами.

Все мероприятия по устранению условий, способствующих концентрации птиц, делятся на две группы: проводимые на аэродромах и на приаэродромных территориях. К числу основных мероприятий, проводимых на аэродромах, относятся [66, 70]:

- вырубка зарослей кустарников в пределах территории аэродрома;
- исключение возможности залета птиц в аэродромные сооружения (особенно ангары) путем загораживания имеющихся технологических проемов и отверстий проволочными или нейлоновыми сетками;
- скашивание травяного покрова на летном поле до оптимальной высоты;
- уменьшение возможности гнездования птиц на аэродромных сооружениях (ангарах, командно-диспетчерских пунктах и других зданиях и сооружениях);

- осушение увлажненных и заболоченных участков на территории аэродрома путем их дренирования или засыпки;

- исключение доступа птиц к пищевым отходам самолетных и аэродромных кухонь (хранение пищевых отходов в закрытых контейнерах, полная утилизация отходов в закрытых от птиц помещениях);

- спиливание верхних ветвей деревьев, на которых расположены гнездовые колонии птиц, в момент самого начала гнездования птиц (сбивание гнезд с помощью водомета);

- запрещение использования территории аэродрома для посева сельскохозяйственных культур, привлекающих птиц.

Причины концентрации птиц на аэродромах устраняются службами аэродромного обеспечения полетов, а также службами – балансодержателями соответствующих сооружений и объектов. Устранение причин концентрации птиц на приаэродромной территории осуществляется, как правило, работниками местных хозяйственных органов на договорных условиях. В данные мероприятия входят [66, 70, 74-75]:

- спиливание в самом начале гнездования птиц верхних ветвей деревьев, на которых расположены колонии птиц, или сбивание гнезд с помощью водометов;

- запрещение в радиусе 15 км от аэродрома строительства звероводческих ферм, скотобоен, подсобных хозяйств (свинарников, коровников, птицеферм, звероферм, рыбных прудов) и других объектов, способствующих массовому скоплению птиц;

- ликвидация (предотвращение создания) в радиусе 15 км от аэродрома свалок пищевых отходов или перенос их в сторону с таким расчетом, чтобы летящие к свалкам с мест скопления птицы не пересекали ВПП и подходы к ней;

- вспашка и перепахивание сельскохозяйственных полей с зерновыми культурами, окружающих аэродром, только в ночное время;

- запрещение выпаса скота вблизи аэродрома во избежание привлечения большого количества мелких птиц;

- осушение мелких водоемов вблизи аэродрома, являющихся местом скопления птиц, пролетающих через приаэродромную территорию;

- скашивание на расположенных вблизи аэродрома водоемах высокой береговой и прибрежной растительности, являющейся местом массового гнездования, отдыха или ночевки птиц.

Мероприятия по изменению экологической обстановки в окрестностях аэродрома в неблагоприятном отношении для птиц проводятся только в том случае, если они позволяют устранить действительные причины концентрации птиц на данном аэродроме или регулярного массового перелета птиц через его территорию, в противном случае численность птиц на аэродроме может даже увеличиться. Мероприятия по устранению на приаэродромной территории условий, способствующих скоплению птиц, проводятся по согласованию с соответствующими государственными органами.

Отпугивание птиц от аэродрома производится с помощью различных средств: биоакустических установок, ружей, ракетниц, газовых пушек, трещоток, зеркальных шаров, сетей, пугал, флажков, лент, чучел [66]. К проведению данных мероприятий могут привлекаться работники разных подразделений, из которых могут быть образованы специальные внештатные группы. Выбор средств отпугивания птиц осуществляется на каждом аэродроме исходя из местных особенностей орнитологической обстановки. При этом учитывается следующее [66, 70]:

- непрерывное или слишком частое применение любого отпугивающего средства со временем снижает эффективность ввиду привыкания к нему птиц;

- при одновременном применении нескольких способов отпугивания (например, воспроизведение криков бедствия и стрельба из ракетниц и ружей, установка отпугивающих предметов и стрельба из ракетниц) или их периодическом чередовании эффективность отпугивания птиц возрастает;

- наиболее легко птицы отпугиваются во время миграций (весной и осенью), так как в этот период года многие птицы имеют слабую привязанность к территории;

- местные птицы (особенно в летнее время) менее восприимчивы к воздействию отпугивающих средств, однако весной и осенью их необходимо отпугивать от аэродрома, поскольку они часто являются причиной скапливания здесь мигрирующих птиц;

- стрельба из ракетниц и биоакустическое отпугивание приводит иногда к тому, что птицы поднимаются в воздух и, прежде чем улететь, некоторое время (1-2 минуты) кружатся над местом отпугивания, создавая еще большую опасность для полетов ВС, в связи с этим данные способы отпугивания следует применять за 5-10 минут до взлета (посадки) ВС, а при невозможности соблюдения указанных интервалов следует либо задержать выпуск (прием) ВС, либо временно не производить отпугивание стай птиц, находящихся далее 150 м от ВПП.

Биоакустическое отпугивание (воспроизведение через громкоговорители тревожных криков птиц) производится с помощью специальных биоакустических установок типа "Беркут". На аэродромах применяются биоакустические установки четырех типов: стационарные (громкоговорители устанавливаются на летном поле), подвижные (вся аппаратура устанавливается на легковой автомашине), полуподвижные (аппаратура устанавливается на специальные тележки, включение и выключение аппаратуры производится по радио) и переносные. Высокой эффективности биоакустического отпугивания птиц достигают при соблюдении следующих основных условий [66, 70]:

- запись крика птиц на магнитной ленте произведена качественно (в стационарных условиях, при помощи специальной аппаратуры);
- биоакустическая установка может воспроизводить записанные крики птиц без искажения;
- транслируется запись крика именно того вида птиц, который отпугивается;
- длительность и частота трансляции крика соответствуют нормам и орнитологической ситуации.

Для отпугивания кормящихся и отдыхающих птиц трансляцию отпугивающих сигналов следует производить подряд 2-3 раза. Продолжительность одной трансляции составляет 15-30 секунд, а пауза – 10-20 секунд. Обычно уже после

первой трансляции птицы взлетают и часто (но не всегда) летят в направлении источника звука и некоторое время кружат над ним. В этот момент начинается вторая трансляция, после которой птицы покидают территорию аэродрома. Для отпугивания ночующих птиц вечером, во время сбора птиц на ночевку, производят две трансляции сигналов по 20-30 секунд с интервалом 10-15 секунд. Обычно птицы после этого улетают, но через 5-10 минут возвращаются. В это время производится повторная серия трансляций, после чего птицы покидают место ночевки. Если такое отпугивание повторять ежедневно в течение 3-4 дней, то можно надолго отпугнуть птиц от выбранного ими места ночевки.

Целесообразность отпугивания скоплений ночующих птиц вызвана тем, что утром и вечером они представляют большую опасность для полетов ВС, пересекая территорию аэродрома. Часто птицы образуют смешанные стаи из различных видов. В этом случае рекомендуется применять тревожные сигналы того вида птиц, который крупнее по размерам и более многочислен в стае.

В случае применения биоакустических средств отпугивания необходимо учитывать погодные условия. Так, сильный встречный и боковой ветер, дождь значительно сокращают дальность звучания сигнала. Лицам, отпугивающим птиц, целесообразно наблюдать за их реакцией на транслируемые сигналы. В случае снижения эффективности биоакустического отпугивания производить замену сигналов. Кроме того, необходимо периодически подкреплять трансляции сигналов демонстрацией реальной опасности (то есть выстрелами из ракетниц, охотничьих ружей). Птицы отдельных видов (например, голуби) фактически не издаются тревожных криков, и поэтому биоакустическое отпугивание их связано с определенными трудностями. Отпугивание птиц от аэродрома выстрелами из ракетниц осуществляется работниками аэродромной службы и диспетчерами ОВД по согласованию с руководителем полетов. Отпугивание производится выстрелами в сторону птиц с таким расчетом, чтобы ракета пролетела поблизости от них. В летнее время данный способ применяется, если нет опасности загорания сухой травы. Отпугивание птиц выстрелами из ружей производится по указанию руководителя полетов (диспетчера ОВД) работниками внештатных групп,

имеющими соответствующие разрешения. Отпугивание птиц с помощью специальных пугачей, в которых автоматически взрывается с сильным звуком газ, производится в редких случаях в связи с невысокой эффективностью данного способа. Этот способ отпугивания применяется прежде всего в отношении тех птиц, на которых охотятся (гуси, утки, кулики), при этом пугачи устанавливаются вблизи постоянных мест скопления птиц. Для более оперативного применения рекомендуется устанавливать пушки в прицепной тележке. При эксплуатации газовых пушек требуется соблюдать противопожарные меры безопасности. Отпугивание птиц от аэродрома с помощью различных предметов (трещоток, флажков, пугал) производится в местах постоянного скопления птиц (в тех случаях, когда причину скопления птиц ликвидировать нельзя). Установку данных предметов осуществляют работники служб аэродромного обеспечения полетов, при этом они руководствуются рекомендациями специалистов-орнитологов из местных биологических организаций.

Действия экипажей ВС при полетах в сложной орнитологической обстановке должны быть следующими [66, 70, 72, 75]. Перед принятием решения на вылет командир ВС обязан учитывать информацию диспетчера ОВД об орнитологической обстановке в районе аэродрома. На исполнительном старте после получения информации от диспетчера ОВД об орнитологической обстановке командир ВС обязан оценить возможность выполнения взлет, который в этих условиях производится с включенными фарами.

При полете по маршруту, в случае обнаружения скопления птиц, экипаж должен обходить их стороной или пролетать над ними. Особенно внимательным экипаж должен быть во время встречи в воздухе с крупными птицами. В этом случае экипажу ВС необходимо предпринять действия по предотвращению сближения с ними с докладом об этом диспетчеру ОВД.

При невозможности обойти зону сложной орнитологической обстановки командиру ВС рекомендуется возвратиться в пункт вылета или произвести посадку на ближайшем запасном аэродроме с докладом диспетчеру ОВД. При подходе к аэродрому посадки после получения информации от органов ОВД о сложной

орнитологической обстановке или при визуальном обнаружении птиц экипажу необходимо [66, 70, 75]:

- повысить осмотрительность;
- включить фары (если они не были включены ранее);
- повысить контроль за параметрами работы двигателя (двигателей);
- при необходимости уйти на второй круг.

Во время авиационно-химических работ командир ВС при осмотре участка с земли или с воздуха до начала его обработки должен обратить внимание на состояние орнитологической обстановки и участки возможного скопления птиц, представляющих опасность для полетов ВС. Не рекомендуется производить АХР, если в районе обрабатываемого участка наблюдаются скопления или интенсивные перелеты птиц. В период проведения АХР пролет над местами возможного скопления птиц на земле и воде рекомендуется производить на высоте, исключающей возможность столкновения с птицами. Экипажи ВС, заметившие во время полета скопление птиц, представляющих опасность для полетов, немедленно передают информацию о них диспетчеру ОВД.

Занятия по авиационной орнитологии с диспетчерами ОВД и работниками аэродромного обеспечения полетов, летного и других подразделений проводятся при подготовке к работе в весенне-летний и осенне-зимний периоды. Занятия проводят специалисты по авиационной орнитологии или другие специалисты. К проведению занятий могут быть привлечены орнитологи из местных биологических организаций. На занятиях по авиационной орнитологии рассматриваются следующие вопросы [66, 70]:

- особенности орнитологической обстановки в различные сезоны года в районе аэродрома (видовой состав, места скопления и основные маршруты перелетов птиц, представляющих опасность для полетов ВС);
- распределение случаев столкновения ВС с птицами на данном аэродроме по сезонам года, периодам суток, высотам;
- организация на аэродроме орнитологического обеспечения полетов;

- визуальные и радиолокационные наблюдения за орнитологической обстановкой в районе аэродрома;
- ликвидация в районе аэродрома условий, способствующих концентрации птиц;
- применение средств отпугивания птиц;
- действия экипажей в полете по уменьшению вероятности и опасности столкновения ВС с птицами;
- последствия столкновения ВС с птицами (материальный ущерб, опасные ситуации в полете).

