

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения»

Экз. ____

На правах рукописи



Мичурин Сергей Владимирович

Методы оценки и улучшения качества программных
комплексов диспетчеризации пространственных
процессов на авиатранспорте

Специальность: 05.02.23 - Стандартизация и управление качеством продукции

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
Доктор технических наук, профессор
Лауреат Премии Правительства Российской Федерации
Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации
Семенова Е.Г.

Санкт-Петербург - 2016

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Анализ качества современных систем и программных технологий ситуационного управления, применяемых при диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте. Обоснование проблемы и постановка задач исследования	13
1.1 Современное состояние систем и программных технологий ситуационного управления, применяемых при диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте	13
1.2 Результативность и качество программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами	45
1.3 Конкретизация научной проблемы, постановка цели и частных научно-технических задач исследования	63
1.4 Выводы по первой главе	74
Глава 2. Методологические основы улучшения качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте	79
2.1 Научно-методическая концепция улучшения качества управления пространственными процессами авиатранспорта	79
2.2 Метод анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса	117
2.3 Структура системы требований квалиметрической оценки ситуационного управления пространственными процессами	143
2.4 Выводы по второй главе.....	147
Глава 3. Метод комплексной оценки безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте.....	150
3.1 Базовые основы оценки показателей безаварийности пространственных процессов с использованием средств системно- информационного анализа	150
3.2 Прагматическая оценка информации о показателях безаварийности пространственных процессов авиатранспорта	169
3.3 Агрегирование показателей безаварийности пространственных процессов	180

3.4 Выводы по третьей главе	192
Глава 4. Методы квалиметрического оценивания программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте	194
4.1 Метод оценки качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте	194
4.2. Метод репрезентации вербальных оценок показателей качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте	244
4.3 Общая процедура оценки качества программных комплексов ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом	254
4.4 Выводы по четвертой главе	257
Глава 5. Методы улучшения качества программных комплексов ситуационного управления на авиатранспорте.....	259
5.1 Метод повышения надежности программных комплексов диспетчеризации за счет механизмов повторного использования кода	259
5.2 Метод улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте	296
5.3 Экспериментальная проверка и оценка эффективности результатов исследования	319
5.4 Выводы по пятой главе	329
Заключение	332
Список сокращений и условных обозначений.....	336
Словарь терминов	337
Список литературы	345
Приложение А	360
Приложение Б.....	365
Приложение В.....	372
Приложение Г	381

Введение

Актуальность работы. Разработка программных комплексов (ПК) для автоматизированных систем диспетчеризации пространственными процессами (АСДПП) на авиатранспорте представляет собой сложный и наукоемкий вид деятельности, связанный с необходимостью моделирования не только пространственных процессов, как таковых, но и смежных подсистем мониторинга, сопутствующих гидрометеорологических, физических и пр. процессов. Бурное развитие сферы авиасообщений, интенсивности и плотности полетов, а так же современных технологий и возможностей вычислительной техники предопределило внедрение в их состав средств и методов ситуационного управления (СУ). Одной из основных особенностей построения современных автоматизированных систем управления пространственными процессами на авиатранспорте является возрастание той части задач, в которых принятие предметных решений в тех или иных видах ситуаций возлагается на средства прикладного программного обеспечения. Именно этот факт диктует необходимость разработки целостного теоретического аппарата (научно-обоснованных методологических основ и технологических решений) улучшения качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте.

Однако, стремительное развитие современной экономики, интенсивный рост транспортных потоков и других сопутствующих пространственных процессов, изменение физических принципов функционирования средств мониторинга, опережающий рост потребности в автоматизации различных диспетчерских пунктов приводит к эмпирическому характеру внедрения принципов и средств СУ, используемых при построении автоматизированных систем управления пространственными процессами на авиатранспорте.

Таким образом, актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью разрешения объективного противоречия между существующей потребностью в улучшении качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте на основе целостного научно-методологического аппарата и эмпирическим характером этого процесса в текущий момент.

Актуальность проведенного исследования подтверждается также его соответствием научным направлениям, входящим в Перечень критических технологий Российской Федерации: Технологии информационных, управляющих навигационных систем; Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; Технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта.

Степень разработанности темы исследования, направленного на развитие квалиметрического аппарата улучшения качества и повышения результативности ПК АСДПП определяют результаты научных работ ведущих отечественных и зарубежных ученых в области квалиметрии программного обеспечения, ситуационного управления и автоматизации диспетчеризации пространственных процессов. Методологической основой для детальной разработки темы явились результаты исследований следующих научных направлений:

– квалиметрия на основе анализа системных показателей качества, реализованная в работах Г.Г. Азгальдова, Э.П. Райхмана, А.В. Гличева, В.П. Панова, А.Г. Варжапетяна, Е.Г. Семеновой, В.М. Балашова, Д. Коудена, Х.Й. Миттага, Х. Ринне, В.К. Федюкина, Н.Н. Рожкова, Г.И. Коршунова и др. На основе результатов исследований данного направления в работе определены методологические принципы и подходы к разработке предлагаемых методов, как научных результатов;

– совершенствование логико-математических моделей оценки результативности и качества сложных программных систем, разработанное в научных исследованиях Т. ДеМарко, Б. Бозма, М. Джилба, Т. Саати, К. Кернса, В.В. Липаева, Я.А. Ивакина, Н.В. Хованова, Р.М. Юсупова, Б.В. Соколова, В.В. Поповича и др. Результаты данного направления позволили обосновать единую унифицированную меру и методический инструментарий оценки качества и контроля результативности ПК АСДПП;

– методы ситуационного управления (менеджмента) пространственными процессами на базе моделирования ситуаций, предложенные в работах Д.А. Пospelова, Г.С. Осипова, В.Ф. Хорошевского, А.И. Эриха, Г. Джекобсона, Д. Буффорда, Л. Льюиса и др. На их основе предложены корректные модели, позволяющие рассмотреть разработку программных комплексов для АСДПП как процесс моделирования и анализа ситуаций в предметной области.

Целью работы. Цель диссертационной работы заключается в улучшении качества программных комплексов АСДПП на авиатранспорте на основе разработки концепции и научно-методического инструментария повышения их результативности, использующих принципы ситуационного управления.

Объект исследования – качество программных комплексов автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте.

Предмет исследования – повышение результативности программных комплексов автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте на основе принципов ситуационного управления.

Задачи исследования. Для достижения цели работы в ходе диссертационного исследования поставлены и решены следующие задачи:

1. Обоснование и синтез научно-методической концепции улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного управления;

2. Разработка метода анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса;
3. Разработка метода комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте;
4. Уточнение критериальной базы и разработка метода оценки качества ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;
5. Разработка метода репрезентации вербальных оценок показателей качества ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;
6. Обоснование и разработка методов повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода и улучшения экономичности их разработки.

Методы исследований. Для решения задач диссертационного исследования были использованы методы ситуационного менеджмента, экспертного оценивания, системно-информационного анализа, объектно-ориентированного подхода к разработке программных комплексов, теории вероятностей и оценки случайных величин, различные методы построения сводных показателей, а так же квалиметрические методы анализа сложных программ.

Тематика работы соответствует областям исследования: 1. «Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики качества объектов»; 2. «Стандартизация, метрологическое обеспечение, управление качеством и сертификация»; 3. «Методы менеджмента качества объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла»; 4. «Квалиметрические методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством»; 5. «Методы стандартизации и управления качеством в CALS-технологиях и автоматизированных производственных системах»; 9. «Научные основы автоматизированных комплексных систем управления эффективностью»

производства и качеством работ» паспорта специальности 05.02.23 – «Стандартизация и управление качеством продукции».

Основные положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Научно-методическая концепция улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента.

2. Метод анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса.

3. Метод комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте.

4. Метод оценки качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте.

5. Метод репрезентации вербальных оценок показателей качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте.

6. Метод повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода.

7. Метод улучшения экономичности разработки ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте.

Научной новизной обладают следующие результаты диссертационной работы:

1. Научно-методическая концепция улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента позволяет развить методический аппарат совершенствования программных комплексов диспетчеризации путем обобщения методов повышения их результативности, на основе принципов ситуационного управления.

2. Метод анализа качества протекания авиационного пространственного процесса обеспечивает качественно новый уровень этого анализа за счет

дополнения его научно-методического аппарата инструментарием создания сценариев типовых пространственных процессов диспетчеризации.

3. Метод комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте обеспечивает получение необходимой и качественной оценки уровня взаимной безопасности таких процессов на основе комплексного анализа пространственной ситуации.

4. Метод оценки качества ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте впервые позволяет вывести на более высокий уровень возможности квалиметрической оценки этих ПК за счет того, что совокупность показателей оценки конкретных вариантов их программных реализаций организуется в иерархическую структуру.

5. Метод репрезентации вербальных оценок показателей качества ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте позволяет перейти на более высокий уровень объективности путем использования математического аппарата лингвистических переменных и нечетких множеств.

6. Метод повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода обеспечивает улучшение показателей надежности указанных комплексов за счет повышения уровня агрегирования ранее верифицированных компонентов программного кода.

7. Метод улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте позволяет добиться снижения итеративности технологии создания этих ПК за счет системного накопления и корректного повторного использования баз готовых программных компонент.

Обоснованность и достоверность. Обоснованность научных результатов обусловлена корректным использованием апробированного в научной практике исследовательского и аналитического аппарата. Достоверность результатов проведенных исследований обеспечивается использованием современных методик обработки исходной информации и подтверждается совпадением

результатов исследования с экспериментальными данными, практической реализацией на предприятиях – разработчиках программного обеспечения (ПО) для АСДПП.

Практическая значимость полученных в диссертации результатов состоит в следующем:

- в оснащении технологий проектирования, создания ПК АСДПП и процедур улучшения их качества инструментарием корректного использования методов повышения результативности на основе принципов ситуационного управления;

- в совершенствовании аналитических методов оценки и анализа квалиметрических показателей, составляющих результативность ПК АСДПП, определении путей улучшения качества этих комплексов;

- в расширении возможностей по снижению итеративности выработки проектных решений при разработке программного обеспечения АСДПП;

- в предложении комплексного методологического аппарата, позволяющего значительно усовершенствовать процесс оценки и системного улучшения качества ПК АСДПП;

- во внедрении в практику создания ПК АСДПП научно-методических средств, основанных на принципах ситуационного управления и позволяющих обеспечить рационализацию усилий разработчиков соответствующего ПО;

- в уменьшении трудозатрат на разработку ПК АСДПП на авиатранспорте (среднего времени разработки и отладки программного модуля реализации типовой прикладной функции на 14 -16%);

- в уменьшении трудозатрат на сопровождение (среднего времени перекомпоновки и верификации типового программного модуля на 5-11%).

Разработана линейка типовых стандартов организации «Оценка и процедуры улучшения качества программной продукции для автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на транспорте», «Процедуры повышения результативности программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на

авиатранспорте» регламентирующая правила и процедуры улучшения качества соответствующих программных продуктов в ходе их разработки, а так же роли исполнителей и основные операции, которые доступны в рамках роли. Стандарты прошли внедрение и утверждение на предприятии-разработчике соответствующего программного обеспечения ЗАО «СПИИРАН-НТБВТ» (г. Санкт-Петербург) в 2016 году.

Личный вклад автора состоит в непосредственной разработке совокупности методологических средств повышения результативности и улучшения качества ПК АСДПП на авиатранспорте, прикладных методов оценки и совершенствования отдельных показателей. Автором также самостоятельно разработаны программные средства автоматизации предлагаемого научно-методического аппарата и методики их использования, указанная выше линейка типовых стандартов организации. Основные научные результаты и выводы, содержащиеся в диссертации, получены автором самостоятельно. Соискатель принимал личное участие в апробации и внедрении результатов исследования, публикации результатов диссертации.

Реализация работы. Результаты диссертационной работы протестированы и внедрены при разработке и эксплуатации программных комплексов АСДПП на авиатранспорте в АО «Всероссийский НИИ радиоаппаратуры», ОАО «Авангард», АО «ЦНИИ «Электроника», АО «РИРВ», АО «МНИРТИ», что подтверждено актами внедрения.

Результаты исследования внедрены в АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»; в ФГБУН Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук; в образовательный процесс ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 3 международных, 2 общероссийских, 1 межвузовской научных конференциях.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 38 работ, из них: 11- без соавторов, в том числе 11 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, 5 статей и 9 докладов в других изданиях.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, содержащего 127 наименования, и четырех приложений. Основной текст диссертации представлен на 335 страницах, включая 35 таблиц и 72 рисунка. Общий объем диссертационной работы с учетом приложений составляет 413 страниц.

Глава 1. Анализ качества современных систем и программных технологий ситуационного управления, применяемых при диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте. Обоснование проблемы и постановка задач исследования

1.1 Современное состояние систем и программных технологий ситуационного управления, применяемых при диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте

1.1.1. Автоматизированные системы управления и диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте

Объективный рост и глобализация мировой экономики, качественное увеличение интенсивности и оборота транспортных потоков на авиатранспорте, изменение масштабов компьютеризации систем управления воздушным движением, диспетчеризации и мониторинга самых различных географических пространственных процессов требуют новых научно обоснованных подходов и методов автоматизации, интеллектуальной поддержки управления этими процессами. Постоянное усложнение радиоэлектронных средств контроля обстановки на соответствующих пространственных театрах, непрерывное улучшение технического оснащения систем управления транспортными средствами, качественный рост возможностей современной вычислительной техники определяют новые задачи совершенствования систем диспетчеризации географических пространственных процессов на авиатранспорте.

Автоматизированные системы диспетчеризации пространственных процессов (АСДПП) на авиатранспорте – это вид автоматизированных систем управления, характеризующийся следующими отличительными признаками:

1 Объектом управления здесь являются пространственные процессы как результат человеческой деятельности. Под пространственным процессом

понимается процесс, который развивается одновременно во времени и в пространстве и представляет собой упорядоченную во времени совокупность абсолютных (географических) и относительных позиций управляемых объектов.

2 Целями управления являются безопасность и оптимизация (рационализация) взаимодействия объектов, реализующих пространственный процесс, с элементами, явлениями самого пространства и другими объектами в нем.

3 АСДПП функционирует в реальном масштабе времени.

4 АСДПП характеризуются широким территориальным охватом контролируемого географического пространства.

5 АСДПП всегда имеют сложную информационную и техническую структуру. Для них характерно наличие в их составе различных подсистем мониторинга за состоянием контролируемого пространства, подсистем информационной и аналитической поддержки лиц принимающих решения (диспетчеров), а так же центрального звена органа управления – диспетчерского пункта, оборудованного соответствующими средствами автоматизации.

Типовая структура АСДПП в обобщенном виде приведена на рисунке 1.1.1.

На сегодняшний день можно привести множество примеров реализации АСДПП для самых различных пространственных процессов [1, 2]. Однако существующий уровень развития АСДПП, не приводит к полному исключению аварий и катастроф по вине диспетчеров. Так только на воздушном транспорте:

- Ту-154, разбившийся в августе 1996 г. на Шпицбергене, врезался в гору из-за того, что экипаж неправильно понял команду диспетчера;
- вина за катастрофу в аэропорту Дели в 1995 г., когда Ил-76 столкнулся с Боингом 747, лежит на диспетчерской службе;
- по вине диспетчера в 1996 г. в Турине разбился самолет Ан-124 “Руслан”;
- столкновение двух самолетов в небе над Боденским озером на границе Швейцарии и Германии в 2002 г. произошло по вине диспетчерской службы;

– при аварии Ту-154 (разбился 22 августа 2006 года) возле Донецка, имелись претензии к диспетчерской службе.



Рисунок 1.1.1 – Типовая структура АСДПП в обобщенном виде

В целом существуют три группы факторов, влияющих на безопасность полетов воздушных судов [120]. К первой группе факторов относится человеческий фактор (определяет 79% авиационных происшествий). Вторая группа – технический фактор (19%) – включает характеристики воздушного судна и другой авиационной техники, средства навигации и управления воздушным движением. Третья группа – неблагоприятные внешние условия – охватывают события или явления во внешней среде, которые создают угрозу безопасности полетов (2%). К ним относятся неблагоприятные метеорологические условия, наличие спутных следов от ранее пролетевших самолетов и т.д.

Помимо основной причины неблагоприятные внешние условия могут выступать в качестве сопутствующего фактора, обусловившего авиационное

происшествие. Доля происшествий, связанных с неблагоприятными внешними условиями, остается примерно на одном уровне (в среднем 15,3% за период с 2008 по 2014 г.).

Прямо или косвенно все три группы факторов, влияющих на безопасность воздушного движения, связаны с действиями авиационных диспетчеров, обеспечивающих полетно-информационное обеспечение командиров воздушных судов.

Даже такая выборка фактов свидетельствует о необходимости развития и повышения надежности АСДПП. Данный вывод подтверждает Международная организация гражданской авиации в изданном в 2006 году Руководстве по управлению безопасностью полетов: «статистика авиационных происшествий неоднократно подтверждает тот факт, что, по крайней мере, три из четырех происшествий являются следствием ошибок, допущенных внешне здоровыми индивидуумами с надлежащей квалификацией» [63].

Аспектная интерпретация геопространственных действий авиа объектов детально показана в Приложении А.

Современная автоматизированная система диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте является информационно-вычислительной системой сетевого типа, предназначенной для обеспечения безопасности, повышения экономичности и регулярности полетов гражданской авиации и воздушных судов государственных ведомств в районе аэродромов, на воздушных трассах и во внутрассовом воздушном пространстве путем автоматизации процессов планирования, сбора, обработки и отображения радиолокационной информации, информации, полученной по каналам автоматического зависимого наблюдения и метео-информации [121].

Принципы системного подхода определяют, что установить целесообразные направления развития любой системы можно только на основе анализа целей, структуры и процессов функционирования той системы (надсистемы), в которую рассматриваемая система входит в качестве элемента. В соответствии с данным положением необходимо рассмотреть основные

характеристики АСДПП, в рамках той системы пространственных процессов, которыми она управляет.

«Диспетчеризация – это «централизация (концентрация) оперативного контроля и координация управления производственными процессами с целью достижения наивысших технико-экономических показателей, выполнения графиков работ и производственной программы. ... Особенность диспетчеризации на транспорте – непрерывное изменение обстановки, значительная изменяемость и противоречивость графиков и схем движения, загруженности транспортных средств Основные задачи диспетчеризации на транспорте: непрерывный контроль состояния и безопасности (безаварийности) подвижных объектов, соблюдения расписания и схем движения ...» [63]. При этом «эффективная диспетчеризация предполагает реалистичный баланс между целями обеспечения пространственной безопасности и производственными целями».

Базовыми задачами обслуживания воздушного движения для АСДПП в зависимости от вида обслуживания являются [85]:

- а) предотвращение столкновений между воздушными судами;
- б) предотвращение столкновения воздушных судов, находящихся на площади маневрирования, с препятствиями на этой площади;
- с) ускорение и поддержание упорядоченного потока воздушного движения;
- д) предоставление консультаций и информации, необходимых для обеспечения безопасного и эффективного производства полетов;
- е) уведомление соответствующих организаций о воздушных судах, нуждающихся в помощи поисково-спасательных служб, и оказание таким службам необходимого содействия.

В соответствии с действующими Федеральными правилами «Организация воздушного движения в Российской Федерации» утвержденными Приказом Министерства транспорта РФ от 25 ноября 2011 г. № 293 (с изменениями на 12 мая 2014 г.) диспетчерское обеспечение подразделяется в зависимости от этапа полета на [85]:

а) районное диспетчерское обслуживание: обеспечение диспетчерского обслуживания контролируемых полетов, кроме тех этапов каждого из таких полетов, которые указаны в подпунктах б и с настоящего пункта, для решения задач «а» и «б» предыдущего абзаца;

б) диспетчерское обслуживание подхода: обеспечение диспетчерского обслуживания этапов контролируемых полетов, которые связаны с прибытием и вылетом, для решения задач «а» и «б» предыдущего абзаца;

с) аэродромное диспетчерское обслуживание: обеспечение диспетчерского обслуживания, кроме этапов полетов, указанных в выше в п. «б» для решения задач «а» и «б» предыдущего абзаца.

Потребность в диспетчерском обслуживании воздушного движения определяется с учетом: типов соответствующего воздушного движения, текущей и планируемой плотности воздушного движения, текущих и прогнозируемых метеорологических условий и др.

При принятии решения о введении обслуживания в конкретных частях воздушного пространства или на конкретных аэродромах эти части воздушного пространства или эти аэродромы особо определяются, исходя из вида обслуживания воздушного движения, которое должно обеспечиваться следующим образом [85]:

- части воздушного пространства, в которых принято решение обеспечивать полетно-информационное обслуживание и аварийное оповещение, определяются как районы полетной информации;

- части воздушного пространства, в которых принято решение обеспечивать полеты диспетчерским обслуживанием, определяются как диспетчерские районы или диспетчерские зоны;

- аэродромы, на которых принято решение обеспечивать диспетчерское обслуживание движения в районе аэродрома, определяются как контролируемые аэродромы.

Принципиальная схема такой диспетчеризации пространственных процессов на основе АСДПП приведена на рисунке 1.1.2.

На рисунке 1.1.2, белыми стрелками выделены информационные потоки, причем потоки неформализованной информации выделены фигурными, а формализованной информации – простыми стрелками. Черными стрелками выделены воздействия, вызывающие изменение параметров движения управляемых объектов, и реакции на них.

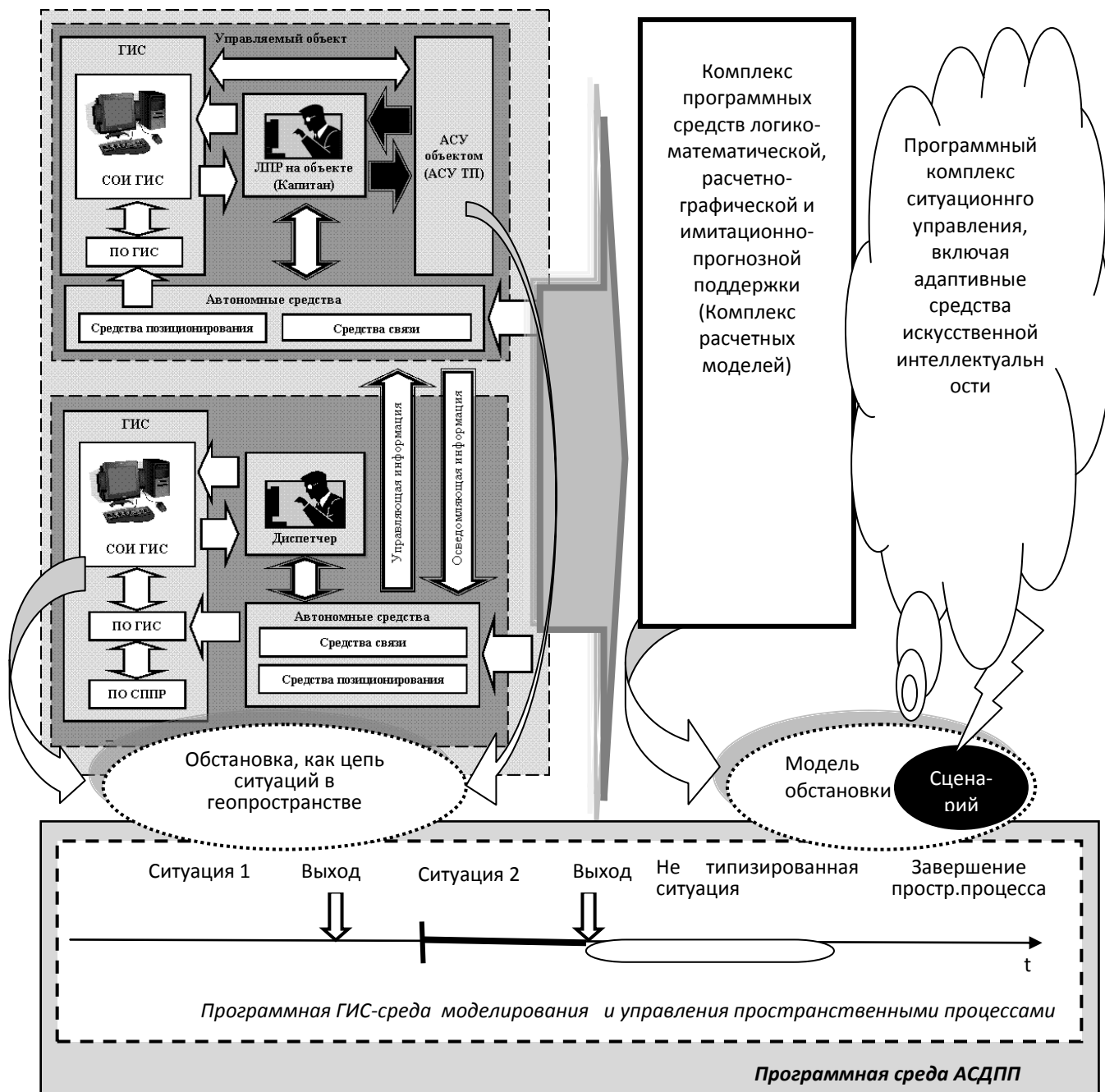


Рисунок 1.1.2 – Принципиальная организация диспетчеризации перемещений пространственного объекта с применением современных АСДПП

Приведенная схема потоков информации и воздействий в явном виде свидетельствует следующее:

1 Средствами воздействия, вызывающими изменение параметров движения управляемых объектов, обладает только руководитель (командир, капитан) перемещаемого объекта, в частности, воздушного судна. Диспетчер такими средствами не обладает.

2 Как на перемещающихся объектах, так и в диспетчерском центре контроля и управления объектами:

- в качестве высшего элемента системы управления выступает эрратический элемент – человек (диспетчер, капитан, командир и т.п.), представляющий собой лицо, принимающее решение (ЛПР);
- циркулируют два вида потоков информации: формализованная информация (формальная логика, искусственный язык) и неформализованная информация (диалектическая логика, естественный язык);
- в качестве единственного средства отображения формализованной информации выступают средства отображения информации (СОИ) географических информационных систем (ГИС), которые интегрируют собственную формализованную информацию и формализованную информацию, поступающую от автономных средств связи и позиционирования объектов;
- перевод одного вида информации в другой (формализованной – в неформализованную, а неформализованной – в формализованную) способен осуществлять только эрратический элемент – ЛПР (диспетчер, капитан и т.п.), средства автоматизации (ГИС объектов, АСДПП диспетчерского центра) такой способностью не обладают;
- вся неформализованная информация воспринимается, обрабатывается и вводится в средства автоматизации (ГИС объектов, АСДПП диспетчерского центра) только ЛПР (диспетчером, капитаном и т.п.);
- процедура перевода одного вида информации в другой, так или иначе, связана с потерей части информации ввиду невозможности ввода в средства автоматизации части неформализованной информации и

неадекватности (неполноты) восприятия ЛПР формализованной информации, предоставляемой СОИ ГИС;

- интеграция формализованной и неформализованной информации производится только ЛПР (диспетчером, капитаном и т.п.); в качестве средства, облегчающего ЛПР эту процедуру, выступает наглядность и обобщенность формализованной информации, предоставляемой СОИ ГИС.

3 Единственными каналами прямой связи между диспетчерским центром и перемещающимися объектами являются каналы передачи неформализованной информации.

4 Каналы прямой связи между аппаратно–программными средствами ГИС объектов и АСДПП диспетчерского центра либо отсутствуют, либо не являются основными (абсолютно надежными) в процессах управления. Поэтому информация, предоставляемая СОИ ГИС перемещающихся объектов и диспетчерского центра может отличаться, что приводит к различным оценкам складывающейся ситуации у ЛПР перемещающегося объекта и ЛПР диспетчерского центра.

5 В случае противоречивости информации, предоставляемой СОИ ГИС на перемещающемся объекте и в диспетчерском центре, выявление объективно существующей ситуации может осуществляться только путем обмена неформализованной информацией. Следствием такой необходимости является:

- существенная продолжительность времени выявления объективно существующей ситуации, связанная с необходимостью неоднократного осуществления ЛПР перемещающегося объекта и диспетчерского центра процедур преобразования и оценки осведомляющей информации (прием неформализованной информации, ее преобразование в формализованную информацию, ввод формализованной информации в ГИС, восприятие обобщенной информации СОИ ГИС, неформализованная оценка ситуации, формирование и передача неформализованной осведомляющей информации);
- возможная неадекватность реализации как любой из операций этой процедуры, так и ее результатов.

6 В качестве управляющего воздействия на перемещающиеся объекты выступает неформализованная директивная информация (указания, приказы, требования и т.п.) диспетчера. Вследствие влияния человеческого фактора эта информация может быть [66]:

- неадекватна ситуации, как по своему характеру, так по времени поступления;
- неадекватно восприниматься и исполняться ЛПР перемещающегося объекта.

На основании вышеуказанного можно сделать вывод, что ЛПР перемещающегося объекта (борта) и диспетчерского центра являются, и в обозримом будущем будут оставаться, ключевыми элементами системы контроля и управления пространственными процессами.

Поэтому общее направление развития ПК поддержки управления (в том числе, на принципах ситуационного управления) в соответствии с требованиями АСДПП может быть обозначено как направление адаптации ГИС к специфике деятельности ЛПР перемещающихся объектов и диспетчерского центра.

Как было показано выше, основным противоречием в функционировании АСДПП при решении задач управления объектами является наличие в системе двух принципиально отличающихся видов информации (формализованная информация и неформализованная информация). Кардинально данное противоречие может быть разрешено только на основе развитой информационной технологии искусственного интеллекта. Поскольку такая полноценная технология отсутствует, на современном этапе развития информационных технологий данная проблема может быть решена только на основе устранения негативного влияния человеческого фактора. При этом необходимо учитывать, что орган (лицо или лица принимающие решения) организации воздушного движения, осуществляющий диспетчерское обслуживание на основе АСДПП, должен контролировать следующие показатели пространственных процессов: информацию о предполагаемом движении каждого воздушного судна или его изменениях; информацию о

фактическом ходе полета каждого воздушного судна в соответствии с которой [85, 146,147]:

- определяет сравнительное местоположение воздушных судов (о которых он оповещен) относительно друг друга;
- принимает решения по обеспечению установленных интервалов эшелонирования и предотвращению столкновений воздушных судов в воздухе и на земле;
- при необходимости согласовывает свои действия с диспетчерами смежных органов управления воздушным движением в случаях, когда обслуживаемое воздушное судно может создать конфликтную ситуацию с другими воздушными судами, выполняющими полет под контролем диспетчеров смежных органов организации воздушного движения, а также перед передачей воздушного судна им на обслуживание воздушного движения.

При использовании воздушного пространства возникают ситуации, недостаточно конкретизированные Воздушным кодексом Российской Федерации. Полеты воздушных судов осуществляются авиацией трех видов: гражданской авиацией, используемой для удовлетворения потребностей населения и экономики; государственной (авиацией военной или других государственных служб) и экспериментальной (испытания техники, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы). Значительная часть полетов государственной авиации затрагивает воздушное пространство гражданской авиации, и вопросы совместного его использования в силу различия полетных заданий участников движения выдвигаются на первый план. Этим вопросам было посвящено диссертационное исследование, в рамках которого получено решение научной задачи автоматизированной поддержки диспетчеров различных ведомств, позволившее отказаться от практики запрета полетов гражданской авиации при совместном использовании воздушного пространства [119].

«Человеческий компонент является наиболее гибкой и адаптируемой частью системы управления движением, но одновременно он является наиболее

подверженным влияниям, неблагоприятно сказывающимся на результатах ее работы» [66]. Эти влияния и определяются как негативные воздействия человеческого фактора. «Человеческий фактор (ЧФ) – это очень емкое общественное социально-психологическое понятие, которое, вероятно можно трактовать как дальнейшее развитие понятия “человеческое поведение» [37]. В настоящее время становится все более очевидным, что при анализе функционирования и развития АСДПП нельзя получить высокую достоверность результатов, не учитывая ЧФ. ЧФ в АСДПП может иметь множество форм проявления и оказывать на достижение целей управления в зависимости от конкретной ситуации и конкретных людей как негативное, так и позитивное действие. «ЧФ нельзя формализовать и включить в аппарат системного анализа, не абстрагируясь от деталей и не внося определенные ограничительные рамки» [37]. В традиционном подходе системного анализа процессов управления в качестве указанных ограничений определяются [39,40]:

1) рассмотрение ЧФ не вообще, а относительно степени достижения j -ой цели системы, причем конкретным человеком, находящимся на i -ом месте в иерархии управления;

2) учет определенной этапности решений, принимаемых ЛПР в процессе управления, т.е. исходя из проявления ЧФ на этапе формирования цели и на этапе самого управления;

3) учет комфортности деятельности и среды обитания ЛПР, а также рациональности использования его внутреннего ресурса.

В данном случае, необходимо пояснить различие таких смежных, но не совпадающих по смыслу понятий как «управление» и «диспетчеризация» для пространственных процессов. Под диспетчерской деятельностью в данной работе понимается особый вид профессиональной деятельности по управлению протеканием пространственных процессов в соответствии с установленным регламентом (стандартом выполнения, штатом и пр.). При этом диспетчерская деятельность (диспетчеризация) понимается как особый вид управления, некоторая специфическая составляющая. Под управлением в целом, в

контексте данной работы, понимается упорядоченная совокупность воздействий на объект управления с целью максимизации эффекта в достижении сложной интегральной цели системы. При этом управление является сложным многоэтапным процессом, учитывающим множество различных аспектов в функционировании системы: экономическая целесообразность, безопасность функционирования и пр. Диспетчеризация — частный аспект управления, связанный с обеспечением максимизации только одной (приоритетной, требующей непрерывного воздействия) составляющей в цели функционирования системы. Например, в качестве системы выступает аэропорт, со сложными навигационными условиями, работающий под управлением соответствующей администрации. Администрация этого аэропорта решает задачу управления им с целью получения безопасного трафика для всех самолетов и воздушных судов, использующий этот аэропорт. При этом администрация обеспечивает поддержание и наращивание пропускных возможностей аэропорта, обеспечивает экономическую прибыльность своей деятельности и пр. Общее управление таким аэропортом осуществляет глава администрации. Приоритетной составляющей в деятельности администрации канала является безопасность воздушного и наземного движения самолетов, и пассажиров. Для достижения необходимого эффекта по этой составляющей создана специальная диспетчерская служба. Диспетчер (-ры) непосредственно управляет движением воздушных судов по рассматриваемому аэропорту, прилежащему воздушному пространству, и вся его деятельность направлена на обеспечение регламентного режима функционирования порта. В свою очередь действующий регламент может отражать воздействия других служб администрации по максимизации других аспектов функционирования аэропорта, но для диспетчерской деятельности это является внешним фактором. Диспетчеризация является следствием необходимости снизить сложность в рассмотрении объекта управления для обеспечения заданного уровня параметров управления.

С позиций проектирования качественных средств автоматизации для авиатранспорта с учетом устранения приведенных выше недостатков существующих систем диспетчеризации пространственных процессов текущее положение с развитием систем и программных технологий ситуационного управления определяет необходимость развития АСДПП в следующих направлениях:

1) оснащение АСДПП средствами ситуационного управления в направлении возможности обработки средствами ПО ГИС качественных характеристик, фигурирующих в неформализованных моделях пространственных ситуаций ЛПР перемещающихся объектов и диспетчерского центра;

2) интеллектуализация АСДПП в направлении оперативного прогнозирования возможности возникновения опасных пространственных ситуаций и заблаговременного оповещения ЛПР перемещающихся объектов и диспетчерского центра о возможности их возникновения;

3) внедрение в состав программного обеспечения АСДПП средств оптимального планирования перемещений объектов и корректуры этого плана.

Данный тезис требует рассмотрения текущего состояния с использованием систем и технологий ситуационного управления при диспетчеризации на авиатранспорте.

1.1.2. Системы и технологии ситуационного управления при диспетчеризации пространственных процессов

Традиционная теория управления, выросшая на существовавшей ранее теории автоматического регулирования, имеет дело с такими объектами, для которых процедура управления в самом общем виде представляется контуром управления: субъект управления, управляющее воздействие, объект управления, обратная связь. Предполагается, что субъект управления обладает «адекватной» моделью представления объекта управления, которая позволяет

первому строго и нормировано «прогнозировать» последствия того или иного управляющего воздействия. Идея контура управления показана на рисунке 1.1.3.

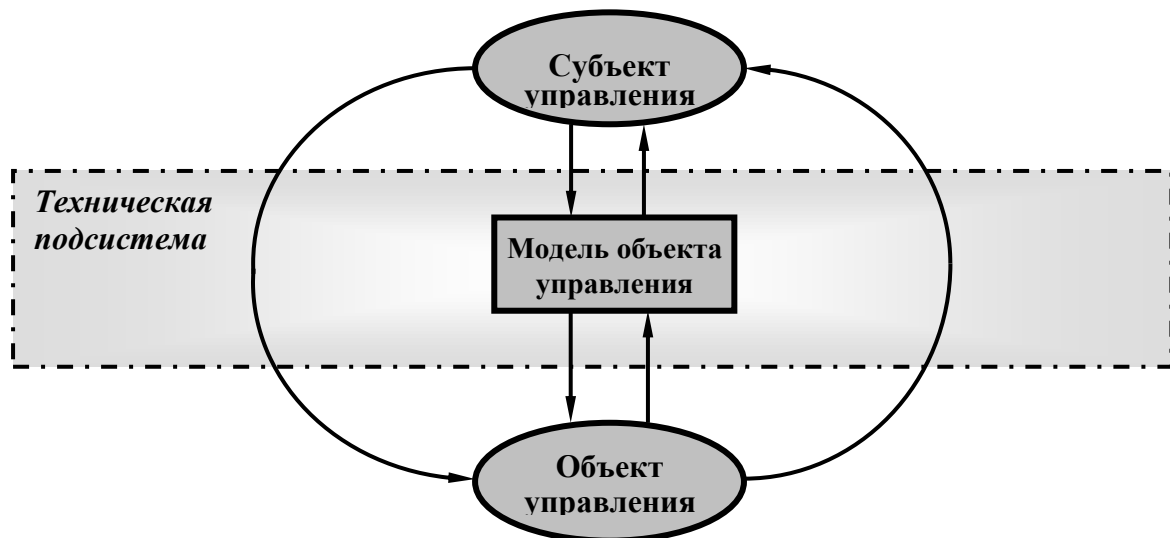


Рисунок 1.1.3 – Обобщенное представление классического контура управления

Однако сложные объекты управления, в качестве которых могут выступать слабо структурируемые организационно-технические или социальные системы, явления пр. и их адекватные многоуровневые программные модели (в том числе и АСДПП на авиатранспорте), приводят к необходимости учета в ходе управления сотен параметров, тысячи фактов, огромного числа критериев и решающих правил. Это ведет к тому, что свести процедуру управления к контуру управления не получается, т.к. не представляется возможным описать все состояния объекта управления ограничить число управляющих воздействий и показать их связь с обратной реакцией на управление. Такое положение дел вынуждает прибегать к описанию наиболее типовых ситуаций в управлении объектом (программной моделью) и рассматривать систему управления как открытую систему. При этом изменению подвергается не только процедура управления, но её принципы, организация и сам подход.

Метод управления, который основан на введении понятия «ситуация», классификации ситуаций и их преобразовании, принято называть методом ситуационного управления [68].

Необходимо сформулировать ряд особенностей, присущих методу ситуационного управления:

1. Ситуационное управление требует создания предварительной базы сведений об объекте управления, его функционировании и способах управления им. Это оправданно только тогда, когда традиционные пути формализации описания объекта управления и процедуры управления реализовать невозможно.

2. Описание ситуаций, складывающихся на объекте управления (текущих ситуаций), должно быть произведено на таком языке, в котором отражались бы все основные параметры и связи, необходимые для классификации этого описания и сопоставления ему одношагового решения по управлению. При этом необходимо правильно выбрать уровень описания, который не должен быть ни слишком подробным, ни слишком грубым. При слишком подробном описании возникает «шумовой эффект», частности и несущественные для управления факты и явления могут сильно усложнить понимание сути функционирования объекта и сделать построение системы управления невозможным.

3. Язык описания ситуаций должен позволять отражать в нем не только количественные факты и соотношения, характеризующие объект управления, но и качественные знания, которые не могут быть формализованы в обычном математическом смысле. Необходимо отражать качественные высказывания на языке описания ситуаций.

4. Классификация ситуаций, объединение их в классы при использовании одношаговых решений происходит на субъективной основе, ибо первоначальная информация о соответствии той или иной текущей ситуации тому или иному решению получается от экспертов. Программная система моделирования как бы суммирует знания отдельных экспертов и становится носителем коллективного опыта людей. Однако процедуры классификации должны быть построены таким образом, чтобы сама классификация годилась бы для тех текущих ситуаций, о которых система не получила информации от

экспертов. Это приводит к тому, что задача классификации становится аналогичной задаче формирования понятий на основе обучающих последовательностей. Система, сформировав некоторое понятие, обладает уже большими знаниями, чем те, которые были заложены в неё вначале экспертами, хотя эти дополнительные знания могут оказаться и неверными, что может выявиться в процессе её эксплуатации.