Использованная литература:

1 Колесниченко, Ю. М. Столкновения самолетов с пернатыми нередко приводят к авариям / Ю. М. Колесниченко // Газета «Транспорт России». – № 42. – 2007. – С. 5.

2 Руководство по орнитологическому обеспечению полётов в гражданской авиации (РООП ГА-89): введено в действие 01.05.1989 приказом МГА СССР от 26.12.1988 № 209.

3 Руководство по аэропортовым службам / Doc. 9137 ИКАО. – 2002. – URL: <http://www.icao.int> (дата обращения 20.06.11).

4 Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации: РЭГА РФ-94: введены в действие приказом ДВТ от 19.09.94 № ДВ-98.

5 Авиационные правила. Часть 139. Сертификация аэродромов: АП-139: введены в действие приказом Минтранс РФ от 05.07.1994 № 48.

6 Федеральные авиационные правила полетов в воздушном пространстве Российской Федерации: ФАП-136: введены в действие приказом Минобороны РФ, Минтранс РФ и Российского авиационно-космического агентства от 31 марта 2002 г. N 136/42/51.

7 Федеральные авиационные правила. Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации: ФАП-128: введены в действие приказом Минтранс РФ от 31.07.2009 N 128.

8 Постановление Государственного комитета по авиации Республики Беларусь от 25.01.2005 N1 «Об утверждении авиационных правил «Орнитологическое обеспечение полетов в гражданской авиации республики Беларусь».

9 Отраслевая группа авиационной орнитологии. Отпугивание птиц. Защита от птиц. – URL: <http://otpugivanie.narod.ru/documents.html> (дата обращения 20.06.11г).

10 Республика Казахстан. Законы. Об использовании воздушного пространства Республики Казахстан и деятельности авиации (правила орнитологического обеспечения полетов гражданских воздушных судов в Республике Казахстан): принят 15.07.2010.

Сокращения:

ИКАО – International Civil Aviation Organization (Международная организация гражданской авиации – ИКАО).

РООП ГА – Руководство по орнитологическому обеспечению полетов в гражданской авиации.

РАН – Российская академия наук.

ВПП – взлетно-посадочная полоса.

ОВД – Организация воздушного движения.

АТIS – Automatical Terminal Information Service.

ГА – гражданская авиация.

АХР – авиационно-химические работы.

Приложение К Описание активных вулканов. История и прогнозирование извержений

Вулканы – отдельные возвышенности над каналами и трещинами земной коры, по которым из глубинных магматических очагов выводятся на поверхность продукты извержения. Вулканы обычно имеют форму конуса с вершинным кратером (глубиной от нескольких до сотен метров и диаметром до 1,5 км). Во время извержений иногда происходит обрушение вулканического сооружения с образованием кальдеры - крупной впадины диаметром до 16 км и глубиной до 1000 м. При подъеме магмы внешнее давление ослабевает, связанные с ней газы и жидкие продукты вырываются на поверхность и происходит извержение вулкана [76-77].

Полагают, что после извержений вулканов средняя температура атмосферы Земли понижается на несколько градусов за счет выброса мельчайших частиц (менее 0,001 мм) в виде аэрозолей и вулканической пыли (при этом сульфатные аэрозоли и тонкая пыль при извержениях попадают в стратосферу) и сохраняется таковой в течение 1-2 лет [77].

Для прогноза извержений составляются карты вулканической опасности с показом характера и ареалов распространения продуктов прошлых извержений и ведется мониторинг предвестников извержений [77-78]. К таким предвестникам относится частота слабых вулканических землетрясений; если обычно их количество не превышает 10 за одни сутки, то непосредственно перед извержением возрастает до нескольких сотен [78]. Ведутся инструментальные наблюдения за самыми незначительными деформациями поверхности. Точность измерений вертикальных перемещений, фиксируемых, например, лазерными приборами, составляет 0,25 мм, горизонтальных - 6 мм, что позволяет выявлять наклон поверхности всего в 1 мм на полкилометра [78]. Данные об изменениях высоты, расстояния и наклонов используются для выявления центра вспучивания, предшествующего извержению, или прогибания поверхности после него. Перед извержением повышаются температуры фумарол, иногда изменяется состав

вулканических газов и интенсивность их выделения [76]. Предвестниковые явления, предшествовавшие большинству достаточно полно документированных извержений, сходны между собой. Однако с уверенностью предсказать, когда именно произойдет извержение, очень трудно [76].

Самый точный прогноз вулканических извержений, очевидно, можно было бы составить, изучая цикличность вулканической деятельности или анализируя последовательность связанных с нею событий. Но, к сожалению, первый способ редко бывает действенным, поскольку ни один вулкан мира не продемонстрировал до сих пор четко выраженной цикличности извержений [77-78]. Поэтому время следующего извержения конкретного вулкана трудно предсказать с разбросом менее чем 10 лет. Кроме того, сильные и разрушительные извержения вулкана Ламингтон на Новой Гвинее в 1951 г. и извержение вулкана Безымянный на Камчатке в 1956 г., которые считались потухшими, значительно, снизили достоверность прогнозов, сделанных на основании анализа периодичности предыдущих катастроф [77]. Гораздо большую пользу приносит изучение характера вулканической деятельности в период извержения. Например, из вулкана Парикутин лава всегда начинала истекать через некоторое время после того, как пеплопады достигали максимума и затем внезапно прекращались [79]. Сейчас признается опасность, таящаяся за резким прекращением вулканической деятельности потенциально грозных вулканов, лава которых богата кремнеземом. Примером тому служит вулкан Мон-Пеле. В 1902 г. вулканическая деятельность этого вулкана, казалось, достигла апогея, а затем вдруг резко, хотя и ненадолго, прекратилась [78]. Вулкан словно замер, а тем временем внутри его в течение 4 ч возрастало давление газа. В результате произошло катастрофическое извержение, известное всему миру. Ныне подобное развитие событий послужит сигналом к немедленной эвакуации из данного района, как это было сделано в окрестностях вулкана Суфриер в 1976 г. При прогнозе вулканических извержений необходимо учитывать и возможное влияние внешних (по отношению к вулкану) процессов. Оказывается, что извержение некоторых вулканов совпадает во времени с климатическими изменениями или с действием земного прилива. Вулкан Пуеуе в

Чили, например, начал извергаться в 1960 г. через 48 ч после того, как произошло сильное землетрясение, эпицентр которого находился на расстоянии 300 км от вулкана [78]. К сожалению, подобные механизмы приводящие в действие вулканы, до сих пор настолько плохо изучены, что использовать их как критерии прогноза извержения почти невозможно [77-78].

В качестве предвестников близкого извержения могут выступать разнообразные признаки [77-78]: повышение температуры горных пород и природных вод, изменение состава газов и др. Когда магма поднимается к жерлу внутри вулкана, ее тепловое воздействие на горные породы иногда может быть обнаружено прежде чем начнется извержение. Для этого используется аэрофотосъемка в чувствительных к температуре инфракрасных лучах. Но заметке увеличение температуры горной породы далеко не всегда является предвестником извержения, и эти наблюдения не приносят существенной пользы. Вследствие нагревания магмой может повыситься температура источников и фумарол, причем этот эффект становится заметным гораздо раньше, чем потепление пород. Так, извержение вулкана Тааль на Филиппинах в 1965 г. удалось предсказать благодаря тому, что значительно повысилась температура воды в кратерном озере. На этом основании было принято решение о немедленной эвакуации жителей района; погибло всего 190 человек, хотя извержение было очень сильным [78].

Нагревание приводит также к размагничиванию пород, если температура магнитных минералов превысит точку Кюри. Это воздействие можно контролировать проведением наземной магнитной съемки. Значительные потери намагниченности горных пород были зарегистрированы перед извержением вулкана Осима в Японии, магматический очаг которого располагался относительно неглубоко [77]. На гавайских же вулканах, которые, очевидно, питаются магмой из более глубоких очагов, магнитных эффектов обнаружено не было. Весьма вероятно, что достаточно надежным может быть прогноз, основанный на изучении состава газов из фумарол [77]. Вулканологической службой Японии было обнаружено, что в фумарольных газах некоторых вулканов непосредственно перед извержением заметно повышалось содержание хлора и сернистого газа. Хотя на примере других

аналогичных вулканов Японии этот факт и не подтвердился, но тем не менее он весьма интересен. Поскольку поведение газов непосредственно связано с механизмом извержения, их изучение, вероятно, позволит выявить надежные методы прогноза [77-78].

Перед извержением должны переместиться вверх миллионы тонн расплавленной породы; очевидно, что для прогноза достаточно обнаружить это движение. Практически это можно осуществить двумя путями: измерением небольших поверхностных смещений и сейсмической регистрацией толчков и сотрясений от глубинных подвижек. Магма образуется в земной коре на значительной глубине, а затем движется вверх благодаря своей пониженной плотности по сравнению с окружающими более холодными твердыми породами. Перед самым извержением приближение магмы к земной поверхности вызывает ее региональное воздымание и приподнимает купол вулкана. Это можно обнаружить детальными измерениями превышений и расстояний между точками на участке поднятия, а также определением углов наклона местности. Последняя операция проводится с помощью особых приборов - наклономеров, которые представляют собой заполненные жидкостью трубки, соединяющие два резервуара. Наклономеры просты в обращении, дешевы, высокочувствительны и позволяют определять изменение углов наклона с погрешностью до одной миллионной доли градуса [77].

Способ прогнозирования, согласно изобретению, основан на четко выраженной периодичности характера распределения вулканических извержений в полях астрономических показателей, отражающих величину гравитационной составляющей вулканической деятельности [77]. Под этими астрономическими показателями в контексте данной заявки имеются в виду - геоцентрическая долгота Солнца и эклиптическая широта Луны. Литосфера Земли, в которой происходит развитие вулканических процессов, локализована в гравитационном поле Земли, тесно связанном с гравитационными полями Солнца и Луны. При этом гравитационное взаимодействие Земли с другими небесными телами проявляется в виде возмущающих и приливных сил, имеющих периодический характер, связанный с изменением расстояния от Солнца до Земли. Эти силы выполняют

роль триггерных механизмов периодического действия. Вулканические процессы находятся в прямой зависимости от внутренней тектонической деятельности Земли, а также от внешнего гравитационного воздействия. Образование трещин в земной коре, приводящее к снижению нагрузки и началу процесса извержения, связано с периодическими деформациями земного эллипсоида, происходящими под действием приливных и/или возмущающих сил ближайших к Земле небесных тел, в первую очередь, Солнца и Луны. Именно с действием приливных сил Луны и Солнца связаны упомянутые выше астрономические показатели:

1. AP-Земли - фактор, определяющий высокую вероятность извержений в то время, когда Земля находится вблизи афелия (А) или перигелия (Р) своей орбиты. Это возможно связано с изменением склонения Солнца относительно плоскости земного экватора и изменением в соотношениях горизонтальной и вертикальной составляющих приливной силы (период AP-Земля фактора - 1/2 года или 182,7 суток - период тропического неравенства солнечного прилива или 1/2 периода параллактического неравенства) [77].

2. β - фактор определяет высокую вероятность извержений при положении Луны в области высоких эклиптических геоцентрических широт, т.е. при максимальном ее отклонении от плоскости эклиптики, что также может определяться изменением соотношений горизонтальной и вертикальной составляющих в приливной силе Луны (период фактора около 1/2 драконического месяца, точнее 13,6 суток - период тропического неравенства лунного прилива) [77].

Для определения календарного срока и длительности периодов наибольшей вероятности извержения вулкана предварительно проводили хронологические исследования вулканических извержений за 80-летний период XX столетия. При этом календарная система отсчета была заменена на геоцентрическую эклиптическую систему. В этой системе определяли распределение отклонений фактического для выбранного интервала значения числа извержений от среднего их числа по формуле [77]:

$$S_o = \frac{v_n - v_s}{v_s} \times 100\%, \quad (\text{К.1})$$

где v_s - среднее значение числа извержений для интервала при выбранном масштабе; v_n - фактическое значение числа извержений для того же интервала. Причем длительность этих промежутков времени для AP-Земли фактора ограничивается по существу неделями до и неделями после прохождения Землей афелия и перигелия, а с учетом обеспечения необходимой надежности прогноза - двумя неделями до и двумя неделями после прохождения Землей А и Р. Лунная орбита расположена в плоскости, которая наклонена к плоскости эклиптики на угол $5^{\circ}09'$. Когда Луна пересекает эклиптику (т.е. находится в узлах своей орбиты), эклиптическая широта равна нулю. Один раз в драконический месяц Луна имеет максимальное положительное ($+5^{\circ}09'$, северная широта) и максимальное отрицательное ($-5^{\circ}09'$, южная широта) отклонение от плоскости эклиптики. [78].

Гримсвотн вулкан расположен на юге Исландии [79]. Высота вулкана составляет около 970 м, по другим данным – 1725 м. Длина кратера сильно варьирует от мощности извержений: в 1989 г. составляла около 200 м, в 1998 году – более 500 м. Извержение Гримсвотна в ноябре 2004 года сопровождалось увеличением диаметра кальдеры (котлообразная впадина с крутыми склонами и ровным дном, образовавшаяся вследствие провала вершины вулкана, а иногда и прилегающей к нему местности) до двух километров. Связан системой литосферных трещин с вулканами Лаки и Катла. Покрыт северо-западной частью ледника.

Ватнаёкюдль [79]. периодичность извержений 3-10 лет. Последнее извержение вулкана началось 21 мая 2011 года, когда столб дыма поднялся на высоту 20 км, в связи с чем было объявлено о введении бесполетной территории в 120 морских миль вокруг центра извержения. А поскольку вулкан покрыт ледником, специалисты опасаются, что последствием извержения может стать и наводнение

Котопакси (Эквадор) [79]. Котопакси является вулканом расположенным в Андах. Это самый высокий действующий вулкан в мире (5897 м) и вторая высочайшая вершина в Эквадоре. Котопакси отличается буйством зелени на его подножьях и изящными кратерами. Считается также одним из наиболее опасных из действующих вулканов. Там было более чем 50 извержений с 1738. Его извержения привели к разрушению соседнего города Лакатунга. Вулкан был относительно неактивным с 1904 года. Именно это делает Котопакси наиболее популярным среди альпинистов, велосипедистов и туристов. В традиционной картине Тигуа, Котопакси, как правило, изображается в качестве составной части культурной жизни.

Попокатепетль (Мексика) [79]. Попокатепетль (также называется Попо и Дон Гойо) является действующим вулканом в Мексике. Он достигает высоты в 5426 м и является вторым по величине на высшем уровне в стране. Попокатепетль получил свое название от слова наuatль “pōōsa” (дым) и tepētl («гора»), что означает «Курение Горы» и полностью оправдывает своё название. До девяностых годов, Попо был любимым местом отдыха – сноуборд-центром. В 1947 году он начал новый цикл активности с крупного извержения. В настоящее время учёные тщательно изучают его. Жители соседних городов любят снежную белую гору Попокатепетль в течение большей части года.

Этна (Сицилия) [79]. Этна (что означает «гора огонь» по-арабски) является самым высоким и самым активным вулканом в Европе (3326 м). Зафиксировано более 200 её извержений. Интересно, что Этна изменяется по высоте от извержения к извержению. Например, в настоящее время она на 21,6 м ниже, чем в 1865 году. Примерно каждые 150 лет Этна разрушает одну из соседних деревень, но несмотря на это, близлежащие территории плотно заселены. Дело в том, что вулканический пепел делает почву плодородной. Согласно последним исследованиям в настоящее время нарастает опасность обширного извержения Этны.

Фудзияма (Япония) [79]. Фудзияма является действующим вулканом и самой высокой вершиной Японии (3776 м). Его последнее извержение датируется 1707 и 1708 годом. Фудзияма отличается своим почти идеально симметричным конусом,

хорошо видимым из Токио в ясную погоду, который является одним из символов Японии.

Ллайма (Чили) [79]. Ллайма является крупнейшим и наиболее активным вулканом в Чили в 3125 м. Извержения напоминают кровавые вены, когда вы видите потоки раскаленной лавы, вытекающие из пика вулкана. Основные извержения датируются 1994, 2008 и 2009 годами. Извержения в 2008 году заставили проводить эвакуацию людей из близлежащих населенных пунктов. Колонна пепла извержения пришла на восток и достигла Атлантического океана за 4 дня

Гунунг Мерапи (Индонезия) [79]. Гунунг Мерапи (т.е. Гора огня) является активным коническим вулканом, расположенным на границе между Центральной Явой и Джокьякартой провинции Индонезии. Ее высота составляет 2914 м. Мерапи самый активный вулкан в Индонезии с регулярными крупными извержениями каждые 7 лет, и незначительными каждые 2 года. Последние извержения Мерапи, стали причиной серьезного несчастья, они были в 1930, 1974 и 1975 годах. Несколько инцидентов произошло с туристами и вулканологами, которые приписываются к основным погибшим от извержения. Несмотря на мирные фазы бездействия, дым из вершины можно наблюдать практически каждый день. Он всегда напоминает жителям об опасности.

Питон-де-ла Фурнез (Маскаренские острова) [79]. Питон-де-ла Фурнез представляет собой щит активного вулкана на островах Реюньон в Индийском океане в 2631 м в высоту. В настоящее время он известен как наиболее активный вулкан в мире. Одно из его последних извержений длилось почти шесть месяцев с августа 2006 до января 2007 года. Следующего извержения наблюдались в феврале 2007 года, сентябре 2008, и самые последние с 1 по 12 января 2010. Добраться до Питон-де-ла Фурнез можно по асфальтированной дороге и это делает его популярным среди туристов. Питон-де-ла Фурнез изображен на неофициальном флаге островов Реюньон.

Маунт Редут (Аляска) [79]. Представляет собой стратовулкан с кратером, находящимся на высоте 2700 м. Наиболее активные его извержения в 20-м веке датируются 1902, 1966 и 1989 годами. В последнее извержение в 2009 году, были

зафиксированы 6 взрывов, которые выбросили столб пепла более чем на 9 миль в воздух. Это был самый большой вулканический выброс почти за 20 лет.

Руапеху (Новая Зеландия) [79]. Руапеху является действующим вулканом в Новой Зеландии, высота 2797 м. Он считается одним из самых активных вулканом в мире и крупнейшим действующим вулканом в Новой Зеландии. Руапеху получил свое название из языка маори, на котором это слово означает " пропасть взрыва". Последнее извержение датируется 25 сентября 2007,. Не смотря на то, что извержение началось, как и все предыдущие, внезапно, он часто посещается туриста.

Вулкан Безымянный (около 2880 м) – один из наиболее активных вулканов Камчатки [79]. Он находится в 500 километрах от Петропавловска-Камчатс кого, на восточном побережье полуострова. Конус правильной формы, сложен андезитовыми лавами, которые изливались во время многочисленных извержений на протяжении последних тысячелетий. Безымянный стал известен после катастрофического взрывного извержения в марте 1956 года. Гигантский направленный взрыв разрушил значительную часть вулкана, образовался большой кратер размером 1,5x2 км. Купол Новый продолжает расти и уже превысил высоту 500 м. Вулкан Шивелуч – самый северный действующий вулкан Камчатки, расположенный в 45 км от поселка Ключи Усть-Камчатского района, где проживают около 5 тыс. человек. Абсолютная высота – 3283 м (главная вершина), высшая точка действующего вулкана (Молодой Шивелуч) – 2800 м. Вулкан сложен андезитами и базальтами и характерен выбросами раскаленных газово-пепловых туч и горячих каменных лавин, типичных для вулканов пелейского типа. После продолжительной паузы Шивелуч начал извергаться 4 декабря 2006 года и с тех пор остается активным

Вулкан Карымский [79] – один из самых активных вулканов Камчатки. Он расположен в 30 км от побережья Тихого океана и в 125 км к северу от Петропавловска-Камчатс кого. Высота Карымского вулкана 1536 м (есть и другие данные). Сложен андезито-дацитовыми лавами и вулканическими пеплами. Конус поднимается из обширной, до 5 км в диаметре, кальдеры древнего вулкана.

Последнее извержение началось в январе 1996 года и продолжается до сих пор. Последнее сильное извержение произошло в 1976 году.

Вулкан Ключевской [79] – один из самых активных вулканов мира, на долю которого приходится почти половина ювенильного материала, поступающего на поверхность в пределах Курило-Камчатской вулканической области. Абсолютная высота вулкана составляет 4822 м (4750-5000 м по различным данным), он самый высокий на территории вулкан. Диаметр вершинного кратера – 750 м [79].

Таблица К.1 - Вулканы [79].

Назв. вулкана	Расположение	Актив/неактив	Высота	Активность
Гримсвонт	Юг Исландии		970м	С 1989г-2004г
Котопакси	Эквадор	С 1904 неактив	5897м	С 1738г-50извержений
Попокатепетль	Мексика	актив	5426м	1947г.начал новый цикл активности с крупного извержения
Этна	Сицилия	актив	3326м	Каждые 150лет
Фудзияма	Япония	актив	3776м	1707-1708г
Гунунг Мерапи	Индонезия	актив	2914м	Каждые 7 лет
Питон-де-ла Фурнез	Маскаренские острова	актив	2631м	августа 2006 до января 2007 в феврале 2007 года, сентябре 2008, и самые последние с 1 по 12 января 2010
Руапеху	Новая Зеландия	актив	2797 м.	Последнее извержение датируется 25 сентября 2007
Безымянный	Камчатки	актив	2880 м	Многочисленных извержений на протяжении последних тысячелетий.
Шивелуч	Камчатки	актив	3283 м	Извергаться 4 декабря 2006 года и с тех пор остается активным
Ключевской	Курило-Камчатской	актив	4822 м	
Карымский	Камчатки	актив	1536 м	В январе 1996 года и продолжается до сих пор.Последнее сильное извержение произошло в 1976 году
Маунт Редут	Аляска	актив	2700 м	1902, 1966 и 1989

Приложение Л Листинг кода и окна ввода программы для расчета прогноза по фактору «Среда естественная»

Таблица Л.1 – Листинг программы.