5. Системы ситуационного управления не могут оптимизировать сам процесс управления. Они ориентированы лишь на такое управление, когда достигнутые результаты будут не хуже лучших результатов, которые мог бы получить человек. Однако, как показала практика применения систем подобного типа, чаще всего результаты, выдаваемые системой, лучше человеческих.

6. Для многих реальных объектов управления и соответствующих моделей одношаговые решения не определяют стратегии управления. В таких объектах необходимо формировать в качестве решений цепочки из одношаговых решений. Для этого в системе экстраполяции должны быть предусмотрены специальные процедуры «склейки» одношаговых решений. С их помощью формируются более сложные решения по управлению [68].

В соответствии с целями настоящего диссертационного исследования необходимо более подробно рассмотреть возможности программных средств реализующих принципы ситуационного управления в современных и перспективных АСДПП на транспорте в отношении их реакции на действия диспетчеров (ЛПР).

Специальное математическое и программное обеспечение традиционных АСДПП на авиатранспорте, во многом реализовывало принципы компьютерного представления и моделирования в рамках процедурного подхода (70-90-ые гг. 20 в.). Это означает, что предметная область диспетчеризации, как объект управления, представлялся в АСДПП как некоторая, значительно упрощенная модель, которая была способна адекватно отражать лишь несколько характеристик контролируемого объекта. При этом

число и существо этих характеристик было строго регламентировано программой представления-моделирования, которая, в свою очередь, была строго детерминирована. Это позволяло диспетчеру осуществлять как контроль и необходимую корректуру всех параметров контролируемых в АСДПП пространственных процессов, так и неформальное общение с ЛПР на борту управляемых самолетов (пилотами, командирами экипажей и пр.).

Однако, бурное развитие объектно-ориентированного подхода к проектированию и созданию прикладного программного обеспечения, дали возможность многократно усложнить программно-аналитические модели управляемых объектов, отказаться от их строгой детерминированности, придать им стохастический характер и значительно расширить их адаптивность. Номенклатура параметров, описывающих управляемый объект и окружающую его среду, увеличилась настолько, что возможности восприятия диспетчера в оперативной обработке информации перестали ей соответствовать. Другими словами, диспетчер-оператор перестал быть способен оперативно анализировать и корректировать все параметры процесса, контролируемого и моделируемого программными средствами АСДПП, а значит, перестал быть способен адекватно управлять всей совокупностью пространственных процессов. Указанное противоречие было обострено фактом бурного роста объема авиационных перевозок на рубеже XX-XXI вв. Это явилось причиной начала разработки АСДПП на принципах ситуационного управления, детально описанных в [41, 42, 68, 93]. Сегодня ситуационное управление является разделом современного направления в информатике и системном анализе, которое получило название “ситуационный менеджмент” (Situation Management). Ситуационный менеджмент относительно молодое научное направление системного анализа. Оно обобщило ряд концепций и подходов к теоретическому описанию динамических систем, таких как: ситуационное управление, ситуационное моделирование, ситуационные вычисления, ситуационная семантика и др. [93].

Процесс моделирования объекта управления в ситуативно-управляемых АСДПП представляет собой непрерывный процесс создания пространственных ситуаций, где под термином «ситуация» понимается определенное соотношение текущих параметров управляемого объекта и окружающей его среды. Все многообразие этих ситуаций может быть разбито на две категории: штатные и нештатные ситуации. Под штатной (стандартной) ситуацией понимается ситуация, соответствующая установленному регламенту (норме, правилу, традиции и пр.) их протекания, а под нештатной (нестандартной) – не соответствующая. При таком подходе обучающему для адекватного управления обучением необходимо оперативно анализировать уже не всю номенклатуру параметров моделируемого процесса, а только соотношение тех параметров, которые определяют классификационную принадлежность текущей ситуации к категории штатных или нештатных ситуаций. При формализованной постановке, ситуация представляется как числовой вектор $x=(x_1, \dots, x_n)$, $x_i \in R^1$ содержащий совокупность параметров, описывающих состояние управляемого объекта и среды его функционирования. Тогда штатная ситуация – это ситуация, при которой значения соответствующего числового вектора лежат в допустимых с точки зрения регламента, пределах; соответственно: нештатная – ситуация, при которой значения числового вектора выпадают из допустимых пределов.

Ситуационный менеджмент в своей практической сущности есть целенаправленный процесс [93]:

- а) накопления исходной и обработанной информации об реальных ситуациях в практике применения объекта изучения;
 - б) распознавания и представления ситуаций;
 - в) анализа прошлых и прогнозирования будущих ситуаций;
 - г) формулирования выводов, планирования и приведения в исполнение действий,
- осуществляемый так, чтобы развитие ситуации привело к желаемой цели.

Основной конструктивной составляющей ситуационного менеджмента является изучение, формирование и реализация моделирования ситуаций с целью ее благоприятного разрешения, которое позволяло бы на базе имеемых знаний и накопленной предварительной информации о ходе развития реальной ситуации с объектом управления в прошлом спрогнозировать будущее ее развитие. Вариабельность такого моделирования определяет возможности выработки решений по воздействию на реальную ситуацию с целью обеспечения ее благоприятного развития. Очевидно, что конструктивность подхода, используемого в ситуационном менеджменте, к рассмотрению управленческих ситуаций и методам выработки управленческих воздействий на эти ситуации хорошо сочетаются с концепцией построения современных АСДПП, реализующим пространственное управление сложными объектами и явлениями. В работе [68] дается детальная классификация уровней в рассмотрении понятия «ситуационное управление». На его базе становится возможным обобщить представление диспетчеризации пространственных процессов в современных АСДПП с ситуационной моделью объекта управления и концептуальными требованиями по его представлению-моделированию, что показано на рисунке 1.1.4.

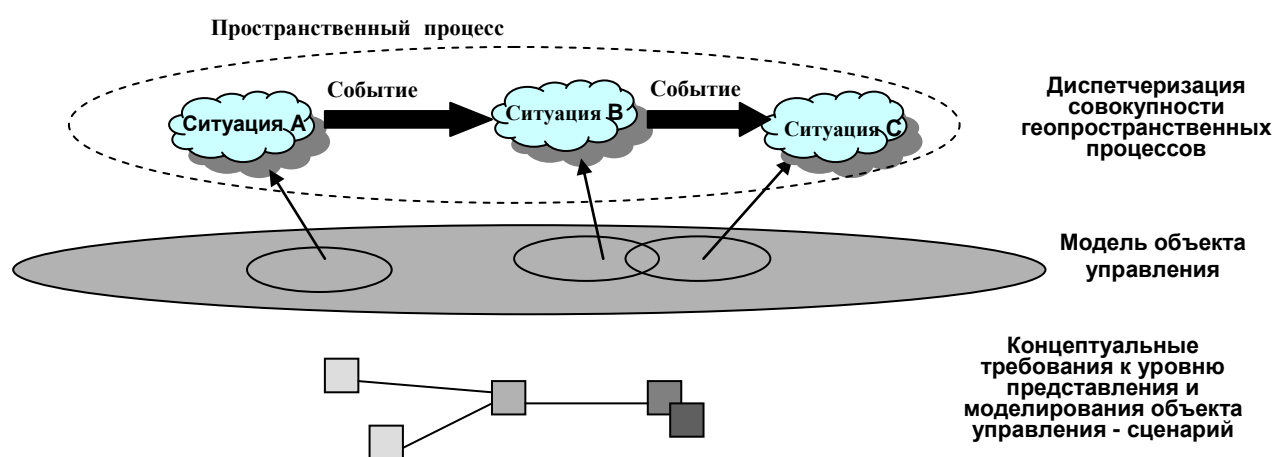


Рисунок 1.1.4 - Представление пространственного процесса как совокупности ситуаций

Из рисунка 1.1.4, видно, что геопространственный процесс представляет собой упорядоченную последовательность пространственных ситуаций, органично вытекающих одна из другой. Учет того факта, что в зависимости от решений диспетчера развитие ситуации может иметь несколько исходов, приводит к появлению некоторой обусловленной последовательности ситуаций. Такую последовательность, в соответствии с терминологией ситуационного менеджмента, принято понимать как “сценарий развития ситуаций”. При этом ни одна ситуация не содержит модель объекта управления (в данном случае - диспетчеризации), но релевантная совокупность ситуаций содержит ситуационно-описанную модель объекта управления.

Такое представление ситуационно-управляемых АСДПП позволяет наглядно показать реализуемость принципов ситуационного менеджмента в их функциональной архитектуре, а так же рассматривать ситуационный менеджмент, как теоретический базис для разработки предлагаемого методологического инструментария. Ситуационный менеджмент, как теоретический базис разработки ситуационно-управляемых АСДПП, предопределяет определенную специфику разработки их прикладного программного обеспечения. Анализ этих специфических особенностей позволяет конкретизировать предмет данного диссертационного исследования. Использование на ситуационно-управляемых АСДПП не изоморфных к реальным объектам программных моделей, а сценарных комбинаций моделей ситуаций, в которых проявляются наиболее значимые свойства объекта управления, накладывает ряд специфических особенностей на разработку математического и программного обеспечения этих систем.

Главная особенность ПО указанных систем – это отсутствие функционально завершенного сценария реализации ситуаций в АСДПП, присущих всему пространственному процессу. Формирование сценариев полных пространственных процессов из «конструктора» разно уровневых моделей ситуаций управления, а также настройка параметров самих моделей ситуаций – прерогатива диспетчерского и обслуживающего АСДПП персонала. Управление

реализацией структурированной совокупности интерактивных программных компонент, соответствующих моделям ситуаций, является сложным программным процессом. Это ведет к тому, что в состав прикладного программного обеспечения должны интегрироваться средства быстрой CASE-разработки сценариев и их инсталляции в состав ПО АСДПП. По своей сущности сценарии представляют собой совокупность знаний о специфике развития ситуаций в предметной области в зависимости от событий, инициируемых диспетчером в условиях текущей пространственной ситуации. Процесс извлечения, вербально-наглядного и формального представления (репрезентации) знаний, реализуемый в рамках сценария, традиционно разделяют на пять основополагающих этапов: идентификация, концептуализация, формализация, реализация, тестирование, что носит итеративный и творческий характер, что детализировано в Приложении Б.

Таким образом, в условиях высоких темпов роста авиационного трафика системы и технологии ситуационного управления при диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте находят самое широкое применение. Конструктив такого применения заключается в рассмотрении совокупностей пространственных процессов как соответствующих ситуаций, требующих корректного и безаварийного разрешения.

1.1.3. Программные комплексы ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте

Программные комплексы (ПК) ситуационного управления пространственными процессами для АСДПП на авиатранспорте представляет собой сложные комплексы программных средств и подсистем. Как правило, они в себя включают:

- 1) геоинформационную подсистему;
- 2) инструмент управления базами данных и редактирования онтологии;
- 3) сервер картографической информации;

- 4) подсистему интеллектуальной поддержки;
- 5) сервер администрирования;
- 6) подсистему обмена данными с взаимодействующими системами;
- 7) сервер объектов;
- 8) сервер гидрометеоинформации (гидрометеосервер);
- 9) совокупность программных моделей аналитической поддержки.

Структура взаимосвязей приведенного состава элементов ПК ситуационного управления пространственными процессами для АСДПП показана на рисунке 1.1.5. Геоинформационные системы в сочетании с СУБД и подсистемами интеллектуальной поддержки являются основой компьютерных инструментальных средств реализации информационных технологий для АСДПП. Эффективность использования ПК во многом зависит от организации процессов ввода-вывода, хранения, обработки разнородных данных, а также от эргономичности информационных моделей, отображаемых на видеомониторах, предъявляемых пользователю АСДПП.

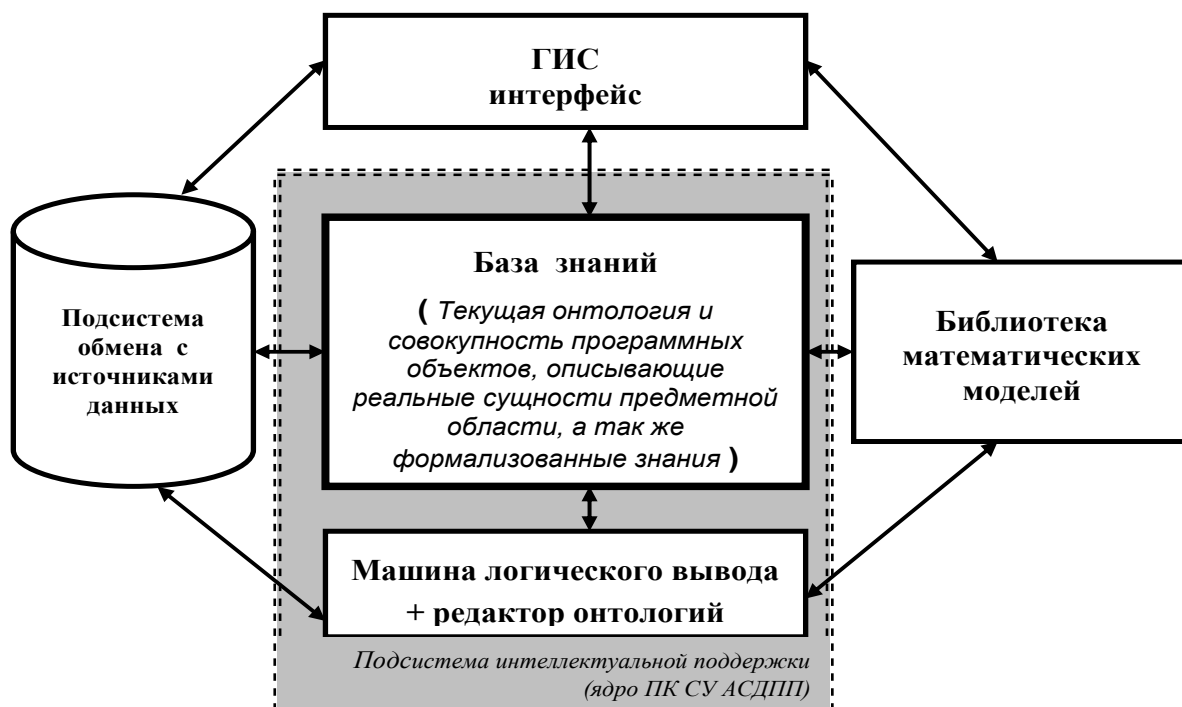


Рисунок 1.1.5 – Типовая архитектура ПК ситуационного управления пространственными процессами для АСДПП

Одной из особенностей ПК ситуационного управления пространственными процессами для АСДПП является одновременное использование как картографических, так и некартографических данных, для обработки которых требуется применение принципиально различных методов.

В рамках ПК ситуационного управления пространственными процессами для АСДПП должны осуществляться процедуры моделирования реальной пространственной ситуации на основе электронной карты.

Взаимосвязи и содержание информации, участвующей в моделировании пространственной ситуации с помощью электронной карты, показаны на рисунке 1.1.6 [41].

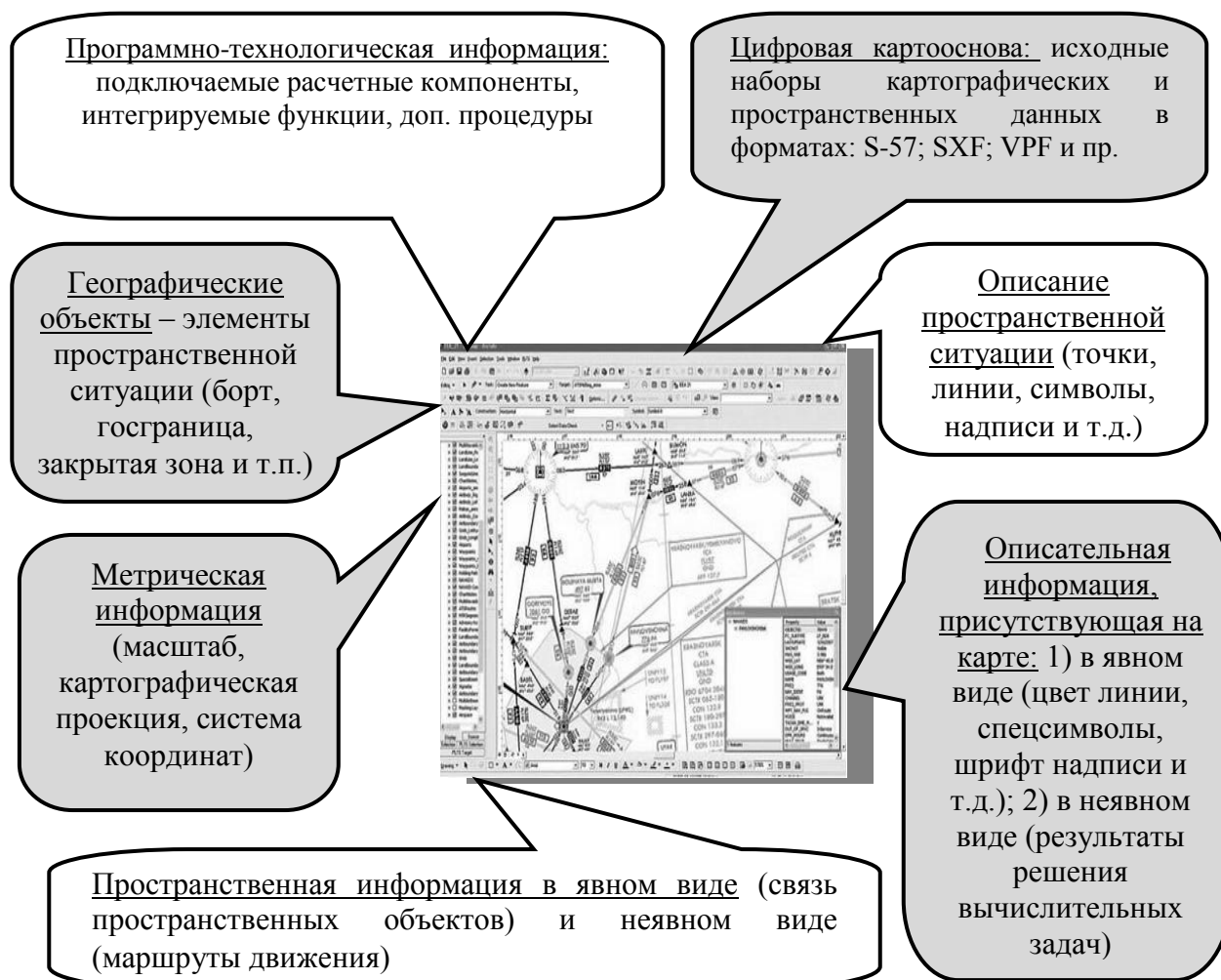


Рисунок 1.1.6 – Виды информации, участвующие в моделировании пространственной ситуации с помощью электронной карты

Информация условно может быть разделена на реально существующую и отображаемую на электронной карте в явном виде и неявно существующую без ее графического представления.

Принято [41, 42] разделять информационные технологии ПК для АСДПП на авиатранспорте, в ходе которых реализуются операции ввода-вывода, обработки, хранения и отображения геоинформации на базовые и прикладные. Базовая ИТ представляется в виде инвариантной к предметной области совокупности средств преобразования первичной и вторичной картографической информации на этапах ее сбора, обработки, хранения, передачи и отображения.

В состав базовой ИТ для АСДПП обычно включают следующую последовательность операций:

- 1) сбор (получение, извлечение) первичных данных об активных объектах, действующих в рамках сложившейся пространственной ситуации;
- 2) первичная обработка данных об активных и пассивных географических объектах (сбор данных, их группировка, первичная классификация объектов, их растеризация и/или векторизация);
- 3) построение моделей пространственных или атрибутивных данных;
- 4) хранение полученных данных о текущей пространственной ситуации;
- 5) транспортировка полученных данных по компьютерным сетям и/или на физических носителях;
- 6) геоинформационный анализ и картографическое моделирование пространственной ситуации (вторичная обработка данных);
- 7) представление результатов анализа и моделирования;
- 8) верификация и коррекция результатов.

Эффективность извлечения и представления оператору АСДПП результатов вторичной обработки существенно зависит от совершенства описания предметной области, в которой функционирует ПК на концептуальном, логическом и физическом уровнях с учетом специфики географических данных. Эффективность обработки вторичной информации в

результате реализации ИТ прямо определяется качеством онтологии предметной области, к которой относится некоторый класс пространственных ситуаций. Онтология – это система понятий, характеризующих предметную область, и отношений между ними.

Прикладные ИТ ПК для АСДПП являются [41, 42] инструментальным средством, обеспечивающим для описания географического объекта двух различных видов информации, имеющих пространственный и описательный характер. В зависимости от своего назначения прикладная ИТ для ПК ситуационного управления в АСДПП может быть направлена либо на обработку пространственной, либо описательной информации. В последнее время исследуются возможности интеграции этих двух видов информации и создания интегрированных прикладных ИТ. Ясно, что как для базовых, так и для прикладных ИТ ПК АСДПП в основу их разработки должны быть поставлены адекватные онтологии описания предметных областей их применения.

Реализация базовых и прикладных геоинформационных технологий обеспечивается в рамках соответствующих ГИС, которые являются [42, 44, 48] программными комплексами, обеспечивающими сбор, обработку, хранение и визуализацию различной картографической информации для ее анализа, оценки и моделирования. При этом необходимо отметить, что собственно ГИС реализует базовые ГИТ, а прикладные ГИТ обеспечивают функционирование систем геоинформационной поддержки принятия решений при управлении (диспетчеризации) пространственными процессами. Названные системы поддержки принятия решений могут быть, как встроены в ГИС, так и сопрягаться с ГИС в интересах решения задач диспетчеризации пространственных процессов. Структурная схема типовой ГИС в составе ПК АСДПП ситуационного управления на авиатранспорте представлена на рисунке 1.1.7.

В ходе первичной обработки поступившие на вход ГИС разнородные данные корректируются и частично унифицируются, в результате чего формируется унифицированное подмножество данных, часть которых хранится в виде архивов. Первичная обработка связана с решением задач распознавания, структуризации, декомпозиции, компоновки, изменения, сжатия, контроля и унификации [44, 48]. Вторичная обработка данных включает: анализ унифицированной информации, установление связи между частями модели пространственной ситуации, устранение избыточности за счет исключения иррелевантной информации, определение первичных и внешних ключей, формирование метаданных.

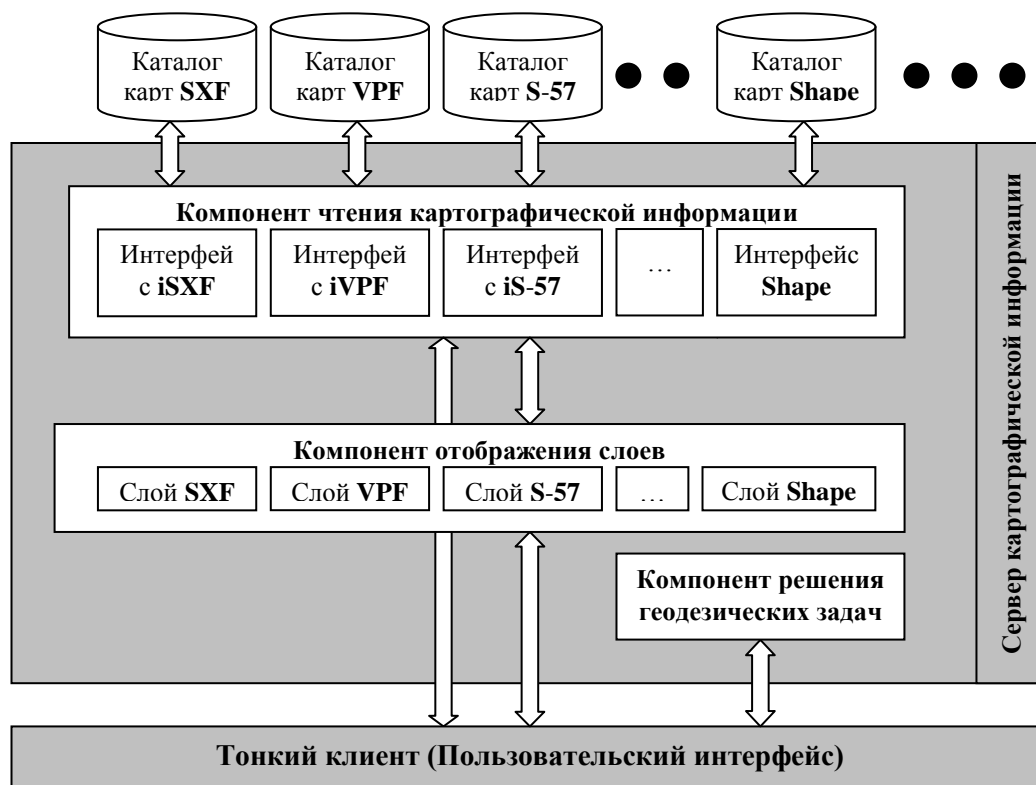


Рисунок 1.1.7 – Структурная схема типовой ГИС в составе ПК для АСДПП

Инструментальные средства ГИТ, реализуемые в рамках современных ГИС, базируются на традиционных ГИС-технологиях и на технологиях обработки данных радиолокационного освещения обстановки и дистанционного зондирования [48]. В настоящее время созданы предпосылки для объединения названных технологий (ERDAS, Imagine, ER-Mapper,

EASI/PASE). Практическая реализация промышленно выпускаемых (серийных) ГИС для нужд диспетчеризации осуществляется на всех компьютерных платформах от ПЭВМ, обычно совместимых с IBM PC или Macintosh, до суперсерверов и почти для любых операционных систем. К настоящему времени для специализированных ГИТ разработано несколько тысяч ГИС-пакетов, а для ГИС общего назначения не более 20, которые ориентированы на рабочие станции с операционной системой UNIX. В работах [41-44] дан обзор современного рынка ГИС, которые нашли свое применение в ПК АСДПП на транспорте и смежных сферах.

С помощью перечисленных инструментальных средств реализуется функциональность представления пространственно-географических данных. Кроме пространственных данных диспетчеру в АСДПП предоставляются и описательные (атрибутивные) данные, ассоциированные с географическими объектами пространственной ситуации. Набор атрибутов для каждого географического объекта хранится в файле данных (атрибутивной таблице). При этом пространственный объект и относящаяся к нему запись в таблице связываются по уникальному идентификатору, образуя соединение типа «один – один».

Эффективность эксплуатации ПК АСДПП с точки зрения возможностей анализа пользователем пространственных ситуаций, определяется во многом степенью интеграции пространственных и атрибутивных данных. ПК с использованием растровых ГИС имеют столь простую организацию, что сама модель данных (онтология) дает относительно полное описание предметной области и не требует специальных приемов по интеграции пространственных и атрибутивных данных на концептуальном, логическом и физическом уровнях. ППО с использованием векторных ГИС требуют специальной организации пространственных и атрибутивных данных на концептуальном, логическом и физическом уровнях. При этом используют три вида моделей данных [44, 48]: геоинформационную, интегрированную и объектно-ориентированную. В геоинформационной модели пространственная и атрибутивная части

организованы самостоятельно, а связи между ними устанавливаются и программно поддерживаются через идентификатор объекта. Интегрированная модель предусматривает использование средств систем управления базами данных (СУБД) для хранения пространственной и атрибутивной компонент. Объектно-ориентированная модель включает язык пространственных запросов и требует объектно-ориентированного доступа, как к БД, так и к выполняемым операциям обработки данных.

В состав подсистем типовой архитектуры ПК АСДПП, представленной на рисунке 1.1.5, входит набор базовых средств, обеспечивающих реализацию следующих групп функций: выполнение арифметических и геометрических операций, сетевой анализ, анализ наложений, выделение географических объектов в новый слой картографической модели и операции работы с полями баз данных. Перечисленные группы функций позволяют диспетчеру осуществлять анализ сложившейся пространственной ситуации. Процедуры анализа пространственных ситуаций, как правило, предшествуют процедурам выработки вариантов решений по поведению активных объектов, являющихся элементами пространственной ситуации. В качестве основного базового средства существующем ПК АСДПП, обеспечивающего автоматизированную генерацию конкурирующих вариантов решений, обычно рассматривают картографическое моделирование [41,42,48]. Это процесс использования комбинаций запросов (команд) пользователя и ответов на вопрос о параметрах пространственной ситуации, особенно о тех, которые угрожают безопасности перемещения активных объектов. Математическая сложность, как постановки, так и решения задачи обеспечения безопасности (безаварийности) активных объектов в конкретной пространственной ситуации в большинстве случаев приводит к приближенным решениям в ходе диспетчеризации пространственных процессов, даже при использовании современных вычислительных средств. Картографические модели в ПК ситуационного управления АСДПП позволяют:

1) иллюстрировать (описывать) сложившуюся пространственную ситуацию выделением некоторых объектов или параметров и показом результатов в виде, позволяющим пользователю в целом охватить эти объекты (параметры) и установить их взаимосвязи;

2) прогнозировать пользователю развитие пространственной ситуации, определять факторы, влияющие на это развитие, и устанавливать функциональную и пространственную связь между этими факторами.

Как описательные, так и прогнозные картографические модели разрабатываются на основе:

- индуктивного метода – движение от состояния конкретных элементов пространственной ситуации к общему утверждению о ее развитии, особенно с позиций безопасности, действующих в ее рамках активных объектов;

- дедуктивного метода - движение от цели развития пространственной ситуации (безопасности) к отдельным фактам поведения конкретных активных объектов.

На основе указанных методов разрабатывается и отлаживается картографическая модель, а затем начинается этап ее верификации, т.е. проверка адекватности модели реальным процессам, протекающим в конкретной пространственной ситуации. При этом необходимо получить ответы на три вопроса:

1. Действительно ли используемые в модели данные отражают суть моделируемой пространственной ситуации?

2. Корректно ли определено поле значимых факторов модели для представления их реального взаимодействия и правильно ли описывается процесс принятия решений?

3. Является ли конечный результат картографического моделирования приемлемым для диспетчера АСДПП в качестве средства для принятия решений в данной пространственной ситуации?

Исходя из содержания п. 1.1.2, в контексте данного диссертационного исследования, можно сделать следующие основные выводы:

1. В настоящее время проектируется и разрабатывается ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП, реализующие базовые ГИТ. В ходе функционирования таких ПК и реализации ГИТ используются следующие виды информации, участвующие в картографическом моделировании пространственных ситуаций на земле, на воде и в воздухе: о географических объектах, метрическая, пространственная и описательная (атрибутивная).

2. В типовую структуру ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП входит ряд подсистем, основными из которых являются подсистемы первичной и вторичной обработки картографических и пространственных данных, их визуализации в интересах пользователя. ГИТ реализуется с использованием комплекса инструментальных средств, базирующихся на всех компьютерных платформах от ПЭВМ до рабочих станций почти для всех операционных систем.

3. В состав ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП так же входит набор базовых средств, обеспечивающих выполнение ряда групп функций: выполнение арифметических и геометрических операций, сетевой анализ, анализ положений, выделение объектов пространственной ситуации в новый слой и операции работы с полями баз данных. Перечисленные функции позволяют диспетчеру проводить анализ пространственной ситуации, который предшествует процедурам принятия управленческих решений.

4. В ходе создания ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП разрабатываются и отлаживаются картографические модели, которые позволяют иллюстрировать пользователю сложившиеся пространственные ситуации, осуществлять анализ ситуаций и принятие управленческих решений. Одной из главных задач при разработке

картографических моделей является их квалитетический анализ и верификация.

Одним из направлений повышения эффективности эксплуатации промышленно производимого ПО для АСДПП на авиатранспорте является разработка и внедрение в процесс его проектирования методов и средств оценки, и контроля качества. В этой связи необходимо проанализировать возможности методов, моделей и методик оценки качества, и результативности ПК автоматизированных систем ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте, применяемых в выше описанных АСДПП.

1.2 Результативность и качество программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами

1.2.1 Соотношение понятий результативности и качества комплексов программного обеспечения

Качество как сложное свойство того или объекта, обуславливающее его пригодность для использования по назначению, применительно к ПК ситуационного управления в АСДПП, определяется как степень удовлетворения соответствующей совокупности потребностей [26]. Совокупность таких потребностей потенциальных потребителей (авиадиспетчеров, эксплуатантов, в конечном итоге, потребителей транспортных услуг) на практике представляется как иерархическая система свойств указанных ПК, выступающих в качестве показателей квалиметрической оценки. Свойства могут быть как простыми, т.е. свойствами, которые нельзя представить в виде некоторой совокупности других свойств, так и сложными, т.е. представимыми виде некоторой совокупности свойств ПК. Одним из сложных свойств характеризующих пригодность ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП является их результативность. Согласно [31-33, 136], результативность ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП является сложным свойством, представимым группой более простых, но измеримых (количественно оцениваемых) свойств. Это, прежде всего, такие составляющие результативности свойства: экономичность, прибыльность, производительность, действенность, условия трудовой деятельности эксплуатантов, нововведения и др. Составляющие результативности являются количественными характеристиками, т.е. описаниями свойств ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП с помощью некоторой переменной, значения

которой характеризуют уровень или интенсивность этих свойств. Такую переменную традиционно называют величиной.

Таким образом, правомочно рассматривать качество ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП как более общее свойство и понятие по отношению к результативности указанных комплексов. Верно и обратное: результативность выступает одним из сложных свойств, композиционно формирующих более сложное понятие (свойство) – качество ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте.

1.2.2. Методы повышения результативности ситуационного управления для улучшения качества программных комплексов АСДПП

Повышение результативности и всех ее составляющих применительно к программному обеспечению, моделирующему процессы управления пространственными явлениями, событиями и подвижными объектами базируется на использовании соответствующих квалиметрических методов оценки, анализа и совершенствования этого вида обеспечения вычислительного процесса. Вопрос применимости тех или иных методов и моделей для оценки прикладного программного обеспечения вообще, и ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте для АСДПП, в частности, является сложным и многоплановым. Многие научные школы по-разному трактуют базовые термины самой теории оценки и анализа качества. В данной работе автор использует определения, опирающиеся на классическую парадигму квалиметрии, и для избежания терминологических неточностей самостоятельно формулирует используемые базовые понятия на основе [23-36] в соответствующем глоссарии в завершающей части диссертационной работы.

Особым вопросом, требующим пояснения, является вопрос определения критериев оценки программных комплексов ситуационного управления в автоматизированных системах диспетчеризации. Традиционно, критерий

оценивания свойства, будь то результативность или качество, в целом, это правило, с помощью которого определяют соответствие интенсивности свойства предъявляемым требованиям.

Для того чтобы показатели и критерии можно было применять при оценивании результативности и качества программных комплексов ситуационного управления в автоматизированных системах диспетчеризации, они должны удовлетворять следующим требованиям [49, 50]:

— *соответствия*. Показатель должен позволять измерять интенсивность оцениваемого свойства, а критерий обеспечивать проверку соответствия свойства предъявляемым требованиям;

— *полноты*. Показатель должен учитывать достаточное число факторов, влияющих на интенсивность проявления свойства;

- *устойчивости*. Малому изменению факторов, влияющих на интенсивность проявления свойства, должно соответствовать малое изменение значения показателя свойства;

— *чувствительности (критичности)*. Показатели и критерии оценивания свойства должны быть чувствительны к изменению факторов, влияющих на интенсивность оцениваемого свойства и нечувствительны к изменению факторов, не оказывающих такого влияния;

— *реализуемости (вычислимости)*. Показатели и критерии оценивания свойств должны иметь такие математические выражения, чтобы по ним реально можно было вычислить значения показателя и оценить свойство;

— *правильного учета неопределенности*. Показатели и критерии оценивания свойств должны правильно учитывать вид и степень неопределенности, которая всегда сопровождает проявление и оценивание свойств. Данным требованием определяется выбор детерминированных, вероятностных или иных мер в качестве показателей, а пренебрежение им может привести к оценкам, весьма далеким от истинных.

Для формирования критериев оценивания необходимо задать требования к показателям оцениваемых свойств. В настоящее время существуют несколько подходов к решению данной задачи:

- *экстремальный*. При таком подходе показатель каждого оцениваемого свойства должен достигать своего экстремума;
- *на основе сравнении с эталонным образцом*. В этом случае требования задают в виде отношений значений показателей свойств оцениваемого объекта и эталонного образца;
- *эмпирический (на основе экспертных оценок)*. Требования к значениям показателей свойств формулируют на основе результатов обработки данных опроса экспертов;
- *на основе анализа качества и эффективности применения ППО АС*. В этом случае требования к оцениваемым свойствам формируют исходя из требований к совокупному качеству ППО или эффективности его применения. При этом используются соответствующие методы квалиметрии и теории эффективности.

В данной работе применен комбинированный подход к обоснованию к показателям оцениваемых свойств, существо которого будет раскрыто во второй главе.

Помимо требований к показателям и критериям необходимо сформулировать общие требования, объективно предъявляемые к процессу оценивания качества ПО в целом. Данный процесс должен позволять:

- получать результирующее предписание о степени удовлетворения потребностей в соответствии с назначением;
- проводить сравнение аналогичных по назначению программных моделей, средств или систем (продуктов), входящих в ПО, на предмет более лучшего удовлетворения потребностей потенциального пользователя;
- определять аномалии качества в ходе развития (совершенствования) программных моделей, средств или систем (продуктов), входящих в ПО автоматизированных систем управления и диспетчеризации.

Указанные возможности в той, или иной мере, обеспечиваются известными методами оценки качества и результативности программного обеспечения, нашедшими свое применение при разработке и внедрении ПО. Однако ни один из этих методов не ориентирован на использование в технологическом процессе разработки ПК ситуационного управления для АСДПП, не учитывает специфику и характеристические особенности данного вида программного обеспечения, специфику используемой исходной информации для оценки. Именно этот факт определяет необходимость анализа процесса разработки ПК ситуационного управления для АСДПП, а так же существующих методов оценки качества прикладного программного обеспечения автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов [146].

Современные методы повышения результативности ситуационного управления для улучшения качества программных комплексов АСДПП исходят из когнитивно-адаптивной модели [93] выработки решений в процессе ситуационного управления упрощенно представленной на рисунке 1.2.1.



Рисунок 1.2.1 – Упрощенное представление модели выработки решений при ситуационном управлении

В современных условиях разработка программных комплексов реализующих принципы ситуационного управления пространственными процессами для АСДПП авиатранспортом осуществляется в рамках традиционных процедур менеджмента качества. Однако, конкретизированный выбор инструментов контроля и улучшения качества указанных ПК, детальных процедур обеспечения требуемого уровня результативности ситуационного управления во многом определяется как программно-технологическими парадигмами разработки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспорта, так и базовыми научными методами, и моделями ситуационного управления, положенные в основу этих программных комплексов. В таблице 1.2.1. показано соответствие, определяющие комбинаторное влияние научных методов и подходов ситуационного управления на использование соответствующих нормативно-методических средств менеджмента качества, средств повышения результативности.

Следовательно, повышение результативности ситуационного управления сегодня следует рассматривать как базовый фактор улучшения качества программных комплексов АСДПП, что диктуется экспоненциальным ростом интеллектуально-управленческой нагрузки на диспетчеров. Методами такого повышения выступают методы последовательного квалиметрического оценивания, анализа и совершенствования соответствующего ПО в процессе его разработки: от логико-математической постановки до внедрения в эксплуатацию. Содержание таблицы 1.2.1. наглядно показывает уровень обеспеченности базового технологического процесса создания ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом нормативно-методическим инструментарием обеспечения результативности и менеджмента качества. Однако, основная линейка стандартов, регламентирующих создание и обеспечение качества программных и информационных средств (продуктов), таких как: семейство международных стандартов серии SQueaRI (Software Quality Requirement and Evaluation) и их отечественные аналоги: ГОСТ Р ИСО

25010 -2015 [33], ГОСТ Р ИСО 27000 -2015 [34] и пр. не учитывают специфики функционирования программных комплексов реализующих принципы ситуационного управления.