Код	Описание
<pre> TMasPoints = Class Count: LongInt; Info: TStrings; Name: String; Value: Array Of double; Constructor Create; Destructor Destroy; Function LoadDataFromFile(PSheet, PxIColumnWhatNeedToLoad: Word; PCountPoints: LongInt): TMasPoints; Function ComputeSrednee: Double; Function GetNumberOfDifference: Double; Procedure AddX(Px: double); Procedure ComputeDifference(PMasPoints1, PMasPoints2: TMasPoints; PModeCompDiff: TModeComputeDiff); Function ComputeTuman: TMasPoints; Procedure PaintPoints(PSerPoints: TChartSeries); Procedure SaveDataTemp1; Procedure SetCount(PCount: LongInt); Procedure SortByX; Procedure ComputeObledenenie(PTemperatura, PTuman: TMasPoints; PMountain: TModeMountainAir); </pre>	<p><i>Класс, в котором хранятся кривые</i></p> <p>Count – количество точек кривой.</p> <p>Value – массив точек</p> <p>ComputeDufference – построение кривой как разницы по двум входящим кривым</p> <p>ComputeTuman – построение кривой «Туман» (в качестве входного параметра выступает кривая разницы между кривой «температура» и «точка росы»).</p> <p>ComputeObledenenie – построение кривой «обледенение» (в</p>

Продолжение таблицы Л.1

Код	Описание
<pre> Procedure ComputeSceplenie(PTemperatura, PTuman: TMasPoints); Procedure ComputeTyga(PTemperatura: TMasPoints; PMountain: TModeMountainAir); Procedure LoadFromFileTxt(PPath: String); Procedure SaveToFileTxt(PPath: String); Procedure LoadEvents(PSheet: Integer; PCountPoints: LongInt; PKeyword: String); End;</pre>	<p>качестве параметра выступают кривые «температура» и «туман» с указанием того, является аэродром горным)</p> <p>ComputeTyga – построение кривой «Тяговооруженность» (в качестве параметра выступает кривая «температура» с указанием того, является ли аэродром горным)</p>

Код	Описание
<p>TMatModel = Class</p> <p>Lymbda,</p> <p>Period,</p> <p>X,</p> <p>Y,</p> <p>SqrtVZnam_Discretnost,</p> <p>deltaT,</p> <p>SrednyyLiniy: Double;</p> <p>Discretnost: Integer;</p> <p>Constructor Create();</p> <p>Function DeltaProcWiner: Double;</p> <p>Function GetPoints(PDeltaPorog: Double):</p> <p>TMasPoints;</p> <p>Procedure SetStartPrm();</p> <p>Function ComputeNevyzka: Double;</p> <p>Function ComputeAmplituda: Double;</p> <p>End;</p>	<p><i>Описание класса, реализующего алгоритмы математической модели.</i></p> <p>X, Y, Lymbda, Period, Discretnost – параметры математической модели.</p> <p>GetPoints – генерирует точки для кривой согласно математической модели.</p> <p>Приращение процесса Орнштейна-Уленбека берется из класса TProcOrnshteinUlenbek.</p>
<p>TProcOrnshteinUlenbek = Class</p> <p>PrmModel_StartU,</p> <p>PrmModel_Mu,</p> <p>PrmModel_Sigma,</p> <p>PrmModel_Time: Double;</p> <p>DeltaT,</p> <p>ObrSqrt_Discret, U: Double;</p> <p>PrmModel_Discret: integer;</p> <p>Constructor Create();</p> <p>Function DeltaWiner(): Double;</p>	<p><i>Описание класса, реализующего модель процесса Орнштейна-Уленбека</i></p> <p>PrmModel_StartU,</p> <p>PrmModel_Mu,</p> <p>PrmModel_Sigma,</p> <p>PrmModel_Time,</p> <p>PrmModel_Discretnost:</p>

Продолжение таблицы Л.1

Код	Описание
<pre> Procedure SetStartPrm(); Procedure ComputeProc(PSerPoints: TChartSeries); Function ComputeDeltaU: Double; End;</pre>	<p>параметры математической модели.</p> <p>ComputeDeltaU – генерация приращения процесса Орнштейна- Уленбека.</p>
<pre> Function NormalnoeRaspredelenie: Double; Var j: integer; Begin Result := 0; For j := 1 To 12 Do Begin Result := Result + rnd; End;</pre>	<p><i>Функция, генерирующая случайное число с нормальным распределением $N(0;1)$</i></p>

Продолжение таблицы Л.1

Код	Описание
<pre> Result := Result - 6; End; </pre>	
<pre> Function TProcOrnshteinUlenbek.ComputeDeltaU: Double; Var dU: Double; ancDeltaWiner: Double; Begin ancDeltaWiner := DeltaWiner; dU := -U * PrmModel_Mu * DeltaT + PrmModel_Sigma * ancDeltaWiner; U := U + dU; Result := dU; End; </pre>	<p><i>Функция, генерирующая приращение процесса Орнштейна-Уленбека.</i></p> <p>DeltaWiner – генерация приращения Винеровского процесса.</p>

Код	Описание
<pre> Procedure TMasPoints.ComputeObledenenie(PTemperatura, PTuman: TMasPoints; PMountain: TModeMountainAir); Var j: integer; MinCountPoints: Integer; Begin MinCountPoints := PТemperatura.Count; If ptuman.count < MinCountPoints Then MinCountPoints := ptuman.Count; Self.SetCount(MinCountPoints); For j := 0 To Self.Count - 1 Do Begin If (PMountain = mmaMountainAir) Then Begin If (-15 <= PТemperatura.Value[j]) And (PТemperatura.Value[j] <= -10) And (PTuman.Value[j] = 1) Then Begin Self.Value[j] := 1; End Else Begin Self.Value[j] := 0; End; End; If PMountain = mmaNotMountainAir Then </pre>	<p><i>Алгоритм, строящий кривую «обледенение»</i></p>

Продолжение таблицы Л.1

Код	Описание
<pre> Begin If (-10 <= PТемпература.Value[j]) And (PТемпература.Value[j] <= -5) And (PTuman.Value[j] = 1) Then Begin Self.Value[j] := 1; End Else Begin Self.Value[j] := 0; End; End; End; End; </pre>	

Продолжение таблицы Л.1

Код	Описание
<pre>Function TMasPoints.ComputeTuman: TMasPoints; Var j: Integer; Begin Result := TMasPoints.Create; Result.SetCount(Count); Result.Name := 'Туман'; For j := 0 To Count - 1 Do Begin If Value[j] > 2 Then Result.Value[j] := 0 Else Result.Value[j] := 1; End; End;</pre>	<p><i>Алгоритм, строящий кривую «туман»</i></p> <p>Функция возвращает график процесса телеграфного типа для кривой «туман». В качестве входных данных выступает кривая разницы между значениями кривых «температура» и «туман».</p>
<pre>Function TMatModel.GetPoints(PDeltaPorog: Double): TMasPoints; Var t, dX, dY: Double; EndPeriod, porog: Double; Begin Result := TMasPoints.Create(); EndPeriod := Period; t := 0; porog := 0; While t < EndPeriod Do Begin dY := -Lymbda * (X - SrednyyLiniy) * deltaT; If Form1.chBoxEnableRandom.Checked</pre>	<p><i>Алгоритм построения модельной кривой с заданными параметрами.</i></p>

Продолжение таблицы Л.1

Код	Описание
<pre> Then dX := Y * deltaT + ProcOrnshUlenbek.ComputeDeltaU Else dX := Y * deltaT; t := t + deltaT; X := X + dX; Y := Y + dY; If t >= porog Then Begin Result.AddX(X); porog := porog + PDeltaPorog; End; End; Result.Name := 'Модельная кривая '; End; </pre>	
<pre> Function TMatModel.DeltaProcWiner: Double; Begin Result := NormalnoeRaspredelenie * SqrtVZnam_Discretnost; End; </pre>	<p><i>Функция генерации приращения Винеровского процесса.</i></p> <p>deltaT := 1 / Discretnost;</p> <p>SqrtVZnam_Discretnost := Sqrt(deltaT);</p>

X	<input type="text" value="12"/>	<input type="button" value="Загрузить данные"/>	Лист	<input type="text" value="1"/>	Столбец	<input type="text" value="4"/>	<input type="button" value="Загрузить события"/>	<input type="text" value="Туман"/>
Y	<input type="text" value="0,01"/>	<input type="button" value="Построить модельную кривую"/>		<input type="text" value="1"/>				
Лямбда	<input type="text" value="0,000298"/>	<input type="button" value="Пучок кривых"/>		<input type="text" value="10"/>				
Время	<input type="text" value="4045"/>							
Среднее	<input type="text" value="12,61"/>							
Дискретность	<input type="text" value="10000"/>							
Вкл. Орнштейн-Уленбек	<input type="checkbox"/>							

а)

U(0)	<input type="text" value="0"/>	<input type="button" value="Построить"/>
Дискрет.	<input type="text" value="10000"/>	
Мю	<input type="text" value="1"/>	
Сигма	<input type="text" value="1,5"/>	
Время	<input type="text" value="100"/>	

б)

Рисунок Л.1 – Окна программы для ввода параметров математической модели для расчета прогноза по фактору «Среда естественная».

Приложение М Методика определения количества разладок и оценок углов наклона

При исследовании сложных систем могут возникать ситуации, когда точечные процессы, описывающие поведение объекта, имеют не одну, а несколько разладок. Рассмотрим точечный процесс $N = (N_t)_{t \geq 0}$ со множественными разладками на стохастическом базисе $\mathbf{B}_S = (\Omega, F, \mathbf{F} = (F_t)_{t \in [0; S]}, P)$ с обычными условиями Деллашери [80] с компенсатором вида (М.1)

$$\tilde{N}_t = \int_0^t \left(\sum_{i=0}^k \alpha_i I(\eta_i \leq s < \eta_{i+1}) \right) ds, \quad (\text{М.1})$$

где η_0, \dots, η_k – моменты разладок с $\eta_0 = 0$, а $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k > 0$ – положительные параметры.

Пусть задан считающий процесс числа разладок $\rho = (\rho_t)_{t \geq 0}$, представляющий собой пуассоновский процесс с интенсивностью λ :

$$\rho_t = \lambda t + m_t^\rho, \quad (\text{М.2})$$

где m_t^ρ - мартингал.

Введем для процесса $\tilde{N} = (\tilde{N}_t)_{t \geq 0}$, где каждому излому $f_t(k, \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k)$ будет соответствовать момент разладки компенсатора, аппроксимирующую ломаную вида:

$$f_t = f_t(k, \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k) = \sum_{i=0}^k \alpha_i I(\hat{\eta}_i < u \leq \hat{\eta}_{i+1}), \quad (\text{М.3})$$

где $\hat{\eta}_1, \hat{\eta}_2, \dots, \hat{\eta}_k$ - оценочные моменты разладок, а $\hat{\eta}_0 = 0$.

Зададим значение $\delta > 0$, отсеивающее случаи с большими значениями α_i , что реализуется ограничением $\min_{i \geq 1} (\hat{\eta}_{i+1} - \hat{\eta}_i) \geq \delta$, означающим, что разладки могут происходить не чаще одного раза в δ единиц времени. Используя большое число разладок, можно бесконечно близко приблизить аппроксимацию f_t^k к процессу $N = (N_t)_{t \geq 0}$, т.е. $\lim_{k \rightarrow \infty} \sup_{t \in [0, S]} |f_t - N_t| = 0$. И наоборот, если снизить число разладок, то увеличится ошибка отклонения аппроксимации от $N = (N_t)_{t \geq 0}$.

Введем функционал потерь (который будет учитывать ошибку в оценивании числа разладок и ошибку отклонения ломаной f_t от траектории процесса N). Обозначим Φ_1 - плата за неверное число разладок, а Φ_2 - плата за «плохую» аппроксимацию при заданном числе разладок):

$$\Phi(\mu_1, \mu_2; k) = \mu_1 \cdot \Phi_1 + \mu_2 \cdot \Phi_2.$$

Рассмотрим математическое описание платы за неверное число разладок. Процесс появления разладок представляет собой пуассоновский процесс с интенсивностью λ , т.е. при заданном $t \in [0; S]$ изначально известно среднее число разладок в эксперименте $\rho_S: E\rho_S = \lambda S$. Таким образом, плата за неверное число разладок в функционале потерь $\Phi(\mu_1, \mu_2; k)$ примет вид:

$$\Phi_1 = (\rho_S - k)^2, \tag{M.4}$$

где k - количество изломов функции $f_t(k; \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k)$.

Плата за неверное число разладок Φ_1 увеличивается с ростом отклонения от их среднего числа ρ_s . Если $\rho_s = k$, то плата $\Phi_1 = 0$, т.е. предполагается, что данный вариант является оптимальным с точки зрения количества изломов.

Плата за «плохую» аппроксимацию при заданном числе разладок подразумевает подсчет ошибки отклонения ломаной от траектории процесса N_t , т.е. среднеквадратическую интегральную ошибку. Тогда:

$$\Phi_2 = E \inf_{(f_u^k)_{0 \leq u \leq S}} \int_0^S (N_t - f_t^k)^2 dt. \quad (\text{M.5})$$

Плата за «плохую» аппроксимацию зависит от числа изломов аппроксимации f_t^k и значений коэффициентов интенсивности $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$.

В итоге функционал потерь имеет вид:

$$\Phi(\mu_1, \mu_2; k) = \mu_1 \cdot (\rho_s - k)^2 + \mu_2 \cdot E \inf_{(f_u^k)_{0 \leq u \leq S}} \int_0^S (N_t(\rho) - f_t^k)^2 dt, \quad (\text{M.6})$$

где μ_1, μ_2 - коэффициенты, $f_t^k = f_t(k, \hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \dots, \hat{\alpha}_k)$ - ломаная с k изломами и прямыми под «углами» $\hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \dots, \hat{\alpha}_k$.

Для того чтобы оценить моменты разладок процесса $N = (N_t)_{t \geq 0}$, необходимо решить задачу:

$$\Phi(\mu_1, \mu_2; k) \rightarrow \inf_k : \hat{k} = \arg \min_k \Phi(\mu_1, \mu_2; k). \quad (\text{M.7})$$

Пусть в эксперименте произошло ρ_s разладок, тогда $E\rho_s = D\rho_s = \lambda S$.

Следовательно, $\frac{\rho_s - \lambda S}{\sqrt{\lambda S}}$ - центрированная и нормированная величина и, согласно

центральной предельной теореме [81, с. 350] $\frac{\rho_s - \lambda S}{\sqrt{\lambda S}} \xrightarrow{w} \xi \sim N(0,1), S \rightarrow \infty$.

В таком случае

$$\begin{aligned} P\left\{\frac{|\rho_s - \lambda S|}{\sqrt{\lambda S}} > a\right\} &= \\ &= P\left\{-\infty < \frac{\rho_s - \lambda S}{\sqrt{\lambda S}} < -a, a < \frac{\rho_s - \lambda S}{\sqrt{\lambda S}} < \infty\right\} \xrightarrow{S \rightarrow \infty} \\ &\xrightarrow{S \rightarrow \infty} \int_a^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy + \int_{-\infty}^{-a} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy. \end{aligned}$$

Таким образом, зная распределение ρ , можно задать с вполне определенной точностью границы поиска, например, принят параметр $a = 6$, достаточный для исследования рассматриваемой в проекте статистики авиационных инцидентов.

Тогда

$$P\left\{\frac{|\rho_s - \lambda S|}{\sqrt{\lambda S}} > 6\right\} \xrightarrow{S \rightarrow \infty} \int_6^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy + \int_{-\infty}^{-6} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy \approx 2 \cdot 10^{-9}.$$

Следовательно,

$$\lim_{S \rightarrow \infty} P\left\{\frac{|\rho_s - \lambda S|}{\sqrt{\lambda S}} \leq 6\right\} \approx 1 - 2 \cdot 10^{-9} = 0.999999998$$

и выполняется

$$-6\sqrt{\lambda S} \leq \rho_s - \lambda S \leq 6\sqrt{\lambda S}.$$

Однако по условию задачи $\rho \geq 0$, следовательно, выражение для оценки \hat{k} примет вид:

$$\left[(\lambda S - 6\sqrt{\lambda S})^+ \right] \leq \hat{k} \leq \left[\lambda S + 6\sqrt{\lambda S} \right] + 1.$$

При найденном числе разладок \hat{k} аппроксимирующая ломаная примет вид: $f_t = f_t(\hat{k}, \hat{\alpha}_0, \hat{\alpha}_1, \dots, \hat{\alpha}_{\hat{k}})$. Для каждой $\hat{\eta}_i, i=1 \dots \hat{k}$ строится эмпирическая функция распределения и эмпирическая плотность распределения $\eta^{(i)}(t)$ (график этой функции называется гистограммой) на основе n испытаний. Для фиксированных диапазонов времени происходит ранжирование оценок моментов разладок по наибольшему числу их появлений в этих диапазонах. Кроме этого среди набора для $\hat{\eta}_i$, попавших в рассматриваемый временной интервал, также можно выделить их среднее или оценку с наибольшим числом вхождения.

В том числе подсчитываются $\Delta \hat{\alpha}_i = \hat{\alpha}_i - \hat{\alpha}_{i-1}$, позволяющие оценить степень изменения углового коэффициента функции f_t . Ниже представлена блок-схема алгоритма определения количества разладок и оценки углов наклона.



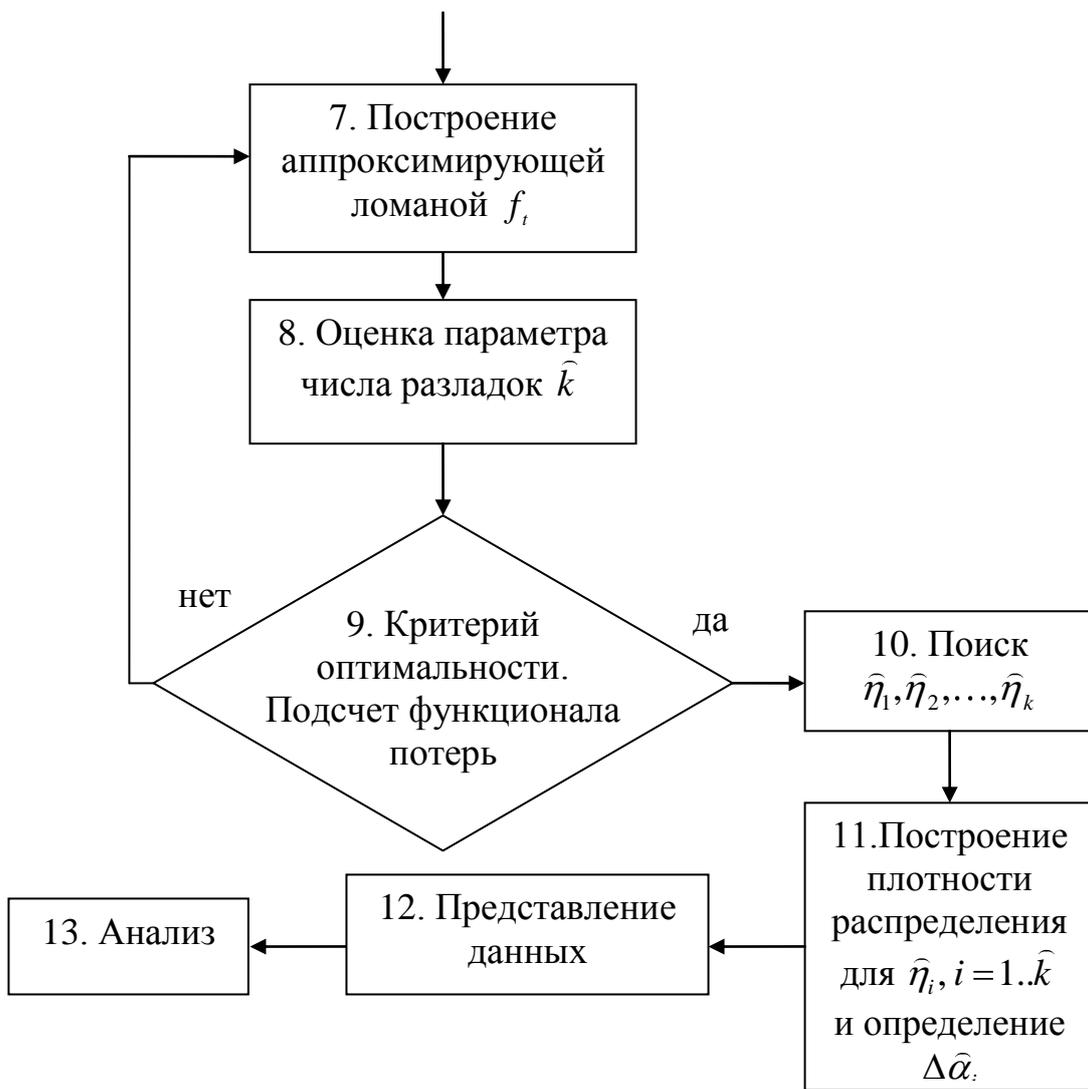


Рисунок М.1– Блок-схема алгоритма оценки.

Приложение Н Математические определения и теоремы, используемые в отчете

Определение [14]. Алгебра событий – система подмножеств \mathcal{F} некоторого множества Ω , элементы которого называются элементарными событиями, замкнутая относительно теоретико-множественных операций – объединения, пересечения, образования дополнения, производимых в конечном числе.

Определение [14]. Алгебра событий, замкнутая относительно образования счетных объединений, называется **сигма - алгеброй событий**. Всякая σ - алгебра событий замкнута относительно теоретико-множественных операций, производимых в счетном числе.

Определение [14]. Вероятностное пространство – совокупность $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbf{P})$ непустого множества Ω , класса \mathcal{F} подмножеств множества Ω , являющегося борелевским полем (то есть замкнутым относительно теоретико-множественных операций, производимых в счетном числе), и вероятностного распределения \mathbf{P} на \mathcal{F} .

Определение [14]. Пусть (E_1, \mathcal{S}_1) и (E_2, \mathcal{S}_2) - два произвольных измеримых пространства и f - некоторое отображение базисного множества E_1 в базисное множество E_2 . Говорят, что **отображение f измеримо** (относительно \mathcal{S}_1 и \mathcal{S}_2), если для каждого множества Y выполняется импликация $Y \in \mathcal{S}_2 \Rightarrow f^{-1}(Y) \in \mathcal{S}_1$.

Определение [14]. Пусть $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbf{P})$ - вероятностное пространство, X - заданная на нем случайная величина с конечным математическим ожиданием, \mathcal{B} есть σ - алгебра, $\mathcal{B} \subseteq \mathcal{F}$. **Условным математическим ожиданием** случайной величины X относительно σ - алгебры \mathcal{B} называется случайная величина $E(X|\mathcal{B})$, измеримая относительно σ - алгебры \mathcal{B} и такая, что

$$\int_B X \mathbf{P}(d\omega) = \int_B E(X|\mathcal{B}) \mathbf{P}(d\omega)$$

для каждого $B \in \mathcal{B}$.

Определение [14]. Пусть A_1, \dots, A_n - полная группа несовместимых событий: $\bigcup A_i = \Omega$, $A_i \cap A_j = \emptyset$ при $i \neq j$. Тогда апостериорная вероятность $\mathbf{P}(A_i|B)$ события A_i при условии, что произошло событие B (с $\mathbf{P}(B) > 0$), может быть найдена по **формуле Байеса**:

$$\mathbf{P}(A_i|B) = \mathbf{P}(A_i) \frac{\mathbf{P}(B|A_i)}{\sum_{i=1}^n \mathbf{P}(A_i) \mathbf{P}(B|A_i)},$$

где $\mathbf{P}(A_i)$ - априорная вероятность события A_i , $\mathbf{P}(B|A_i)$ - условная вероятность события B при условии, что произошло событие A_i , (с $\mathbf{P}(A_i) > 0$).