Таблица 1.2.1 - Соответствие научных методов и моделей ситуационного управления, видам программных технологий реализации и используемых для менеджмента их качества нормативно-методических средств

Базовые научные методологии, методы и модели ситуационного управления, положенные в основу ПК ситуационного управления	Программные технологические парадигмы разработки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспорта	Основные акты по управлению качеством (нормативно-технического регулирования) используемые при проектировании, разработке, комплексировании ПК ситуационного управления авиатранспортом
1. Ситуационный менеджмент (Г. Джекобсон, Л. Льюис и др.), Ситуационное управление (Д.А. Поспелов, Г.С. Осипов и др.)	Системы символьных рассуждений: системы основанные на знаниях, экспертные системы.	ГОСТ 28806 -90 [32] ГОСТ 15971-90 [31] ГОСТ 34.201-89 [24] ГОСТ 34.601-90 [25] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [27]
2. Методы ситуационной семантики (М.К. Смит, М. Парвис, Р.М. Юсупов и др.)	Распределенные сетевые системы гибридного интеллекта.	ГОСТ Р ИСО 25010 -2015 [33] ГОСТ Р 51904-2002 [29] ГОСТ 2.601-95 [23]
3. Методология интеграции и слияния информации в интересах анализа, моделирования и разрешения ситуаций; Ситуационные вычисления (Ф.Пирри, Р.Рейтер и др.)	Программные системы многоуровневой интеллектуальной обработки и слияния информации	ГОСТ Р ИСО/МЭК 15910-2002 [30] ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 [28] ГОСТ Р ИСО/МЭК 15 288-2005 [35] ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 - 2010 [36] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [27] ГОСТ Р ИСО 25010 -2015 [33]
4. Методы сетицентрического представления и управления (Д. Буффорт, М. Братман, В.И. Городецкий, О.В. Карсаев и др.)	Мультиагентные системы и методы анализа, моделирования ситуаций	ГОСТ 28806 -90 [32] ГОСТ Р ИСО 9000-2015 [26] ГОСТ Р ИСО 27000-2015 [34] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [27]
5. Методология когнитивных языков моделирования ситуаций (М. Виссман, Н. Бремер, А.Л. Ронжин и др.)	Нейросетевые решения, системы распознавания ситуаций на нейронных сетях, нейрокомпьютеры.	ГОСТ 34.201-89 [24] ГОСТ 34.601-90 [25] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [27] ГОСТ Р ИСО 25010 -2015 [33]
6. Подход к представлению ситуаций основанный на онтологиях предметных областей (М.М. Кокар, С. Лафонд В.В. Попович, К. Клараунт и др.)	Интегрированные системы искусственной интеллектуальности с многомодальными интерфейсами	ГОСТ 15971-90 [31] ГОСТ 34.201-89 [24] ГОСТ 34.601-90 [25] ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 - 2010 [36] ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [27]

Процедуры обеспечения качества, описанные в выше приведенной нормативной базе, не делают различия между технологическими процессами разработки программных средств на традиционных логико-математических, жестко алгоритмических моделях объекта управления, и программных комплексов ситуационного управления, реализующих адаптивные, «до обучаемые» модели искусственной интеллектуальности. Не возможно учесть

такую специфику и при организации технологического процесса создания ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом опираясь исключительно на новейшие нормативно - регламентные документы менеджмента качества, такие как:

- ГОСТ Р ИСО 9000 – 2015 — аналог ISO 9000-2015, введен в действие 01 ноября 2015 года, утвержден в Росстандарте 28 сентября 2015 года [26];
- ГОСТ Р ИСО 9001 – 2015 — аналог ISO 9001-2015, введен в действие 01 ноября 2015 года, утвержден в Росстандарте 28 сентября 2015 года [27];

по той же причине отсутствия учета специфики реализуемых моделей ситуационного управления и более высокой сложности в программно-информационном представлении объектов предметной области.

Следовательно, можно констатировать наличие объективной, но на сегодняшний день не нашедшей удовлетворения потребности в разработке нормативно-технической базы (семейства стандартов) регламентирующих разработку именно программного обеспечения для комплексов и систем ситуационного управления пространственными процессами авиатранспорта, а так же соответствующих научно-методологических основ. Именно такая нормативно-техническая база позволит обеспечить устойчивый рост результативности ситуационного управления пространственными процессами авиатранспорта и улучшение качества соответствующих ПК для АСДПП.

1.2.3. Учет факторов влияния результативности ситуационного управления пространственными процессами на технологию разработки ПК для АСДПП авиатранспортом

Традиционно технологический процесс разработки прикладного программного обеспечения организовывается по каскадной схеме (модели). Графически существо такой организации техпроцесса показано на рисунке 1.2.2. Однако анализ логической схемы технологического процесса проектирования и разработки ПО для АСДПП наглядно показывает, что его организация фактически ориентирована не на каскадную модель разработки

программного обеспечения, предусмотренную в нормативно-технической документации, а на каскадно-итеративную.

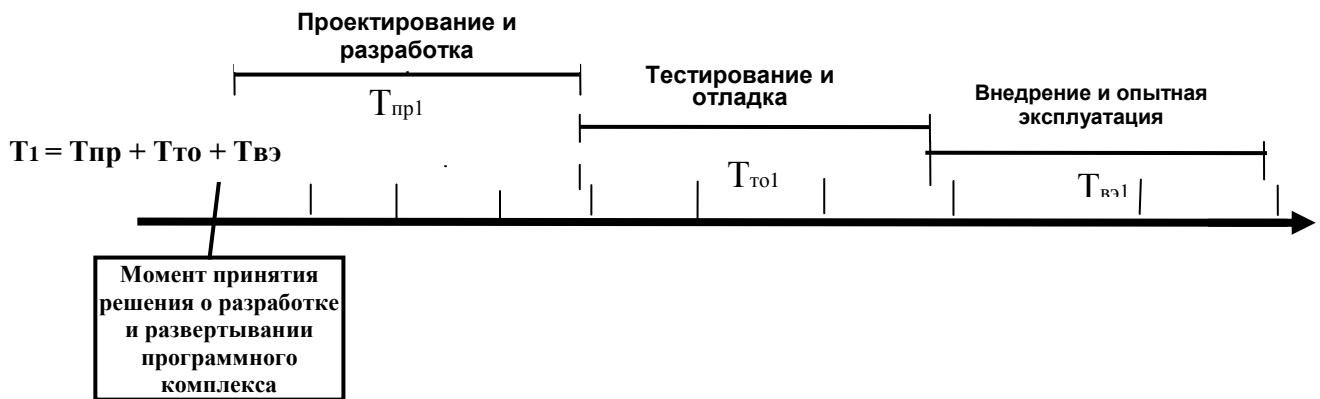


Рисунок 1.2.2 – Логическая схема технологического процесса проектирования и разработки ПО для АСДПП на авиатранспорте

Знакомство же с реальными технологическими процессами разработки ПО для различных автоматизированных систем, а так же с опытом ведущих разработчиков прикладного программного обеспечения (ППО) в [59, 66, 73] позволило прийти к выводу, что в современных условиях проектирование и разработка ПК ситуационного управления для АСДПП осуществляется по спиральной модели. Её существо показано на рисунке 1.2.3. При спиральной модели организации разработки ПК ситуационного управления для АСДПП достижение требуемых результативности и качества разрабатываемого проекта программного обеспечения играет исключительно важную роль, т.к. именно акты квалиметрического анализа определяют итеративность спирали хода разработки. При этом установлено, что выявление системологических ошибок и недостатков на более ранних этапах проектирования и создания ППО для АСДПП, приводит к значительному уменьшению трудоемкости и стоимости разработки (т.к. устранение системологических ошибок проектирования на поздних этапах требует большей переделки уже выполненных работ).

Однако, ранние стадии проектирования характеризуются недостаточностью необходимой исходной информации (информационным дефицитом) для проведения оценки качества ППО АСДПП. Соотношение параметров неопределенности исходной информации и точности оценки трудоемкости

разработки ППО АС известно, как «конус неопределенности Стива МакКоннела» [53], представленный на рисунке 1.2.4.

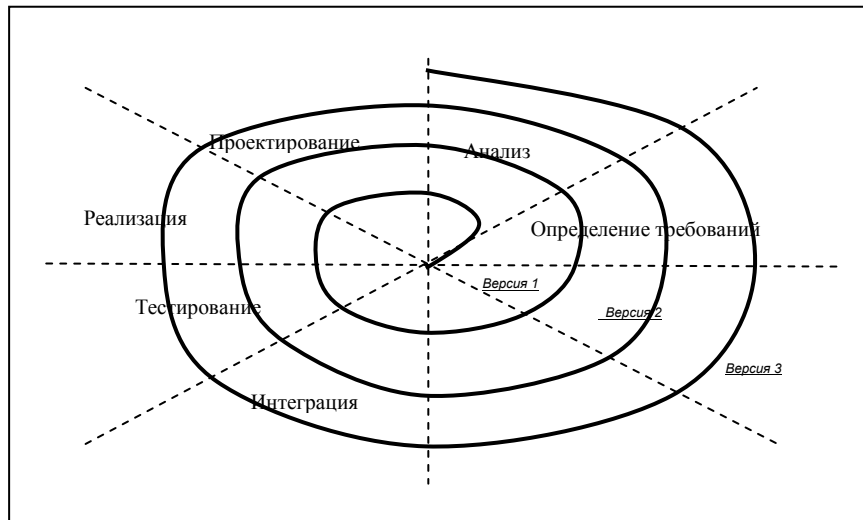


Рисунок 1.2.3 – Актуальная (спиральная) модель разработки ПК ситуационного управления для АСДПП

Чем точнее и результативнее оценка качества, тем эффективнее устраняются системные аномалии развития в ходе совершенствования качества ПО, тем меньше витков-итераций – меньше трудозатрат на разработку программного изделия, а значит выше результативность процесса разработки.

Значение ошибки, допускаемой при оценке
трудоемкости/стоимости разработки

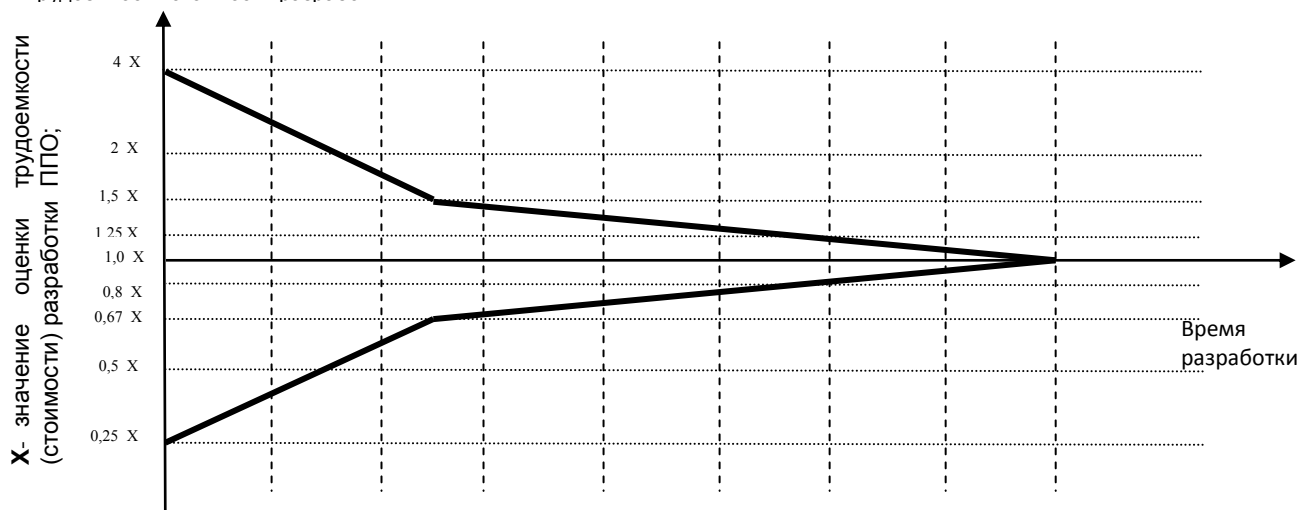


Рисунок 1.2.4 – Соотношение параметров неопределенности исходной информации и точности оценки трудоемкости разработки ППО

Уменьшение числа этих итераций находится в зависимости от адекватности и соответствия оценки и улучшения качества, повышения результативности к сложности самого программного обеспечения.

Очевидно, что объективное усложнение ППО АСДПП, связанное с внедрением в их состав ПК ситуационного управления, произошедшее в последние десятилетия, нарушило баланс указанной адекватности с методами анализа и улучшения качества, совершенствования результативности. В частности, в действующей нормативно-технической базе доминирует не адаптивный подход, опирающийся на жесткие и не релевантные системы показателей, что в частности можно пояснить схемой иерархии показателей качества ПО согласно действующих ГОСТ 28806—90 «КАЧЕСТВО ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ» и ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93, представленных на рисунке 1.2.5. При этом представленная на рисунке 1.2.5 иерархия показателей оценки применима в основном в рамках традиционной схемы управления качеством при разработке традиционного программного проекта для АСДПП.

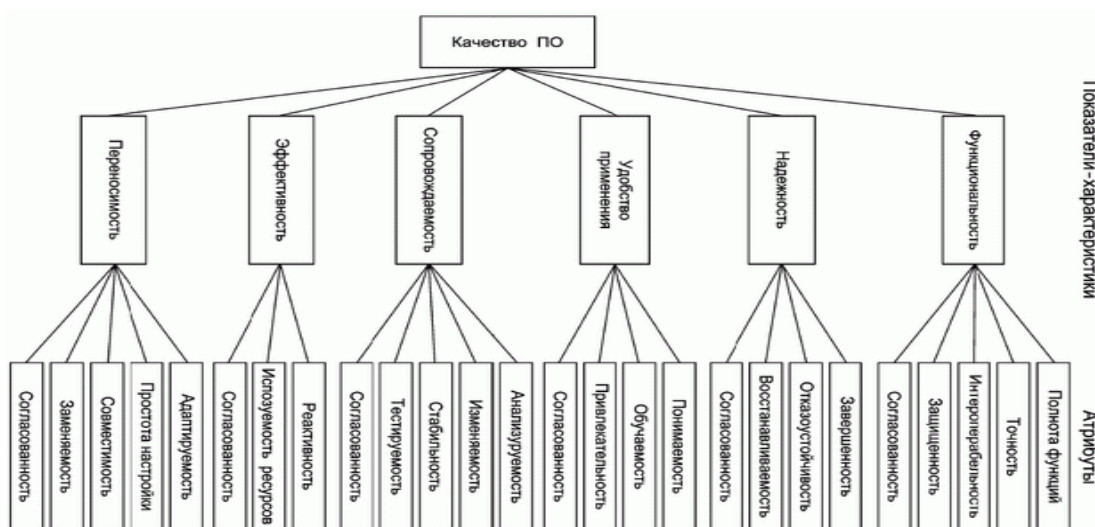


Рисунок 1.2.5 - Иерархия показателей квалиметрической оценки проектов ППО согласно действующих нормативно-технических документов

Учет факторов влияния результативности ситуационного управления пространственными процессами на технологию разработки ПК для АСДПП авиатранспортом заключается в усложнении этой технологии, в необходимости обеспечения адаптивности логики работы создаваемых программных комплексов к условиям различных пространственных ситуаций в

авиатранспорте. Процедуры обеспечения (менеджмента) качества, предусмотренные действующей системой технического регулирования, не в полной мере учитывают выше описанные факторы влияния результативности ситуационного управления пространственными процессами на технологию разработки и итоговое качество указанных программных комплексов. Традиционные методы и процедуры менеджмента качества, по современным представлениям о квалиметрии технологического процесса проектирования и разработки указанного программного обеспечения, остаются не адаптивными, мало дружелюбными, «тяжеловесными». Это выражается в целом ряде объективных недостатков инструментария анализа результативности программных комплексов автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте, реализуемых на принципах ситуационного управления, и улучшения их качества, которые требуют отдельного рассмотрения и анализа.

1.2.4. Анализ путей улучшения качества программных комплексов АСДПП на авиатранспорте за счет повышения их результативности на основе принципов ситуационного управления

Известные методы и средства оценки и улучшения качества программных комплексов АСДПП на авиатранспорте за счет повышения их результативности на основе принципов ситуационного управления необходимо рассматривать в непрерывной связи с этапами в развитии самой идеологии ситуационного управления пространственными процессами, определенной в [66-68, 93]. Эта необходимость обосновывается тем, что представления об уровне и значимости качества программных комплексов АСДПП, о существовании понятия «результативность ситуационного управления» менялись по мере развития технологий программирования, совершенствования методов и средств представления, и моделирования геопространственных ситуаций, а так же создания (комплексирования, развертывания и пр.) самих автоматизированных систем диспетчеризации. На рисунке 1.2.6 в сводном виде представлен контур ситуационного управления геопространственными процессами в АСДПП

авиатранспорта, т.е. показана логическая организационно-техническая надсистема, в рамках которой реализуют свою функциональность программные комплексы ситуационного управления пространственными процессами. Очевидно, что те значимые логико-функциональные элементы контура ситуационного управления, которые приведены на рисунке 1.2.6 и являются теми элементами повышения результативности представленной системы, как базовой основы для улучшения качества современных и перспективных АСДПП, в целом.

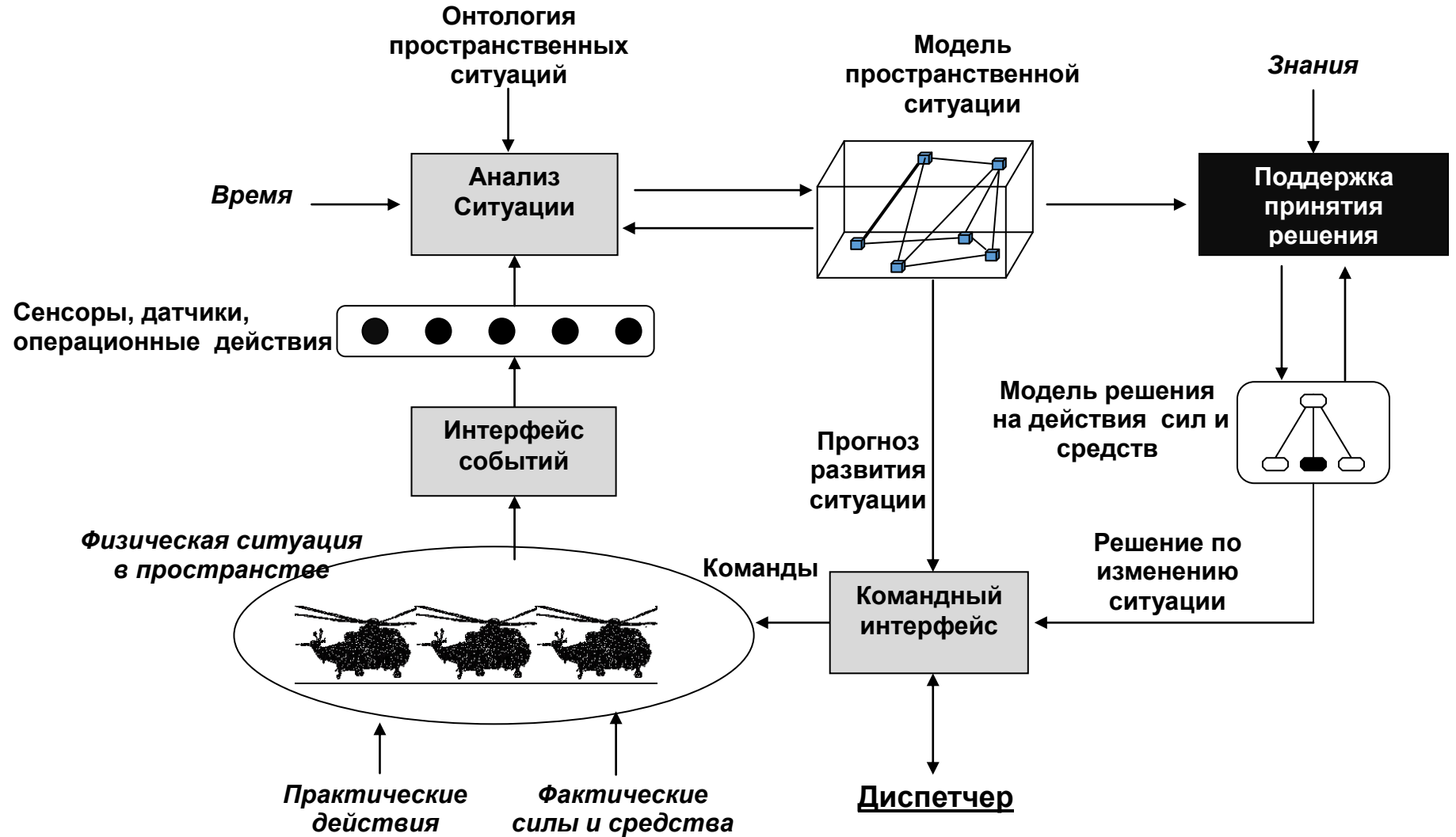


Рисунок 1.2.6 – Обобщенное представление логики функционирования контура ситуационного управления геопространственными процессами в АСДПП авиатранспорта

Результативность, согласно [26], есть степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов. Традиционно принято выделять такие составляющие результативности как: экономичность, прибыльность, производительность, действенность, условия трудовой деятельности, нововведения. Указанные составляющие не имеют однозначных и строго стандартизированных определений, в силу чего различные специалисты в квалиметрии, такие как [3, 12, 13, 37, 38, 50, 115], определяют и интерпретируют их по-разному. Определяющим фактором в понимании и прикладной интерпретации указанных составляющих результативности является используемый методологический инструментарий оценки значений приведенных показателей, как составляющий результативности. Анализ существующих и используемых методов и средств оценки прикладного программного обеспечения вообще, и ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспорта, в частности, показывают следующие основные тенденции в развитии соответствующей группы методологического инструментария:

1. По мере усложнения концепций и технологий проектирования и разработки ПО для АСДПП оценка все менее становилась объективно-обусловленной данными измерений параметров программ, т.к. в силу ограниченности числа параметров программы, которые можно измерить (число операторов, число операндов и пр.) крайне мало множество характеристик, рассчитываемых по измеряемым параметрам. Современные методы оценки опираются на использование субъективных и качественных или не четких количественных (бальных, относительных, вероятностных и пр.) мнений экспертов. При этом широко используются процедуры повышения объективности (математико-статистическая обработка, процедуры экспертного опроса и пр.)

2. Усложнение реализуемых логико-информационных моделей в ПК ситуационного управления для АСДПП, экспоненциальный рост технологических возможностей современных и перспективных

информационных технологий, используемых при разработке указанного программного обеспечения, структурное усложнение соответствующих программных продуктов объективно ведет к тому, что методы оценки таких ПК все в большей степени становятся не средствами вынесения конечного заключения о качестве того или иного программного средства, а средствами поиска аномалий в его развитии в ходе процессов проектирования и разработки.

3. Внедрение т.н. методов менеджмента качества в технологический процесс разработки программного обеспечения для АСДПП авиатранспорта не отменяет необходимости методов непосредственной оценки производимого программного средства. При этом сам факт широкой применимости и эффективности качественно-организационных методов менеджмента качества в софтверной индустрии 90-х годов 20 века и в начале 21 века говорит об объективном доминировании качественных методов непосредственного оценивания ПО. Это относится как к основополагающим ГОСТ Р ИСО 9000-2015, ГОСТ Р ИСО 9001-2015, ГОСТ Р ИСО 9004-2010, так и к основным специализированным стандартам: ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010-2015, ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000-2015, ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504, ГОСТ Р 51189-98, ГОСТ РВ 0015-002-2012 и др. Этот факт обусловлен тем, что процесс оценки качества разрабатываемого программного обеспечения сегодня рассматривается не как высокоточный процесс для выработки итогового вывода о применимости созданного ПК для АСДПП, а как некоторый ориентировочный инструментарий для избежания грубых просчетов и системных ошибок.

Ориентировочность такой оценки компенсируется как итеративностью самого оценивания, так и неизбежностью цикличности технологического процесса разработки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспорта. Иными словами, основной тенденцией в развитии методов и средств оценки качества программного обеспечения вообще, и ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспорта, в частности, является

поиск баланса между объективностью, точностью оценок с одной стороны, и их практической пригодностью, представительностью (содержательной репрезентативностью) с другой стороны. На практике это означает все большее понимание того факта, что оценка показателей качества, в т.ч. результативности и ее составляющих, всегда должна удовлетворять требования технологического процесса разработки ПК по всестороннему охвату всех характеристик, влияющих на его потребительские свойства, но при этом необходимо обеспечить приемлемый уровень достоверности (в данном контексте - объективности) оценки. Следовательно, и математический аппарат обработки исходных данных оценивания должен быть направлен прежде всего на обеспечение указанной достоверности в условиях использования в качестве исходных данных суждений экспертов.

Выявленная тенденция является главным мотивом в интерпретации составляющих результативности ситуационного управления пространственными процессами как путей (направлений) улучшения качества соответствующих программных комплексов для АСДПП авиатранспортом. Конструктивным элементом такой интерпретации является рассмотрение соответствующих составляющих результативности ситуационного управления пространственными процессами авиатранспорта как некоторых сложных характеристик отображаемых на множество показателей качества программных комплексов в составе соответствующих АСДПП. Предметное существо такого отображения показано в таблице 1.2.2. Эта таблица позволяет наглядно обосновать состав и существо научных результатов, разрабатываемых в данной работе, а так же логически их увязать в рамках единого методологического инструментария, выносимого в заглавие данной работы.

Методологически-обобщающим научным результатом выступает единая научно-методическая концепция улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента.

Таблица 1.2.2 – Интерпретация составляющих результативности ситуационного управления пространственными процессами как основы улучшения ПК АСДПП

№п/п	Показатели, составляющие результативность ситуационного управления согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2015	Интерпретация в показателях качества ПК АСДПП, согласно ГОСТ Р ИСО 25010 - 2015; ГОСТ Р 27000 - 2015; ГОСТ 34.601-90.	Методологический (научно-методический) инструментарий улучшения качества ПК АСДПП	№ НР
1.	Экономичность	Экономичность разработки; Ресурсоемкость.	Для улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте	7.
2.	Прибыльность	Применимость; Точность; Полезность; Эффективность использования; Согласованность; Стабильность.	Для комплексной оценки эффекта от совокупности характеристик программных комплексов ситуационного управления, применяемых в предметной области пространственных процессов на авиатранспорте.	4.
3.	Производительность	Организованность; Применимость; Совокупная затратность; Эффективность владения.	Для оперативного анализа изменений степени соответствия характеристик протекания авиационного пространственного процесса, требованиям присущим эталону.	2.
4.	Действенность	Полнота функций; Адаптивность; Применимость; Анализируемость результатов.	Для комплексной оценки обеспечиваемых показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте.	3.
5.	Условия трудовой деятельности	Робастость; Институциональность; Эргатичность; Интерфейс-дружелюбность; Связность.	Для репрезентации вербальных оценок показателей качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте	5.
6.	Нововведения	Потребительские свойства ПК, как програм. продуктов: Надежность; Структурированность; Дополняемость и пр.	Для повышения потребительских свойств программных комплексов ситуационного управления, как программных продуктов.	6.
7.	<i>Обобщающая концепция:</i> модель улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента.			1.

1.3 Конкретизация научной проблемы, постановка цели и частных научно-технических задач исследования

Современные научно-методологические основы улучшения качества программных комплексов диспетчеризации авиатранспорта на основе методов повышения результативности ситуационного управления пространственными процессами формируются на базе научных результатов теории ситуационного менеджмента и методов разработки программных приложений работы с геопространственной информацией, теории сложных систем, методов системного анализа, принципов системного подхода и достижений современной геоинформатики. Вместе с тем, на основе материала п. 1.2. необходимо констатировать, что единой, взаимосвязанной квалиметрической теории результативности ситуационного управления пространственными процессами и улучшения соответствующих программных комплексов не существует. Научно-методологические основы столь сложного процесса как улучшение качества программных комплексов АСДПП строго не структурированы и формируются по междисциплинарному принципу, во многом носят несистемный характер. Именно этим определяется эмпирический путь развития многих современных прикладных программно-информационных технологий ситуационного управления пространственными процессами.

Анализ по основным положениям публикаций, освещающих проблематику квалиметрического улучшения ПК АСДПП, соответствующих систем и приложений ситуационного управления геопространственными процессами [6,11-13,19-22,37-44,46,47,49-51,58-61,66-69,74,93,94,106], выполненный в ходе диссертационного исследования, позволяет сделать вывод о том, что среди составных частей, входящих в состав современного программного обеспечения управления пространственными процессами, реализуемыми в составе АСДПП, наибольшим разнообразием отличается подсистема интеллектуальной поддержки диспетчера, реализуемая на базе ПК

ситуационного управления. Именно в выработке систематизированного и научно обоснованного подхода к выбору и сочетанию методов, форм и средств улучшения качества таких ПК, в рамках процесса построения АСДПП, заключается исследовательская сущность решаемой в данной диссертационной работе проблемы. В свою очередь этот факт диктует необходимость выработки новых научно-обоснованных подходов к развитию соответствующих технологий улучшения качества ПК ситуационного управления на основе наращивания их результативности. Необходимо указать, что на сегодняшний день в практике разработки ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспорта сложилось определенное виденье вопросов взаимосвязи и соотнесения подходов, средств, форм совершенствования их результативности и качества. Однако, существующая система методов и средств во многом носит эмпирический характер, не обеспечивает должной эффективности процесса улучшения качества ПК АСДПП, а как следствие сдерживает качественное развитие автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта, в целом.

В диссертационной работе анализ функционирования и развития методов и средств повышения результативности ситуационного управления для предметной области диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта позволил выделить ряд основных теоретических направлений, по которым исследование специфики проектирования и создания интеллектуальных систем (в частности, систем ситуационного управления) может позволить добиться улучшения качества технических и технологических решений, принимаемых в ходе создания соответствующих программных комплексов, при построении автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта, т.е. получить значимые в теоретическом и практическом отношении научные результаты. К таким основным направлениям исследований специфики обеспечения качества интеллектуальных подсистем (систем ситуационного управления, основанных

на знаниях) и их приложений для АСДПП в диссертационной работе отнесены следующие:

- методология оценки и повышения результативности интеллектуальных систем и прикладных программных средств интеллектуальной поддержки;
- методы и прикладные технологии интеграции средств ситуационного управления в состав сложных программных систем (в частности, ПК АСДПП);
- гармонизация, интеграция и слияние данных в ПК ситуационного управления;
- применение концепций и методов ситуационного менеджмента при наращивании результативности АСДПП;
- методология репрезентации и формализации знаний для интеллектуальных систем и комплексов ситуационного управления;
- квалиметрия и совершенствование компонент интеллектуализации в составе ПК АСДПП авиатранспортом.

Указанные направления исследования специфики повышения результативности ситуационного управления должны быть использованы для обоснованной разработки, систематизации и обобщения методологических основ улучшения качества ПК АСДПП при их проектировании, создании и внедрении. Научный характер проводимого диссертационного исследования определяется общностью получаемых научных результатов для предметной области совершенствования результативности ситуационного управления авиатранспортом в интересах качества автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов, обобщением совокупности практических методик и технологий улучшения интеграции средств, и методов искусственного интеллекта в создаваемые программно-информационные системы диспетчеризации.

Таким образом, анализ современных научно-методологических основ повышения результативности ситуационного управления и улучшения качества соответствующих ПК АСДПП авиатранспортом позволяет:

- установить объективно существующую противоречивость и недостаточную разработанность указанных научно-методологических основ;
- определить основные направления исследования специфики повышения результативности ситуационного управления, с целью научно обоснованной разработки, систематизации и обобщения ряда методологических основ улучшения качества ПК АСДПП авиатранспортом.

Обобщение результатов базовых исследований в области проблематики результативности ситуационного управления и качества соответствующего программного обеспечения на современном этапе, а так же их методологических основ позволяет перейти к анализу основных противоречий в проблеме улучшения качества программных комплексов диспетчеризации авиатранспорта на основе методов повышения результативности ситуационного управления пространственными процессами, необходимость разрешения которых диктуется выбором объекта и предмета диссертационного исследования.

Процесс улучшения качества программных комплексов диспетчеризации авиатранспорта на основе методов повышения результативности ситуационного управления пространственными процессами как сложный наукоемкий процесс развития соответствующей совокупности квалиметрических методов и технологий не является строго упорядоченным и гармоничным, иными словами, ему присущ ряд объективных противоречий. Обобщенно основные технологические противоречия в процессе улучшения качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом можно представить в виде следующих групп:

А. Группа противоречий в рамках двух традиционных научных направлений, на которых базируется настоящее диссертационное исследование:

А.1 Противоречия присущие методам и процедурам наращивания результативности ситуационного управления пространственными процессами (проблема «бутылочного горлышка» в представлении формализованных знаний; проблема «фасада» экспертов и пр.).

А.2 Противоречия процессам улучшения качества программного обеспечения для систем диспетчеризации различных классов (использование различных моделей Земли с различной степенью корректности (эллипсоид Крассовского, WGS-84, эллипсоид PZ-90, геоид и пр.), условность географических границ для пространственных процессов (переход устья реки в море; динамика береговой черты во времени для зон приливов и отливов; и пр.).

Б. Группа противоречий связанных с новым качеством ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом:

Б.1 Противоречия в области интеграции геопространственных данных и средств ситуационного управления;

Б.1.1 Противоречия в области интеграции ГИС-интерфейса и машины логического вывода.

Б.1.2 Противоречия в области интеграции, гармонизации, слиянии формализованных и географических данных.

Б.1.3 Противоречия в области ситуационного характера знаний о геопространственных процессах.

Б.1.4 Противоречия в области интеграции знаний о геосреде и предметных знаний.

Б.2 Противоречия в области универсальности технологических решений по улучшению качества ПК с использованием средств ситуационного управления в их составе.

Содержательный анализ сущности и особенностей указанных основных групп технологических противоречий позволил определить главную тенденцию в улучшении качества программных комплексов диспетчеризации авиатранспорта на основе методов повышения результативности

ситуационного управления пространственными процессами. Она состоит в преодолении эмпирического характера большинства отдельных технологических решений с целью обеспечения эффективного уровня технологичности в улучшении качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом. Именно в рамках этой тенденции выявлено основное противоречие, определяющее актуальность темы данной диссертационной работы.

Разработка ПК ситуационного управления для автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов в настоящее время представляет собой достаточно сложный и наукоемкий вид деятельности, связанный с необходимостью моделирования не только пространственных процессов как таковых, но и соответствующих подсистем мониторинга, сопутствующих гидрометеорологических, физических и пр. процессов. Развитие современных технологий и возможностей вычислительной техники предопределило внедрение в состав ПК ситуационного управления средств и методов искусственного интеллекта. Одной из основных особенностей построения современных автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов является неуклонное возрастание той части задач, в которых выработка рекомендаций ЛПР для принятия решений возлагается на средства прикладного программного обеспечения. Именно этот факт диктует необходимость разработки целостного теоретического аппарата (научно-обоснованных методологических основ и технологических решений) системного и поэтапного улучшения качества ПК ситуационного управления для АСДПП. Однако, стремительное развитие современной экономики, бурный рост интенсивности авиатранспортных потоков и других пространственных процессов, изменение многих физических принципов функционирования средств мониторинга, опережающий рост потребности в автоматизации различных диспетчерских пунктов пока привел к эмпирическому характеру работ по выстраиванию систем менеджмента и улучшения качества ПК ситуационного управления, используемых при построении

автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта [141, 142].

Актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью разрешения объективного противоречия между существующей потребностью в улучшении качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте на основе целостного научно-методологического аппарата и эмпирическим характером этого процесса в текущий момент.

С учетом изложенного в качестве стратегии диссертационного исследования избран подход, базирующийся на декомпозиции основного противоречия на составляющие и определении частных направлений исследования, путем реализации следующих шагов:

1. Выделение проблемы, основанное на учете тех факторов, которые в значимом виде влияют на выбор возможных вариантов решения и установлении ограничений в отношении незначимых факторов.

2. Описание проблемы, которое сводится к выражению разнородных по своей природе явлений и факторов в рамках определенной модели, выделение в составе проблемы соответствующих подпроблем (задач).

3. Установление иерархии показателей, пригодных для проведения оценки и сравнения альтернатив.

4. Идеализация каждой подпроблемы (задачи), выражающаяся в упрощении ее до допустимых пределов.

5. Декомпозиция подпроблемы (задачи), состоящая в исследовании способов разделения ее на части без потери свойств целого.

6. Композиция подпроблем (задач), которая основывается на поиске способа объединения составных частей в целостное образование, которое не теряет свойств частей.

7. Решение подпроблем (задач), сводящееся к критериальной оценке выработанных вариантов и соотнесения их с поставленной целью и задачами исследования.

Такой подход позволил сформулировать научную проблему, решаемую в диссертационной работе, и основную гипотезу диссертационного исследования.

Научная проблема заключается в необходимости преодоления того, что недостаток научно-обоснованных методологических основ и технологических решений по улучшению программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами сдерживает качественное развитие автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов. Суть проблемы состоит в методологическом обеспечении улучшения качества ПК АСДПП авиатранспорта за счет повышения результативности ситуационного управления соответствующими геопространственными процессами.

Основная гипотеза исследования заключается в том, что если предложить соответствующие методологические основы и научно-обоснованные технологии повышения результативности ситуационного управления геопространственными процессами авиатранспорта, то это позволит на их основе улучшить качество соответствующих программных комплексов АСДПП, а как следствие, повысить обоснованность и оперативность решений, принимаемых в ходе диспетчеризации бортов (самолетов, вертолетов и пр.) и других объектов авиатранспорта.

Разрешение сформулированной научной проблемы представляется как последовательное решение следующих задач диссертационного исследования:

1. Обосновать научно-методическую концепцию улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента;
2. Разработать метод анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса;
3. Разработать метод комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте;

4. Предложить метод оценки качества ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;

5. Разработать метод репрезентации вербальных оценок показателей качества ПК ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;

6. Предложить и проработать методы повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода и улучшения экономичности их разработки.

7. Провести оценку эффективности предложенных методов, технологических решений и приемов улучшения качества ПК АСДПП авиатранспорта за счет повышения результативности ситуационного управления соответствующими геопространственными процессами. Эффективность методов и технологических решений улучшения качества ПК ситуационного управления при построении автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта должна оцениваться по степени снижения трудозатрат на достижение определенного уровня качества соответствующих ПК, как следствия повышения результативности и оптимизации ситуационного управления в АСДПП. Такой подход базируется на традиционных методах квалиметрии, экономической эффективности и системного анализа.

Целостный научно-методологический аппарат улучшения качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте необходим для преодоления эмпирического характера применяемых организационных и технологических решений при разработке соответствующего прикладного программного обеспечения диспетчерских пунктов АСДПП. В этом заключается теоретическая значимость данного диссертационного исследования. Обеспечение единых научно-обоснованных основ улучшения качества и результативности указанного программного обеспечения позволит добиться значительного снижения трудозатрат на его создание, освоение, применение и унификацию.

Разрабатываемый научно-методологический аппарат, с практической точки зрения, рассматривается как совокупность инструментариев инженера-системотехника (инженера-программиста), применяемых в ходе улучшения ПК ситуационного управления АСДПП, при построении автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов, что определяет прикладную значимость диссертационного исследования.

Анализ противоречий, возникающих в практике использования и улучшения качества ПК ситуационного управления пространственными процессами авиатранспорта при проектировании и создании (построении) АСДПП, позволил установить, что основополагающим элементом ее целостных научно-методологических основ должна стать соответствующая методология, учитывающая специфику реализации концепций и методов ситуационного менеджмента в данной предметной области [128]. Такая методология позволит обеспечить логическую связность и обоснованную системность улучшения качества ПК ситуационного управления авиатранспортом при создании соответствующих АСДПП. Именно этот факт позволил в ходе исследования конкретизировать проблему обоснования целостных методологических основ улучшения качества ПК АСДПП, в целом, прежде всего, как научную проблему синтеза научно-обоснованных методов, технологий и моделей, обеспечивающих повышение результативности самого ситуационного управления и всех его составляющих. На базе такой методологии станет возможным предложить совокупность инструментария, позволяющего на практике обеспечить разрешение выявленных научно-технических противоречий.

Таким образом, научно-методологический аппарат улучшения качества ПК АСДПП авиатранспорта за счет повышения результативности ситуационного управления соответствующими геопространственными процессами в себя включает следующие элементы, которые являются научными результатами диссертационного исследования, выносимыми на защиту:

1. Научно-методическая концепция улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента;
2. Метод анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса;
3. Метод комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте;
4. Метод оценки качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;
5. Метод репрезентации вербальных оценок показателей качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;
6. Метод повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода;
7. Метод улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте.

Дальнейшее изложение данной диссертационной работы представляет собой последовательное и конкретизированное описание выше указанных положений, выносимых на защиту в качестве самостоятельных научных результатов.

1.4 Выводы по первой главе

1. Современная классификация средств и систем автоматизации управления комплексами и объектами авиатранспорта позволяет выделить во всем многообразии автоматизированных систем управления их особый вид - автоматизированные системы диспетчеризации пространственных процессов (АСДПП). АСДПП реализуют свою функциональность в реальном масштабе времени и целью управления в таких системах, является оптимизация (рационализация) взаимодействия объектов, реализующих пространственный процесс, с элементами, явлениями самого геопространства и другими объектами в нем. При этом диспетчеризация — это концентрация оперативного контроля и координация управления пространственными процессами авиатранспорта с целью достижения наивысших технико-экономических показателей, выполнения графиков движения и производственной программы. Особенность диспетчеризации на транспорте – непрерывное изменение обстановки, значительная изменяемость и противоречивость графиков и схем движения, загруженности транспортных средств и пр. Основные задачи диспетчеризации на транспорте: непрерывный контроль состояния и безаварийности подвижных объектов, соблюдения расписания и схем движения. Эффективная диспетчеризация предполагает реалистичный баланс между целями обеспечения пространственной безопасности и производственными целями.

2. В условиях высоких темпов роста авиационного трафика системы и технологии ситуационного управления при диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте находят самое широкое применение. Конструктив такого применения заключается в рассмотрении совокупностей пространственных процессов как последовательность пространственных ситуаций, органично вытекающих одна из другой и требующих корректного и безаварийного разрешения. Учет того факта, что в зависимости от решений диспетчера развитие ситуации может иметь несколько исходов, приводит к

появлению некоторой обусловленной последовательности производных ситуаций. Именно такой подход составляет конструктивное существо ситуационного управления пространственными процессами авиатранспорта.

3. Современные потребительские возможности АСДПП авиатранспорта и перспективность их использования определяются, прежде всего, функциональностью соответствующего ПК ситуационного управления и его качеством. В свою очередь качество ПК ситуационного управления базируется на результативности реализуемых им моделей ситуационного менеджмента.

4. Качество программных комплексов ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, как сложных программно-информационных систем определяется путем многопараметрического анализа степени удовлетворения разнообразных целевых потребностей, требований соответствующих документов нормативно-технического, юридического и организационного характера. Указанная степень зависит от эффективности реализации избранной программной архитектуры комплекса, рациональности его инсталляции на соответствующую техническую (аппаратную) платформу, корректности организации базы данных, оптимальности сети внешних информационных связей и пр. То есть, качество программных комплексов ситуационного управления для АСДПП есть интегральный показатель степени удовлетворения соответствующих потребностей всех участников процесса диспетчеризации (управления) воздушным движением.

5. Необходимо констатировать, что единой, взаимосвязанной квалиметрической теории результативности ситуационного управления пространственными процессами и улучшения качества соответствующих программных комплексов не существует. Научно-методологические основы столь сложного процесса как улучшение качества программных комплексов АСДПП строго не структурированы и формируются по междисциплинарному принципу, во многом носят несистемный характер. Именно этим определяется эмпирический путь развития многих современных прикладных программно-информационных технологий ситуационного управления пространственными

процессами. Повышение результативности ситуационного управления сегодня следует рассматривать как базовый фактор улучшения качества программных комплексов АСДПП, что диктуется экспоненциальным ростом интеллектуально-управленческой нагрузки на диспетчеров. Методами такого повышения выступают методы последовательного квалиметрического оценивания, анализа и совершенствования соответствующего ПО в процессе его разработки: от логико-математической постановки до внедрения в эксплуатацию.

6. Основная гипотеза исследования заключается в том, что если предложить соответствующие методологические основы и научно-обоснованные технологии повышения результативности ситуационного управления геопространственными процессами авиатранспорта, то это позволит на их основе улучшить качество соответствующих программных комплексов АСДПП, и, как следствие, повысить обоснованность и оперативность решений, принимаемых в ходе диспетчеризации бортов (самолетов, вертолетов и пр.) и других объектов авиатранспорта.

7. Актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью разрешения объективного противоречия между существующей потребностью в улучшении качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте на основе целостного научно-методологического аппарата и эмпирическим характером этого процесса в текущий момент.

8. Научный характер данного диссертационного исследования определяется общностью получаемых научных результатов для предметной области повышения результативности ситуационного управления пространственными процессами авиатранспорта и улучшения качества программных комплексов АСДПП, обобщением совокупности моделей и технологий квалиметрической оценки и методов ситуационного менеджмента в процессе разработки, комплексирования, развертывания и сопровождения

современных и создаваемых программно-информационных систем диспетчеризации.

9. Методологический аппарат улучшения качества ПК АСДПП авиатранспорта за счет повышения результативности ситуационного управления соответствующими геопространственными процессами в себя включает следующие элементы:

- Научно-методическая концепция улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента;

- Метод анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса;

- Метод комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте;

- Метод оценки качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;

- Метод репрезентации вербальных оценок показателей качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;

- Метод повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода;

- Метод улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте.

Указанные элементы методологического аппарата улучшения качества ПК АСДПП авиатранспорта за счет повышения результативности ситуационного управления составляют научные результаты данной диссертационной работы.

10. Разрабатываемый методологический аппарат, наиболее эффективно использовать в качестве совокупности инструментариев инженера-системотехника, инженера-программиста, применяемых в ходе проектирования и разработки прикладного программного обеспечения в интересах создания

подсистем ситуационного управления перспективных автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта.

Глава 2. Методологические основы улучшения качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте

2.1 Научно-методическая концепция улучшения качества управления пространственными процессами авиатранспорта

2.1.1 Нормативно-технические требования к составу и возможностям автоматизированных систем диспетчеризации авиатранспорта

Нормативно-технические требования к функциональным и структурным элементам АСДПП регламентированы проектом национального стандарта «Средства наблюдения, навигации, связи и автоматизации организации воздушного движения Российской Федерации». Указанный проект стандарта распространяется на следующие средства наблюдения, навигации, связи и автоматизации организации воздушного движения гражданской авиации:

- Обзорный радиолокатор трассовый (первичный);
- Обзорный радиолокатор аэродромный (первичный);
- Вторичный обзорный радиолокатор;
- Радиолокационная станция обзора летного поля;
- Оборудование автоматического зависимого наблюдения;
- Многопозиционная система наблюдения (аэродромная, широкозонная);
- Автоматический радиопеленгатор;
- Радиомаячная система инструментального захода воздушных судов на посадку (метрового диапазона);
- Маркерный радиомаяк;
- Всенаправленный азимутальный радиомаяк;
- Дальномерный радиомаяк;
- Приводная радиостанция;
- Наземные средства воздушной подвижной электросвязи диапазона высоких частот:

- наземные средства воздушной подвижной и фиксированной электросвязи диапазона высоких частот;
- система коммутации речевой связи;
- центр коммутации сообщений авиационной наземной сети передачи данных и телеграфной связи;
- наземное оборудование авиационной фиксированной спутниковой системы связи;
- аэродромные средства автоматизации управления воздушным движением;
- трассовые средства автоматизации управления воздушным движением;
- средства отображения воздушной обстановки;
- средства единого времени;
- оборудование для документирования и воспроизведения информации [129];
- программно-аппаратные средства обработки плановой информации;
- программно-аппаратные средства системы управления и контроля за наземным движением;
- оборудование системы автоматической передачи информации экипажам воздушных судов в районе аэродрома;
- оборудование системы автоматической передачи метеорологической информации экипажам воздушных судов на маршруте [57, 130, 131].

В таблице 2.1.1 раскрыто назначение и базовые нормативно-технические требования к основным структурным элементам АСДПП применительно к отечественным разработкам и комплектации. Пример описываемой АСДПП отечественной разработки и производства приведен в приложении Г.

Таблица 2.1.1 – Назначение и технические требования к элементам АСДПП

ЭЛЕМЕНТ АСДПП	НАЗНАЧЕНИЕ	ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ
Обзорный радиолокатор трассовый (ОРЛ-Т) (первичный)	Предназначен для обнаружения и определения координат (азимут – дальность) воздушный судов во внеаэродромной зоне (на воздушных трассах и вне трасс) с последующей выдачей информации о воздушной обстановке в центры обслуживания воздушного движения для целей контроля и обеспечения управления воздушным движением. Типы ОРЛ-Т: А – максимальная дальность действия не менее 400 км; Б – максимальная дальность действия не менее 250 км.	Дециметровый диапазон (23 см или 10 см) Угол обзора в горизонтальной плоскости 360 град. Минимальный угол места не менее 0,5 град. Максимальный угол места не менее 45 град. Максимальная высота 20 км Разрешающая способность не хуже: По дальности 300 м, по азимуту 1,5 град. Автоматическая регистрация радиолокационной информации о воздушной обстановке Передача сообщений о воздушных судах в формате ASTERIX Наличие метки времени и системных кодов идентификации средств наблюдений
Обзорный радиолокатор аэродромный (ОРЛ-А) (первичный)	Предназначен для обнаружения и определения координат (азимут – дальность) воздушный судов в районе аэродрома с последующей выдачей информации о воздушной обстановке в центры обслуживания воздушного движения для целей контроля и обеспечения управления воздушным движением. Типы ОРЛ-А: В – максимальная дальность более 160 км; Г – максимальная дальность 100-160 км; Д – максимальная дальность 50-100 км	Дециметровый диапазон (23 см или 10 см) Угол обзора в горизонтальной плоскости 360 град. Минимальный угол места не менее 0,5 град. Максимальный угол места не менее 45 град. Максимальная высота 6 км Разрешающая способность не хуже: По дальности 230 м, по азимуту 3,5 град. Автоматическая регистрация радиолокационной информации о воздушной обстановке средств наблюдений

ЭЛЕМЕНТ АСДПП	НАЗНАЧЕНИЕ	ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ
Вторичный обзорный радиолокатор	Предназначен обнаружения и определения координат (азимут дальность), запроса и приема дополнительной информации от воздушных судов, оборудованных ответчиками, бортовой аппаратуры автоматического зависимого наблюдения, с последующей выдачей информации в ДЦ	Дециметровый диапазон (23 см или 10 см) Угол обзора в горизонтальной плоскости 360 град. Минимальный угол места не менее 0,5 град. Максимальный угол места не менее 45 град. Максимальная высота 20 км Точность определения координат не хуже: По дальности 100 м, по азимуту 9 град. Автоматическая регистрация радиолокационной информации о воздушной обстановке средств наблюдений
Радиолокационная станция обзора летного поля	Предназначена для контроля и управления движением воздушных судов, спецавтотранспортом, техническими средствами и другими объектами, находящимися на взлетно-посадочной полосе, рулежных дорожках, перроне и местах стоянок воздушных судов	Диапазон волн от 0,8 до 3,2 см Зона обзора по азимуту 360 град., по дальности: миним. 90 м, максим. 5000 м. Автосопровождение воздушных судов и транспортных средств в количестве не менее 100 Возможность работы без обслуживающего персонала Автоматическая система диагностики технического состояния и поиска неисправностей
Оборудование автоматического зависимого наблюдения	Наземная приемная станция (на основе технологии 1090 ES) предназначена для использования в качестве источника зависимого наблюдения при обслуживании воздушного движения	Прием длительных самогенерируемых сигналов от ВС/ТС в форматах DF=17 , DF=18 Пропускная способность не менее 200 ВС/ТС с вероятностью 0,95 Максимальная дальность не менее 370 км Азимут от 0 до 360 град. Максимальный угол места 45 град. Максимальная высота 20 км

ЭЛЕМЕНТ АСДПП	НАЗНАЧЕНИЕ	ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ
	<p>Наземная приемная станция (на основе технологии VDL-4) предназначена для реализации радиовещательного автоматического зависимого наблюдения, но основе передачи данных по цифровой линии передачи данных «воздух-земля» в ОБЧ-диапазоне с использованием модуляции GFSK с разделением каналов</p>	<p>Максимальная дальность не менее 370 км Азимут от 0 до 360 град. Максимальный угол места 45 град. Максимальная высота 20 км Функции ППО: Управление наземной станцией Обеспечение сетевых интерфейсов Запись и воспроизведение исходных данных и данных в формате ASTERIX Непрерывная функционально независимая регистрация входящей и исходящей информации, в т.ч. о состоянии и работоспособности оборудования</p>
<p>Оборудование многопозиционной широкозонной системы наблюдения</p>	<p>Предназначена для использования в качестве независимого кооперативного источника прием и обработка информации от наблюдений за воздушной обстановкой для перспективных систем обслуживания воздушного движения</p>	<p>Прием и обработка информации от ВС с приемопередатчиками, работающими в режимах А/С и S, и оборудованием генерации расширенных сквиттеров.</p>
<p>Автоматический радиопеленгатор</p>	<p>Предназначен для выдачи информации о пеленге на воздушное судно относительно места установки антенны радиопеленгатора по сигналам бортовых радиостанций в ДЦ</p>	<p>Рабочие частоты 118-137 МГц Дальность пеленгования: на высоте 1000 м 80 км на высоте 3000 м 150 км Зона действия в вертикальной плоскости не менее 45 град.</p>
<p>Оборудование радиомаячной системы инструментального захода на посадку</p>	<p>Предназначена для обеспечения получения на борту воздушного судна и выдачу экипажу и в систему автоматического управления информации о значении и знаке отклонения от</p>	<p>Зона действия должна обеспечиваться с помощью: одночастотной системы, когда диаграмма направленности сигнала излучения курсового и глиссадного радиомаяков передается на одной несущей</p>

ЭЛЕМЕНТ АСДПП	НАЗНАЧЕНИЕ	ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ
	номинальной траектории снижения, а также для определения моментов пролета характерных точек на траектории захода на посадку	частоте двухчастотной системы, когда диаграмма направленности сигнала излучения курсового и глиссадного радиомаяков создается путем использования двух независимых диаграмм излучения, образуемых разнесенными несущими частотами
Маркерный радиомаяк	Предназначен для передачи информации экипажу воздушного судна о пролете маркерного радиомаяка, установленного в фиксированной точке на определенном расстоянии от порога взлетно-посадочной полосы	Рабочая частота 75 МГц Поляризация горизонтальная Номинальные частоты сигналов, модулирующих несущую, должны быть 3000 Гц, 1300 Гц и 400 Гц для внутреннего, ближнего и дальнего радиомаяка соответственно
Всенаправленный азимутальный радиомаяк	Предназначен для измерения на борту воздушного судна его азимута относительно места установки радиомаяка при полетах воздушного судна по трассам и в районе аэродрома	Измерение на борту воздушного судна его магнитного азимута для углов места от 0 до 40 град. Дальность для воздушных трасс не менее 300км, для аэродромной зоны не менее 185 км
Дальномерный радиомаяк	Предназначен для измерения на борту воздушного судна его удаления относительно места установки радиомаяка при полетах воздушного судна по трассам или в районе аэродрома при заходе на посадку	Способы передачи сигнала опознавания: «независимое» опознавание через передачу кодированных кодом Морзе опознавательных импульсов «взаимодействующее» опознавание при взаимодействии радиомаяка с другим оборудованием, обеспечивающим передачу собственных сигналов опознавания передача сигнала серией спаренных импульсов с частотой повторения 1350 пар

ЭЛЕМЕНТ АСДПП	НАЗНАЧЕНИЕ	ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ
		в секунду импульсы ответа дальности должны передаваться между периодами времени манипуляции
Приводная радиостанция	Обеспечивает излучение радиосигналов для получения на борту воздушного судна значений курсовых углов радиостанций, прослушивания сигналов опознавания, а также передачи речевых сообщений по каналу «земля-воздух»	Работа на любой из частот в диапазоне 190-1750 кГц. Передача излучения классов А2А (передача сигнала опознавания) и А3Е (обеспечение воздушной радиосвязи)

Назначение и основные нормативно-технические требования к остальным элементам АСДПП изложены в [126]. Дополнительным требованием к аппаратной платформе АСДПП является обеспечение ее работоспособности в условиях воздействия искусственных и естественных помех, для парирования которых должны предприниматься дополнительные меры при проектировании соответствующих датчиков и информационных систем обработки измерительной информации [57].

2.1.2 Традиционный подход и формальное представление показателей качества управления пространственными процессами

Под диспетчерской деятельностью в данной работе понимается особый вид профессиональной деятельности по управлению протеканием пространственных процессов в соответствии с установленным регламентом (стандартом выполнения, штатом и пр.). При этом диспетчерская деятельность (диспетчеризация) понимается как особый вид управления, некоторая специфическая составляющая. Под управлением в целом, в контексте данной работы, понимается упорядоченная совокупность воздействий на объект управления с целью максимизации эффекта в достижении сложной

интегральной цели функционирования системы. При этом управление является сложным многоэтапным процессом, учитывающим множество различных аспектов в функционировании системы: экономическая целесообразность, безаварийность функционирования и пр. Диспетчеризация — это частный аспект управления, связанный с обеспечением максимизации только одной (приоритетной, требующей непрерывного воздействия) составляющей в цели функционирования системы. Например, в качестве системы выступает аэропорт, со сложными навигационными условиями, работающий под управлением соответствующей администрации. Администрация этого аэропорта решает задачу управления им с целью получения безопасного трафика для всех воздушных судов, обслуживаемых в аэропорту. При этом администрация обеспечивает поддержание и наращивание пропускных возможностей аэропорта, обеспечивает экономическую прибыльность его деятельности и пр. Общее управление таким аэропортом осуществляет глава администрации. Приоритетной составляющей в деятельности администрации аэропорта является безаварийность движения воздушных судов в соответствующем воздушном пространстве, на наземной территории аэропорта, а в конечном итоге безопасность всех пассажиров и персонала. Для решения достижения необходимого эффекта по этой составляющей создана специальная иерархия диспетчерских служб. Диспетчер непосредственно управляет движением судов по рассматриваемому виду, той или иной зоне географического пространства и вся его деятельность направлена на обеспечение регламентного режима функционирования соответствующей зоны (участка) аэропорта и привязанных к нему областей воздушного пространства. В свою очередь действующий регламент может отражать воздействия других служб администрации по максимизации других аспектов функционирования аэропорта, но для диспетчерской деятельности это является внешним фактором.

Диспетчеризация является следствием необходимости снизить сложность в рассмотрении объекта управления для обеспечения заданного уровня соответствующих параметров управления.

Приведенное выше представление диспетчерской деятельности позволяет рассматривать ее как процесс выявления нештатных (нестандартных) ситуаций в протекании всей совокупности диспетчеризируемых пространственных процессов. Т.е. под штатной (стандартной) ситуацией понимается ситуация, соответствующая установленному регламенту протекания пространственных процессов, а под нештатной (нестандартной) – не соответствующая. Целью диспетчерской деятельности является своевременное выявление и предотвращение нештатных (нестандартных) ситуаций (либо их наступивших последствий), на совокупности контролируемых пространственных процессов. Совокупность контролируемых пространственных процессов может быть ограничена в пространстве, времени или по номенклатуре контролируемых объектов.

Традиционный подход к анализу безаварийности воздушных судов сводится к определению безопасной дистанции сближения с каждым из судов (оно определяется в зависимости от скорости, высоты и дальности полета). Существо работы современных ПК АСДПП авиационного транспорта заключается в непрерывном анализе и прогнозировании дистанций расхождения воздушных судов относительно друг друга, а так же иных опасных препятствий, которые должны превышать безопасную дистанцию сближения. Факт прогнозирования ситуации расхождения судов на дистанции менее безопасной дистанции сближения является фактом выявления опасности, аварийной ситуации. В таком случае диспетчер обязан вмешаться своим управляющим воздействием и добиться наращивания дистанции расхождения судов до безопасной дистанции сближения. При этом необходимые расчеты и рекомендации он вырабатывает так же с использованием функционала ПК АСДПП воздушным транспортом.

Однако последние 10-20 лет значительно вырос трафик воздушного движения, авиационные власти стран Европы, СНГ и Тихоокеанского бассейна приняли решения об уменьшении размеров одного эшелона высоты с 250 метров до 100 метров и пр. Таким образом, традиционный уровень вооруженности авиадиспетчеров средствами оперативного анализа и поддержки принятия решений сегодня недостаточен. Это выражается, прежде всего, в том факте, что диспетчер разрешая одну текущую аварийную ситуацию уже обязан вырабатывать свои управляющие воздействия с учетом недопущения усугубления последующей пространственной ситуации [138, 139].

Как отмечалось выше, основной целью АСДПП на авиатранспорте является обеспечение эффективности воздушного движения и безаварийности диспетчеризируемых пространственных процессов. Рассматривая результативность и безаварийность в качестве двух основных показателей качества управления пространственными процессами (диспетчеризации пространственных процессов), представляется целесообразным определить основные их соотношения в рамках различных этапов реализации единого процесса воздушного движения.

По своему содержанию деятельность авиационного диспетчера, отображаемая в соответствующих ПК для АСДПП, представляет собой как совокупность следующих основных типовых функциональных задач:

1. Задача предварительного планирования пространственных процессов.
2. Задача реализации пространственных процессов, включающая задачи инициализации, контроля выполнения, корректуры и завершения пространственных процессов.
3. Задача оперативной корректуры исходного плана реализации пространственных процессов.

Общая результативность пространственных процессов воздушного движения определяется результативностью решения задачи их предварительного планирования. Корректность данного утверждения

определяется тем фактом, что деятельность любого диспетчера по управлению любыми пространственными процессами осуществляться только в соответствии с заранее утвержденным планом. Для диспетчера этот план представляет собой обязательный к исполнению директивный документ, который определяет перечень диспетчеризируемых объектов и процессов, последовательность и время их реализации, а также перечень вспомогательных сил и средств, обеспечивающих реализацию отдельных процессов.

Результативность решения задачи предварительного планирования, так или иначе, имеет целью интенсификацию пространственных процессов. Повышение интенсивности этих процессов может быть достигнуто двумя способами: 1) за счет оптимизации их организации (оптимизация маршрутов, оптимизация последовательности начала-окончания процессов, оптимизация использования средств обеспечения реализации процессов, минимизация эшелонов воздушного движения и т.п.); 2) за счет прямого увеличения числа одновременно реализуемых процессов, увеличения скорости движения пространственных объектов, сокращения маршрутов их перемещения и т.д. При этом реализация одного способа, может объективно потребовать применения второго.

Задача предварительного планирования отличается от остальных двух задач диспетчеризации пространственных процессов следующим рядом характеристик:

- 1) параметры исходной формулировки задачи предварительного планирования известны и детерминированы;
- 2) решение задачи осуществляется при отсутствии дефицита времени;
- 3) решение задачи не связано с фактической реализацией пространственных процессов, что определяет возможность отмены или корректуры любых принятых решений.

Эти характеристики задачи предварительного планирования определяют возможность:

1) анализа всего множества альтернативных вариантов организации пространственных процессов и их оценки по показателям их безаварийности и результативности;

2) выбора из рассмотренного множества альтернативных вариантов варианта, который наиболее приемлем по соотношению показателей безаварийности и результативности.

Задача предварительного планирования в ПК АСДПП традиционно включает:

1) разработку отдельных вариантов L_i ($i = \overline{1, n}$) плана и формирование множества $\{L_i\}$ альтернативных (конкурирующих) планов;

2) выбор по соотношению показателей результативности и безаварийности одного из альтернативных вариантов и утверждение его в качестве плана реализации пространственных процессов.

Решение задачи разработки варианта L_i плана организации пространственных процессов полностью определяется сугубо индивидуальными особенностями и числом самих диспетчеризируемых объектов и процессов, а также географических, административно-нормативных (директивных), метеорологических и других условий протекания рассматриваемых пространственных процессов. Все эти условия являются факторами, которые определяют как результативность, так и безаварийность диспетчеризируемых процессов. Каждому из этих факторов либо директивно, либо на основании опыта может быть поставлен в соответствие определенный набор качественных и количественных показателей, имеющих четко или нечетко определенные интервалы их возможных (допустимых) изменений.

Все множество учитываемых показателей по признаку их зависимости от особенностей разрабатываемого плана целесообразно разделить на две категории: 1) детерминированные показатели, 2) варьируемые показатели. К детерминированным показателям x_j ($j = \overline{1, m}$) относятся все показатели, которые определяются факторами, не зависящими от решений диспетчера-

планировщика. К варьируемым показателям $y_k (k = \overline{1, v})$ относятся все показатели, которые определяются факторами, возникающими в результате решений диспетчера-планировщика. Например, если ремонтные работы на аэродромном поле, проводимые на определенном его участке и в зоне ответственности соответствующей АСДПП, прекратить нельзя, то они являются детерминированным фактором, ограничивающим наземное движение воздушных судов. Если же время проведения этих работ и занятие этой части аэродромного поля определяется диспетчером-планировщиком, то ограничения по наземному движению самолетов являются варьируемым фактором.

Детерминированные факторы и соответствующие им показатели определяют результативность и безаварийность всех планируемых пространственных процессов. При этом для показателей $x_j (j = \overline{1, m})$, соответствующим детерминированным факторам, известны их номенклатура, интервалы их допустимых изменений, а также их величина.

Любой пространственный процесс, уже включенный в план, создает ряд варьируемых факторов и соответствующих им показателей, которые ограничивают инициализацию и протекание других процессов, совпадающих с уже запланированным процессом по месту и времени. Для показателей $y_k (k = \overline{1, v})$, соответствующим варьируемым факторам, можно считать известными их номенклатуру и интервалы их допустимых изменений, а величина показателей $y_k (k = \overline{1, v})$ может быть оценена только по результатам совместного моделирования рассматриваемого пространственного процесса с другими процессами, которые включены в план и совпадают с рассматриваемым процессом по месту и времени.

С учетом вышесказанного любой пространственный процесс $l_{iu} (u = \overline{1, z})$, включенный в план L_i , может быть представлен в виде элементарного кортежа

$$l_{iu} = T[X_{iu} Y_{iu}], \quad (2.1.1)$$

где $X_{iu} = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_m)$ ($j = \overline{1, m}$) — конечный набор детерминированных показателей эффективности и безопасности пространственного процесса l_{iu} ;

$Y_{iu} = (y_1^{u1}, \dots, y_k^{u1}, \dots, y_v^{u1}, \dots, y_1^{uq}, \dots, y_k^{uq}, \dots, y_v^{uq}, \dots, y_1^{u(z-1)}, \dots, y_k^{u(z-1)}, \dots, y_v^{u(z-1)})$ ($k = \overline{1, v}, q = \overline{1, (z-1)}$) — конечный набор варьируемых показателей, определяющих допустимость пространственного процесса l_{iu} по его взаимодействию со всеми другими процессами, включенными в план L_i и совпадающими с процессом l_{iu} по месту и времени, q ($q = \overline{1, (z-1)}$) — номер процесса, включенного в план L_i и совпадающего с процессом l_{iu} по месту и времени. (При этом элементарный кортеж в алгебре кортежей соответствует кортежу элементов в многоместных отношениях. Например, запись $T[XYZ]$ означает, что T — элементарный кортеж, при этом $X = (x_1, \dots, x_j, \dots, x_m)$; $Y = (y_1, \dots, y_i, \dots, y_n)$; $Z = (z_1, \dots, z_l, \dots, z_k)$).

Тогда любой готовый вариант L_i плана может быть в общем виде представлен как кортеж вида

$$L_i = T \begin{bmatrix} X_{i1} & Y_{i1} \\ \vdots & \vdots \\ X_{iu} & Y_{iu} \\ \vdots & \vdots \\ X_{iz} & Y_{iz} \end{bmatrix} = T[\mathbf{X}_i \ \mathbf{Y}_i], \quad (2.1.2)$$

где: $\mathbf{X}_i = X_{i1} \cup \dots \cup X_{iu} \cup \dots \cup X_{iz}$, $\mathbf{Y}_i = Y_{i1} \cup \dots \cup Y_{iu} \cup \dots \cup Y_{iz}$

В общем виде результативность и безаварийность плана L_i может быть оценена по соответственно следующим показателям

$$R(L_i) = I(\mathbf{X}_i^r \cup \mathbf{Y}_i^r), \quad (2.1.3)$$

$$S(L_i) = S(\mathbf{X}_i^s \cup \mathbf{Y}_i^s), \quad (2.1.4)$$

где: i ($i = \overline{1, n}$) — номер варианта плана реализации пространственных процессов; \mathbf{X}_i^r ($\mathbf{X}_i^r \subseteq \mathbf{X}_i$) — множество детерминированных показателей результативности плана L_i ; \mathbf{Y}_i^r ($\mathbf{Y}_i^r \subseteq \mathbf{Y}_i$) — множество варьируемых показателей результативности плана L_i ; \mathbf{X}_i^s ($\mathbf{X}_i^s \subseteq \mathbf{X}_i$) — множество

детерминированных показателей безаварийности плана L_i ; \mathbf{Y}_i^s ($\mathbf{Y}_i^s \subseteq \mathbf{Y}_i$) — множество варьируемых показателей безаварийности плана L_i ; $R(L_i)$ — интегральный показатель результативности плана L_i реализации пространственных процессов; $S(L_i)$ — интегральный показатель безаварийности плана L_i реализации пространственных процессов;

Пусть показатели $R(L_i)$, $S(L_i)$ вида (2.1.3, 2.1.4) являются нормированными ($R(L_i) \in [0,1]$, $S(L_i) \in [0,1]$) показателями вида «чем больше, тем лучше». Пусть на множестве $\{L_i\}$ рассматриваемых планов выполнено условие допустимости всех планов

$$\forall L_i \in \{L_i\} \Rightarrow \forall L_i \in \{L_i^F\} \text{ или } \{L_i\} \cap \{L_i^F\} = \{L_i\}, \quad (2.1.5)$$

где $\{L_i^F\}$ — множество допустимых планов. Пусть выполнено моделирование сценариев развития всех планов.

Тогда задача выбора наиболее приемлемого плана может быть представлена в виде оптимизационной задачи вида

$$\left. \begin{aligned} R(L_i)S(L_i) &\rightarrow \max; \\ R(L_i) &\geq R_{\min}(L_i); \\ S(L_i) &\geq S_{\min}(L_i) \end{aligned} \right\}, \quad (2.1.6)$$

где $R_{\min}(L_i)$, $S_{\min}(L_i)$ — соответственно минимально допустимые значения интегральных показателей результативности и безаварийности планов.

Приведенное выше решение задачи выбора приемлемого плана является достаточно простым с позиций математики, но крайне трудоемко с позиций практической реализации, т.к. в соответствии с условиями допустимости и необходимости моделирования развития сценариев всех планов требует: 1) разработки законченного варианта всех планов, 2) разработки сценариев реализации всех планов, 3) моделирования развития сценариев всех планов и проведения необходимой корректуры их параметров. Существенная трудоемкость этих процедур может приводить к отказу диспетчера-планировщика от рассмотрения всего множества возможных вариантов

компоновки плана, что, в свою очередь, может привести к исключению из рассмотрения наиболее результативных и безаварийных вариантов.

В целях снижения трудоемкости деятельности диспетчера-планировщика и расширения множества $\{L_i\}$ альтернативных планов предлагается последовательность действий по решению задачи предварительного планирования в АСДПП, которая включает:

- 1) разработку отдельных предварительных вариантов L_i ($i = \overline{1, n}$) и формирование множества $\{L_i\}$ их альтернатив;
- 2) определение конечного множества $\{L_i^F\}$ допустимых вариантов предварительных планов организации пространственного процесса;
- 2) оценку результативности допустимых вариантов планов и определение множества $\{L_i^R\}$ ($\{L_i^R\} \in \{L_i^F\}$) эффективных предварительных планов;
- 3) разработку сценариев реализации всех результативных предварительных планов;
- 4) моделирование развития и оценку безаварийности пространственных процессов в соответствии со всеми разработанными сценариями результативных предварительных планов и внесение необходимых корректур;
- 5) выбор по соотношению показателей его результативности и безаварийности одного из альтернативных вариантов, его корректуру и утверждение в качестве плана реализации пространственных процессов.

В качестве предварительного варианта L_i плана целесообразно рассматривать кортеж вида

$$L_i = T \begin{bmatrix} X_{i1} \\ \vdots \\ X_{iu} \\ \vdots \\ X_{iz} \end{bmatrix} = T[\mathbf{X}_i], \quad (2.1.7)$$

где: $\mathbf{X}_i = X_{i1} \cup \dots \cup X_{iu} \cup \dots \cup X_{iz}$.

Такой предварительный план L_i представляет собой законченный вариант распределения всех планируемых пространственных процессов во времени и пространстве. Его разработка производится экспертным путем за счет комбинации времени начала-окончания пространственных процессов, параметров движения активных объектов, а при необходимости и обеспечивающих сил, и средств, а также выполнения, маршрутов и включает в себя только изменение последовательности выполнения планируемых пространственных процессов.

Принадлежность $L_i \in \{L_i^F\}$ рассматриваемого варианта L_i к множеству $\{L_i^F\}$ допустимых вариантов может быть оценена по условию

$$\left. \begin{aligned} F(L_i) = 1 & \left| \forall x_{iuj} (x_{iuj} \in \mathbf{X}) \exists (x_j^{\min}, \dots, x_j^{\max}) \vee \forall x_{iuj} \in (x_j^{\min}, \dots, x_j^{\max}); \right. \\ F(L_i) = 0 & \left| \forall x_j (x_j \in (x_{iuj} \in \mathbf{X})) \nexists (x_j^{\min}, \dots, x_j^{\max}) \vee \forall x_{iuj} \notin (x_j^{\min}, \dots, x_j^{\max}) \right. \end{aligned} \right\}, \quad (2.1.8)$$

определяющему, что вариант L_i допустим ($F(L_i) = 1$) и $L_i \in \{L_i^F\}$, если любой элемент кортежа $T[\mathbf{X}_i]$ принадлежит соответствующему интервалу $(x_j^{\min}, \dots, x_j^{\max})$ его допустимых значений, и, наоборот, что вариант L_i не допустим ($F(L_i) = 0$) и $L_i \notin \{L_i^F\}$, если для любого элемента кортежа $T[\mathbf{X}_i]$ не задан интервал его возможных изменений или имеемое значению любого из параметров не принадлежит интервалу $(x_j^{\min}, \dots, x_j^{\max})$ его допустимых значений.

В результате оценки выполнения условий (2.1.8) на всем множестве альтернативных вариантов становится возможным определить подмножество результативных вариантов плана реализации пространственных процессов.

Тогда задача оценки результативности допустимых вариантов $L_i \in \{L_i^F\}$ плана и определения множества $\{L_i^R\}$ ($\{L_i^R\} \in \{L_i^F\}$) эффективных вариантов организации пространственного процесса может быть представлена в виде

$$\forall L_i (L_i \in \{L_i^F\}) \Rightarrow L_i \in \{L_i^R\} | R(L_i) > R_{\min}(L_i) \vee S(L_i) > S_{\min}(L_i), \quad (2.1.9)$$

определяющим, что к множеству $\{L_i^R\}$ результативных вариантов плана организации пространственного процесса относятся допустимые варианты L_i , оценка результативности и безаварийности которых по показателям $R(L_i)$ и $S(L_i)$ превышает некоторые заданные значения $R_{\min}(L_i), S_{\min}(L_i)$ этих показателей.

Необходимость разработки и моделирования развития всех вариантов плана L_i , принадлежащих к множеству $\{L_i^R\}$ результативных вариантов, определяется тем фактом, что оценка (2.1.4) учитывает только собственные параметры безаварийности процессов, включенных в план L_i , но не учитывает параметры безаварийности взаимодействия одновременно протекающих процессов. Например, на рисунке 2.1.1, план предусматривает одновременную смену места стоянки воздушного судна 1 и руление на взлетную полосу воздушного судна 2.

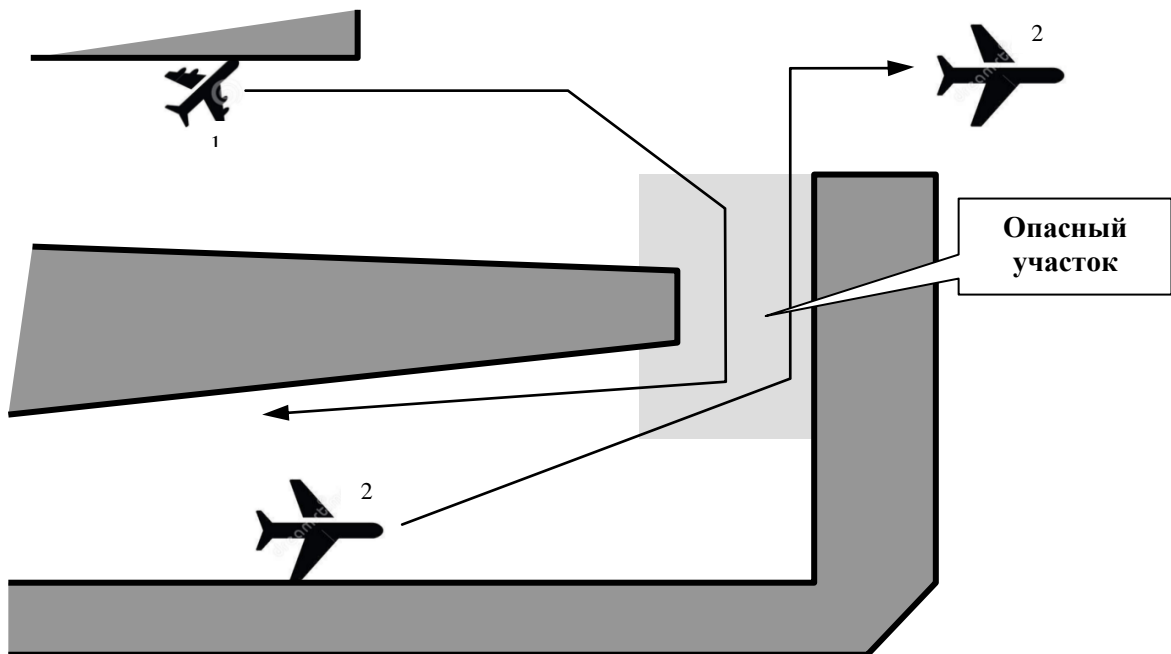


Рисунок 2.1.1 – Пример опасного (аварийного) взаимодействия безаварийных пространственных процессов

Оба пространственных процесса по математико-формальным оценкам вида (2.1.4) являются безаварийными. Однако на участке, выделенном на рисунке 2.1.1 оттенком, взаимодействие этих процессов может стать аварийно

опасным. Очевидно, что опытный диспетчер-планировщик изначально исключит возникновение подобной элементарной ситуации путем разнесения во времени процессов, приведенных на рисунке 2.1.1. Однако ошибки так же имеют место. Поэтому ошибка планирования, приведенная на рисунке 1.1, может возникнуть и у опытного диспетчера-планировщика. В таком случае выявление и устранение опасной ситуации возлагается на диспетчера, управляющего реальным развитием пространственных процессов.

Таким образом, моделирование развития пространственных процессов по их сценарию позволяет выявить возможность возникновения и параметры любых опасных ситуаций, а после их устранения гарантировать заданный уровень безаварийности пространственных процессов для случая соблюдения рассматриваемого плана. В результате моделирования выявляются интервалы изменения значений показателей безаварийности взаимодействия пространственных процессов и, соответственно, время, параметры и район возникновения аварийной или потенциально аварийной ситуации. Путем корректуры параметров пространственных процессов (маршрут, время, скорость, эшелон высоты, направление движения управляемых активных пространственных объектов), взаимодействие которых вызывает возникновение опасной пространственной ситуации, и повторного их моделирования возможность возникновения этой ситуации устраняется. В соответствии с произведенными изменениями производится корректура плана, которая и повышает интегральную оценку $S(L_i)$ его безаварийности.

После корректуры всех вариантов планов L_i , принадлежащих к множеству $\{L_i^R\}$ результативных вариантов, задача выбора наиболее приемлемого решается в соответствии с (2.1.6).

В качестве программного обеспечения задачи предварительного планирования сегодня, как правило, используются программные средства планирования на базе геоинформационной системы, входящей в состав ПК АСДПП.

Задача реализации пространственных процессов, включающая задачи инициализации, контроля выполнения, корректуры и завершения пространственных процессов, является той основной задачей, которая решается в процессе фактического управления пространственными процессами (функционирования АСДПП). В соответствии с общей организацией всех диспетчерских служб суть этой задачи состоит в неукоснительном выполнении директивного плана реализации пространственных процессов, т.е. в обеспечении своевременной инициализации и завершении выполнения всех пунктов плана, в контроле корректности выполнения всех пунктов плана, а также во внесении необходимых корректур в параметры движения управляемых активных объектов в целях приведения диспетчеризируемых пространственных процессов в соответствие плану. Отсюда следует, что если фактическое развитие диспетчеризируемых пространственных процессов соответствует плану, то действия диспетчера не связаны с оценкой результативности этих процессов и полностью целеустремлены на обеспечение их безаварийности.

Задача оперативной корректуры исходного плана реализации пространственных процессов возникает в двух случаях:

1) когда параметры одного из запланированных пространственных процессов (невозможность инициализации и завершения процесса, невозможность соблюдения допустимых параметров развития процесса), препятствуют инициализации или развитию других запланированных процессов;

2) когда диспетчер получает директивное указание об исключении из плана одного или нескольких процессов или о внесении в план дополнительных процессов, которые, чаще всего, имеют высокий уровень важности.

Задача оперативной корректуры исходного плана реализации пространственных процессов отличается от рассмотренной выше задачи предварительного планирования следующим:

1) если параметры исходной формулировки задачи предварительного планирования детерминированы, то параметры задачи оперативного корректировки плана непрерывно изменяются в соответствии с развитием уже реализуемых пространственных процессов;

2) решение задачи осуществляется при существенном дефиците времени и параллельно с решением задачи реализации пространственных процессов;

3) решение задачи связано с фактической реализацией пространственных процессов, что определяет невозможность отмены ошибочных решений.

Ясно, что в таких условиях диспетчер не имеет возможности заниматься поиском результативных решений, и все его действия целеустремлены на поиск безаварийного решения, приводящего к минимальным изменениям имеемого плана.