Определение [82]. Стохастический базис

$$\mathbf{B} = (\Omega, \mathcal{F}, \mathbf{F} = (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}, P)$$

есть вероятностное пространство (Ω, \mathcal{F}, P) , снабженное неубывающим (с $\mathcal{F}_0 \leq \mathcal{F}_s \leq \mathcal{F}_t \leq \mathcal{F}$ при $s \leq t$) потоком σ -алгебр $\mathbf{F} = (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}$ (называемым также иногда фильтрацией), являющимся непрерывным справа, т.е. $\mathcal{F}_t = \mathcal{F}_{t+}$, где $\mathcal{F}_{t+} = \bigcap_{s>t} \mathcal{F}_s$. Стохастический базис \mathbf{B} называется полным, если σ -алгебра \mathcal{F}

пополнена всевозможными множествами нулевой меры P , и каждая σ -алгебра \mathcal{F}_t также содержит все множества из \mathcal{F} с P -мерой нуль.

Определение [82]. Случайным процессом $X = (X_t)_{t \geq 0}$ в общем случае называется семейство случайных величин $X_t = X_t(\omega)$, $\omega \in \Omega$, $t \in R_+ = [0; \infty)$. Случайный процесс X , заданный на стохастическом базисе \mathbf{B} , называется согласованным (или \mathbf{F} -согласованным, или адаптированным, или \mathbf{F} -адаптированным), если $\forall t \geq 0$ $X_t = X_t(\omega)$ является \mathcal{F}_t -измеримой случайной

величиной. Отображение (заданное для каждого элементарного исхода $\omega \in \Omega$) $t \rightarrow X_t = X_t(\omega)$ в области определения $t \in R_+ = [0; \infty)$ называется **траекторией процесса X** .

Определение [82]. Процесс называется **непрерывным**, если каждая (т.е. $\forall \omega \in \Omega$) его траектория $X_t(\omega)$ является непрерывной функцией $t \in R_+ = [0; \infty)$, $t \in R_+$.

Процесс называется непрерывным справа, если каждая его траектория $X_t(\omega)$ является непрерывной справа функцией (т.е. $\forall \omega \in \Omega$ и $\forall t \geq 0$ $X_t(\omega) = X_{t+}(\omega) = \lim_{\delta \downarrow 0} X_{t+\delta}(\omega)$). Соответственно, процесс непрерывен слева, если $\forall \omega \in \Omega$ и $\forall t > 0$

$$X_t(\omega) = X_{t-}(\omega) = \lim_{\delta \downarrow 0} X_{t-\delta}(\omega).$$

Определение [82]. **Потоком предсказуемых σ -алгебр $\mathcal{P} = (\mathcal{P}_t)_{t \geq 0}$** называется поток, порожденный траекториями всех процессов с непрерывными траекториями.

Определение [82]. **Предсказуемым процессом** на стохастическом базисе $\mathcal{B} = (\Omega, \mathcal{F}, \mathcal{F} = (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}, P)$ называется процесс с непрерывными справа траекториями, согласованный также с потоком предсказуемых σ -алгебр $\mathcal{P} = (\mathcal{P}_t)_{t \geq 0}$.

Определение [82]. Обозначим $\mathcal{F}^x = (\mathcal{F}_t^x)_{t \geq 0}$ - неубывающий поток σ -алгебр $\mathcal{F}_t^x = \sigma(x_s(\omega), s \leq t)$, порожденных всеми случайными величинами $x_s(\omega)$ со значениями временного параметра s вплоть до момента t , и пополненный до непрерывности справа, а также нулевой меры P из \mathcal{F} . Очевидно, если $x = (x_t)_{t \geq 0}$ - согласованный с \mathcal{F} процесс, то $\forall t \geq 0$ $\mathcal{F}_t^x \subseteq \mathcal{F}_t$.

Замечание. Заметим, что из последнего вложения, согласованности с \mathcal{F} процесса $x = (x_t)_{t \geq 0}$, а также непрерывности справа потока \mathcal{F} без указанного отдельного пополнения не следовала бы а priori непрерывность справа потока \mathcal{F}^x .

Определение [82]. Марковским моментом (м.м.) относительно потока $\mathbf{G} = (\mathcal{G}_t)_{t \geq 0}$ называется отображение $\tau = \tau(\omega) : \Omega \rightarrow \bar{R}_+ = [0; \infty]$ такое, что $\forall t \in R_+ \{ \omega : \tau(\omega) \leq t \} \in \mathcal{F}_t$.

Определение [82]. Моментом остановки (м.о.) относительно потока $\mathbf{G} = (\mathcal{G}_t)_{t \geq 0}$ называется P -п.н. конечный марковский момент. То есть, м.о. τ - это такой м.м., что выполняется $P\{\omega : \tau(\omega) < \infty\} = 1$.

Замечание. Отметим, что момент (остановки, либо марковский) относительно потока $\mathbf{F} = (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}$ совсем не обязательно является таковым относительно какого-либо иного потока $\mathbf{G} = (\mathcal{G}_t)_{t \geq 0}$. В частности, под-потока σ -алгебр, вложенных в \mathbf{F} (в том числе, и относительно потока \mathbf{F}^x , порожденного заданным на базисе \mathbf{B} процессом $x = (x_t)_{t \geq 0}$, если таковой не порождает и сам поток \mathbf{F} , обуславливая тем самым равенство $\mathbf{F} = \mathbf{F}^x$).

Определение [82]. Предсказуемым моментом $\mathcal{G} = \mathcal{G}(\omega)$ (марковским либо моментом остановки) относительно потока $\mathbf{G} = (\mathcal{G}_t)_{t \geq 0}$ называется такой момент, что порожденный им процесс одного скачка $(I\{\mathcal{G}(\omega) \leq t\})_{t \geq 0}$ является предсказуемым, т.е. $\forall t \geq 0$ имеет место включение $\{\omega : \mathcal{G}(\omega) \leq t\} \subseteq \mathcal{G}_t \cap \mathcal{P}_t$.

Замечание. Здесь и далее $I(\cdot)$ - индикаторная функция, т.е. $I(true) = 1$ и $I(false) = 0$.

Определение [82]. Предвещающей последовательностью для момента $\mathcal{G} = \mathcal{G}(\omega)$ (относительно потока $\mathbf{G} = (\mathcal{G}_t)_{t \geq 0}$) называется такая последовательность моментов остановки $(\mathcal{G}_n)_{n \geq 1} = (\mathcal{G}_n(\omega))_{n \geq 1}$ (относительно потока \mathbf{G}), что $\forall \omega \in \Omega$ и $\forall n \geq 1$ выполняются следующие два условия:

$$1) \mathcal{G}(\omega) = \lim_{n \rightarrow \infty} \mathcal{G}_n(\omega),$$

$$2) \mathcal{G}_n(\omega) < \mathcal{G}(\omega).$$

Замечание. Момент $\mathcal{G} = \mathcal{G}(\omega)$ является предсказуемым тогда и только тогда, когда для него существует предвещающая последовательность.

Определение [82]. Назовем σ - алгеброй событий, наблюдаемых до случайного момента τ (м.м. либо м.о.) \mathcal{F}_τ совокупность всех тех множеств $A \subseteq \{\omega : \tau < \infty\}$, для которых $A \cap \{\tau \leq t\} \in \mathcal{F}_t$ при всех $t \in R^+$.

Замечание. Заметим, что аналогично (заменой \mathcal{F}_t на \mathcal{F}_t^x , либо \mathcal{F}_t на \mathcal{G}_t) определяется и \mathcal{F}_τ^x из потока \mathbf{F}^x , либо \mathcal{G}_τ из потока \mathbf{G} . Здесь необходимо отметить, что поток $\mathbf{F}^x = (\mathcal{F}_t^x)_{t \geq 0}$ обладает так называемым свойством минимальности (т.е. не «содержит никакой информации, кроме как о поведении процесса $x = (x_t)_{t \geq 0}$ »). Это заключается в том, что для любых моментов остановки τ относительно \mathbf{F}^x выполняются следующие 2 условия:

1) $\tau \cdot I(\tau \leq t) \in \mathcal{F}_t$ - измеримо, т.е. \forall борелевского множества B выполняется

$$\{\tau \cdot I(\tau \leq t) \in B\} \in \mathcal{F}_t;$$

2) $\tau \cdot I(\tau > t) \perp \mathcal{F}_t$, т.е. множество $\{\tau > t\}$ - атом в \mathcal{F}_t и, следовательно,

$$E(\tau \cdot I(\tau > t) | \mathcal{F}_t) = \frac{E(\tau \cdot I(\tau > t))}{P\{\tau > t\}} \cdot I(\tau > t)$$

Определение [82]. Процесс $X = (X_t)_{t \geq 0}$ называется **мартингалом** (а также субмартингалом, либо супермартингалом), если $\forall t \geq 0 \ E|X_t| < \infty$, и при $s \leq t$

$$X_s = E(X_t | \mathcal{F}_s) \text{ } P\text{-н.н.}$$

(а также субмартиנגалом, либо супермартингалом, если выполняется соответствующее неравенство $X_s \leq E(X_t | \mathcal{F}_s)$, либо $X_s \geq E(X_t | \mathcal{F}_s)$). Класс мартингалов будем обозначать \mathcal{M} . Мартингалы X , такие, что $EX_t^2 < \infty \quad \forall t \geq 0$ будем называть квадратично интегрируемыми, и их класс обозначим \mathcal{M}^2 .

Определение [82]. Процесс $A = (A_t)_{t \geq 0}$ называется **возрастающим процессом**, если $\forall \omega \in \Omega \quad A_t = A_t(\omega)$ является неубывающей функцией t (и $\forall t \geq 0 \quad A_t(\omega) < \infty$). Класс возрастающих (конечных, но не обязательно ограниченных) процессов будем обозначать \mathcal{V}^+ . Класс процессов с траекториями, имеющими конечную (но не обязательно ограниченную) вариацию (т.е. таких процессов $X = (X_t(\omega))_{t \geq 0}$, которые могут быть представлены в виде $X_t = A_t - B_t$ с $A_t = (A_t)_{t \geq 0} \in \mathcal{V}^+$ и $B_t = (B_t)_{t \geq 0} \in \mathcal{V}^+$) обозначим \mathcal{V} .

Определение [82]. Непрерывный справа процесс $X = (X_t)_{t \geq 0}$ - называется **гауссовским**, если для любого набора детерминированных моментов $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ вектор случайных величин $(X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_n})$ - гауссовский (т.е. случайные величины X_{t_1}, \dots, X_{t_n} являются совместно гауссовскими).

Замечание. Пусть процесс X принадлежит некоторому классу процессов $\mathcal{H} : X \in \mathcal{H}$, если он удовлетворяет свойствам « \mathcal{H} » (определяющим этот класс). Это качество процесса зачастую требуется использовать лишь «на конечных интервалах времени».

Определение [82]. Процесс Y удовлетворяет свойствам « \mathcal{H} » локально, (или свойства « \mathcal{H} » выполняются локально), или $Y \in \mathcal{H}_{loc}$, если существует последовательность моментов остановки $\{\tau_n; n = 1, 2, \dots\}$ таких, что $\tau_{n+1}(\omega) \geq \tau_n(\omega)$ P - п.н. и $\forall t \geq 0 \quad P\{\tau_n \leq t\} \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$, и при этом $\forall n = 1, 2, \dots$ процесс $Y^n = (Y_t^n)_{t \geq 0}$ с $Y_t^n = Y_{t \wedge \tau_n}$ принадлежит классу $\mathcal{H} : Y^n \in \mathcal{H}$.