Результаты приведенного выше анализа этапов и задач управления пространственными процессами определяют, что безаварийность следует рассматривать как необходимое, а результативность - как достаточное условие достижения целей управления этими процессами. Показатель результативности пространственных процессов имеет ограниченный (условный) приоритет над показателем их безаварийности только на этапе предварительного планирования, на всех остальных этапах показатель безаварийности имеет безусловный приоритет над показателем результативности.

Последний вывод определяет необходимость разработки научно-методического аппарата улучшения качества управления пространственными процессами, прежде всего по показателям результативности и безаварийности, на новых принципах – принципах ситуационного управления. Ситуационное рассмотрение диспетчерской деятельности и основ ее формализации позволяет избрать в данной работе в качестве теоретического базиса исследования научные результаты ситуационного менеджмента (Situation Management).

Ситуационный менеджмент относительно молодое научное направление системного анализа и квалиметрии. Оно обобщило ряд концепций и подходов к теоретическому описанию динамических систем, таких как: ситуационное

управление [68], ситуационное моделирование [65], ситуационные вычисления [94], ситуационная семантика [16, 17], анализа и моделирование ситуаций по сценариям развития и др.

Детальное и систематизированное описание базовых концепций, подходов и структуры ситуационного менеджмента дано в [93].

2.1.3 Автоматизированное управление пространственными процессами на базе подходов ситуационного менеджмента

Традиционная теория управления, выросшая на существовавшей ранее теории автоматического регулирования, имеет дело с такими объектами, для которых процедура управления в самом общем виде представляется контуром управления: субъект управления, управляющее воздействие, объект управления, обратная связь.

Однако сложные объекты управления, в качестве которых могут выступать такие слабо структурируемые организационно-технические системы, как полетные зоны воздушного движения, аэропорты с привязанными к ним зонами снижения-посадки, ожидания и пр. приводят к необходимости учета в ходе управления сотен параметров, тысячи фактов, огромного числа критериев и решающих правил. Это ведет к тому, что свести процедуру управления к контуру управления не получается, т.к. не представляется возможным описать все состояния объекта управления ограничить число управляющих воздействий и показать их связь с обратной реакцией на управление. Такое положение дел вынуждает прибегать к описанию наиболее типовых ситуаций в управлении объектом (программной моделью) и рассматривать систему управления как открытую систему. При этом изменению подвергается не только процедура управления, но её принципы, организация и сам подход.

Метод управления, который основан на введении понятия «ситуация», классификации ситуаций и их преобразовании, принято называть методом ситуационного управления, ибо, в русском языке слово, определяющее суть описываемого подхода, фактически единственное.

Необходимо сформулировать ряд особенностей, присущих методологии ситуационного управления [68]:

1. Ситуационное управление требует создания предварительной базы сведений об объекте управления, его функционировании и способах управления им. Это оправданно только тогда, когда традиционные пути формализации описания объекта управления и процедуры управления реализовать невозможно.

2. Описание ситуаций, складывающихся на объекте управления (текущих ситуаций), должно быть произведено на таком языке, в котором отражались бы все основные параметры и связи, необходимые для классификации этого описания и сопоставления ему одношагового решения по управлению. При этом необходимо правильно выбрать уровень описания, который не должен быть ни слишком подробным, ни слишком грубым. При слишком подробном описании возникает «шумовой эффект», частности и несущественные для управления факты и явления могут сильно усложнить понимание сути функционирования объекта и сделать построение системы управления невозможным.

3. Язык описания ситуаций должен позволять отражать в нем не только количественные факты и соотношения, характеризующие объект управления, но и качественные знания, которые не могут быть формализованы в обычном математическом смысле. Необходимо отражать качественные высказывания на языке описания ситуаций. Следует также учитывать, что высказывания человека об объекте и способах управления им неполны.

4. Классификация ситуаций, объединение их в классы при использовании одношаговых решений происходит на субъективной основе, ибо первоначальная информация о соответствии той или иной текущей ситуации тому или иному решению получается от экспертов. Программная система моделирования как бы суммирует знания отдельных экспертов и становится носителем коллективного опыта людей. Однако процедуры классификации должны быть построены таким образом, чтобы сама классификация годилась бы для тех текущих ситуаций, о которых система не получила информации от экспертов. Это приводит к тому, что задача классификации становится

аналогичной задаче формирования понятий на основе обучающих последовательностей. Система, сформировав некоторое понятие, обладает уже большими знаниями, чем те, которые были заложены в неё вначале экспертами, хотя эти дополнительные знания могут оказаться и неверными, что может выявиться в процессе её эксплуатации.

5. Системы ситуационного управления не могут оптимизировать сам процесс управления. Они ориентированы лишь на такое управление, когда достигнутые результаты будут не хуже лучших результатов, которые мог бы получить человек. Однако, как показала практика применения систем подобного типа, чаще всего результаты, выдаваемые системой, лучше человеческих.

6. Для многих реальных объектов управления и соответствующих моделей одношаговые решения не определяют стратегии управления. В таких объектах необходимо формировать в качестве решений цепочки из одношаговых решений. Для этого в системе экстраполяции должны быть предусмотрены специальные процедуры «склейки» одношаговых решений. С их помощью формируются более сложные решения по управлению.

Указанные особенности учтены в ниже описанной научно-методической концепции. Её конструктив можно свести к следующему схемо-логическому описанию.

Приведенное выше представление диспетчерской деятельности позволяет рассматривать ее как процесс выявления нештатных (нестандартных) ситуаций в протекании всей совокупности диспетчеризируемых пространственных процессов. Т.е. под штатной (стандартной) ситуацией понимается ситуация, соответствующая установленному регламенту протекания пространственных процессов, а под нештатной (нестандартной) – не соответствующая. Целью диспетчерской деятельности является своевременное выявление и предотвращение нештатных (нестандартных) ситуаций (либо их наступивших последствий), на совокупности контролируемых пространственных процессов. Совокупность контролируемых пространственных процессов может быть ограничена в пространстве, времени или по номенклатуре контролируемых объектов.

При формализованной постановке, ситуация представляется как числовой вектор $x=(x_1, \dots, x_n)$, $x_i \in R^1$ содержащий совокупность параметров, описывающих состояние объектов (участников) ситуации. Тогда штатная ситуация – это ситуация, при которой значения соответствующего числового вектора лежат в допустимых с точки зрения регламента, пределах; соответственно: нештатная – ситуация, при которой значения числового вектора выпадают из допустимых пределов. Наличие такого формального представления диспетчерской деятельности позволяет применить методологический аппарат ситуационного менеджмента.

Ситуационный менеджмент в своей практической сущности есть целенаправленный процесс: а.) накопления исходной и обработанной информации об реальных ситуациях в практике применения объекта изучения; б) распознавания и представления ситуаций; в) анализа прошлых и прогнозирования будущих ситуаций; г) формулирования выводов, планирования и приведение в исполнение действий, осуществляемый так, чтобы развитие ситуации привело к желаемой цели [93]. Обобщенное понимание контура управления согласно базовых концепций ситуационного менеджмента представлено на рисунке 2.1.2.

Основной конструктивной составляющей ситуационного менеджмента является изучение, формирование и реализация моделирования ситуаций, которое позволяло бы на базе имеемых знаний и накопленной предварительной информации о ходе развития реальной ситуации с объектом изучения в прошлом воспроизвести ее в программной среде АСДПП и спрогнозировать будущее ее развитие. Вариабельность такого моделирования определяет возможности выработки решений по воздействию на реальную ситуацию с целью обеспечения ее благоприятного развития. Очевидно, что конструктивность подхода, используемого в ситуационном менеджменте, к рассмотрению управленческих ситуаций и методам выработки управленческих воздействий на эти ситуации хорошо сочетаются с концепцией построения современных ПК АСДПП, реализующим моделирование таких сложных объектов и явлений, как авиационный трафик и аварийные ситуации в процессе его протекания.

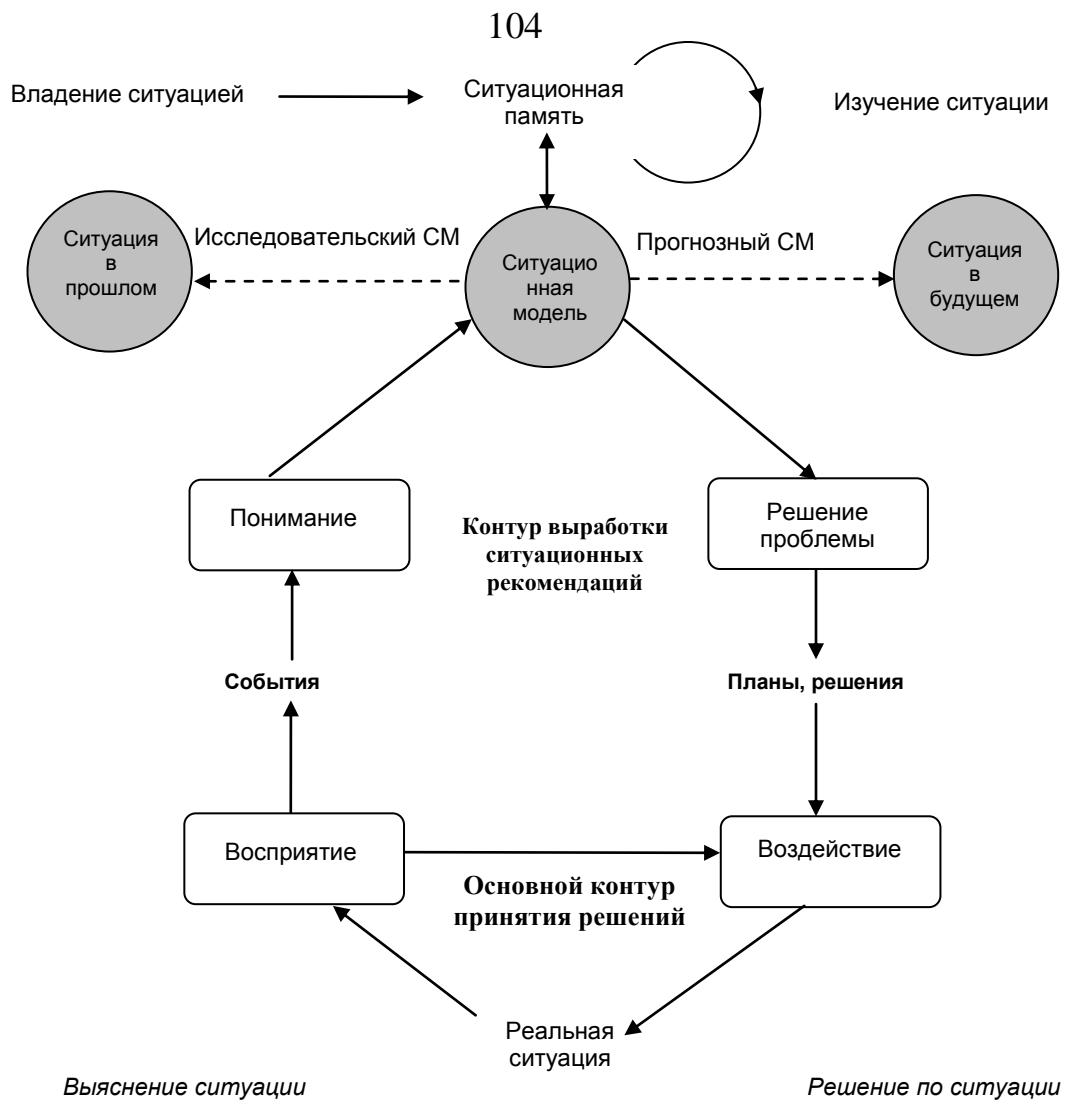


Рисунок 2.1.2 – Контур управления в ситуационном менеджменте

Что же является реализацией ситуационной модели в программно-информационном плане? Ответ на этот вопрос вытекает из рассмотрения самого процесса ситуационного моделирования на основе современных компьютерных систем. В работе [65] дается детальная классификация уровней в рассмотрении понятия «ситуационное моделирование». На его базе становится возможным обобщить представление моделирования и прогнозирования текущего состояния взаимодействующих объектов воздушного трафика в ситуационно-управляемом АСДПП в некоторую ситуационную модель управления эксплицированную на шкалу времени. Она представлена на рисунке 2.1.3.

Из показанного представления ситуационной модели управления объектами авиационного транспорта видно, что весь процесс диспетчерского воздействия на авиационный трафик представляет собой упорядоченную

последовательность пространственных ситуаций, органично вытекающих одна из другой. Учет того факта, что в зависимости от решений диспетчера развитие ситуации может иметь несколько исходов, приводит к появлению некоторой обусловленной последовательности ситуаций. Такую последовательность, в соответствии с терминологией ситуационного менеджмента, принято понимать, как «сценарий развития геопропространственного процесса». При этом ни одна отдельная пространственная ситуация не содержит модель объекта управления, но релевантная совокупность ситуаций содержит ситуационно-описанную модель объекта управления.

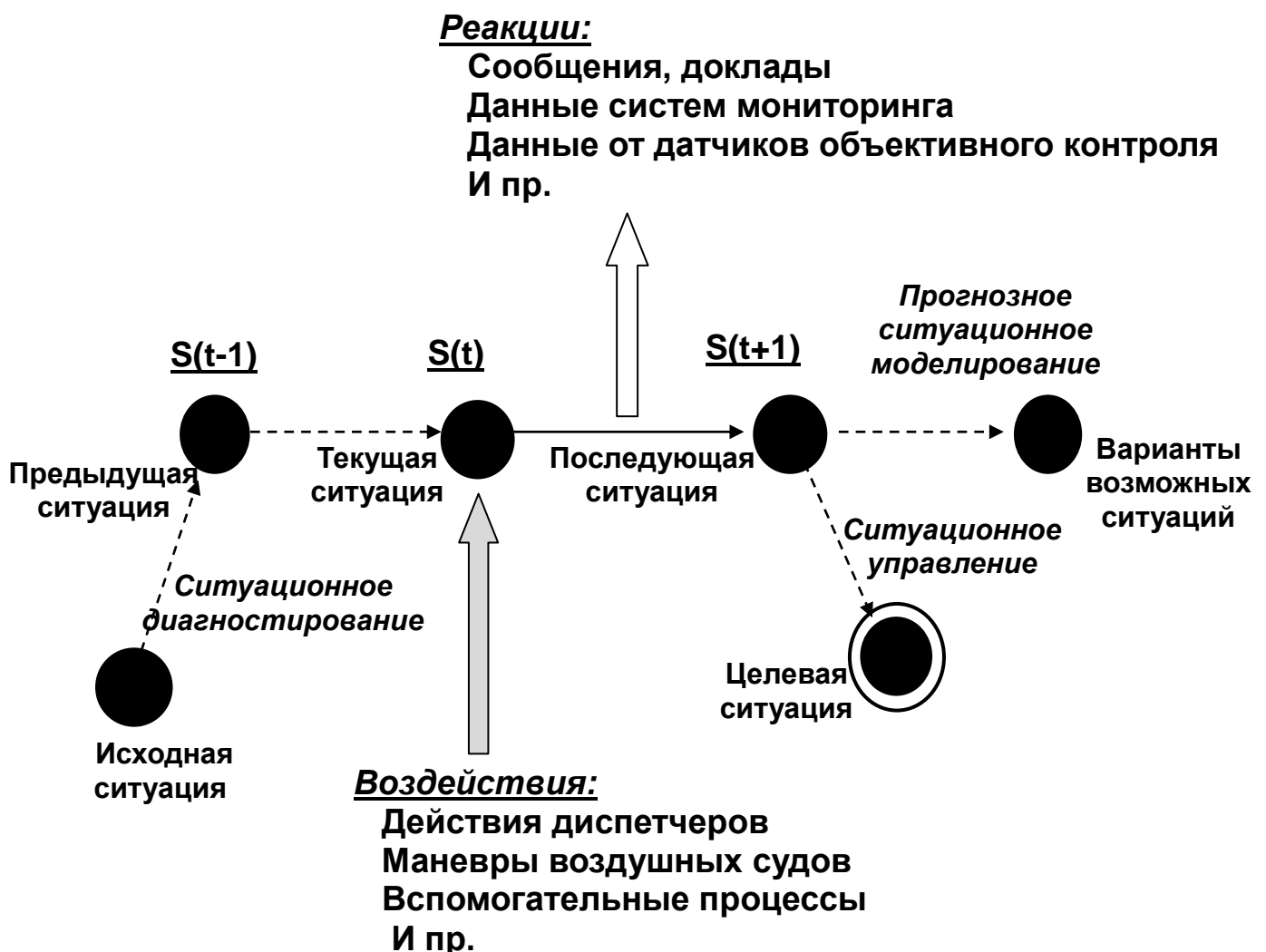


Рисунок 2.1.3 – Динамическое представление ситуационной модели управления объектами авиационного транспорта

Сценарий развития типового геопропространственного процесса на ситуационно-управляемом ПК АСДПП, его состав и структура определяется системой требований к уровню детализации управляющих воздействий

диспетчера. Такое рассмотрение прикладных геопространственных процессов в рамках процедур их ситуационного моделирования позволяет интерпретировать систему управления объектами авиатранспорта в терминах контура ситуационного менеджмента (Рисунок 2.1.4.).

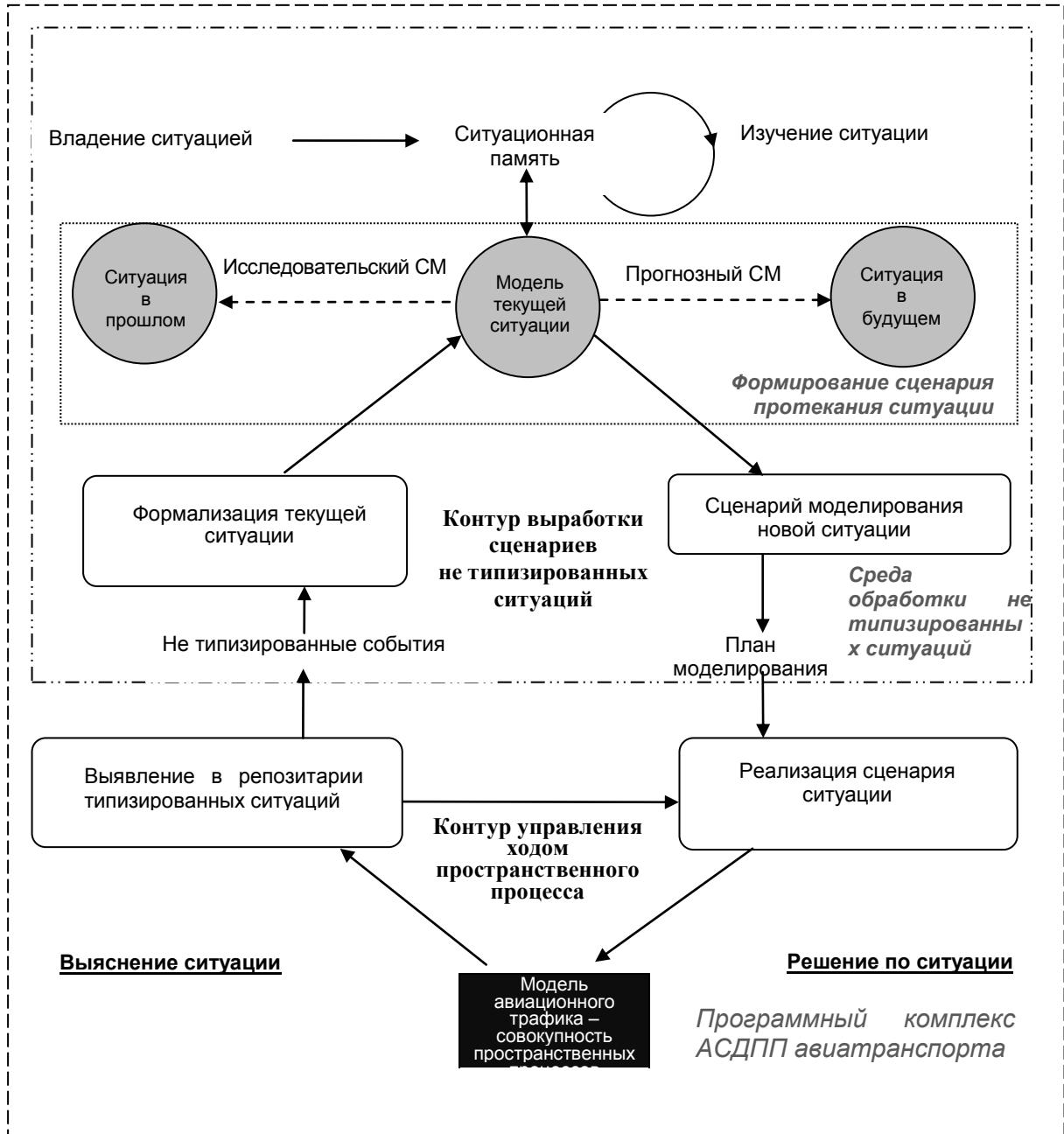


Рисунок 2.1.4 – Интерпретация системы управления на базе ПК АСДПП в терминологии ситуационного менеджмента

Приведенная интерпретация системы управления на базе ПК АСДПП в терминологии ситуационного менеджмента позволяет определить те направления и способы улучшения качества управления пространственными процессами авиатранспорта, которые могут обеспечить современные и

перспективные квалиметрические средства, применяемые к программным комплексам, реализующим описанные принципы ситуационного менеджмента (управления) в автоматизированных системах диспетчеризации пространственными процессами авиатранспорта.

2.1.4. Повышение результативности и улучшение качества управления пространственными процессами авиатранспорта

Определяя повышение результативности и улучшение качества управления пространственными процессами авиатранспорта на принципах ситуационного менеджмента, необходимо показать не возможность дальнейшего эффективного улучшения управления авиатранспортом на основе традиционных ПК АСДПП. В исторической ретроспективе надо заметить, что автоматизация различных пространственно-разнесенных диспетчерских систем авиатранспорта осуществлялась во многом хаотично, по отдельным функциям и направлениям, и поэтому говорить о единой традиционной модели обработки информации в АСДПП затруднительно. Однако на примере большинства существующих АСДПП, можно условно выделить следующую традиционную т.н. трехуровневую модель обработки информации при диспетчеризации пространственных процессов, обобщенно представленную в таблице 2.1.2. Из этой таблицы видно, что в традиционной модели функционирования АСДПП автоматизированная обработка информации фактически сводится к формированию информационной модели текущей обстановки на контролируемом географическом пространстве. Поддержка лица принимающего решения (диспетчера) фрагментарна. Обычно она выражается в наличии у диспетчера набора программных инструментариев, позволяющих ему реализовать отдельные наиболее важные (или рутинно повторяющиеся) функции.

Таблица 2.1.2 – Традиционная трехуровневая модель обработки информации в АСДПП при диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта

№ п/п	Содержание реализуемой обработки информации	Средства реализации обработки информации	Уровни обработки	Идентификатор названия уровня
1.	Анализ текущей обстановки, выявление признаков потенциальных нештатных ситуаций, выработка диспетчерских решений	Лицо принимающее решение (диспетчер), отдельные программные средства обоснования принимаемых решений	Уровень принятия решений ↑ -----	<u>Не автоматизировано</u> <u>или</u> <u>автоматизировано частично</u>
2.	Отождествление текущих данных по диспетчеризируемым объектам от разных пространственно разнесенных источников, сопровождение объектов, формирование текущей инф. модели обстановки	Прикладное (специальное) программное обеспечение диспетчерского пункта, геоинформационная система с встроенными ПК	3 уровень обработки -----	<i>Третичная обработка</i>
3.	Классификация и сопровождение диспетчеризируемых объектов	I. Программное обеспечение подсистемы мониторинга II. Прикладное программное обеспечение диспетчерского пункта	2 уровень обработки -----	<i>Вторичная обработка</i>
4.	Обнаружение сигнала в среде, выделение сигнала на фоне помех	Подсистема мониторинга обстановки, средства наблюдения (освещения) обстановки	1 уровень обработки -----	<i>Первичная обработка</i>

Анализ текущей обстановки на предмет выявления признаков и фактов нештатной ситуации в развитии диспетчеризируемых процессов остается прерогативой диспетчера. В рамках этой модели роль прикладного ПК – являться программной платформой для представления текущей информационной модели обстановки и реализации функциональности прикладного программного инструментария диспетчера. Этот инструментарий

обычно основан на строгих математических моделях. Однако сама традиционная модель обработки информации в АСДПП авиатранспорта не позволяет реализовать качественные преимущества средств ситуационного менеджмента и интеллектуальной поддержки.

Их технологическая оторванность от автоматизированного трехуровневого процесса обработки информации в АСДПП (Они применяются уже, фактически, вне рамок этого процесса, что показано в таблице 2.1.2.) ставит их в один ранг значимости с простыми расчетными программными средствами - инструментариями диспетчера.

Таким образом, принципиальное повышение результативности и улучшение качества управления пространственными процессами авиатранспорта с использованием средств ситуационного менеджмента и интеллектуальной поддержки сегодня тесно увязано с реализацией принципиально более совершенной модели обработки информации в АСДПП при диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта. Такая модель ориентирована не только на обработку информации о каждом авиационном объекте (борте), а на анализ геопропространственных ситуаций и оценку степени их опасности. Такая модель предусматривает шесть уровней обработки информации, показанные на рисунке 2.1.5. Именно в этом выражается реализация информационного аспекта ситуационного управления диспетчеризируемыми пространственными процессами. В современной информатике совокупность исследований в данном направлении получила название методологии слияния информации (Information Fusion) [107]. В данном случае этот термин следует понимать в более широком смысле, чем простой процесс интеграции данных. Под слиянием информации (Information Fusion) понимается [107] некоторая система, включающая совокупность методик и инструментов для объединения данных из различных источников, с целью получения информации более высокого качества. На практике данный рост качества, а так же обеспечиваемый рост результативности ПК АСДПП достигается путем реализации соответствующих методических, нормативно-

технических и проектно-технических норм, стандартов и других квалиметрических средств улучшения (управления) качества указанных программных комплексов и процессов их применения, что показано в правой части рисунка 2.1.5.

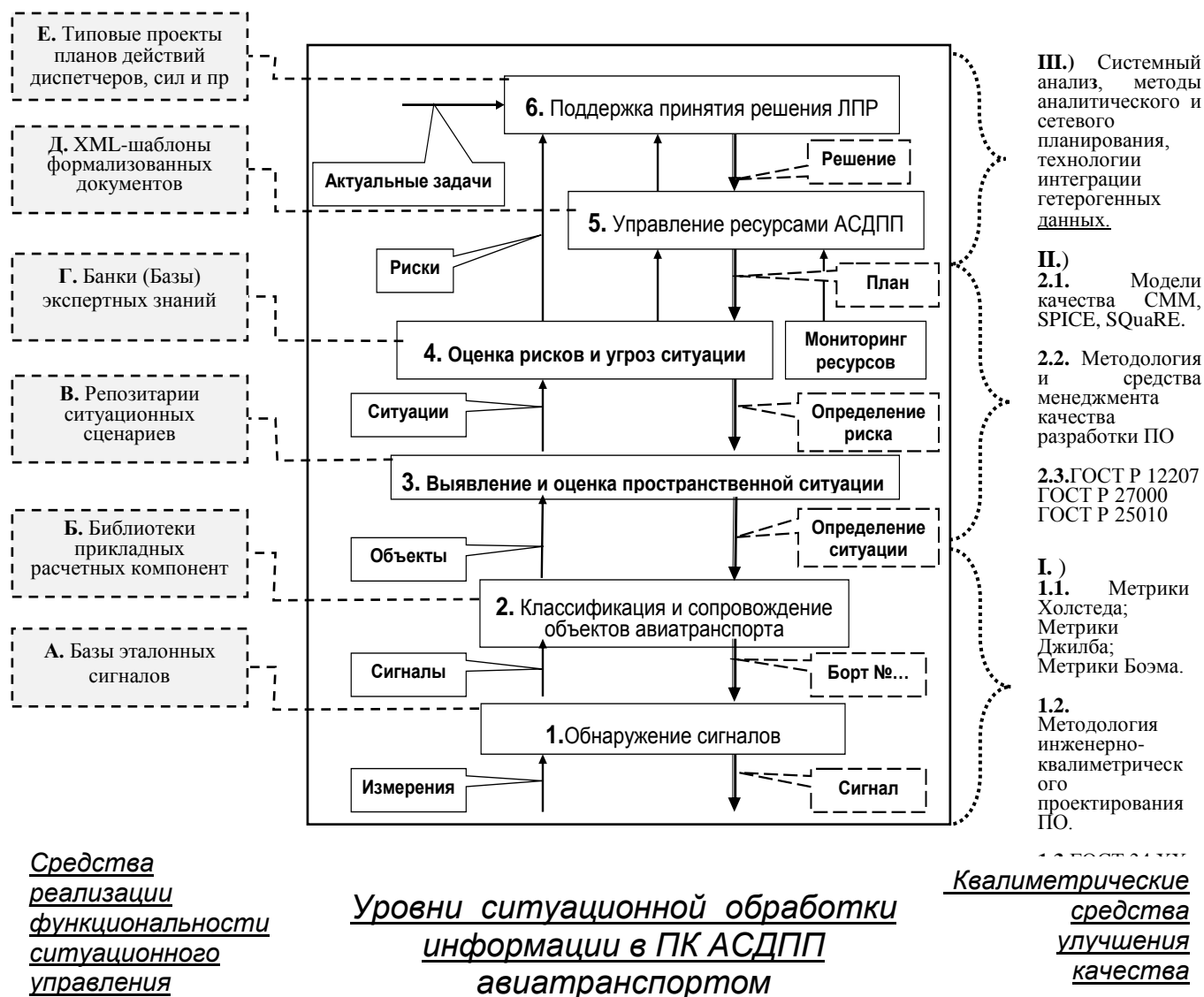


Рисунок 2.1.5 – Концептуальная схема улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента

Очевидно, что по мере продвижения по уровням ситуационной обработки информации (по мере усложнения процессов обработки информации) снижается обеспеченность процессов создания соответствующего программного обеспечения квалиметрическими средствами улучшения качества, падает представительность и эффективность их применения. Именно

этим определяется необходимость разработки предлагаемой концепции и дальнейших работ данного исследования.

Не трудно показать эффект обеспечиваемый обработкой информации в АСДПП на базе схемы улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента (т.е. при реализации соответствующих: единой модели представления данных, единого интерфейса взаимодействия соответствующих программных компонентов):

Пусть АСДПП включает в себя множество Q подсистем (автоматизированные системы и средства мониторинга за средой и пространственными процессами, средства автоматизации диспетчерского пункта, средства передачи данных и пр.). Для каждой подсистемы $q \in Q$ заданы следующие конечные множества, соответствующие функциям целевого функционирования подсистемы:

$\Phi_q = \{\phi_q^1, \phi_q^2, \dots, \phi_q^l\}$, где $q \in Q$ – множество всех функций, предоставляемых подсистемой q в процессе ее целевого функционирования, где l – количество таких функций.

$O_q = \{o_q^1, o_q^2, \dots, o_q^k\}$, где $q \in Q$ – множество всех интерфейсов представления функций, предоставляемых подсистемой q в процессе ее целевого функционирования, где k – количество интерфейсов таких функций.

Очевидно, что каждой функции предоставляемой подсистемой q соответствует интерфейс представления данной функции. Отображение $f_q : \Phi_q \rightarrow O_q$, где $q \in Q$, сопоставляет каждой функции, предоставляемой подсистемой q , интерфейс представления этой функции и обладает свойством:

$$\forall \phi_q^a \in \Phi_q \exists o_q^b \subset O_q, \text{ где } a \in \{1..l\}, b \in \{1..k\}, q \in Q. \quad (2.1.10)$$

Причем одной и той же функции ϕ_q^a может соответствовать несколько интерфейсов, то есть, возможны две ситуации:

1. подмножество интерфейсов представления a -ой функции O_q^a состоит из одного элемента, т.е. функцию представляет только один интерфейс;
2. подмножество O_q^a состоит из μ элементов, где $\mu \leq l$, т.е. функцию представляет несколько интерфейсов, но не более чем общее число таких функций.

Так же определено:

$I_q = \{i_q^1, i_q^2, \dots, i_q^m\}$, где $q \in Q$ – множество всех интерфейсов входных данных, потребных подсистеме q в процессе ее целевого функционирования, где m – количество интерфейсов входных данных.

Для этого множества, очевидно, что каждой функции предоставляемой s -м программным объектом соответствует необходимый интерфейс входных данных. Отображение $f_q: \Phi_q \rightarrow I_q$, где $q \in C$, сопоставляет каждой функции, предоставляемой подсистемой q , необходимый интерфейс входных данных и обладает свойством:

$$\forall \phi_q^a \in \Phi_q \exists i_q^b \subset I_q, \text{ где } a \in \{1..l\}, b \in \{1..m\}, q \in Q. \quad (2.1.11)$$

Причем одной и той же функции ϕ_q^a может соответствовать несколько интерфейсов, то есть, возможны две ситуации:

1. подмножество интерфейсов представления a -ой функции I_q^a состоит из одного элемента, т.е. функции необходим только один интерфейс входных данных;
2. подмножество I_q^a состоит из μ элементов, где $\mu \leq m$, т.е. функции необходимо несколько интерфейсов входных данных, но не более чем общее число интерфейсов.

Допуская, что для подсистемы q необходимы данные от подсистемы p , следует сделать вывод: соответствующий выходной интерфейс o_p^j подсистемы p должен быть тождественен входному интерфейсу i_q^s подсистемы q , то есть

$$o_p^j \equiv i_q^s \quad (2.1.12)$$

Переход к рассмотрению АСДПП авиатранспорта, в целом, в рамках выше приведенного формального описания, позволяет прийти к выводу, что общее множество интерфейсов R равняется объединению множеств всех входящих и выходящих интерфейсов $R = I \cup O$, а множество внутрисистемных интерфейсов \bar{R} равняется пересечению множеств всех входящих и выходящих интерфейсов $R = I \cap O$. Причем, их в свою очередь, можно разделить на три непересекающихся множества:

- 1) множество входных интерфейсов системы – A ;
- 2) множество интерфейсов предоставляемых системой – C ;
- 3) множество интерфейсов взаимодействия подсистем внутри системы – B .

Таким образом, справедливы следующие выражения:

$$R = I \cup O = A \cup B \cup C; \quad (2.1.13)$$

$$\bar{R} = I \cap O = B; \quad (2.1.14)$$

$$A \cap B \cap C = \emptyset. \quad (2.1.15)$$

Как было показано выше, каждая функция целевого функционирования подсистемы предоставляет другой подсистеме интерфейс представления $\forall \phi_q^a \in \Phi_q \exists o_q^b \subset O_q$. На приведение информации к нужному виду, то есть преобразование информации к нужному интерфейсу расходуется время $t_i = f(o_i)$, $\forall o_i \in O_q^a$. Таким образом, общее время, затрачиваемое на предоставления данных подсистемой, равняется сумме преобразований информации к каждому интерфейсу $T_q^a = \sum_{i=1}^n t_i$, где n – количество интерфейсов предоставляемых функцией ϕ_q^a . При приведении всех интерфейсов представления к одной модели представления данных время расходуется только на первое преобразование, остальные интерфейсы получают путем копирования первого $T_q^a = t_a$. Очевидно, что для подсистемы q время, затрачиваемое на приведение данных к нужным интерфейсам представления, равняется сумме приведений данных к нужному интерфейсу каждой функции

данной подсистемы $T_q = \sum_{a=1}^l T_q^a$, где l – количество функций, выполняемых каждой подсистемой. В свою очередь для АСДПП, в целом, время, затрачиваемое на приведение данных к нужным интерфейсам представления, равняется сумме приведений данных к нужному интерфейсу каждой подсистемы в системе $T = \sum_{q=1}^Q T_q$, где Q – количество подсистем в рассматриваемой системе. На основании вышесказанного можно сделать вывод о повышении такой составляющей результативности как производительность (Снижение временных затрат на обработку информации по одному объекту (Например, программно-информационной модели авиаборта и пр.), соответственно – увеличению количества объектов обрабатываемых в единицу времени, уменьшению времени реакции системы) работы АСДПП за счет использования единой модели представления данных. Использование единой модели представления данных приведет к повышению производительности системы в случае, когда общее время на преобразования данных к каждому интерфейсу представления данных каждой функции каждой подсистемы больше общего времени преобразования данных к общей модели представления данных каждой функции каждой подсистемы, то есть:

$$\sum_{q=1}^Q \sum_{a=1}^l \sum_{i=1}^n t_{qai} > \sum_{q=1}^Q \sum_{a=1}^l t_{qa}^* , \quad (2.1.16)$$

где Q – количество подсистем в системе, l – количество функций предоставляемых подсистемой q , n – количество интерфейсов представления данных функции a подсистемы q .

Так же можно показать эффект на базе роста экономичности создания программного обеспечения новых ПК АСДПП на базе схемы улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента. Пусть для создания программного обеспечения новой системы предусматривается выделение определенного количества ресурса S . Эта величина является константой: $S = const$. Данный ресурс делится:

- 1) ресурс на создание функций выполняемых системой – S_ϕ ;
- 2) ресурс на создание интерфейсов – S_R , который в свою очередь можно разделить на ресурсы для каждого из видов перечисленных интерфейсов –

$$S_K = S_A + S_B + S_C. \quad (2.1.17)$$

В свою очередь каждый из вышеперечисленных ресурсов можно рассматривать как сумму затрат на каждый из элементов входящих в данное множество, то есть:

- 1) ресурс на создание функций выполняемых системой – $S_\phi = \sum_{i=1}^l s_{\phi_i}$, где l – количество функций выполняемых системой;

- 2) ресурс на создание интерфейсов входящей информации в систему – $S_A = \sum_{i=1}^m s_{a_i}$, где m – количество интерфейсов входящей информации в систему;

- 3) ресурс на создание интерфейсов информации предоставляемой системой – $S_C = \sum_{i=1}^o s_{c_i}$, где o – количество интерфейсов информации предоставляемой системой;

- 4) ресурс на создание интерфейсов взаимодействия подсистем внутри системы – $S_B = \sum_{i=1}^n s_{b_i}$, где n – количество интерфейсов взаимодействия подсистем внутри системы.

Тогда приведение всех интерфейсов взаимодействия подсистем внутри системы к одной модели представления данных позволит, создав только один интерфейс s_b , остальные получить путем его копирования.

Таким образом, общие затраты ресурса равны затратам на реализацию одного интерфейса $S_B = s_b$. На основании вышесказанного можно сделать следующий вывод: Использование единой модели представления данных ПК АСДПП на базе схемы улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента приведет к высвобождению ресурса при создании программного обеспечения

новой системы в случае, когда общий ресурс на создание всех интерфейсов взаимодействия между подсистемами внутри системы, с учетом специфики каждого интерфейса, больше ресурса на создание общей модели представления данных АСДПП, то есть $S_B > s_b$. В случае выполнения этого условия может быть высвобожден ресурс, позволяющий снизить стоимость программного обеспечения новой АСДПП.

Резюмируя выше приведенную научно-методическую концепцию улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента можно констатировать, что повышение результативности и улучшение качества управления пространственными процессами авиатранспорта может быть достигнуто путем перехода от объектной диспетчеризации (т.е. диспетчеризации только на уровне пространственных процессов) к ситуационному управлению трафиком воздушного сообщения, а соответственно принципиальным изменением процедур контроля, оценки и управления качеством соответствующих ПК АСДПП авиатранспортом.

2.2 Метод анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса

2.2.1 Качество протекания авиационного пространственного процесса и его динамика

Качество протекания авиационного пространственного процесса - есть степень удовлетворения потребностей всех его участников, обеспечивающих сил, а так же потребителей соответствующих авиатранспортных услуг. Основными сложными показателями этого качества являются: безаварийность, навигационная точность, экономическая результативность, оперативность и пр.

Принятая в рамках обобщающей концепции улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента принципиальная схема определения «штатных» и «нештатных» ситуаций предполагает следующее соотношение этих понятий с понятием «Качество протекания пространственного процесса»: чем в большей степени развитие пространственного процесса соответствует созданию последовательностей штатных (стандартных) ситуаций, т.е. ближе такое протекание установленному регламенту протекания пространственных процессов, тем выше его качество. И наоборот: чем сильнее развитие пространственного процесса отклоняется от установленного регламента протекания пространственных процессов, т.е. порождает большее число нештатных (нестандартных) ситуаций, тем ниже качество протекания такого пространственного процесса.

Таким образом, становится возможным говорить о динамике качества авиационного пространственного процесса по мере его развития. Эта динамика обоснована тем, что не одна внештатная ситуация не складывается одномоментно: всегда имеет место факторы поступательного наращивания опасных отклонений, несанкционированных сближений и пр.

В рамках выше описанного подхода, при котором предусматривается предварительное описание штатного протекания любого пространственного

процесса, качество протекания реального пространственного процесса определяется степенью его точности и «близости» по всем параметрам-показателям к протеканию моделируемого в ПК АСДПП штатного эталона. Очевидно, что «описывать» штатный эталон для протекания каждого пространственного процесса как самостоятельную программную модель, реализуемую на принципах традиционного программирования в рамках объектно-ориентированного подхода, не представляется возможным в силу неограниченного числа вариантов специфики развития пространственных процессов авиатранспорта, а так же высочайшей трудоемкости. Однако учитывая, что штатное протекание любого авиационного пространственного процесса в руководящих документах представляет собой сумму знаний о правилах, которые должны быть выполнены в ходе развития такого процесса, представляется эффективным и обоснованным описывать штатные эталоны пространственных процессов как соответствующие формализованные знания в базе знаний (БЗ) для экспертной системы в составе ПК АСДПП. Тогда программные компоненты ПК АСДПП, реализующие функциональность искусственной интеллектуальности (ЭС), осуществляют контроль и управление моделированием штатного (эталонного) протекания пространственного процесса. Это позволяет в дальнейшем осуществлять непрерывное и последовательное сравнение параметров эталонного и текущего протекания пространственного процесса, тем самым анализируя динамику его качества.

Как отмечалось выше, важнейшей целью диспетчерской деятельности является обеспечение безаварийности диспетчеризируемых пространственных процессов. Поэтому одной из основных задач ПК ситуационного управления в АСДПП при анализе протекания авиационного пространственного процесса и его динамики является своевременное выявление признаков нештатной ситуаций на основе циркулирующей в системе информации о всех диспетчеризируемых пространственных процессах.

Очевидно, что при прямой постановке этой задачи представляется крайне затруднительным собрать полные и непротиворечивые знания о признаках и

методах выявления всех возможных нештатных ситуаций. Множество нештатных ситуаций логически не ограничено, а имеемый экспертный опыт в отношении их признаков всегда будет обладать частным характером. Знание характеристик нештатных ситуаций, имевших место в прошлом, не обеспечивает уверенности в том, что в будущем не возникнет принципиально новая нештатная ситуация. Однако, наличие стандарта, установленного в регламенте протекания пространственных процессов, позволяет по-новому подойти к выявлению и представлению знаний о нештатных ситуациях. При этом подходе важно корректно представить знания о штатном (установленном) порядке протекания пространственного процесса, о тех характеристиках диспетчеризируемых объектов, которые позволяют сделать вывод о штатности текущей или прогнозируемой ситуаций, т.е. их соответствии имеемому регламенту организации пространственных процессов [140].

Тогда решение задачи выявления нештатных ситуаций сводится к следующим процедурам:

1. Репрезентация знаний о пространственном процессе на основе формализованного представления описания текущей пространственной ситуации.

Знания о пространственном процессе формулируются в виде обобщенного формализованного описания пространственной ситуации, которое учитывает все то множество параметров среды, диспетчеризируемых объектов и регламента организации пространственных процессов, которое отличает штатную ситуацию от нештатной. При таком подходе источником знаний и данных для моделирования пространственной ситуации может быть не только традиционный эксперт (квалифицированный специалист-диспетчер АСДПП), но и сам регламент организации пространственных процессов в виде различного рода правоустанавливающих документов, правил, руководств, наставлений, инструкций и т.п., определяющих требования к стандарту протекания пространственного процесса.

2. Создание сценария пространственного процесса (планирование штатного пространственного процесса).

Сценарий пространственного процесса представляет собой формализованные описания конечного множества пространственных ситуаций, моделируемых с заданной временной дискретностью и описывающих эталонный (стандартный, штатный) вариант развития рассматриваемого пространственного процесса от момента его инициализации (возникновения) до момента его ликвидации (окончания). На этапе планирования пространственного процесса его моделирование осуществляется вне режима реального времени в целях проверки его штатности (соответствия регламенту пространственных процессов). Такой подход способствует проверке безопасности инициализируемого пространственного процесса до начала его фактической реализации.

3. Моделирование утвержденного сценария в реальном масштабе времени в ПК АСДПП параллельно с фактическим развитием процесса.

Реализация такого моделирования приведет к тому, что в программном обеспечении и средствах отображения ПК АСДПП пространственный процесс будет представлен в двух видах (рисунок 2.2.1): стандартном (эталонном) и реальном (фактическом). При этом необходимость визуализации стандартного (эталонного) вида процесса определяется пользователем (диспетчером).

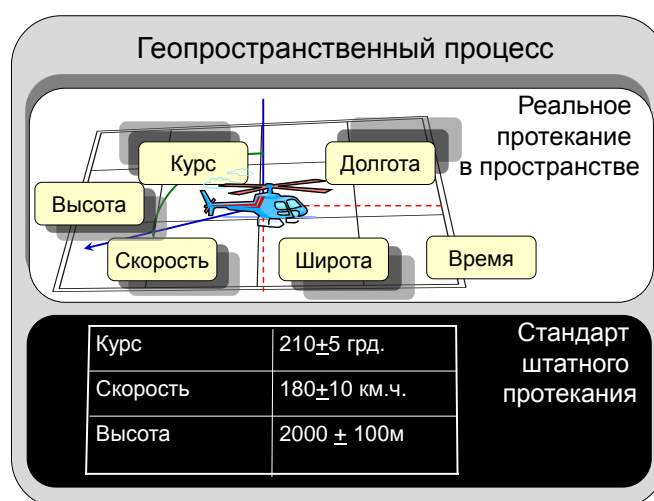


Рисунок 2.2.1 – Пример представления сценария и реального пространственного процесса в ПК АСДПП

4. Текущий и прогнозный анализ соответствия сценария и реального пространственного процесса.

Целью текущего анализа является оценка штатности реальной пространственной ситуации на текущий момент времени. Целью прогнозного анализа является оценка возможности и времени возникновения нештатной ситуации из-за отклонения контролируемых параметров ситуации от их эталонных значений или их не изменения в определенный момент времени. Результаты обоих видов анализа направлены на своевременное выявление и автоматизированное предупреждение аварийных ситуаций, активизацию внимания и деятельности диспетчера на предотвращение возникновения и разрешение нештатных ситуаций.

Таким образом, предлагаемое решение задачи автоматизированного выявления нештатных ситуаций в ПК ситуационного управления АСДПП основано на параллельном моделировании эталонного и фактического вида всех пространственных процессов в зоне контролируемой диспетчером. Суть этой схемы показана на рисунке 2.2.2.

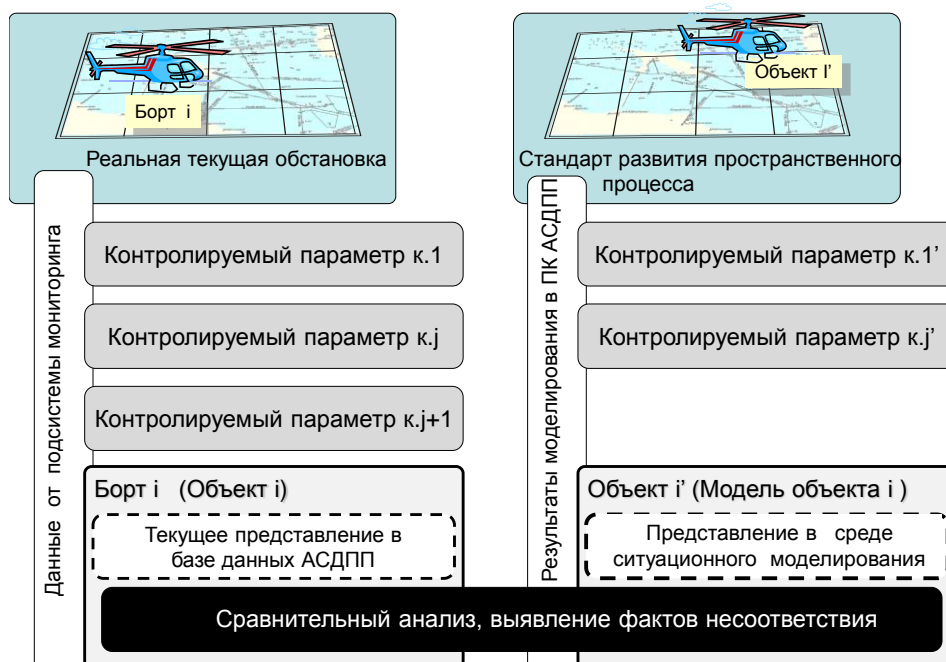


Рисунок 2.2.2 – Существо схемы сравнения эталонного и реального пространственных процессов в целях выявления нештатных ситуаций

Предлагаемое ситуационное моделирование штатного протекания авиационных пространственных процессов можно рассмотреть как некоторое гомоморфное преобразование, т.к. любой гомоморфизм порождает модель, т.е. каждая модель определяется некоторым гомоморфизмом, причем выбор соответствующего гомоморфизма зависит от того, какие свойства исходного процесса считаются существенными при моделировании. При таком подходе основным принципом системного (комплексного) моделирования последовательностей ситуаций является принцип многомодельности. Его реализация применительно к задаче выявления нештатных ситуаций в ПК АСДПП выражается в построении и использовании на практике иерархической системы моделей экспертных знаний.

На множестве моделей экспертных знаний существует модель $M = \{M_i, i = \overline{1, n}\}$ бинарного отношения $r_M = \langle M, R_M \rangle, R_M \subseteq M \times M$. Указанное отношение далее именуется отношением моделирования, определяемым на основе введения понятия уровня моделирования: модель $M_i (i = \overline{1, n})$ является моделью экспертных знаний i -го уровня моделирования (формализации) и моделью $(i - j)$ -го уровня по отношению к модели $M_j (j = \overline{1, i})$. Например, модель M_3 является моделью экспертных знаний 3-го уровня и моделью 2-го уровня по отношению к M_1 . Таким образом, тот факт, что некоторая упорядоченная пара моделей $\langle M_i, M_j \rangle (i, j = \overline{1, n}; i \geq j)$ связана отношением моделирования (что записывается как $M_i r_M M_j$ или как $\langle M_i, M_j \rangle \in R_M$) содержательно означает: модель экспертных знаний M_i есть модель (метамодель) $(i - j)$ -го уровня по отношению к модели (объектной модели) M_j .

Естественно предположить наличие у введенного отношения моделирования следующих свойств:

а) рефлексивности

$$\forall (i = \overline{1, n}) M_i r_M M_i, \quad (2.2.1)$$

т.е. каждая из моделей экспертных знаний есть «модель (0-го уровня моделирования) самой себя»);

б) антисимметричности

$$\forall(i, j = \overline{1, n}, i \neq j) M_i r_M M_j \Rightarrow \neg(M_j r_M M_i), \quad (2.2.2)$$

т.е. имеет место «направленность» отношения моделирования в сторону возрастания степени формализации модельных представлений (модель более низкого уровня формализации не может быть моделью по отношению к модели более высокого уровня);

в) транзитивности

$$\forall(i, j, k = \overline{1, n}) M_i r_M M_j \wedge M_j r_M M_k \Rightarrow M_i r_M M_k, \quad (2.2.3)$$

т.е. при наличии «промежуточной» модели результирующий уровень моделирования определяется как сумма связанных с ней уровней формализации $i - k = (i - j) + (j - k)$, при этом модель j -го уровня выступает одновременно в двух ролях - как метамодель по отношению к M_k и как объектная модель по отношению к модели M_i ;

г) полноты

$$\forall(i, j = \overline{1, n}) M_i r_M M_j \vee M_j r_M M_i, \quad (2.2.4)$$

т.е. имеется возможность сравнения по отношению r_M моделей экспертных знаний M .

Свойства (2.2.1-2.2.3) определяют наличие на множестве M частичного (нестроого) порядка, а свойство (2.2.4) превращает данный порядок в строгий (линейный). Количество звеньев в цепочке моделей должно определяться, с одной стороны, спецификой моделируемых пространственных процессов и характером решаемых задач АСДПП, с другой, особенностями работы эксперта и инженера по знаниям в процессе многоэтапной многоуровневой формализации экспертных знаний [132]. К системе моделей экспертных знаний при этом предъявляются следующие требования:

- переходы между уровнями моделирования не должны вызывать затруднений у эксперта и инженера по знаниям в процессе их совместной деятельности по созданию базы знаний для ПК АСДПП;

- при переходе от модели экспертных знаний одного (более высокого) к модели другого (более низкого) уровня формализации недопустимы потеря и (или) искажение информации.

Учитывая указанные требования, а также исходя из особенностей предметной области АСДПП авиатранспорта, можно предложить ряд уровней моделирования (формализации) экспертных знаний, которые условно могут быть названы: содержательным, структурно-содержательным, структурно-формальным, формальным и программным. Особенности представления экспертных знаний на каждом из уровней моделирования сводятся к следующему:

1. Содержательная (концептуальная) модель экспертных знаний, являясь их «первичной» моделью, соответствует вербальному (словесному) описанию экспертом множества понятий, выделяемых в предметной области АСДПП авиатранспортом, и их взаимосвязей (онтологии предметной области). К ним также должны быть отнесены различного рода положения правоустанавливающих документов, руководств, наставлений, инструкций и т.п., принимаемые для описания стандарта пространственной ситуации.

2. Построение структурно-содержательной модели экспертных знаний связано со структурированием выделенной совокупности понятий предметной области - формированием структуры понятийной системы в явном виде.

3. Структурно-формальная модель экспертных знаний содержит две компоненты: структурную и формальную. Первая из них тождественна соответствующей компоненте структурно-содержательной модели, а вторая, формальная компонента, есть результат формализации содержательной составляющей структурно-содержательной модели средствами некоторого формального языка.

4. Формальная модель экспертных знаний, в отличие от структурно-формальной модели, характеризуется отсутствием структурной компоненты и наличием формально-языковых конструкций, с помощью которых осуществляется формализация экспертных знаний.

5. Программная модель экспертных знаний образуется в результате представления формальной модели с помощью соответствующих программных и инструментальных средств представления экспертных знаний [131,133].

Комплекс разработанных моделей составляет БЗ ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, которая является средством формирования отдельных эталонных пространственных ситуаций и сценариев диспетчеризируемых пространственных процессов.

Следовательно, процедура (алгоритм) анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса должна представлять собой логически упорядоченную последовательность действий по построению БЗ ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, т.е. переходу от концептуальных (содержательных) моделей к программному продукту.

2.2.2 Этапы метода анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса

Представление знаний в сценарном виде вызвано необходимостью преодолеть проблему низкой эффективности процесса передачи знаний от экспертов в базу знаний ПК ситуационного управления ПК АСДПП авиатранспорта. Разработку базы знаний можно производить «вручную», но представление знаний в специализированной графической нотации с использованием специализированных программных средств, для их визуального синтеза и дальнейшего автоматизированного перевода в программный код, значительно упрощает процесс разработки БЗ для ПК ситуационного управления ПК АСДПП. Сценарная репрезентации знаний о

пространственных процессах, предлагаемая в рамках метода анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса, позволяет обеспечить ускоренное создание новых и поддержание в актуальном состоянии имеющихся БЗ ПК АСДПП авиатранспорта. Соответственно, в структуре этого метода выделяется следующая последовательность действий:

1. Синтез текущей онтологии ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом из необходимых базовых онтологий, ее представление в виде дерева классов, а затем представление на языке представления знаний (формальная и программная модели знаний).

2. Построение сценария эталонного развития пространственного процесса в графических примитивах:

2.1. построение укрупненных (по этапам), а затем детализированных (по действиям) схем сценариев пространственных процессов;

2.2. реализация блоков решений в сценариях;

2.3. реализация конкретных действий.

3. Реализация предметных знаний, интеграция процедурных и предметных знаний (генерация правил в БЗ на основе онтологии).

4. Тестирование базы знаний (верификация, оценка адекватности и проблемный анализ полученных сценариев);

5. Привязка сценария к конкретному пространственному процессу (добавление представителей классов).

6. Осуществление динамического (последовательного и непрерывного) сравнительного анализа соответствия реального пространственного процесса эталонному по установленному набору параметров-показателей качества пространственного процесса.

Детализация описания указанных этапов метода анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса позволяет раскрыть его детальное содержание:

1. Синтез текущей онтологии ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Базовая онтология – это точная спецификация структуры понятий и связей между ними в определенной предметной области, описанная средствами специализированной среды [42, 106]. При разработке текущей онтологии ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом выполняется слияние необходимых базовых онтологий предметных областей, выявление состава дополнительных понятий и логических связей (отношений) между ними, их идентификация и формализация. Конечным результатом разработки текущей онтологии ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом является иерархия классов, отражающих понятия предметной области ДПП и связи между ними. Для практического использования текущей онтологии ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом как платформы сценарной репрезентации знаний и разработки сценариев эталонных пространственных процессов в ее состав необходимо так же включить базовую онтологию разработки сценариев. Для дальнейшей практической реализации полученная онтология представляется в виде соответствующего дерева классов. Пример такого представления показан на рисунке 2.2.3. Представление онтологии в виде дерева классов позволяет описать эту онтологию на языке представления знаний в соответствующих специализированных программных средах искусственной интеллектуальности (в таких как, например, CLIPS, JEES, Prolog, Lisp, JBossRules и др.). Для этого используются языки представления знаний, которые воспринимаются машиной логического вывода ЭС ПК ситуационного управления АСДПП. При этом в нотации указанного языка формального представления знаний описывается каждый класс (понятие в онтологии) с соответствующими ему слотами (отношениями онтологии). Интеграция базовой онтологии разработки сценариев в состав текущей онтологии ПК АСДПП позволяет перейти к построению сценария развития пространственного процесса в графических примитивах. Такое построение осуществляется в рамках специализированного пользовательского интерфейса редактора онтологии ПК АСДПП. Пример такого описания в среде CLIPS, для

класса (понятия) «ЭТАП» из онтологии описания геопространственных сценариев показан на рисунке 2.2.4.

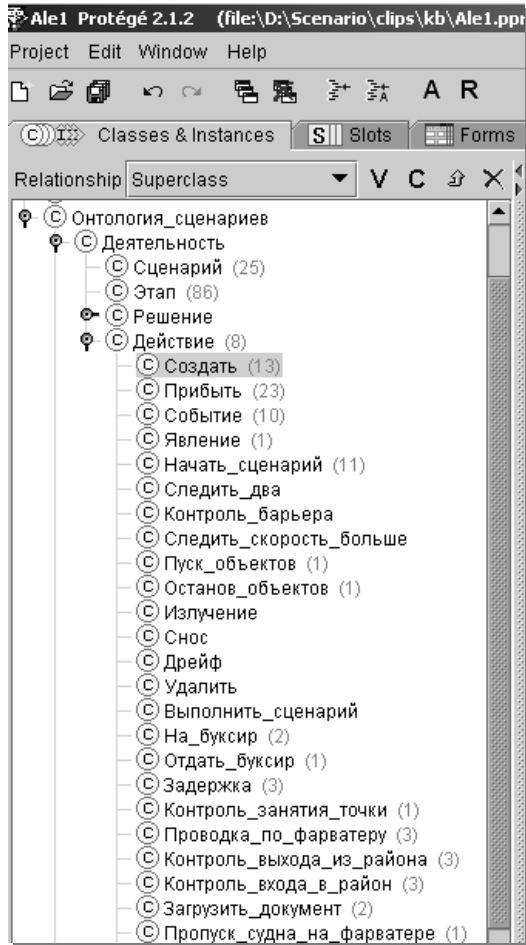


Рисунок 2.2.3 – Пример программного представления онтологии в виде дерева классов

```
(defclass Этап
(is-a Деятельность)
(role concrete)
(single-slot следующий-этап
(type INSTANCE)
;- (allowed-classes Этап Решение)
;- (cardinality 0 1)
(create-accessor read-write))
(multislot предыдущие-этапы
(type INSTANCE)
;- (allowed-classes Этап Решение)
(create-accessor read-write))
(single-slot сценарий
(type INSTANCE)
;- (allowed-classes Сценарий)
;- (cardinality 1 1)
(create-accessor read-write))
(multislot действия
(type INSTANCE)
;- (allowed-classes Действие)
(cardinality 1 ?VARIABLE)
(create-accessor read-write)))
```

Рисунок 2.2.4 – Пример описания класса из иерархии классов на языке представления знаний CLIPS

2. *Построение сценария эталонного развития пространственного процесса в графических примитивах.* Графические примитивы должны соответствовать ключевым абстракциям текущей онтологии ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Используя графические примитивы и их определенную семантическую (предметно-смысловую) интерпретацию, производится построение ориентированного графа, представляющего сценарий в целом. Вершины этого графа, обозначаемые графическими примитивами, соответствуют понятиям онтологии предметной области, а дуги – отношениям. Тогда структура полученного графа описывает причинно-следственную последовательность реализации шагов штатного (эталонного) сценария развития соответствующего пространственного процесса. В дальнейшем сценарии формализуются путем их представления на выбранном языке посредством специализированного приложения редактора онтологий, которое использует для этого перевода базовую онтологию разработки сценариев в составе текущей онтологии ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

В рамках базовой онтологии разработки сценариев множество графических примитивов имеет интерпретацию, показанную на рисунке 2.2.5.



Рисунок 2.2.5 – Нотация графических примитивов для синтеза сценариев и их синтаксическая и семантическая интерпретация

В процессе построения сценария каждому графическому примитиву присваивается соответствующее название (синтаксическая интерпретация

примитива) и соответствующее ему действие или преобразование (семантическая интерпретация примитива), что показано на рисунке 2.2.6.

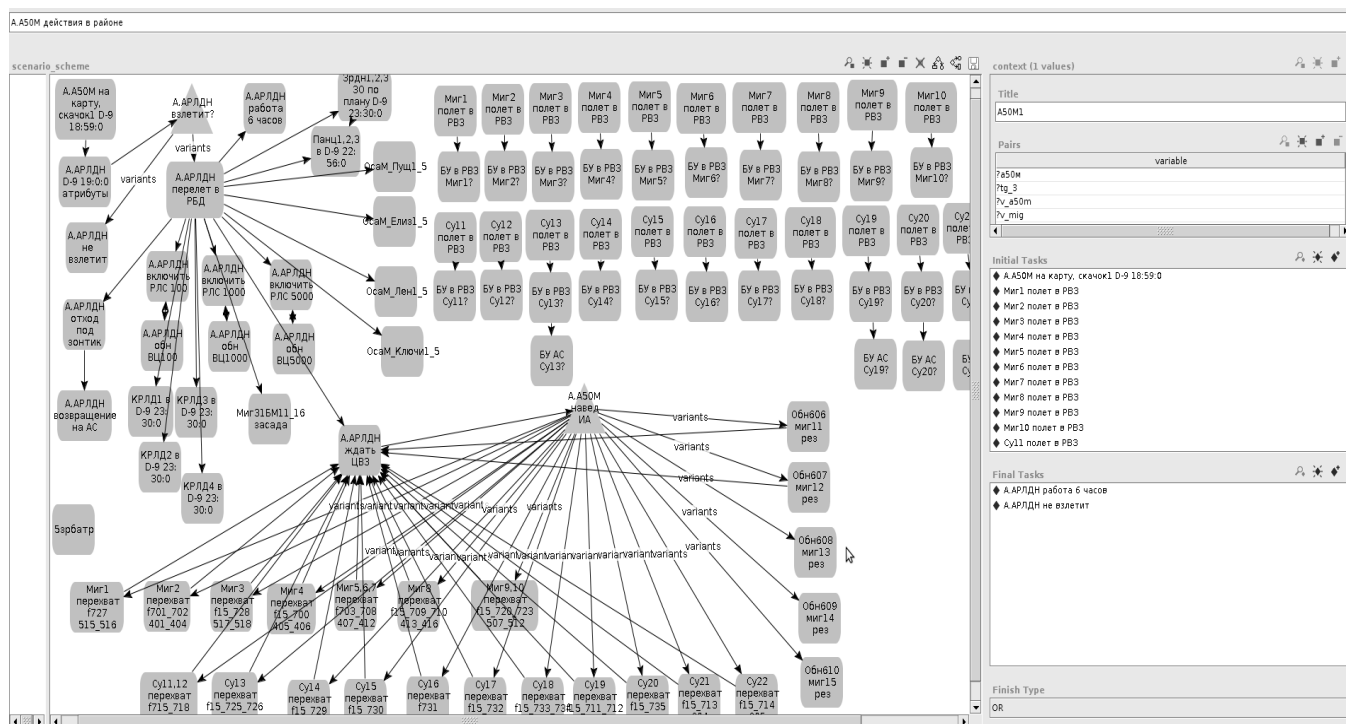


Рисунок 2.2.6 – Пример сценария эталонного пространственного процесса в виде ориентированного графа на базе графических примитивов

Построение сценария развития эталонного пространственного процесса в графических примитивах подчиняется следующим правилам:

1. Сценарий должен представлять собой строгую логическую последовательность этапов, действий и решений.

2. Этап может быть представлен определенной последовательностью более мелких этапов, действий и решений. При этом взаимно зависимые действия выполняются в строгой логической последовательности, а независимые действия могут выполняться параллельно. Каждое из действий и решений должно быть представлено программной реализацией.

Дальнейшая разработка сценариев состоит из следующих этапов: 1) построение схем сценариев моделируемых процессов; 2) построение схем этапов сценариев; 3) программная реализация блоков действий и решений, из которых состоят отдельные этапы. Этапы, в общем случае, могут отсутствовать,

например, когда создается сценарий, состоящий только из уже разработанных действий. Порядок разработки этапов может отличаться от их логической последовательности. Визуальная среда разработки сценариев позволяет в любой момент перейти к разработке любого действия и обратно.

Построение схем сценариев производится путем перетаскивания с помощью манипулятора «мышь» визуальных компонентов, представляющих собой этапы и решения, со специальной палетки на чистое поле схемы сценария. Затем эти компоненты также при помощи мыши соединяются линиями, имеющими различную смысловую интерпретацию. Линии, выходящие из этапов, означают безусловный переход к следующему этапу или решению. Линии, выходящие из блоков решений, представляют собой переход к тому или иному варианту, в зависимости от условия, заключенного в решении. Они обозначены пунктиром. Процесс визуального синтеза схем сценариев геопространственных процессов представлен на рисунке 2.2.7.

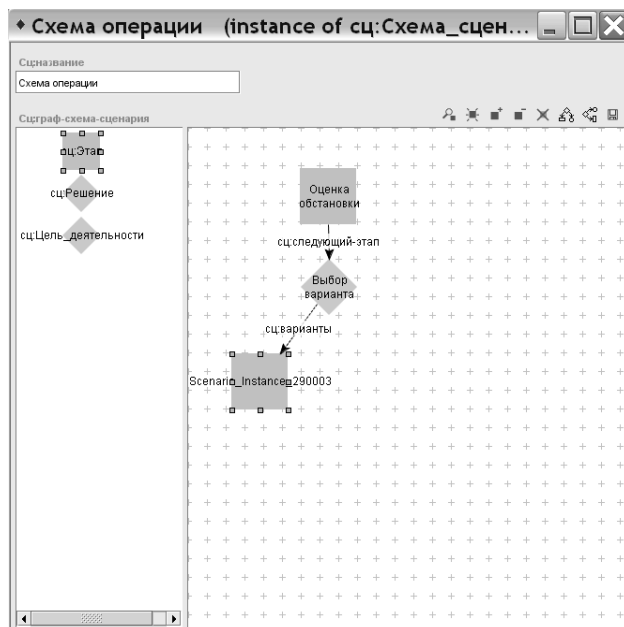


Рисунок 2.2.7 – Визуальное построение схемы сценария геопространственного процесса

Заканчивается процесс разработки схемы сценария созданием экземпляра класса «Сценарий» и заполнения его слотов. В частности, в соответствующие слоты заносится сам сценарий и все его этапы. Такой сценарий является не

полным, так как его этапы не наполнены действиями и решениями. Однако уже такой сценарий может проигрываться системой интерпретации сценариев, а ход его выполнения будет представлен только сообщениями о выполнении того или иного этапа.

Построение схем этапов происходит аналогично построению схем сценариев. Отличие заключается в том, что в палетке в этом случае находятся примитивы, соответствующие элементарным действиям и решениям. Для того, чтобы они там оказались, необходимо заранее создать соответствующие подклассы класса «Действие». Например, зная, что объекты должны откуда-то появляться, возможно создать в разделе «Понятия» действие «Создать». Принципиальное отличие схем этапов от схем сценариев в том, что процесс выполнения сценария после точки разветвления продолжается только по одной из ветвей, в зависимости от выполнения условия в блоке решения, а течение процесса выполнения этапа после разветвления осуществляется по всем ветвям одновременно и параллельно, без каких-либо условий. Этап может иметь несколько начальных действий (точек входа), т.е. на схеме этапа может присутствовать несколько связанных графов. При запуске этапа все процессы, описанные этими графами, начнутся одновременно и будут параллельно выполняться и далее разветвляться в своих точках разветвления на все большее количество параллельных процессов пока не выполнятся терминальные действия всех графов. Этап считается законченным, если выполнены все конечные действия данного этапа. Но, не все терминальные действия входящих в схему, могут включаться в конечные действия этапа. Это означает, что этап может закончиться и произойдет переход к другому этапу прежде, чем закончатся все процессы, запущенные этим этапом. Более того, список конечных действий этапа вообще может быть пустым, и это будет означать переход к следующему этапу сразу после начала всех процессов, привязанных к начальным действиям данного этапа.

Реализация блоков решений в сценариях предполагает, прежде всего, создание необходимых подклассов класса «Правило-Решение» для каждой

типовой ситуации принятия решения. Для этого разрабатывается программа на языке, соответствующем машине логического вывода ЭС в составе ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Программа предназначена для проверки выполнения некоторых условий и определения номера ветви, по которой должно продолжаться развитие сценария. Программа записывается в слот «сц:правило-решение», соответствующего подкласса класса «Правило-Решение». Исходными данными являются значения слотов конкретного экземпляра данного подкласса класса «Правило-Решение». Доступ к значениям слотов на этапе выполнения сценария программа получает через переменные, имена которых совпадают с названиями слотов, но начинаются со знака “?” (по соглашениям языков CLIPS и Jess). В ходе выполнения сценария до входа в данный блок решения соответствующие слоты должны быть заполнены. Ниже приведен пример реализации подкласса «Цель_деятельности» класса «Правило-Решение». Данный класс проверяет выполнение действия и при выполнении продолжает сценарий по ветви 1, а при не выполнении по ветви 2. Класс «Цель_деятельности представлен» на рисунке 2.2.8.

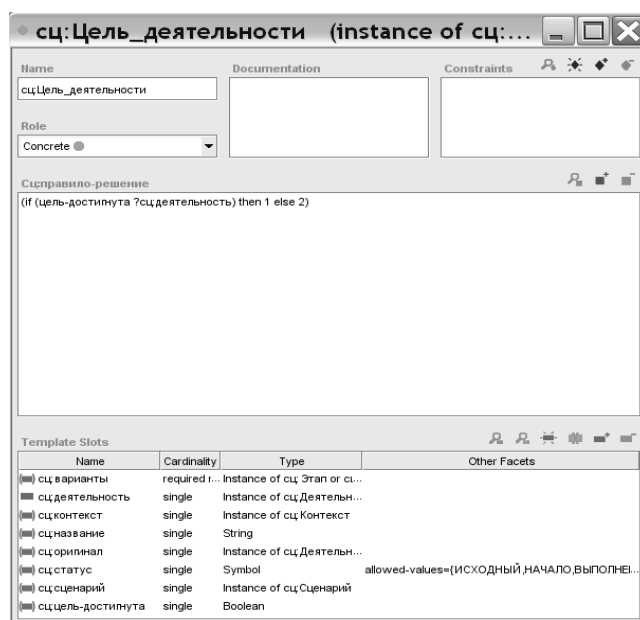


Рисунок 2.2.8 – Пример локализации подкласса «Цель_деятельности» класса «Правило-Решение»

Кроме наследуемого от класса «Правило-Решение» слота «Цель-достигнута» на рис. 2.2.8 добавлен слот «сц:деятельность». Значение данного слота используется в программе с помощью переменной «?сц:деятельность». На этапе разработки конкретного сценария в соответствующий экземпляр класс «Цель_деятельности» должна быть занесена конкретная деятельность (конкретное действие, этап, решение или сценарий), результат выполнения которой будет проверяться на этапе выполнения сценария. Функция, записанная в слоте «сц:правило-решение» представлена на рисунке 2.2.9.

```
(deffunction цель-достигнута (?деятельность)
  (значение-слота ?деятельность сц:цель-достигнута))
```

Рисунок 2.2.9 – Определение функции «Цель-достигнута» на языке Clips

Реализация классов действий похожа на реализацию классов решений. Отличие заключается в том, что при реализации класса типового действия (как подкласса базового класса «Правило-Действие») необходимо разработать не одну, а три программы, каждая из которых записывается соответствующие слоты. Основаниями для этого являются следующие правила:

1. Каждое действие, в общем случае, является длящимся во времени.
2. Имитационное моделирование процессов является дискретным и повторяется в цикле с временным интервалом Δt , удовлетворяющим условиям протекания геопространственного процесса.
3. У любого действия есть начальная фаза, в которой формируется исходное состояние действия.
4. В каждом цикле повторения, определяемом интервалом Δt , проверяется условие окончания действия.

Например, класс «Маршрут» представлен на рисунке 2.2.10. В слоте «сц:точки» описываются координаты точек маршрута, по которому должен двигаться объект, имя которого задается в слоте «сц: имя». В слоте «сц:правило-начало» записана программа, согласно которой объекту задается курс на первую точку маршрута и скорость из слота «сц: скорость». Кроме того номер и

координаты этой точки запоминаются, соответственно в слотах «сц:номер», «сц:широта» и «сц:долгота». В слоте «сц:правило-повторение» записана программа, которая выполняется в каждом цикле Δt во время проигрыша сценария.

В данной программе сначала проверяется, прибыл ли объект в очередную точку. Если – да, и эта точка последняя, то действие переводится в статус «Окончание». Если же точка не последняя, то происходит переход к следующей точке – объект ложится на курс в эту точку. В слоте «сц: правило-окончание» записана программа, согласно которой скорость объекта обнуляется.

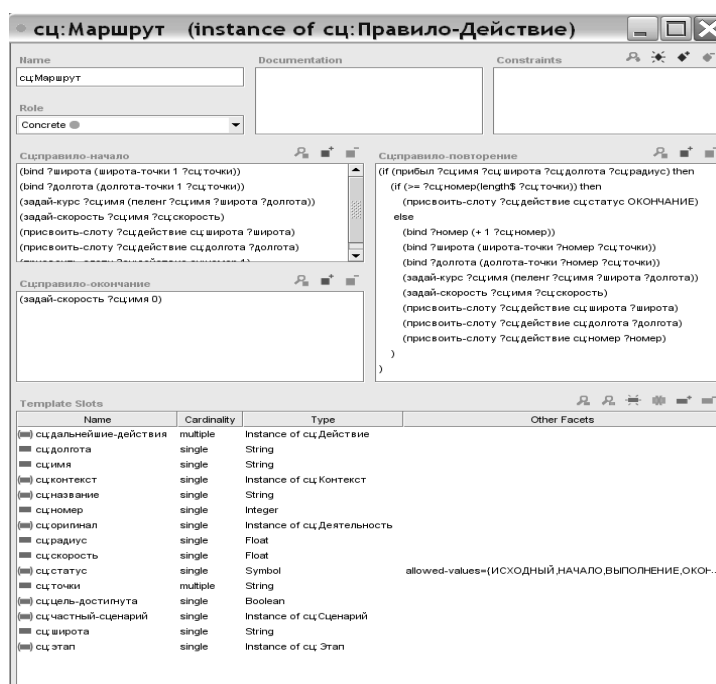


Рисунок. 2.2.10 – Задание подкласса «Маршрут» класса «Правило-Действие»

На рисунке 2.2.11 приведен пример задания экземпляра класса «Маршрут» из сценария, разработанного по описываемому методу в одном из проектов по созданию ПК ситуационного управления АСДПП [67].

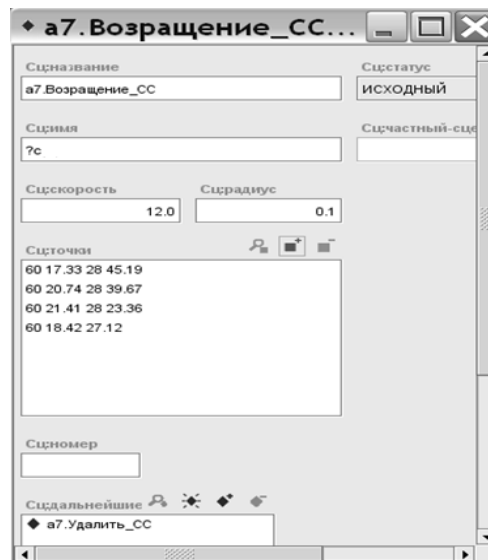


Рисунок 2.2.11 – Пример задания экземпляра класса «Маршрут»

В слоте «сц: имя» на рисунке 2.2.11 стоит «?с», т.е. не конкретное имя объекта, а переменная. Это означает, что сценарии в общем случае являются параметрическими, то есть описывающими не только целиком конкретные реализации некоторых процессов, а процессы в общем виде. Иными словами, для того чтобы с помощью сценариев можно было описывать не только конкретные реализации пространственных процессов, но и процессы в общем виде в систему их описания введены параметры или переменные, а сами сценарии, содержащие переменные, названы параметрическими. Обозначения переменных отличаются от обозначений конкретных объектов с помощью знака «?» в первой позиции. Конкретные реализации происходят при проигрывании параметрических сценариев после задания конкретных значений переменным. Приведенную выше реализацию действия «Маршрут», равно как и сценарий, в который она входит, можно выполнить только после задания конкретных значений всем переменным (“?с = «Борт Q3512 - Ту154»”). В сценариях переменные могут задаваться для любых слотов строкового типа. Для реализации параметрических сценариев в онтологии введено специальное понятие «Контекст» и соответствующий класс для него. У этого класса есть слот «пары». Каждая пара в конкретной реализации класса «Контекст» ставит в соответствие каждой переменной сценария конкретное значение. Экземпляры класса «Контекст» можно создать заранее, а

можно заполнять непосредственно перед запуском сценария через соответствующий интерфейс пользователя.

3. *Реализация предметных знаний, интеграция процедурных и предметных знаний (генерация правил на основе сценариев в БЗ текущей онтологии).* Наличие сценария, разработанного в соответствии с выше описанными шагами, позволяет сгенерировать на его основе формализованные правила протекания данного типа геопространственного процесса. Генерация осуществляется с помощью специального программного приложения на базе редактора онтологий. Результатом являются правила, описанные на соответствующем языке представления знаний (рисунок 2.2.12). Полученные правила образуют базу знаний, которая реализуется в рамках текущей онтологии ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

```
(defrule сц:сценарий-начало
  ?этап<-(object(сц:название ?название))
  ?сценарий-экземпляр<-(object(is-a сц:сценарий)
    (сц:статус НАЧАЛО)
    (сц:контекст ?контекст)
    (сц:начальные-этапы $?начальные-этапы &:
      (member$(instance-name ?этап)$?начальные-этапы)))
  =>
  (bind ?новый-экземпляр(запуск сц:этап ?этап ?название ?контекст))
  (присвоить-слоту ?новый-экземпляр сц:сценарий ?сценарий-экземпляр)
  (присвоить-слоту ?сценарий-экземпляр сц:статус ВЫПОЛНЕНИЕ)
  | (printout t "сц:сценарий " ?название " сц:статус ВЫПОЛНЕНИЕ" crlf))

(defrule сц:этап-начало
  ?действие<-(object(сц:название ?название))
  ?этап-экземпляр<-(object(is-a сц:этап)
    (сц:статус НАЧАЛО)
    (сц:контекст ?контекст)
    (сц:начальные-действия $?начальные-действия &:
      (member$(instance-name ?действие)$?начальные-действия)))
  =>
  (bind ?новый-экземпляр(запуск сц:действие ?действие ?название ?контекст))
  (присвоить-слоту ?новый-экземпляр сц:этап ?этап-экземпляр))
```

Рисунок 2.2.12 – Пример сгенерированных на основе сценария правил в синтаксисе языка представления знаний CLIPS

4. *Тестирование базы знаний.* На данном этапе реализации описываемого метода производится тестирование базы знаний путем многократного и статистически-обоснованного проигрывания отдельных действий этапов, частных сценариев и общего сценария.

5. *Привязка сценария к конкретному пространственному процессу.* Установление соответствия в программной ГИС-среде ПК ситуационного управления АСДПП моделируемого эталонного пространственного процесса реальному. Этот этап метода предполагает добавление представителей классов.

Он необходим для реализации на практике решения задачи выявления нештатных ситуаций в протекании диспетчеризируемых геопространственных процессов. Привязка осуществляется уже в процессе применения ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом при создании каждого нового сценария. Ее реализация определяет, как будет инициироваться сценарий в процессе работы. Для чего, либо разрабатывается программное средство для автоматизированного назначения конкретных представителей (экземпляров) классов в соответствующие слоты правил, либо используется интерфейс для ввода соответствующих данных пользователем (диспетчером).