Замечание. Заметим, что здесь и далее мы используем принятое в теории вероятностей обозначение $t \wedge \tau_n = \min\{t; \tau_n\}$, т.е. $\forall a, b \quad a \wedge b = \min\{a; b\}$. Таким образом, \mathcal{M}_{loc}^2 обозначает класс локально квадратично интегрируемых мартингалов. Заметим здесь, что непрерывные мартингалы всегда являются локально квадратично интегрируемыми, т.е. $\mathcal{M}^C = \mathcal{M} \cap (C \otimes \Omega) \subset \mathcal{M}_{loc}^2$, где C - пространство непрерывных функций и $C \otimes \Omega$ - множество всевозможных непрерывных процессов.

Определение [82]. Вариацией функции f на интервале $(a; b]$ (при $a < b$) называется

$$Var_{(a; b]} f = \limsup_{\substack{\{a=t_0^n \leq t_1^n \leq \dots \leq t_n^n = b; \\ \max_{0 \leq i < n-1} |t_{i+1} - t_i| \rightarrow 0, n \rightarrow \infty\}} \sum_{i=0}^{n-1} |f(t_{i+1}^n) - f(t_i^n)|,$$

где верхний предел рассматривается по всевозможным разбиениям $\{t_0, t_1, \dots, t_n\}$ интервала $(a; b]$, диаметр которых стремится к нулю при $n \rightarrow \infty$.

Замечание. Заметим, что если f - дифференцируемая функция, то справедливы равенства

$$Var_{(a; b]} f = \int_a^b \left| \frac{df(x)}{dx} \right| dx,$$

$$Var_{(a; b]} f = \int_a^b \left(\frac{df(x)}{dx} \right)^+ dx + \int_a^b \left(\frac{df(x)}{dx} \right)^- dx,$$

и в случае, если $\forall t < \infty \quad Var_{(0; t]} f < +\infty$, то функция f имеет конечную вариацию и, соответственно, $f \in \mathcal{V}$. Также очевидно, что $X = (X_t)_{t \geq 0}$ - процесс

локально ограниченной вариации, $X \in \mathcal{V}'_{loc}$, если $\forall t < \infty \text{Var}_{(0;t]} X(\omega) < \infty - P -$
п.н.

Определение [82]. Случайный процесс $X = (X_t)_{t \geq 0}$ называется **семимартингалом**, если найдутся процессы $B = (B_t)_{t \geq 0}$ и $M = (M_t)_{t \geq 0}$ с $X_0 = M_0 = 0$ такие, что $X = X_0 + B + M$ и $M \in \mathcal{M}_{loc}$, $B \in \mathcal{V}'_{loc}$ (т.е. M – локальный мартингал, и B – процесс локально ограниченной вариации).

Определение [82]. Если в разложении семимартингала $X : X = X_0 + B + M$ процесс B может быть выбран предсказуемым, то процесс X называется **специальным семимартингалом**. Процесс B также принято в этом случае называть **компенсатором** процесса X .

Замечание. Заметим, что всякий непрерывный семимартингал является специальным. Заметим также, что представление специального семимартингала с предсказуемым процессом локально ограниченной вариации единственно (с точностью до начальных значений мартингала и компенсатора). Также следует отметить, что всякий процесс с дискретным временем – семимартингал. Таким образом, класс семимартингалов весьма широк и его исследования могут быть полезны и в случае непрерывных процессов, и в случае процессов с дискретным временем.

Определение [82]. **Квадратичной вариацией** (или второй вариацией) функции f на интервале $(a; b]$ (при $a < b$), называется

$$\text{Var}_{(a;b]}^2 f = \limsup_{\substack{\{a=t_0^n \leq t_1^n \dots \leq t_n^n = b; \\ \max_{0 < i < n-1} |t_{i+1} - t_i| \rightarrow 0, n \rightarrow \infty\}}} \sum_{i=0}^{n-1} (f(t_{i+1}^n) - f(t_i^n))^2,$$

где верхний предел рассматривается по всевозможным разбиениям $\{t_0, t_1, \dots, t_n\}$ интервала $(a; b]$, диаметр которых стремится к нулю при $n \rightarrow \infty$.

Замечание. Наряду с этим используется обозначение (называемое также «квадратичной характеристикой» или «квадратной скобкой» функции f)

$$[f, f]_t = \text{Var}_{(0,t]}^2 f.$$

Замечание. Очевидно, что при $a < b$ $\text{Var}_{(a,b]}^2 f = \text{Var}_{(0,b]}^2 f - \text{Var}_{(0,a]}^2 f$. Для двух функций f и g определяется также совместная квадратичная вариация как

$$[f, g]_t = \limsup_{\substack{\{a=t_0^n \leq t_1^n \dots \leq t_n^n = t; \\ \max_{0 < i < n-1} |t_{i+1} - t_i| \rightarrow 0, n \rightarrow \infty\}} \sum_{i=0}^{n-1} (f(t_{i+1}^n) - f(t_i^n))(g(t_{i+1}^n) - g(t_i^n))$$

или что, то же самое

$$[f, f]_t = \frac{1}{4} ([f + g, f + g]_t - [f - g, f - g]_t)$$

Замечание. Поскольку для процесса с непрерывными траекториями и конечной второй вариации, вторая вариация является непрерывным неубывающим процессом, то для непрерывного (специального) семимартингала $X = (X_t)_{t \geq 0}$ с представлением $X = X_0 + B + M$ выполняется при всех $t \geq 0$ равенство

$$[X, X]_t = [M, M]_t.$$

В общем (не обязательно непрерывном) случае процесс $([M, M]_t)_{t \geq 0}$ имеет неубывающие траектории, и в предположении локальной интегрируемости, являясь субмартингалом, допускает разложение

$$[M, M] = A + \mu,$$

где $\mu \in \mathcal{M}_{loc}$, $A \in \mathcal{V}_{loc}$ (и процесс A - компенсатор характеристики $[M, M]$).

Определение [82]. Компенсатор процесса $[M, M]$ называется "треугольной скобкой" и обозначается $\langle M \rangle = (\langle M \rangle_t)_{t \geq 0}$, т.е. $[M, M]_t = \langle M \rangle_t + \mu_t$, где $(\mu_t)_{t \geq 0} \in \mathcal{M}_{loc}$, $\langle M \rangle$ - неубывающий предсказуемый процесс. Совместная треугольная скобка двух локально квадратично интегрируемых мартингалов M и N определяется как

$$\langle M, N \rangle = \frac{1}{4} (\langle M + N \rangle_t - \langle M - N \rangle_t).$$

Для непрерывных мартингалов M и N имеют место тождества

$$[M, M] = \langle M \rangle \quad \text{и} \quad [M, N] = \langle M, N \rangle.$$

Определение [82]. Винеровским процессом на стохастическом базисе \mathcal{B} называется согласованный гауссовский непрерывный мартингал X с $EX_t^2 = t$, $t \geq 0$.

Замечание. Процесс с такими свойствами еще иногда называют стандартным винеровским процессом. Эквивалентным является следующее определение винеровского процесса:

Определение [82]. Процесс X , заданный на стохастическом базисе \mathcal{B} , называется винеровским, если

- а) X - непрерывный процесс с $X_0 = 0$;
- б) X - квадратично интегрируемый мартингал (т.е. $\forall t \geq 0 EX_t^2 < \infty$ и $E(X_t - X_s | \mathcal{F}_s) = 0$, $t \geq s$);
- в) $\langle X \rangle_t = t$.

Определение. Метрика Леви-Прохорова [14] – вероятностная метрика с заданным значением ошибки ε^* определяется равенством:

$$\varepsilon^* = L(F^{\text{exp}}, F^{\text{mod}}) = \\ = \inf\{\varepsilon \geq 0 : F^{\text{exp}}(x - \varepsilon) - \varepsilon \leq F^{\text{mod}}(x) \leq F^{\text{exp}}(x + \varepsilon) + \varepsilon, \forall x \in \mathbf{R}\}.$$

Определение [82]. Точечным (считающим) процессом $V = (V_t)_{t \geq 0}$ на некотором стохастическом базисе $\mathbf{B} = (\Omega, \mathcal{F}, \mathbf{F} = (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}, P)$ называется неубывающий процесс с $V_0 \in \mathbf{N}^0 = \{0, 1, 2, \dots\}$, кусочно-постоянными траекториями, допускающий только единичные скачки $\Delta V_t = V_t - V_{t-} \in \{0; 1\}$, и, следовательно, принимающий значения только из $\mathbf{N}^0 = \{0, 1, 2, \dots\}$.

Определение [82] Пуассоновским (с некоторой интенсивностью $\lambda > 0$) на стохастическом базисе $\mathbf{B} = (\Omega, \mathcal{F}, \mathbf{F} = (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}, P)$ называется точечный процесс $\pi = (\pi_t)_{t \geq 0}$ с нулевым начальным значением $\pi_0 = 0$, допускающий разложение Дуба-Мейера (см. теорему 5 в данном приложении)

$$\pi_t = \lambda \cdot t + \mu_t,$$

где – локально квадратично-интегрируемый мартингал на базисе \mathbf{B} с квадратичной характеристикой $\langle \mu \rangle = (\langle \mu \rangle_t)_{t \geq 0}$ равной

$$\langle \mu \rangle_t = \lambda \cdot t.$$

Определение [82]. Пусть $\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k, \dots\}$ - последовательность случайных величин на полном вероятностном пространстве (Ω, \mathcal{F}, P) . И пусть на стохастическом базисе

$\mathbf{B} = (\Omega, \mathcal{F}, \mathbf{F} = (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}, P)$ определена строго монотонная последовательность моментов остановки (то есть, $\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, \dots\}$ такая последовательность конечных марковских моментов, что P - п.н. $0 < \tau_1, \tau_1 < \tau_2$, и для всех $k \geq 1$ выполняются неравенства $\tau_k < \tau_{k+1}$). И пусть $\forall k \geq 1$ случайные величины ξ_k являются \mathcal{F}_{τ_k} - измеримыми. Тогда **мультивариантным точечным процессом** (либо – просто **мультивариантным процессом**) называется последовательность $(\tau_k, \xi_k)_{k \geq 1}$.

Замечание. Заметим, что по существу, в качестве некоего мультивариантного процесса $X = (X_t)_{t \geq 0}$ (обобщающего строгое понятие точечного считающего) подразумевается решение следующего интегрального стохастического уравнения:

$$X_t = X_0 - \int_0^t (\xi_{(1+N_{s-})} - X_{s-}) dN_s,$$

где точечный считающий процесс $N = (N_t)_{t \geq 0}$ имеет своими скачками $\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, \dots\}$:

$$N_t = \sum_{k=1}^{\infty} I\{\tau_k \leq t\},$$

и, соответственно, $\forall k \geq 1$

$$\tau_k = \inf\{t : t \geq 0, N_t \geq k\}.$$

Определение [14]. **Компенсатор** (compensator), **дуальная предсказуемая проекция**, - характеристика, играющая в современном стохастическом анализе роль, аналогичную роли среднего значения в теории случайных процессов с

независимыми приращениями, и являющаяся, в определенном смысле, его обобщением.

Пусть \mathcal{U}_0 - множество непрерывных справа возрастающих процессов $A = (A_t)_{t \geq 0}$, $A_0 = 0$, определенных на полном вероятностном пространстве $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbf{P})$ с непрерывным справа потоком σ -алгебр $\mathbf{F} = (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}$ таким, что \mathcal{F}_0 содержит все множества из \mathcal{F} нулевой вероятности. Процесс A называется локально интегрируемым, если существует последовательность марковских моментов (T_n) , $T_n \uparrow \infty$, для любого члена которой $\mathbf{E}A_{T_n} < \infty$. Пусть $A_{loc,0}$ существует и притом единственный предсказуемый процесс $\tilde{A} = (\tilde{A}_t)_{t \geq 0}$, $\tilde{A}_0 = 0$, такой, что

$$\mathbf{E} \int_{[0, \infty]} Y_t dA_t = \mathbf{E} \int_{[0, \infty]} Y_t d\tilde{A}_t$$

для любого предсказуемого неотрицательного процесса Y . Процесс \tilde{A} называется компенсатором A .