б. Осуществление динамического (последовательного и непрерывного) сравнительного анализа соответствия реального пространственного процесса эталонному по установленному набору параметров-показателей качества пространственного процесса. Реализация данного этапа представляет собой прикладную сущность оценки качества протекания авиационного пространственного процесса. Традиционно такое сравнение осуществляется по следующим показателям и их группам:

А.) Пространственно-точностные показатели:

- курс;
- скорость;
- высота (эшелон высоты);
- широта;
- долгота;
- угол места и др.

Б.) Показатели безаварийности:

- обеспечение зоны безопасного сближения не менее заданной;
- удержание в маршрутных полосах воздушного движения;
- удержание в эшелонах воздушного движения;
- обеспечение точности взлетно/посадочных глиссад и др.

В.) Экономико-эффективные показатели

- целевой характер воздушной навигации;
- избегание аэрологических образований на маршруте и пр.

Данный этап реализуется непосредственно средствами ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 2.2.13.

Приведенное выше описание метода анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса показывает сложность его практической реализации. Эту сложность возможно преодолеть за счет автоматизации данного метода.

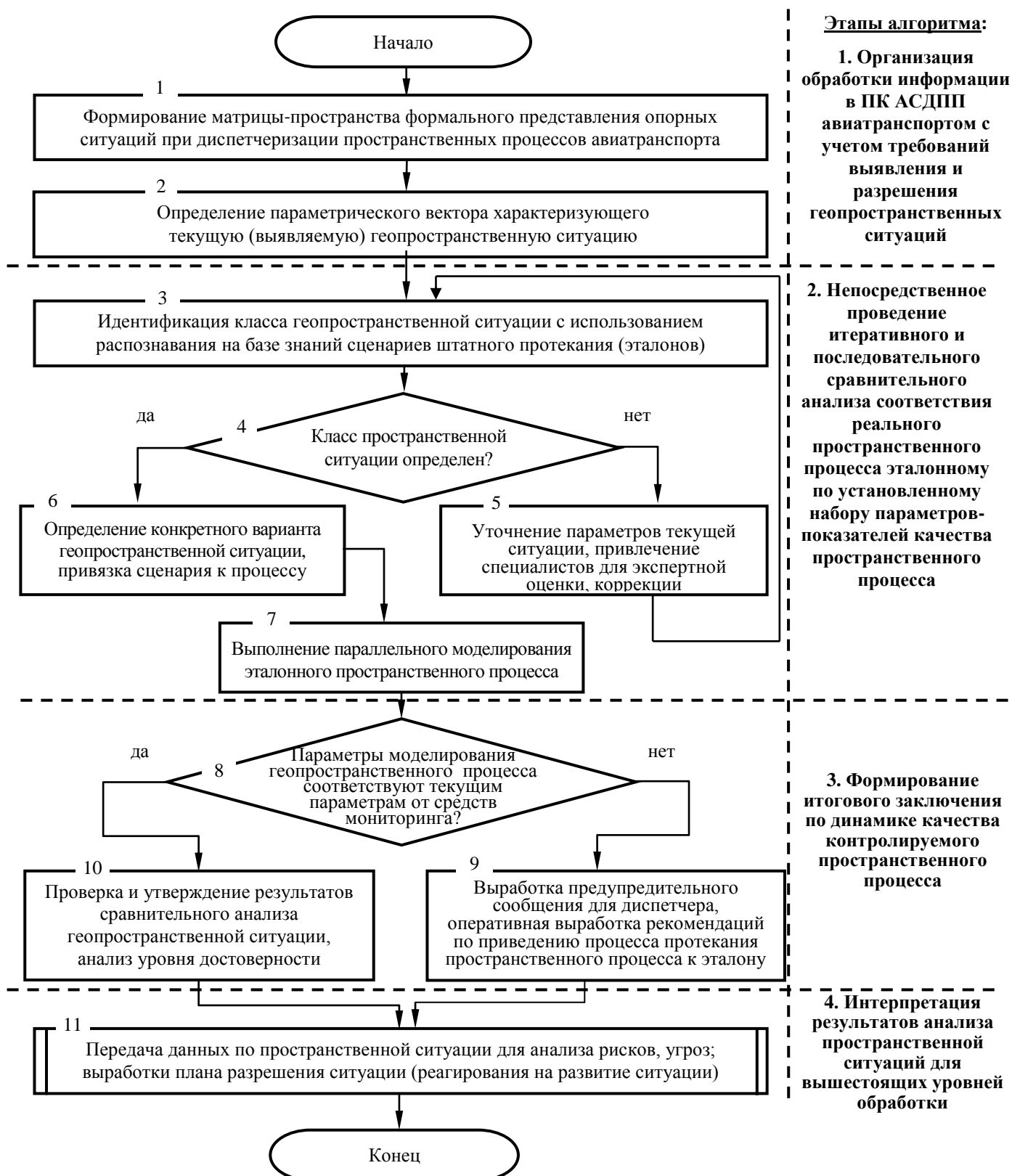


Рисунок 2.2.13 – Алгоритм динамического сравнительного анализа реального пространственного процесса эталонному по параметрам-показателям качества

Опыт разработки ПО для АСДПП, использующими средства ситуационного управления, позволил выявить наиболее рациональную архитектуру программной системы для анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса. В обобщенном виде она представлена на рисунке 2.2.14. Основой этой архитектуры является экспертная система на основе машины логического вывода, построенной на основе алгоритма RETE (сеть). Этот алгоритм логического вывода при работе экспертной системы позволяет оперировать сотнями тысяч фактов и десятками тысяч правил, по мнению его разработчиков, он является наилучшим для продукционных систем интеллектуальной поддержки. На сегодняшний день машины логического вывода различных сред создания ЭС построены на базе этого алгоритма, это, прежде всего, такие: JESS, CLIPS, JBossRules. Интегрируемая экспертная система является неотъемлемой частью подсистемы моделирования и визуализации на базе ГИС. Сценарии пространственных процессов разрабатываются на базе специального интерфейса редактора онтологий. Затем эти сценарии, описанные в графических примитивах, обрабатываются интерпретатором языка графических примитивов в правила воспринимаемые машиной логического вывода ЭС на основе виртуальной Java-машины.

Для реализации всех процессов так же необходимо использование всего исходного множества правил: правил генерации правил, правил интерпретации данных системы мониторинга, правил сравнения результатов моделирования с данными системы мониторинга за воздушным пространством и др.

Конкретная реализация архитектуры, приведенной на рисунке 2.2.14, может быть различной. В качестве примера можно привести следующий вариант компоновки программных средств реализующих данную архитектуру. Эта компоновка осуществлена по принципу подбора программных средств открытого программного кода Open Sours: Protégé-редактор онтологий [106]; JBossRules- машина логического вывода на базе RETE алгоритма [98]; OpenMap – библиотека ГИС [99]; Groovy- интерпретатор сценариев на язык для виртуальной Java-машины [117].

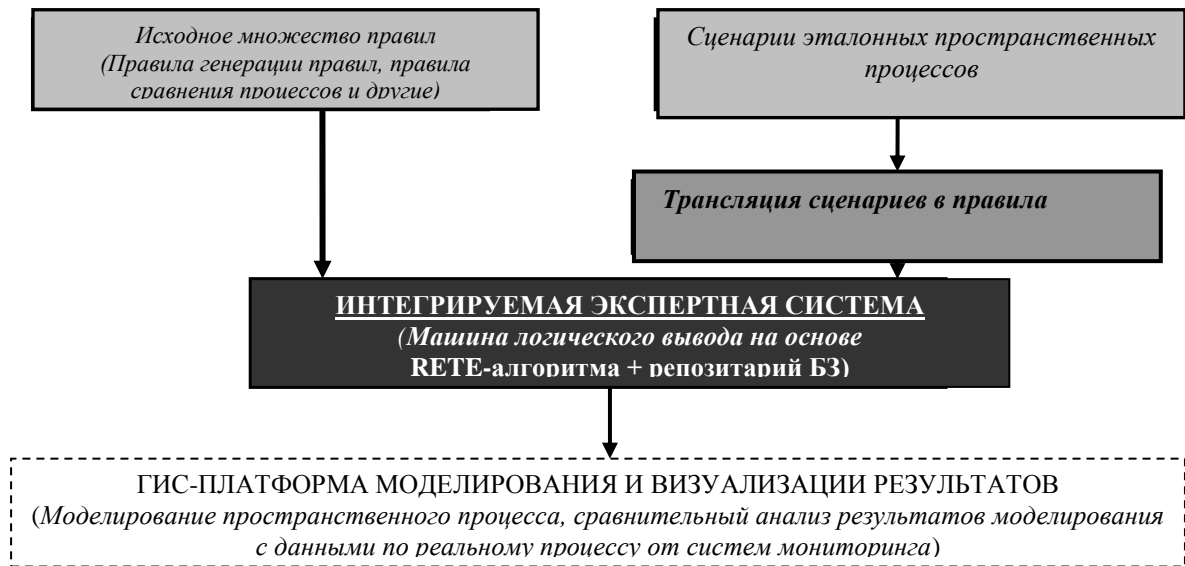


Рисунок 2.2.14 – Структура архитектуры программной системы анализа динамики качества протекания авиационных пространственных процессов

Реализация приведенной на рисунке 2.2.14 архитектуры с использованием других программных средств, удовлетворяющих выше описанным качественным характеристикам, позволила убедиться в широкой универсальности и инвариантности предлагаемого метода. Таким образом, предлагаемое программно-архитектурное решение в комбинации с описанной последовательностью метода анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса представляет собой совокупность знаний, необходимых и достаточных для массового гарантированного получения прогнозируемого результата по управлению качеством соответствующих процессов, т.е. является самостоятельным научным результатом.

2.3 Структура системы требований квалитметрической оценки ситуационного управления пространственными процессами

Совокупность требований квалитметрической оценки как к организации и реализации ситуационного управления геопространственными процессами авиатранспорта, так и к соответствующим программным комплексам автоматизированных систем диспетчеризации весьма разнородна и обширна. В рамках данного исследования не представляется возможным сформулировать конечное число таких требований. Однако, представляется возможным обосновать базовую структуру для классификации указанных требований. Такая базовая структура системы требований к построению программных комплексов ситуационного управления АСДПП авиатранспортом является методологической основой для написания соответствующих технических заданий, определения квалитметрических метрик конкретизированных проектов указанных программных комплексов и пр. Прогностический потенциал системы требований квалитметрической оценки ситуационного управления пространственными процессами заключается в следующих возможностях [137]:

1) обеспечения высокоэффективной разработки программно-конструкторских проектов, конкретных систем требований (технических заданий) на ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом;

2) объективной и адекватной интерпретации результатов квалитметрического анализа прототипа создаваемого или модернизируемого ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом на каждой из этапов процесса разработки;

3) своевременного и упреждающего выявления недостатков принятых проектных решений по разработке ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, как конечных (итоговых) заключений для организации их дальнейшей эксплуатации.

Полученные в ходе исследования выводы и рекомендации носят обобщенный характер, что позволяет их использовать:

- для разработки документов, уточняющих ЕСПД и регламентирующих процесс проектирования ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом на всех стадиях выполнения программно-технических работ;
- для организации перспективных НИОКР с целью совершенствования ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом и технологий их разработки;
- для разработки ТЗ на интегрированные автоматизированные информационные системы для АСДПП авиатранспортом, а так же на соответствующее программное и информационное обеспечение, его компоненты.

Необходимо отметить, что базовая структура системы требований квалитметрической оценки ситуационного управления пространственными процессами и соответствующие средства оценки качества указанных программных комплексов являются логически взаимосвязанными, но самостоятельными научно-техническими результатами. Их применение на практике, в процессе проектирования и разработки программно-информационного обеспечения ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом дополняет друг друга. Предлагаемая структура требования представлена на рисунке 2.3.1, в виде декомпозиции вложенных списков, что отражает каноническую классификацию основных групп требований квалитметрической оценки ситуационного управления пространственными процессами, учитываемых при проектировании и управлении качеством ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

Таким образом, система требований квалитметрической оценки ситуационного управления, учитываемых при создании ПК АСДПП, в целом, и ее структура, в частности, как некоторая базовая основа обеспечения качества такого специфического вида научно-технической продукции как указанные программные комплексы, представляет собой систематизированную

совокупность требований, определяемых потребностями в этих комплексах. Каждое из требований отражает ту или иную потребность (совокупность потребностей), а все они в своей взаимосвязи позволяют описать облик желаемой функциональности разрабатываемого ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом.

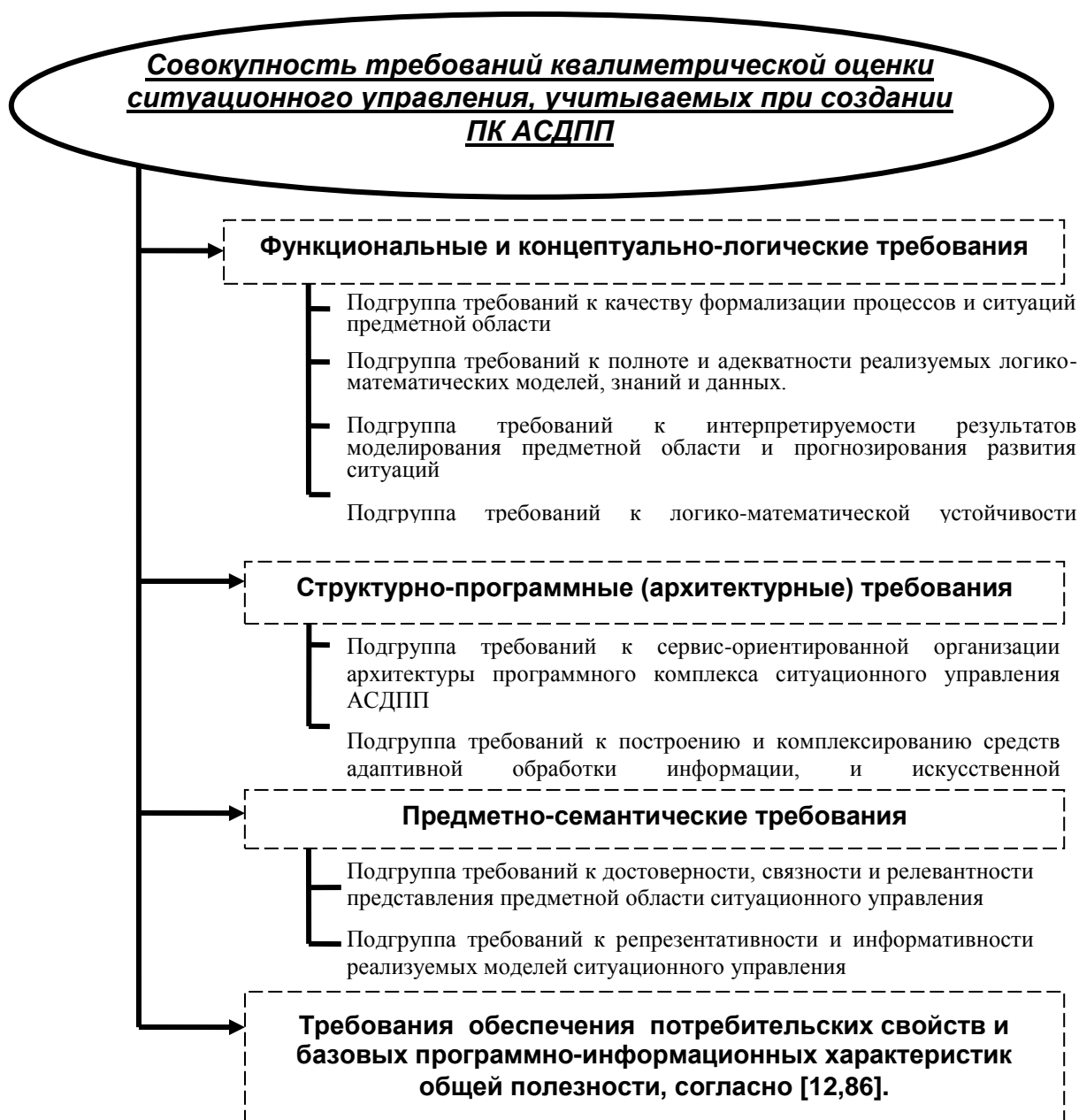


Рисунок 2.3.1 – Декомпозиция основных групп требований квалитметрической оценки ситуационного управления, учитываемых при создании ПК АСДПП

Следовательно, предлагаемая концепция улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента в сочетании с методом анализа динамики качества протекания авиационного геопро пространственного процесса представляет собой некоторый образ повышения качества и результативности программных комплексов автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте на основе принципов ситуационного управления, позволяющий акцентировать внимание на определенных аспектах рассматриваемого процесса разработки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, т.е. являются самостоятельными аналитическими обобщениями, каждое из которых содержит конструктивную модель объекта исследования. При этом они обладают необходимым уровнем общности в представлении исследуемых аспектов предметной области, а значит, могут рассматриваться как полноценные научные результаты.

2.4 Выводы по второй главе

1. Диспетчерская деятельность в сфере авиатранспорта есть особый вид профессиональной деятельности по управлению протеканием пространственных процессов в соответствии с установленным регламентом (эталон, стандартом выполнения, штатом и пр.). Такое представление диспетчерской деятельности позволяет рассматривать ее как процесс выявления нештатных (нестандартных) ситуаций в протекании всей совокупности диспетчеризируемых пространственных процессов. Иными словами, под штатной (стандартной) ситуацией понимается ситуация соответствующая установленному регламенту протекания пространственных процессов, а под нештатной (нестандартной) – не соответствующая. Целью диспетчерской деятельности является своевременное выявление и предотвращение нештатных (нестандартных) ситуаций (либо их наступивших последствий), на совокупности контролируемых пространственных процессов. Совокупность контролируемых пространственных процессов может быть ограничена в пространстве, времени или по номенклатуре контролируемых объектов.

2. Моделирование развития пространственных процессов по их сценарию позволяет выявить возможность возникновения, параметры любых опасных ситуаций, а после их устранения гарантировать заданный уровень по показателю безаварийности пространственных процессов для случая соблюдения рассматриваемого плана. В результате моделирования выявляются интервалы изменения значений показателей безаварийности взаимодействия пространственных процессов и соответственно время, параметры и район возникновения аварийной или потенциально аварийной ситуации. Путем корректуры параметров пространственных процессов (маршрут, время, скорость, эшелон высоты, направление движения управляемых активных пространственных объектов), взаимодействие которых вызывает возникновение опасной пространственной ситуации, и повторного их моделирования

возможность возникновения этой ситуации устраняется. Безаварийность следует рассматриваться как необходимое, а результативность - как достаточное условие достижения целей управления качеством пространственных процессов авиатранспорта. Показатель результативности пространственных процессов имеет ограниченный (условный) приоритет над показателем их безаварийности только на этапе предварительного планирования, на всех остальных этапах показатель безаварийности имеет безусловный приоритет над показателем результативности.

3. Весь процесс диспетчерского воздействия на авиационный трафик представляет собой упорядоченную последовательность пространственных ситуаций, органично вытекающих одна из другой. Учет того факта, что в зависимости от решений диспетчера развитие ситуации может иметь несколько исходов, приводит к появлению некоторой обусловленной последовательности ситуаций. Такую последовательность, в соответствии с терминологией ситуационного менеджмента, принято понимать, как “сценарий развития геопропространственного процесса”. При этом ни одна отдельная пространственная ситуация не содержит модель объекта управления, но релевантная совокупность ситуаций содержит ситуационно-описанную модель объекта управления. Сценарий развития типового геопропространственного процесса на ситуационно-управляемом ПК АСДПП, его состав и структура определяется системой требований к уровню детализации управляющих воздействий диспетчера.

4. Повышение результативности и улучшение качества управления пространственными процессами авиатранспорта может быть достигнуто путем перехода от объектной диспетчеризации (т.е. диспетчеризации только на уровне пространственных процессов) к ситуационному управлению трафиком воздушного сообщения, а соответственно принципиальным изменением процедур контроля, оценки и управления качеством соответствующих ПК АСДПП авиатранспортом.

5. Качество протекания авиационного пространственного процесса есть степень удовлетворения потребностей всех его участников, обеспечивающих сил, а так же потребителей соответствующих авиатранспортных услуг. Основными сложными показателями этого качества являются: безаварийность, навигационная точность, экономическая результативность, оперативность и пр. То есть, чем в большей степени развитие пространственного процесса соответствует созданию последовательностей штатных (стандартных) ситуаций, чем ближе такое протекание установленному регламенту протекания пространственных процессов, тем выше его качество. И наоборот: чем сильнее развитие пространственного процесса отклоняется от установленного регламента протекания пространственных процессов, чем больше порождает нештатных (нестандартных) ситуаций, тем ниже качество протекания такого пространственного процесса. Это позволяет говорить о динамике качества авиационного пространственного процесса по мере его развития. Эта динамика обоснована тем, что не одна внештатная ситуация не складывается одномоментно: всегда имеет место факторы поступательного наращивания опасных отклонений, несанкционированных сближений и пр.

6. Система требований квалиметрической оценки ситуационного управления, учитываемых при создании ПК АСДПП, в целом, и ее структура, в частности, как некоторая базовая основа обеспечения качества такого специфического вида научно-технической продукции как программные комплексы ситуационного управления, представляет собой систематизированную совокупность требований, определяемых потребностями в этих комплексах. Каждое из требований отражает ту или иную потребность (совокупность потребностей), а все они в своей взаимосвязи позволяют описать облик желаемой функциональности разрабатываемого ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом.

Глава 3. Метод комплексной оценки безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте

3.1 Базовые основы оценки показателей безаварийности пространственных процессов с использованием средств системно-информационного анализа

Основной целью создания и функционирования авиационных диспетчерских служб вообще, и автоматизированных систем диспетчеризации авиатранспорта, в частности, является - обеспечение пространственной динамической безопасности средств авиатранспорта. В контексте темы рассматриваемой работы далее по тексту понятие «пространственная динамическая безопасность» применительно к конкретизированным средствам авиатранспорта, реализующим реальные пространственные процессы, понимается как «безаварийность пространственного процесса». Иными словами, безаварийность далее в работе понимается как показатель взаимной, внешней безопасности пространственных процессов, характеризующий степень невозможности пересечения двух и более пространственных процессов в одно время в одной точке геопространства. В рамках научно-методической концепции улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента безаварийность таких процессов в каждый из моментов времени может быть оценена на основе сравнения параметров текущей геопространственной ситуации с параметрами той эталонной геопространственной ситуации, которая соответствует текущей и представлена в соответствующем сценарии развития рассматриваемых пространственных процессов. Множество параметров, по которым должно производиться сравнение и оценка степени различия текущих и соответствующих им эталонных ситуаций адекватно описывается ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом. Изучение подходов к разработке метода комплексной оценки безаварийности пространственных

процессов выявил целесообразность применения в этих целях основных положений системно-информационного анализа [21, 22, 41, 42] применительно к рассмотрению хода развития пространственного процесса как последовательной совокупности пространственных ситуаций.

В основе оценки прагматического содержания информации о сравнении параметров текущей геопространственной ситуации с параметрами той эталонной геопространственной ситуации, которая соответствует текущей и представлена в соответствующем сценарии, согласно теории системно-информационного анализа лежит понятие организованности функционирования системы в отношении ее целей. (В данном контексте в качестве системы выступает всё множество пространственных процессов, рассматриваемых в текущей пространственной ситуации). Организованность - понятие относительное, рассматриваемое в отношении какого-либо эталона порядка, норматива и т.п. Эталон порядка не может представлять все стороны и аспекты функционирования системы, он всегда характеризуют какую-то одну сторону [21, 42]. Поэтому, говоря об организованности системы, необходимо раскрыть, в отношении чего рассматривается организованность - заданной структуры, принятой за эталонную, или каких-либо показателей функционирования системы. Следовательно, для анализа организованности системы, прежде всего, необходимо построить взаимосвязанную систему эталонов, в отношении которых уже можно будет определять организованность функционирования. Согласно методологии системно-информационного анализа данная задача решается на основе формулировки цели в т.н. «узком» смысле [22]. При этом цель — это некий желательный результат функционирования системы, достигаемый с помощью принципа обратной связи. Применительно к пространственным процессам авиатранспорта – это строгое положение в требуемый момент времени в конкретизированной географической точке пространства. Цели ситуационного управления могут быть четкими и размытыми. Если цели имеют четкую область определения и четкую границу, то это означает, что вся область цели равнозначна и соответствует объективно

или «субъективно» рациональному функционированию, а переход за ее границу вызывает качественный скачок — цель полностью не достигается. В сфере управления пространственными процессами авиатранспорта цели в основном имеют размытый характер, т.е. помимо области полного достижения и полного недостижения цели существует еще область частичного достижения цели. В этой связи необходимо рассмотреть одну из возможностей формализации цели, имеющей область неполного достижения цели.

В общем случае цель в «узком» смысле может задаваться в некотором n -мерном пространстве параметров x_1, x_2, \dots, x_n , которые с позиций теории ситуационного управления являются частными показателями качества протекания пространственного процесса. Идеальная цель в этом пространстве определяется концом вектора цели $x_{эм}$. В практической деятельности в любой предметной сфере обычно имеют дело с целями, которые задаются некоторой областью. Тогда считается, что имеются внешние «опасные» границы (ОГ), обозначаемые как $l(x_{ог})$ — за ними цели полностью не достигаются, и «внутренние» границы (ВГ), обозначаемые в виде $l(x_{вг})$. Последние выделяют зону, в которой с допустимой точностью рассматриваемая цель достигается полностью [143].

Пусть целью функционирования является достижение цели K , имеющей ряд подцелей K_i ($i = \overline{1, n}$). Абсолютное достижение каждой из подцелей K_i , характеризуется эталонным значением $x_{эм}$ соответствующего параметра. Области определения подцелей K_i заданы в n -мерном пространстве параметров в виде двух гиперсфер радиусов r_i и R_i , соответственно определяющих $l(x_{вг})$ и $l(x_{ог})$, т.е. областей: а) полного и б) частичного достижения целей K_i , в) области полного не достижения целей K_i . Геометрическая интерпретация этих областей в двумерном пространстве $X_1O X_2$ представлена на рисунке 3.1.1. Отклонение вектора \bar{x}_i от $\bar{x}_{эм}$ вызывает ухудшение пространственной безаварийности в отношении цели K_i , т.е. наносит некоторый «ущерб» (E_i) качеству пространственного процесса. Характер изменения этого «ущерба» в зависимости от удаления конца вектора \bar{x}_i от центра области полного

достижения цели K_i представлен на рисунке 3.1.1.б. В качестве «ущерба» в задачах ситуационного управления могут рассматриваться: 1) детерминированная величина потерь E_i в единицу времени; 2) вероятностная величина p_i появления потерь E_i (риск), где p_i - вероятность появления события (авария; угроза столкновения, вынуждающая маневрировать и т.д.), при котором возникают потери E_i ; 3) вероятность невыполнения некоторых заданных функций.

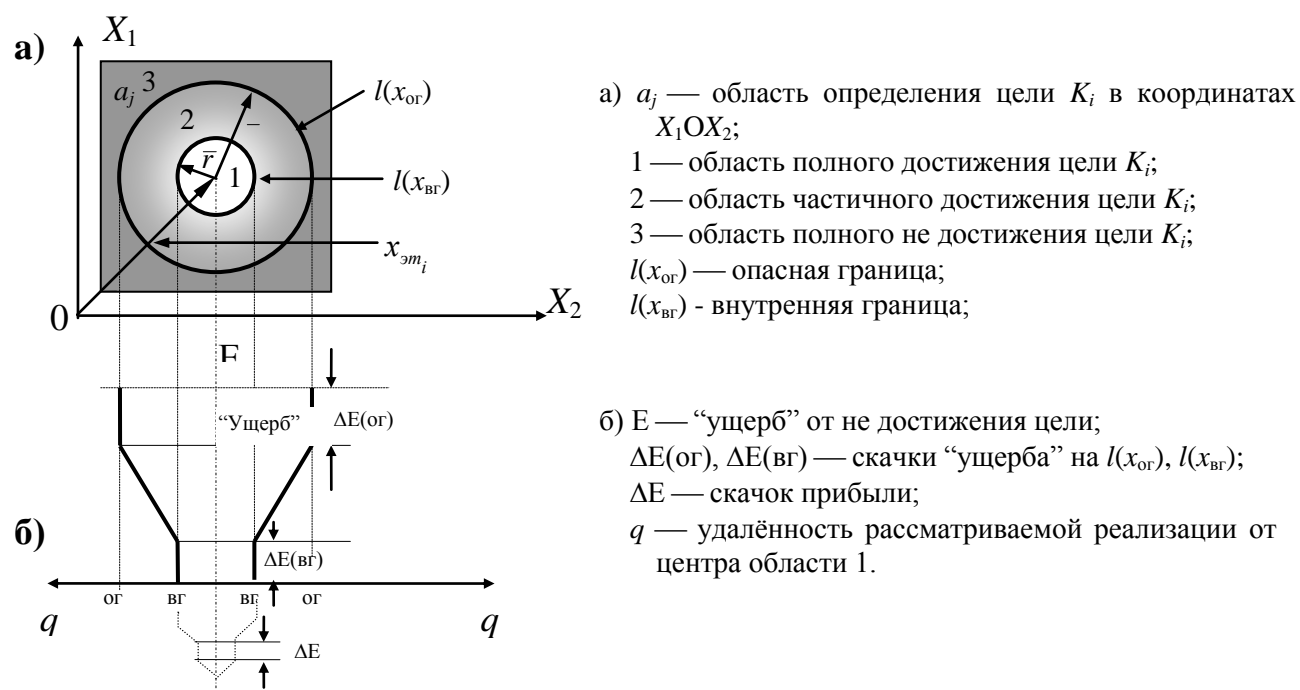


Рисунок 3.1.1 – Цель и ущерб от её не достижения в «узком» смысле

Для абсолютного большинства задач ситуационного управления величина «ущерба» определяется как скачками ущерба $\Delta E(ог)$ и $\Delta E(вг)$ при переходе через опасную и внутреннюю границы (ОГ и ВГ на рисунке 3.1.1.), так и удаленностью q_i конца вектора x_i от $l(x_{ог})$ области цели. Отсюда «ущерб» в общем виде имеет вид:

$$E_i = \varphi(g_i - r_i) + p_1 \Delta E(ВГ) + p_2 \Delta E(ОГ), \quad (3.1.1)$$

где: φ — функция связи между E и удаленностью q_i от ВГ, определяемой величиной r_i ; p_1 , p_2 — логические операторы, имеющие значение 1 соответственно при $q_i \leq r_i$ и $q_i \geq R_i$,

Для АСДПП авиатранспортом принципиально важен вопрос установления внутренних и опасных границ, решение которого определяется нормативными документами, регламентирующими организацию пространственных процессов, а также опытом управления ими.

С точки зрения системно-информационного анализа по [21,22, 42] предлагается рассматривать два вида границ аварийных ситуаций: а) опасные - ОГ, когда при переходе через них задача диспетчеризации не выполняется полностью — в этом случае т.н. потенциальный ущерб достигает максимально возможного значения $E_{max}=E(ог)$; б) условно опасные - УОГ, когда $E_{max} \gg E(уог)=E_{доп}$, где $E_{доп}$ — некоторое заданное значение потенциального ущерба, превышение которого означает нарушение заданного режима развития пространственного процесса, снижение его качества, приближение текущей пространственной ситуации к аварийной, но не срыв решения задачи диспетчеризации или полное недостижение цели K_i .

В отношении АСДПП вышеуказанное означает, что для любого параметра x_i назначение ВГ и УОГ (r_i, R_i) определяется требованиями к безаварийности пространственных процессов. Единственным условием, ограничивающим свободу выбора ВГ и УОГ, является выполнение соотношения

$$R_{ог} \geq R_{уог}, \quad (3.1.2)$$

т.е. действия, приведшие к созданию нештатной (опасной или аварийной) ситуации, не могут рассматриваться в качестве действий, частично обеспечивающих безаварийность пространственных процессов авиатранспорта. Цель управления в «узком» смысле — это количественно определенная в пространстве параметров, показателей и критериев, а для динамических целей еще и во времени, область желаемых значений, отвечающих при их полном достижении «объективно» или «субъективно» оптимальному (наиболее рациональному) развитию текущего пространственного процесса, а при частичном достижении цели — вызывающих строго определенный ущерб в ее

функционировании. Целевая организованность является важнейшим видом организованности, которая имеет место во всех системах, функционирование которых обеспечивается процессами управления, в том числе и АСДПП авиатранспортом. В свою очередь, организованность является функцией от более простых характеристик системы диспетчеризации пространственных процессов: упорядоченности и сложности. В общем случае под упорядоченностью понимается определенный вид абстракции, характеризующей отношение порядка между множествами и их элементами на основе заданного отношения порядка вида $x_i R x_j$, выполняющегося для всех рассматриваемых элементов [22, 42]. Необходимо рассмотреть на основе расположения зон полного и частичного достижения цели K , показанных на рисунке 3.1.2, вопросы упорядоченности функционирования автоматизированной системы диспетчеризации в отношении этой цели.

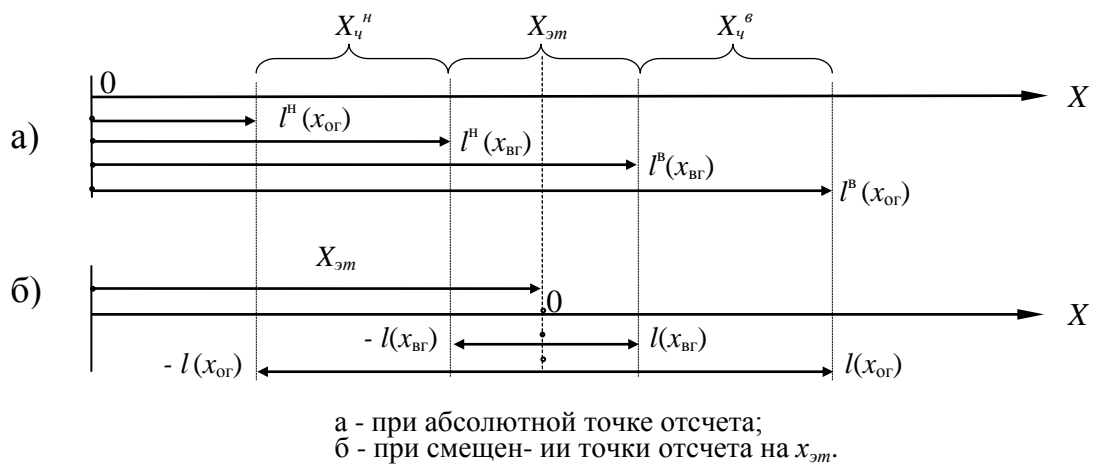


Рисунок 3.1.2 – Взаимное расположение зон полной и частичной упорядоченности

По существу на рисунке 3.1.2 представлены три основных множества:

- 1) $X_{эм}$ - множество значений параметра x_j области полного достижения цели K ;
- 2) $X_ч$ - множество значений x_j , отвечающих частичному достижению цели K (с учетом того, что данное множество состоит из двух подмножеств $x_{эм} > x_j$, $x_{эм} < x_j$) в пределе $x_j = x_{ог}$;
- 3) X - все множество значений мощностью N , которые может принимать параметр x_j в процессе функционирования системы диспетчеризации.

Между элементами этих множеств установлены следующие основные отношения порядка: 1) при условии $\forall x_j \in X_{эм}$ - полное достижение цели и полная упорядоченность; 2) при условии $\forall x_j \in X_ч$ и $\forall x_j \notin X_{эм}$ - частичное достижение цели и частичная упорядоченность. Если начало координат находится в середине эталонной зоны, как показано на рисунке 3.1.2.б), то эти соотношения могут быть записаны в виде:

— полный порядок

$$|x_j| \leq |l(x_{БГ})|, \quad j \in [1, N]; \quad (3.1.3)$$

— частичный порядок

$$|l(x_{БГ})| \leq |x_j| \leq |l(x_{ОГ})|, \quad j \in [1, N]. \quad (3.1.4)$$

Из указанных соотношений следует: неупорядоченность как нарушение одного из приведенных отношений порядка количественно характеризуется либо простым числом нарушений отношений порядка, либо, если это поддается измерению, абсолютной или относительной величиной различия действительного значения x , и того, которое соответствует отношению порядка. Неупорядоченность - мера отличия контролируемого параметра x_j пространственного процесса в отношении эталона порядка $x_{эм}$, которая стремится к нулю при $x_j \rightarrow x_{эм}$ [21]. В данном случае x_j - рассматриваемый параметр в j -й реализации, а $x_{эм}$ - эталонные значения того же параметра, характеризующие зону полной упорядоченности. По характеру соотношения x_j с $l(x_{эз})$ неупорядоченность делится на три вида:

1. Абсолютную

$$\bar{y}_{ja} = |x_j - x_{эм}| - l(x_{эз}), \quad y_{ja} \geq 0, \quad (3.1.5)$$

где $x_{эм}$ - центр зоны полной упорядоченности, представленный на рисунке 3.1.2.а);

$$\bar{y}_{ja} = g_j - |l(x_{эз})|, \quad (3.1.6)$$

где: g_j - модуль вектора рассогласования, показанный на рисунке 3.1.2.б);

$l(x_{эз})$ - величина зоны полной упорядоченности, для которой $l(x_{эз}) < g_j$.

2. Относительную

$$\bar{y}_{jo} = \frac{\bar{y}_{ja}}{\Delta}, \quad (3.1.7)$$

где Δ - величина, по отношению к которой рассматривается абсолютная неупорядоченность.

4. Степенную (сравнительную - в отношении эталона или опасной границы). Для степенной возможны три основных вида соотношений:

$$\bar{y}_{jc} = \frac{\bar{y}_{ja}}{l(x_{ог})}, \quad (3.1.8)$$

$$\bar{y}_{jc} = \frac{\bar{y}_{ja}}{x_{эм}}, \quad (3.1.9)$$

$$\bar{y}_{jc} = \frac{\bar{y}_{ja}}{g_{\max}}, \quad (3.1.10)$$

где g_{\max} - максимально допустимая величина рассогласования эталонного или штатного местоположения объекта авиатранспорта и реального (применительно к области цели это соответствует $g_{ог}$ или $g_{yог}$). Так же представим ряд производных представлений степени неупорядоченности:

$$\bar{y}_{jc} = \frac{x_{эм} - l(x_{ог})}{x_j} - C \quad \text{при } x_{эм} > x_j, \quad (3.1.11)$$

$$\bar{y}_{jc} = \frac{x_j}{x_{эм} + l(x_{ог})} - C \quad \text{при } x_{эм} < x_j, \quad (3.1.12)$$

$$\bar{y}_{jc} = \frac{g_j}{l(x_{ог})} - C. \quad (3.1.13)$$

В формулах (3.1.11–3.1.13) значение C выбирается из условия $y_{jc}=0$ при $g_j=l(x_{ог})$ или $|x_j - x_{эм}| = l(x_{ог})$. При этом C может быть, как постоянной, так и переменной величиной.

Неупорядоченность в зависимости от характера X может быть:

- детерминированной величиной, в этом случае X , также детерминирована;

- вероятностной величиной, как результат того, что X - вероятностная величина. Например, дисперсия, комплексно оценивающая тангаж и рысканье самолета;

- показателем неопределенности, при этом возможны два случая: а) X выражает величину зоны неопределенности (детерминированную или вероятностную), б) X определяет априорную вероятность выборки.

Неорганизованность - это обобщенная за рассматриваемое число ситуаций, временных интервалов характеристика неупорядоченности, в смысле “потенциального ущерба, ее проявления в отношении определенных показателей функционирования системы [21]. В контексте данной работы в качестве системы рассматривается АСДПП авиатранспортом. Символически неорганизованность может быть представлена в следующем виде

$$\bar{O} = \bigcup^l \alpha_k \bigcup^d s_i \bigcup^m p_j f(\bar{y}_j), \quad (3.1.14)$$

где: \bigcup - символ обобщения характеристики неупорядоченности соответственно за m ситуаций, d элементов и l интервалов времени; f — функция, посредством которой производится взвешивание неупорядоченности по фактору существенности ее проявления в отношении определенного показателя функционирования АСДПП; p_j , s_i , α_k — веса соответственно j -й ситуации i -го элемента и k -го интервала времени. Чрезвычайно важным положением теории системно-информационного анализа в отношении оценки качества функционирования АСДПП является существование понятия единичной неорганизованности за одну ситуацию, для одного элемента и в пределах одного интервала времени

$$\bar{O}_j = f(\bar{y}_j). \quad (3.1.15)$$

Наличие этого понятия обеспечивает возможность оценки неорганизованности единичной пространственной ситуации в отношении единственного диспетчеризируемого объекта. Проведенный в [41] анализ функции f в соотношениях (3.1.14) и (3.1.15) с точки зрения приведения Y_j к вышестоящему показателю, например к неупорядоченности вышестоящей цели (Y_6), позволяет

сделать следующие выводы: 1) функция f должна рассматриваться как функция чувствительности ($\psi = \partial y_e / \partial y_j$, т.е. во всех случаях отражать то, как изменяется y_e вышестоящей цели при изменении связанной с ней неупорядоченности нижестоящей цели y_j); 2) для абсолютного большинства задач управления функцию ψ достаточно представить в виде линейной, степенной, логарифмической или экспоненциальной зависимости.