Определение [14]. Компенсатор точечного процесса (compensator of a point process) (T_n) – предсказуемый непрерывный справа возрастающий точечный процесс $A = (A_t)_{t \geq 0}$, являющийся компенсатором считающего процесса $N_t = \sum_{n \geq 1} I_{\{T_n \leq t\}}$ (в случае мультивариантного точечного процесса – предсказуемая случайная мера ν , являющаяся компенсатором меры скачков μ).

Определение [82]. Непрерывный случайный процесс $X = (X_t)_{t \geq 0}$ на стохастическом базисе $\mathbf{B} = (\Omega, \mathcal{F}, \mathbf{F} = (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}, P)$ называется **процессом Ито** по отношению к винеровскому на стохастическом базисе \mathbf{B} процессу $W = (W_t)_{t \geq 0}$, если существуют два согласованных процесса $a = (a_t(\omega))_{t \geq 0}$ и $b = (b_t(\omega))_{t \geq 0}$ такие, что при любом конечном $t \geq 0$

$$P\left\{\int_0^t |a_s(\omega)| ds < \infty\right\} = 1$$

$$P\left\{\int_0^t b_s^2(\omega) ds < \infty\right\} = 1$$

и с вероятностью 1 для всех $t \geq 0$

$$X_t = X_0 + \int_0^t a_s(\omega) ds + \int_0^t b_s(\omega) dW_s.$$

Говорят также, что процесс X имеет **стохастический дифференциал**

$$dX_t = a_t(\omega) dt + b_t(\omega) dW_t$$

с начальным условием X_0 .

Определение [82]. Процесс Ито X называется **процессом диффузионного типа** (по отношению к винеровскому процессу W), если процессы a и b , входящие в выражение

$$X_t = X_0 + \int_0^t a_s(\omega) ds + \int_0^t b_s(\omega) dW_s,$$

являются \mathcal{F}^X - согласованными (т.е. $\forall t \geq 0$ $a_t(\omega)$ и $b_t(\omega)$ \mathcal{F}_t^X - измеримы).

Определение [82]. Процесс диффузионного типа называется **диффузионным процессом** в том случае, когда функционалы $A(t, x), B(t, x)$ являются функциями x_t , т.е. существуют функции $A_t(z), B_t(z), z \in R, t \in R^+$ такие, что

$A(t, x) = A_t(x_t), \quad B(t, x) = B_t(x_t), t \geq 0$ для любых непрерывных функций $x = (x_t)_{t \geq 0} \in C$. И, следовательно, процесс X имеет стохастический дифференциал вида

$$dX_t = A_t(X_t)dt + B_t(X_t)dW_t, X_0 = X_0(\omega).$$

Определение [84]. Решение стохастического дифференциального уравнения $dX_t = A(t, X)dt + B(t, X)dW_t, X_0 = X_0(\omega)$ называется **сильно единственным** (или единственным по траекториям), если любые два решения на любом (одном и том же) базисе $\mathbf{B} = (\Omega, \mathcal{F}, \mathbf{F} = (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}, P)$ и с любым (одним и тем же) винеровским процессом W совпадают. Решение называется слабо единственным (или единственным по распределению), если закон распределения один и тот же для всех решений (в том числе и на разных базисах).

Определение [82]. Непрерывным целочисленным случайным блужданием (далее – просто случайным блужданием) называется процесс $X = (X_t)_{t \geq 0}$ с $X_0 \in Z = \{\dots, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots\}$ и скачками при всех $t > 0$ равными $\Delta X_t = X_t - X_{t-} \in \{-1; 0; 1\}$.

Замечание. Такой процесс представим в виде начального значения и разности двух точечных процессов, выходящих из нуля:

$$X_t = X_0 + A_t - B_t.$$

При этом, если на стохастическом базисе $\mathbf{B} = (\Omega, \mathcal{F}, \mathbf{F} = (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}, P)$ процессы $A = (A_t)_{t \geq 0}$ и $B = (B_t)_{t \geq 0}$ заданы своими компенсаторами $\tilde{A} = (\tilde{A}_t)_{t \geq 0}$ и $\tilde{B} = (\tilde{B}_t)_{t \geq 0}$, то по ним может быть определено и поведение случайного блуждания $X = (X_t)_{t \geq 0}$. Например, если компенсаторы \tilde{A} и \tilde{B} дифференцируемы

$$\tilde{A}_t = \int_0^t \alpha_s ds,$$

$$\tilde{B}_t = \int_0^t \beta_s ds,$$

ТО МОЖНО ВЫПИСАТЬ ТАК НАЗЫВАЕМЫЕ **инфинитезимальные соотношения**, которые и показывают, как «ведет себя» случайное блуждание $X = (X_t)_{t \geq 0}$:

$$P\{X_{t+\Delta} - X_t = 1 \mid \mathcal{F}_t\} = \alpha_t \cdot \Delta + o(\Delta)$$

$$P\{X_{t+\Delta} - X_t = -1 \mid \mathcal{F}_t\} = \beta_t \cdot \Delta + o(\Delta)$$

$$P\{X_{t+\Delta} - X_t = 0 \mid \mathcal{F}_t\} = 1 - (\alpha_t + \beta_t) \cdot \Delta + o(\Delta).$$

Эти формулы являются основой не только для аналитических исследований, но и для компьютерного имитационного моделирования.

Определение [81]. Разбиение D – система множеств $\{D_1, D_2, \dots\}$ называется разбиением множества Ω , если

$$1) D_i \neq \emptyset, \quad \forall i,$$

$$2) D_i \cap D_j = \emptyset, \quad \forall i \neq j,$$

$$3) \bigcup_i D_i = \Omega.$$

Определение [14]. **Функция правдоподобия** (likelihood function) – функция плотности $p(x, \Theta)$ (относительно некоторой σ -конечной меры μ) случайной выборки X , рассматриваемая как функция параметра Θ , в которой аргумент x фиксирован и равен исходу статистического эксперимента, заключающегося в наблюдении над X . Функция $\ln p(x, \Theta)$ называется логарифмической функцией правдоподобия. При замене меры μ на другую эквивалентную σ -конечную меру функция правдоподобия (логарифмическая функция правдоподобия) изменяется на множитель (слагаемое), не зависящий от Θ . Важную роль при статистических выводах играет частный случай, когда в качестве меры μ выступает распределение \mathbf{P}_{Θ_0} случайной выборки X , относящееся к некоторому фиксированному значению

Θ_0 параметра Θ ; в этом случае функция правдоподобия $\frac{d\mathbf{P}_{\Theta}}{d\mathbf{P}_{\Theta_0}}(x)$ называется

отношением правдоподобия. Если случайная выборка X разбита на две компоненты $X = (Y, Z)$, то функция правдоподобия получаемая с помощью маргинального распределения выборки Z , называется **маргинальной функцией правдоподобия**, а функция правдоподобия, получаемая с помощью условного распределения Y при фиксированном значении z компоненты Z , называется **условной функцией правдоподобия**.

Определение [83]. Пусть L – линейное пространство над полем K , $A: L \rightarrow L$ – линейное преобразование. **Собственным вектором** линейного преобразования A называется такой ненулевой вектор $x \in L$, что для некоторого $\lambda \in K$ $Ax = \lambda x$.

Определение [83]. Собственным значением линейного преобразования A называется такое число $\lambda \in K$, для которого существует собственный вектор, то есть уравнение $Ax = \lambda x$ имеет ненулевое решение $x \in L$.

Определение [14]. **Корреляционной матрицей** называют матрицу коэффициентов корреляции нескольких случайных величин (X_1, \dots, X_k) с нулевыми дисперсиями $\mathbf{D}X_1, \dots, \mathbf{D}X_k$, то есть считается, что $R = \|\rho\|_{i,j=1}^k$, где

$$\rho_{ij} = \frac{\mathbf{E}[X_i - \mathbf{E}X_i][X_j - \mathbf{E}X_j]}{\sqrt{\mathbf{D}X_i}\sqrt{\mathbf{D}X_j}}.$$

Теорема 1 [82]. Пусть $X = (X_t)_{t \geq 0}$ - мартингал, и $\tau = \tau(\omega)$ - интегрируемый м.о. (т.е. $E\tau < \infty$). Тогда $EX_\tau = EX_0$.

Теорема 2 [82] (теорема об оставленном мартингале). Если $X = (X_t)_{t \geq 0}$ - интегрируемый процесс (т.е. $\forall t \geq 0 E|X_t| < \infty$), и для любого интегрируемого м.о. $\tau = \tau(\omega)$ ($E\tau < \infty$)

$$EX_\tau = EX_0,$$

то $X \in \mathcal{M}$, т.е. $X = (X_t)_{t \geq 0}$ - мартингал.

Теорема 3 [82] (формулировка в дискретном времени принадлежит Дубу, в непрерывном - Мейеру). Пусть X - субмартингал. Тогда существует и единственно разложение

$$X = X_0 + A + M,$$

где $A = (A_t)_{t \geq 0}$ - неубывающий, предсказуемый и интегрируемый (т.е. $\forall t \geq 0 EA_t < \infty$) процесс с $A_0 = 0$, и $M = (M_t)_{t \geq 0}$ - мартингал с $M_0 = 0$. В случае непрерывности процесса X процессы M и A также непрерывны (и, как следствие, оба предсказуемы).

Теорема 4 [84]. Пусть $\xi_0 = \xi_0(\omega), \xi_1 = \xi_1(\omega), \dots$ - независимые гауссовские случайные величины на (Ω, F, P) , такие, что $E\xi_k = 0, E\xi_k^2 = 1, k = 0, 1, \dots$. Тогда для некоторой целочисленной последовательности $N(k) \rightarrow \infty$ функции

$$W_t^k(\omega) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} t \xi_0(\omega) + \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sum_{n=1}^{N(k)} \xi_n(\omega) \frac{1}{n} \sin nt$$

сходятся равномерно по $t \in [0; \pi]$ и их (P - п.н. непрерывный) предел $W = (W_t)_{t \geq 0}$ является винеровским процессом на базисе B с $F^W = (F_t^W)_{t \geq 0}$ - потоком $F^W = (F_t^W)_{t \geq 0}$ σ -алгебр $F_t^W = \sigma\{W_s; s \leq t\}$, порожденных W .

Теорема 5 [14] (Деллашери). Пусть стохастический базис $B = (\Omega, \mathcal{F}, F = (F_t)_{t \geq 0}, P)$ таков, что поток $F = (F_t)_{t \geq 0} \dots$ порожден заданным на нём процессом одного скачка $X = (X(t))_{t \geq 0}$ с $X(t) = I\{\tau \leq t\}$. Момент остановки τ на B положителен и конечен ($P\{0 < \tau < \infty\} = 1$), и справедливы равенства $F = (F_t)_{t \geq 0} = F^X = (F_t^X)_{t \geq 0}$. Компенсатор в минимальном представлении (т.е. относительно $F = F^X$ - т.н. «дуальная предсказуемая проекция» в терминологии К. Деллашери [14]) равен функции f от $t \wedge \tau$ - т.е. от минимума двух величин t и τ :

$$\tilde{X}(t) = f(t \wedge \tau),$$

где

$$f(x) = \int_0^x \frac{dF_\tau(y)}{1 - F_\tau(y-0)}.$$