Если в (3.1.14) и (3.1.15) функция f есть функция ψ приведения неорганизованности y_j к вышестоящему показателю y_e , то такая неорганизованность называется “приведенной неорганизованностью”. Тогда для приведенной неорганизованности формула (3.1.15) примет вид

$$\bar{O}_j = \psi(\bar{y}_j), \quad (3.1.16)$$

где ψ - функция чувствительности вышестоящего показателя y_e к изменению y_j . Далее необходимо рассмотреть одно из частных выражений для приведенной неорганизованности, из которого могут быть получены все основные выражения для информации и энтропии. Исходя из выражения (3.1.14) и допуская, что имеется m ситуаций, $l=1$, $d=1$, а вероятность появления каждой j -ой ситуации есть p_j , вводится показатель ω_j - вес каждой ситуации, учитываемый при их объединении. Основываясь на том, что обобщение в выражении (3.1.14) осуществляется в предположении аддитивности отдельных ситуативных неорганизованностей, можно утверждать

$$\bar{O} = \sum_{j=1}^m p_j \psi(P_j), \quad (3.1.17)$$

где P_j — параметр неупорядоченности, определяемый для степенной неупорядоченности из выражения

$$\bar{P}_{jc} = \frac{\bar{y}_{jc} + C}{\omega_{jc}}, \quad (3.1.18)$$

где: C — коэффициент, определяемый из условия $y_j=0$ при $\psi(P_j)=0$; ω_j — веса неупорядоченностей, учитываемые при их объединении.

В свою очередь, из соотношения (3.1.17) и указанных выше характеристик функции ψ , получаются основные выражения для апостериорной оценки единичных приведенных неорганизованностей:

$$\bar{O}_{\text{лин}} = kP_j, \quad (3.1.19)$$

$$\bar{O}_{\text{степен}} = (P_j)^n, \quad (3.1.20)$$

$$\bar{O}_{\text{лог}} = \log_a P_j, \quad (3.1.21)$$

$$\bar{O}_{\text{эксн}} = \exp(P_j) - C, \quad (3.1.22)$$

где: C, k, a, n — постоянные коэффициенты.

Следовательно, если для некоторой зависимости ψ из формулы (3.1.17) найдено значение обобщенной неорганизованности O , то, используя обратную функцию ψ^{-1} , можно получить соответствующее этой неорганизованности значение обобщенного параметра неупорядоченности

$$P = \psi^{-1}(\bar{O}). \quad (3.1.23)$$

Для объединения однотипных и независимых неорганизованностей необходимо получить их отображения на множестве параметра неупорядоченности, сложить (или перемножить) значения этих отображений, а затем полученный результат опять отобразить на множество неорганизованностей, то есть:

$$\bigcup_{j=1}^n \bar{O}_j = \psi \left\{ \sum_{j=1}^n [\psi^{-1}(\bar{O}_j) - C_j] + C \right\}, \quad (3.1.24)$$

$$\bigcup_{j=1}^n \bar{O}_j = \psi \left\{ \prod_{j=1}^n [\psi^{-1}(\bar{O}_j) - C_j] + C \right\}, \quad (3.1.25)$$

где $C_j = C/\omega_{jc}$.

Аналогично для получения количественного различия между однотипными неорганизованностями, например. O_A и O_B , где $O_B > O_A$, необходимо перейти к множеству параметров неупорядоченности, произвести

соответственно операцию вычитания (или деления), а затем полученный результат отобразить на множество неорганизованностей

$$\bar{O}_A \Rightarrow \bar{O}_B = \psi \left[\psi^{-1}(\bar{O}_B) - \psi^{-1}(\bar{O}_A) + C \right] \quad (3.1.26)$$

или

$$O_A \Rightarrow \bar{O}_B = \psi \left[\frac{\psi^{-1}(\bar{O}_B) - C_B}{\psi^{-1}(\bar{O}_A) - C_A} + C \right], \quad (3.1.27)$$

где: \Rightarrow - символ различия (сравнения), ψ^{-1} - функция обратная ψ .

Выражения (3.1.24 и 3.1.26) представлены для случая, когда параметр неупорядоченности находится для абсолютной неупорядоченности, а выражения (3.1.25 и 3.1.27) – для случая, когда параметр неупорядоченности соответствует степенной неупорядоченности. Приращение организованности может быть определено через изменения неорганизованности системы под действием средств АСДПП, тогда в соответствии с (3.1.26) и (3.1.27)

$$\Delta O_i = \bar{O}_{o_i} \Leftarrow \bar{O}_{n_i}, \quad (3.1.28)$$

где: $\bar{O}_{o_i}, \bar{O}_{n_i}$ - неорганизованность соответственно до и после действия средств организации (АСДПП авиатранспортом, диспетчерского воздействия и пр.). Из исследовательских результатов в [22] видно, что для численного определения различных по характеру неорганизованностей могут быть использованы любые из выражений (3.1.19-3.1.22). В теоретическом плане разница состоит лишь в том, что берется за параметр неупорядоченности (3.1.23) и как определяется сама неупорядоченность по (3.1.5-3.1.13). В практическом плане важным является требование соответствия количественного выражения приведенной неорганизованности (3.1.16) и характера ее изменения под действием средств организации АСДПП (3.1.27) той надсистеме предпочтений в отношении организованности системы, которая существует на более высоком уровне иерархии рассматриваемой системы. В отношении АСДПП авиатранспортом это означает, что количественные выражения оценок неорганизованности пространственных процессов должны соответствовать той системе предпочтений, которая объективно существует у диспетчеров авиатранспорта,

осуществляющих управление пространственными процессами. Рассматривая возможности использования аксиоматики системно-информационного анализа в отношении оценки полезности и ценности информации, циркулирующей в АСДПП авиатранспорта, необходимо заметить, что меры количества и ценности информации могут быть как абсолютными, так и относительными. Абсолютное количество информации определяется только числом различных информационных элементов N , т.е.

$$I = N . \quad (3.1.29)$$

Относительное количество информации характеризует соотношение между N и каким-то базисом N_B , относительно которого определяется количество информации. В качестве такого базиса может служить базисное число различных элементов информации или какой-то показатель качества функционирования, например, вес потенциального ущерба, степень достижения цели, и пр. При определении относительного количества информации имеет место соотношение

$$I = f(N, N_B), \quad (3.1.30)$$

где: f - функция, количественно отображающая оценку взаимных связей N элементов информации относительно принятого базиса N_B .

Показателем ценности информации будет функция чувствительности степени достижения рассматриваемой j -ой цели к i -му количеству информации:

$$\lambda_{ij} = \frac{\partial y_j}{\partial I_i}, \quad (3.1.31)$$

где: y_j — показатель степени достижения j -й цели; I_i — абсолютное или относительное количество поступившей информации. При этом значения λ_{ij} при всех I_i образуют некоторую кривую ценности ψ :

$$I_n = \psi(I) . \quad (3.1.32)$$

Это количество взвешенной по ценности информации может равняться относительному количеству информации, если показатель y_j согласно формуле (3.1.31) является в (3.1.30) показателем достижения j -ой цели и функции f и ψ

совпадают. Приведенные выше соотношения (3.1.29–3.1.32) демонстрируют ценную для решения задач управления вариативность подхода к оценке информационных процессов в АСДПП авиатранспортом, но недостаточно полно раскрывают связь информации, качества функционирования этих систем и безаварийности диспетчеризируемых пространственных процессов.

Для управления важна лишь та информация, которая полезна для достижения рассматриваемой j -ой цели. Т.е. для решения задач управления с прагматических позиций ценностью обладает лишь информация о недостатках работы системы, а «идеально» функционирующая система - не информативна. Это аналогично тому, что для управления, работающего по принципу обратной связи, имеет значение не абсолютная организация системы, а неорганизованность функционирования в отношении соответствующих целей. Отсюда в [22, 42] формулируется определение информации как меры снятой неорганизованности в результате полученных сведений об управляемом объекте. Полезной информацией являются те характеристики организованности или неорганизованности системы и окружающей среды, которые, будучи использованными в исполнительных органах, способны уменьшить неорганизованность функционирования АСДПП авиатранспортом в отношении рассматриваемой j -ой цели. Рассматривая прагматическую информацию как меру изменения неорганизованности, можно получить общее выражение для количества информации, полезно реализованной в средствах организации:

$$I_n = \bar{O}_o \Leftarrow \bar{O}_n, \quad (3.1.33)$$

где O_o, O_n — неорганизованность до и после действия средств организации.

При определении конкретного вида показателей неупорядоченности, организованности и прагматической информативности пространственных процессов необходимо учитывать, что эти показатели одновременно являются и показателями качества протекания этих процессов, а значит должны удовлетворять требованиям квалиметрии и теории эффективности. Требования квалиметрии формулируются на качественном уровне как принципы выбора критерия [42]: 1) соответствие; 2) полнота; 3) критичность; 4) реализуемость; 5)

физический смысл. Требование соответствия означает, что критерий должен определяться целью функционирования АСДПП авиатранспортом, отражать условия и способы ее применения по целевому назначению. Принцип соответствия является основным при выборе показателей качества любой системы. Требование полноты означает, что критерий качества должен адекватно учитывать возможно большее число характеристик АСДПП, отражающих ее свойства и условия функционирования. Вместе с тем, его выполнение предполагает взвешенный подход к учету всего многообразия факторов, влияющих на качество протекания авиационных пространственных процессов и эффективность АСДПП. Данное положение определяет рациональность выявления в процессе квантификации ее общей цели полного не избыточного набора подцелей и определение значимых, релевантных показателей степени их достижения. Требование критичности предполагает формулировку такого интегрального критерия качества, который был бы достаточно чувствителен к изменению основных управляемых параметров, отражающих свойства и условия (приемы и способы) применения АСДПП авиатранспортом по целевому назначению. Требование реализуемости заключается в определении способов и процесса измерения соответствующих параметров, их шкалирования, а также алгоритмов, обеспечивающих обработку данных измерения. Так же, интегральный критерий качества должен иметь физический смысл. Поскольку в системно-информационном анализе функционирование систем рассматривается в случайных условиях, то критерии качества, как правило, имеют вероятностный смысл, обеспечивающий предельно высокий уровень общности рассмотрения такого класса систем, как АСДПП авиатранспортом.

Объективно возникает вопрос: каков практический эффект от использования системно-информационного анализа в рамках научно-методической концепции улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента и в чем он выражается? Предлагаемый аппарат комплексной оценки показателей

безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте тесно увязывается с методом динамики качества протекания пространственных процессов, обоснованным в Гл.2. Этот аппарат обеспечивает адаптивность в анализе качества протекания пространственных процессов, и прежде всего в анализе показателей пространственной безаварийности. Данное положение можно пояснить на следующем примере: Развитие пространственного процесса авиатранспорта на сложных участках траектории. Выполнение взлета/посадки бортов авиации производится по сложным глиссад-подобным траекториям. Выдержать идеально-расчетную траекторию взлета-посадки невозможно, т.к. на нее влияет масса факторов: от особенностей набора мощности двигателей летательного аппарата до специфики текущих явлений метеорологического характера. В силу этого, в современных АСДПП по предварительно рассчитанной глиссаде производится лишь оценка зоны, в которой осуществляется наведение борта на расчетную траекторию, но не производится оценка качества пространственного процесса в целом, все решения по развитию пространственного процесса возлагаются на пилота воздушного судна. В частности, на рисунке 3.1.3 по позиционно показана расчетная траектория посадки вертолета Robinson 44 с некоторой начальной высотой в точку посадки, а овалом в плоскости XZ оценка зоны, в рамках которой пилот этого воздушного судна может фактически выполнять любые маневры, принимать самостоятельные решения и пр. Таким образом, на таких участках развития пространственного процесса традиционные АСДПП фактически не могут в достаточной мере осуществлять полноценную диспетчеризацию. В альтернативном случае, традиционные АСДПП будут все время реагировать на маневры в режиме «ложной тревоги», что так же является не приемлемым.

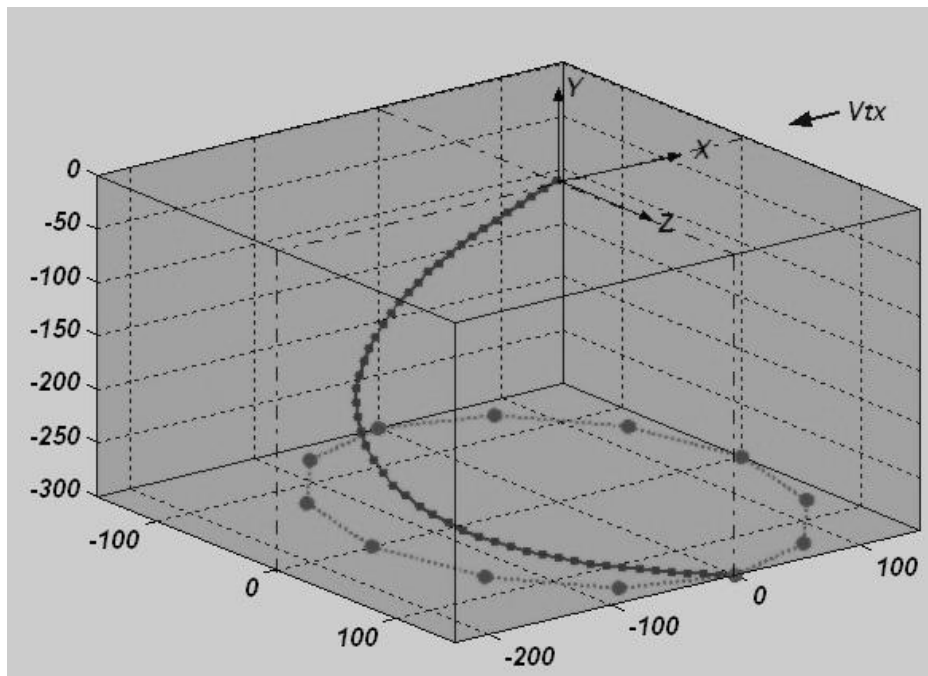


Рисунок 3.1.3 – Пример расчета траектории и зоны снижения/посадки вертолета

Предлагаемый научно-методический аппарат системно-информационного анализа позволяет модифицировать сценарный метод динамики качества протекания пространственных процессов авиатранспорта в АСДПП, обеспечив его адаптацию для случаев сложных сценариев развития пространственных процессов (сложных траекторий) и ситуаций (взаимодействий бортов в воздушном пространстве), что особенно актуально для бурно развивающихся сектора малой гражданской (частной) авиации, вертолетного сектора авиатранспорта и пр. Это особенно актуально при понимании того факта, что в реальных условиях программные комплексы АСДПП работают с данными не о воздушной обстановке как таковой, а с некоторой ее моделью, учитывающей погрешности различных средств мониторинга, задержки в передаче информации и пр. Например, на рисунке 3.1.4. показана разница между траекториями маломерного воздушного судна в зоне ожидания в АСДПП, полученными только по результатам наблюдения радиолокационной станции и по интегрированным данным с информацией от систем глобального позиционирования GPS.

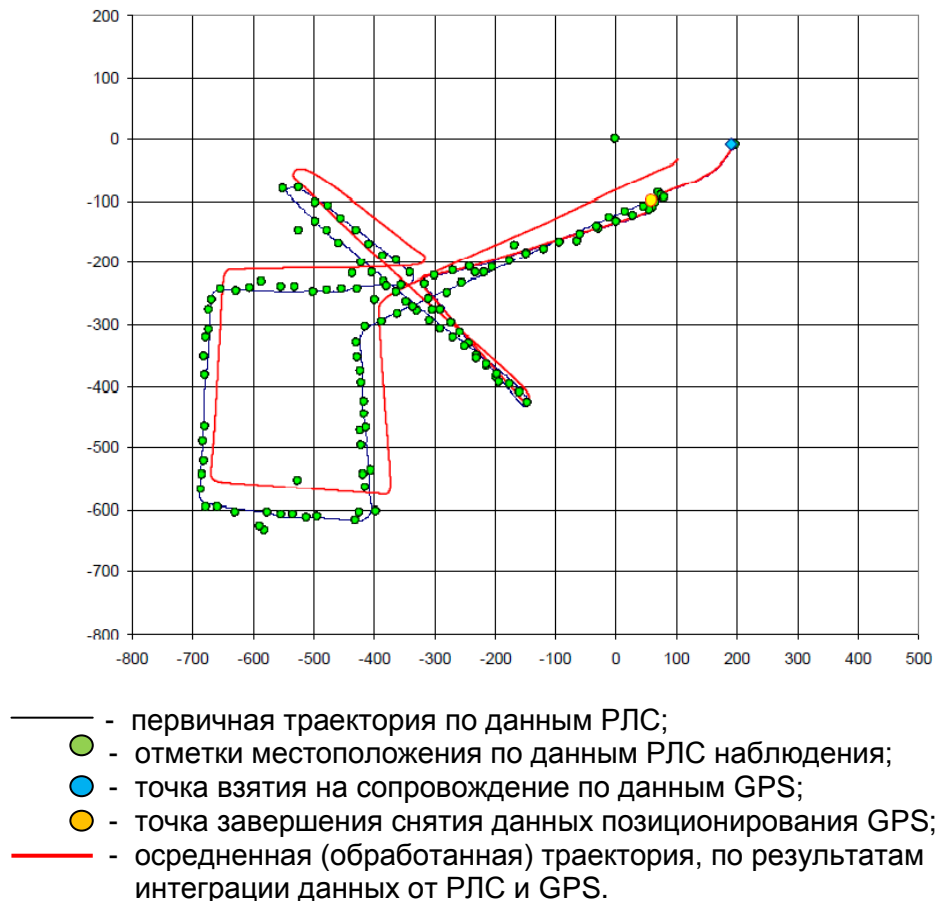


Рисунок 3.1.4 – Пример влияния погрешности средств наблюдения на модель воздушной обстановки отображаемой в ПК АСДПП авиатранспортом

Возрастающая интенсивность использования гражданской (и особенно маломерной) авиации сегодня уже не позволяет обеспечивать безаварийность пространственных процессов только путем назначения и закрытия персонифицированных зон реализации сложных траекторий. Именно поэтому в условиях разно уровневой оснащенности различных диспетчерских узлов авиатранспорта подсистемами зондирования и мониторинга обстановки практический эффект от использования предлагаемых средств системно-информационного анализа в составе ПК ситуационного управления АСДПП не вызывает сомнений. Он обеспечит возможность варибельной настройки средств анализа качества динамики протекания разноплановых пространственных процессов в АСДПП авиатранспортом.

Таким образом, основные положения и научно-методические средства системно-информационного анализа формируют методологическую базу для оценки частных, сводных показателей безаварийности протекания пространственных процессов авиатранспорта, а так же комплексной оценки степени изменения интегрального показателя динамики качества протекания этих процессов. Наличие такой базы позволяет определить основные соотношения для прагматической оценки информационных процессов в АСДПП авиатранспортом, которые реализуются в соответствующих программных комплексах ситуационного управления.

3.2 Прагматическая оценка информации о показателях безаварийности пространственных процессов авиатранспорта

На основании базовых требований системно-информационного анализа становится возможным сформулировать модели прагматической оценки информации в АСДПП авиатранспортом, которые должны обеспечивать оценку в определенной системе предпочтений ЛПР (диспетчера) параметров пространственных ситуаций. Именно этот набор параметров является определяющим для уровня безаварийности пространственных процессов. В качестве основы для разработки таких моделей целесообразными в работе приняты следующие положения:

1. Вся совокупность целей функционирования АСДПП формулируются в т.н. узком смысле. Под формулировкой i -ой цели в узком смысле понимается ее определение в формате, представленном на рисунке 3.1.1. Это: а) значение $x_{эм}$, задающее полное достижение i -ой цели; б) радиус r_i границы $l(x_{эз})$ области полного достижения i -ой цели; в) радиус R_i границы $l(x_{эз})$ области частичного достижения i -ой цели.

2. Информационные процессы при их прагматической оценке рассматриваются только в отношении тех целей, которые заданы в узком смысле.

3. Подцели K_i одной цели K в отношении воздействия на цель делятся на 2 группы: это т.н. определяющие (K_{o_i}) и дополняющие (K_{d_i}) подцели. Определяющая подцель K_{o_i} это подцель, полное недостижение которой приводит к полному недостижению цели K , а полное достижение цели K возможно только при полном достижении каждой из этих подцелей K_{o_i} . Достижение подцелей K_{o_j} является необходимым условием достижения цели K . Дополняющая подцель K_{d_i} это подцель, полное недостижение которой приводит к частичному недостижению цели K . Достижение подцелей K_{d_i} является достаточным условием достижения цели K [21]. При этом деление

подцелей на определяющие и дополняющие определяет и разделение соответствующих им показателей. Определяющим целям соответствуют представительные, а дополняющим— косвенные и непредставительные показатели.

4. В соответствие той или иной из подцелей K_i цели K сопоставляется параметр x_i пространственной ситуации, который является показателем результативности достижения рассматриваемой подцели K_i .

Необходимо рассмотреть пространственную ситуацию с позиций оценки неупорядоченности описывающих ее характеристик: так, в частности, в соответствии с (3.1.26) имеется принципиальная возможность оценки неупорядоченности любой характеристики. Одновременно с этим в “узком” смысле сформулирована подцель K_i , описываемая рассматриваемой характеристикой, а значит, задан показатель x_i . Величина абсолютного отклонения измеренного значения x_{ij} от его эталонного значения $x_{эм_i}$ всегда характеризуется систематической погрешностью δ_c и случайной погрешностью $\delta_{сл}$. При этом величина систематической погрешности δ_c определяется качеством управления пространственными процессами в АСДПП авиатранспортом (характеристиками техническими средств позиционирования пространственных объектов, методов обработки информации о них и методов управления ими), а величина случайной погрешности $\delta_{сл}$ - степенью воздействия большого числа трудно учитываемых и быстро меняющихся факторов. При данном уровне качества управления пространственными процессами в АСДПП авиатранспортом, характеризуемом величиной систематической погрешности δ_c , абсолютная величина δ этого отклонения может рассматриваться как случайная. Тогда согласно неравенству Чебышева при любом законе распределения δ

$$q_i \left\{ |x_i - x_{эм_i}| \geq R_i \right\} \leq \frac{\sigma_x^2}{R_i^2}, \quad (3.2.1)$$

где: $x_i - x_{эм_i} = \delta$ - абсолютное отклонение показателя x_i от эталона $x_{эм}$; q_i - вероятность недостижения цели K_i ; σ_x^2 - дисперсия показателя x_i ; R_i - радиус $l(x_{о2})$ области определения x_i .

На основании выражения (3.2.1) можно заключить, что вероятность q_i полного недостижения подцели K_i при любом законе распределения ограничена сверху величиной

$$q_i = \frac{\sigma_x^2}{R_i^2}, \quad (3.2.2)$$

которая и является вполне корректной ее оценкой. Следует отметить, что использование неравенства Чебышева является одним из наиболее широко используемых в имитационном моделировании способов оценки вероятностных характеристик малообъемных выборок. Для определения оценки D_x дисперсии σ_x^2 применим метод моментов. С учетом того, что $x_{эм_i}$ является истинным значением x_i , [4]

$$\sigma_x^2 = D_x = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_{эм_i})^2. \quad (3.2.3)$$

Определение доверительного интервала для D_x сводится к решению известной [4] задачи определения доверительного интервала для оценки дисперсии случайной величины x при ее известном математическом ожидании m_x . Такая задача возникает при обработке результатов измерений эталона, произведенных для определения точности измерительного метода, т.е. в ситуации адекватной оцениванию текущей пространственной ситуации относительно ее эталонной модели. Оценка дисперсии D_x по (3.2.3) является несмещенной, т.к. $x_{эм}$ и есть математическое ожидание m_x данной величины.

Для вывода о состоятельности и эффективности оценки (3.2.3) необходимо определение параметров закона распределения случайной величины x . С этой целью был проведен компьютерный имитационный эксперимент по определению величины отклонения параметров пространственных ситуаций эшелонирования с групп воздушных бортов по

данным радиолокационных средств их контроля (обнаружения). Статистическая обработка данных 356 ситуаций по восьми параметрам позволила сделать вывод о том, что на уровне доверия $\alpha=0,05$ распределения полученные по всем восьми видам параметров являются нормальными. Это позволило перейти к выводу, что оценка (3.2.3) является состоятельной, а ее результативность определяется выражением

$$D\{\sigma_x^2\} = \frac{2}{n} D_x^2 = \frac{2}{n} \sigma_x^4, \quad (3.2.4)$$

где: $D\{\sigma_x^2\}$ — дисперсия оценки D_x ; σ_x — среднее квадратическое отклонение параметра x от $x_{эм}$. Тогда на основании (3.2.3) оценка (3.2.1) вероятности недостижения сформулированной в “узком” смысле цели K_i примет вид

$$q_i = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_{эмi})^2}{nR_i^2}. \quad (3.2.5)$$

Задание целей K_i в “узком” смысле и оценка степени их достижения в соответствии с (3.2.5) позволяют на максимальном высоком уровне абстракции в единой мере представлять любые разнородные характеристики пространственных ситуаций и оценивать их неупорядоченность в отношении целей обеспечения безаварийности пространственных процессов авиатранспорта. Выполняемые в соответствии с (3.2.5) преобразования с позиций теории измерений являются допустимым степенным функциональным преобразованием шкал измерения множества показателей $\{x\}$ и их приведения к единой количественной шкале измерения вероятности q недостижения соответствующей подцели. Формула (3.2.5) задает математическую форму функции φ для модели $L_Q = \langle \bar{X}, \varphi, \bar{Q} \rangle$ общей шкалы измерения значений по показателям $\{x\}$, что дает возможность на основе теории системно-информационного анализа предложить схему прагматической оценки пространственных процессов АСДПП авиатранспортом и задать математическую форму функции ψ полезности получаемого значения показателя x для достижения соответствующей ему частной цели K

обеспечения пространственной безаварийности соответствующих процессов авиатранспорта. Основанием выбора возможных форм функции ψ на шкале $L_o = \langle \bar{Q}, \psi, \bar{O} \rangle$ неорганизованности и на шкале $L_l = \langle \bar{Q}, \psi, \bar{I} \rangle$ полезности информации диспетчеризации являются данные ситуационного управления, искусственного интеллекта и инженерной психологии. В этих научных дисциплинах обоснован тезис о существовании единой, общепринятой системы предпочтений по отношению свойств результатов деятельности. В целом ряде работ, в частности в [10-13, 16, 17, 38, 42], приводятся результаты экспериментов, которые подтверждают существования указанной системы предпочтений и ее основные закономерности. Базовой закономерностью этой системы предпочтений выделяется логарифмический характер зависимости оценок качества процессов от показателей этих процессов.

Тогда на основе этой и других закономерностей системы предпочтений диспетчеров, как ЛПР, становится возможным определить в соответствии с (3.1.5-3.1.33) основные информационные характеристики пространственных ситуаций, представляемых в АСДПП авиатранспортом, в следующем виде:

1. Абсолютную неупорядоченность по i -му показателю как некоторую вероятность q_i (3.2.5) недостижения сформулированной в узком смысле цели K_i

$$y_{ia} = q_i, \quad (3.2.6)$$

где $q_{эmi} = 0$ при $x_i = x_{эmi}$.

2. Сравнительную неупорядоченность по i -му показателю из (3.1.13)

$$y_{ic} = \frac{q_i}{\varepsilon(q)} - C,$$

где, соответственно: $\varepsilon(q)$ - q на границе $l(x_{э2})$ области полного достижения цели K_i ; C - коэффициент, определяемый по условию $y_{ic}=0$ при $q_i=\varepsilon(q)$.

Следовательно

$$y_{ic} = \frac{q_i}{\varepsilon(q)} - 1. \quad (3.2.7)$$

3. Параметр неупорядоченности по i -му показателю из (3.1.18)

$$P_{ic} = y_{ic} + C,$$

где C - коэффициент, определяемый из условия $\psi(P_{ic}) = 0$ при $y_{ic} = 0$.

Если принять, что ψ — логарифмическая функция, то тогда

$$P_{ic} = \frac{q_i}{\varepsilon(q)}. \quad (3.2.8)$$

4. Единичную неорганизованность по i -му показателю из (3.1.21)

$$O_i = \log_2 \frac{q_i}{\varepsilon(q)}. \quad (3.2.9)$$

Следует отметить, что при $q_i < \varepsilon(q)$ величина y_{ic} отрицательна, и понятие неорганизованности теряет смысл. В данном случае пространственный процесс по рассматриваемому показателю x_i полностью организован и имеет место, так называемая, избыточная упорядоченность. Избыточную упорядоченность по результатам ее проявления делят на два вида: бесполезную и полезную. Полезной избыточной упорядоченностью считается такая, которая дает дополнительный эффект по отношению к эффекту, получаемому на границе зоны $l(x_{e2})$ полного достижения цели. В дальнейшем избыточную упорядоченность следует считать полезной для определения абсолютной неупорядоченности $y_{ia} = q_i$ в соответствии с (3.2.6) и бесполезной для определения сравнительной неупорядоченности и неорганизованности, т.е. при $q_i < \varepsilon(q)$ в (3.2.7) – (3.2.9) следует принимать $q_i = \varepsilon(q)$ [42]. Характер изменения описанных способов представления неупорядоченности и неорганизованности приведен на рисунке 3.2.1.

5. Полезную информацию по i -му показателю из (3.1.27), (3.2.33) с учетом того положения, что все управляющие воздействия по изменению i -ого показателя и по предотвращению возникновения опасной, т.е. пространственно-аварийной, ситуации по цели K_i осуществляются только средствами управления АСДПП (диспетчером).

Пусть безаварийность текущей пространственной ситуации оценивается по i -ому показателю, характеризующемуся абсолютной неупорядоченностью $q_i \geq \varepsilon(q_i)$. Качество функционирования ПК АСДПП определяется путем оценки

количества информации, реализованной средствами управления АСДПП (диспетчером) при организации рассматриваемого пространственного процесса. Такая оценка обуславливается формулировкой целей АСДПП. Если цель функционирования АСДПП авиатранспортом формулируется как обеспечение безаварийности пространственных процессов, т.е. как исключение возможности возникновения аварийных ситуаций, то качество организации рассматриваемого пространственного процесса согласно (3.1.28) оценивается относительно опасной ситуации, характеризуемой $q_i^{on} = 1$, по формуле

$$I_i^{on-мек} = O_{on} \Leftarrow O_{мек} = \log_2 \left[\frac{q_i^{on}}{\varepsilon(q)} \times \frac{\varepsilon(q)}{q_i} \right] = \log_2 \frac{1}{q_i}, \text{ где } \varepsilon(q) > 0. \quad (3.2.10)$$

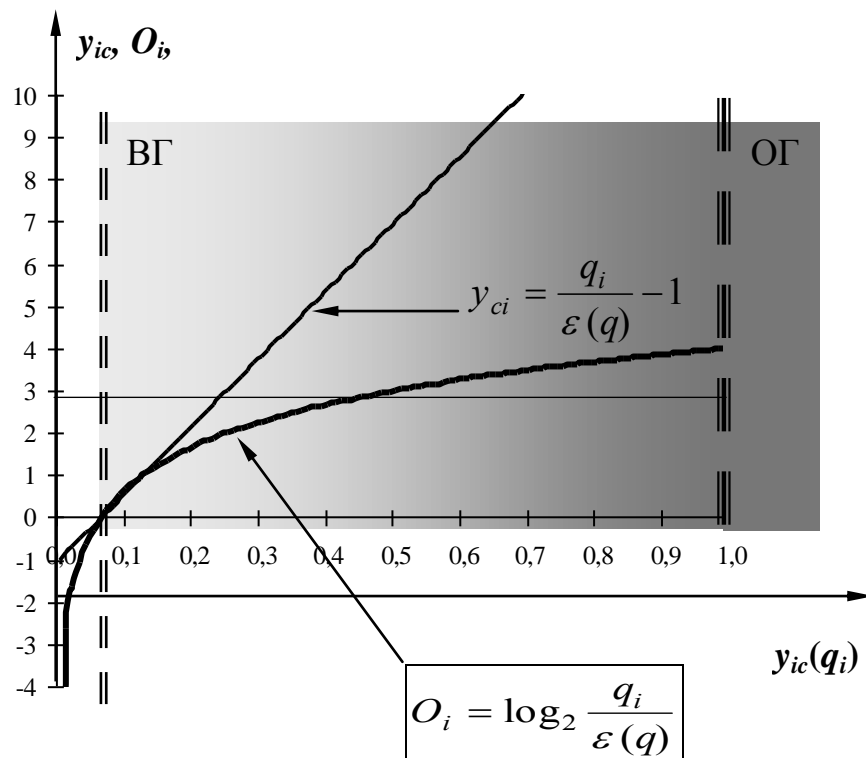


Рисунок 3.2.1 – Характер изменения неупорядоченности и неорганизованности пространственной ситуации по i -ому показателю при $\varepsilon(q) = 0,06$

Формульное соотношение (3.2.10) соответствует определению целевой статистической энтропии и информации опыта. Количество полезной информации, определенное по (3.2.10), является мерой снятой неопределенности достижения цели K_i и неорганизованности управляемого

воздушного объекта (борта), устраненной диспетчером как узлом управления в текущий момент времени. Показатель (3.2.10) является т.н. показателем “чем больше, тем лучше” согласно терминологии из [22]. Он может использоваться при определении текущей ситуации как штатной или нештатной путем задания УОГ достижения цели K_i обеспечение безопасности пространственных процессов. Условно опасная граница задается специалистами-диспетчерами, сообразуясь со спецификой диспетчеризируемых процессов, путем задания значения $q_i^{on} > q_i^{um} \geq \varepsilon(q)$, до достижения которого ход такого пространственного процесса рассматривается как штатный, а при превышении как нештатный. Иначе говоря, при $q_i \leq q_i^{um}$ неорганизованность процесса в авиационном пространстве, анализируемая по (3.2.9), рассматривается как приемлемая, а полезность диспетчеризации, анализируемая по (3.2.10), - как достаточная. При $q_i > q_i^{um}$ неорганизованность пространственного процесса рассматривается как неприемлемая, а полезность диспетчеризации как недостаточная. Это является основанием для инициации внимания диспетчера по складывающейся пространственной ситуации. Следовательно, при $q_i > q_i^{um}$ текущая пространственная ситуация является нештатной и требующей корректирующих воздействий средств организации АСДПП авиатранспортом (диспетчера).

Оценка штатности текущей ситуации в воздушном пространстве по формуле (3.2.10) заключается в проведении (Рисунок 3.2.2):

1) определения количества полезной информации, реализуемой средствами ПК АСДПП на УОГ (q_i^{um}) достижения цели ее функционирования:

$$I_i^{on-um} = O_{on} \Leftarrow O_{um} = \log_2 \left[\frac{q_i^{on}}{\varepsilon(q)} \times \frac{\varepsilon(q)}{q_i^{um}} \right] = \log_2 \frac{1}{q_i^{um}}, \text{ где } \varepsilon(q) > 0. \quad (3.2.11)$$

2) идентификации текущей пространственной ситуации по критерию штатности:

$$\begin{cases} I_i^{on-тек} \geq I_i^{on-ум} & \text{– штатная ситуация,} \\ I_i^{on-тек} < I_i^{on-ум} & \text{– нештатная ситуация} \end{cases} \quad (3.2.12)$$

При цели функционирования АСДПП формулируемой, как обеспечение штатного ($q_i \leq q_i^{ум}$) режима реализации пространственных процессов авиатранспорта, оценка по (3.1.28) осуществляется относительно неорганизованности т.н. штатной ситуации.

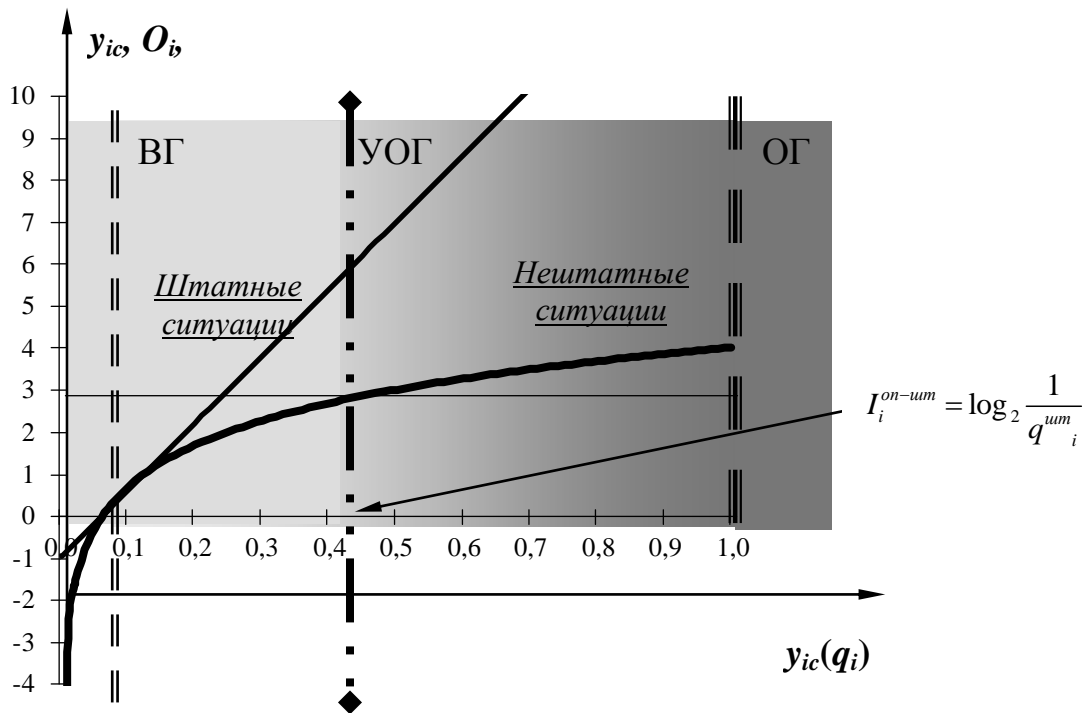


Рисунок. 3.3.2 – Оценка штатного характера пространственных ситуаций по критерию (3.2.12) при $q_i^{ум} = 0,45$

Ее определяет дефицит в указанной системе полезной информации по диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта:

$$I_i^{тек-ум} = O_{тек} \Leftarrow O_{ум} = \log_2 \left[\frac{q_i}{\varepsilon(q)} \times \frac{\varepsilon(q)}{q_i^{ум}} \right] = \log_2 \frac{q_i}{q_i^{ум}}, \quad (3.2.13)$$

При такой постановке идентификация текущей ситуации осуществляется по следующему критерию штатности:

$$\begin{cases} I_i^{тек-шт} \leq 0 & \text{– штатная ситуация,} \\ I_i^{оп-тек} > 0 & \text{– нештатная ситуация} \end{cases}. \quad (3.2.14)$$

Информацию по диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта для всей совокупности параметров пространственной ситуации следует определять на основе ранее введенных терминов определяющей (K_{o_i}) и дополняющей (K_{∂_i}) подцелей диспетчеризации. При этом вероятность $q = y_a$ недостижения цели K будет определяться обоснованным в [22] выражением:

$$\bar{y}_a = q^{тек} = 1 - \left[\prod_{i=1}^l (1 - q_{o_i}) \right] \left(1 - \sum_{i=l+1}^n m_i q_{\partial_i} \right), \text{ при } \sum_{i=l+1}^n m_i \leq 1, \quad (3.2.15)$$

где: q_{o_i}, q_{∂_i} - показатели определяющих и дополняющих подцелей диспетчеризации; m_i - вес для дополняющей подцели диспетчеризации.

Если все цели диспетчеризации определяющие, то

$$q^{тек} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i). \quad (3.2.16)$$

Если все цели диспетчеризации дополняющие, то

$$q^{тек} = \sum_{i=1}^n m_i q_i. \quad (3.2.17)$$

При подстановке $q^{тек}$ в (3.2.10) – (3.2.14) получаются соответствующие оценки, обобщенные по всему множеству рассматриваемых показателей. Приведенные выше способы оценки неупорядоченности и неорганизованности пространственных ситуаций, а также полезности воздействий средств АСДПП авиатранспортом обеспечивают оценку качества управления пространственными процессами при любом конечном множестве их учитываемых характеристик, что определяет целесообразность их применения для оценки текущих пространственных ситуаций в соответствующих программных комплексах ситуационного управления.

Однако указанные выше соотношения имеют ограничение, связанное со сложностью взаимосвязи оцениваемых показателей безаварийности пространственной ситуации на авиатранспорте. Существо этого ограничения заключается в том, что в (3.2.15) – (3.2.17) объединяемые неупорядоченности

рассматриваются как равновесные. Это не соответствует природе пространственных ситуаций, для которой свойственна многоуровневая система декомпозируемых показателей, позволяющих идентифицировать и оценивать безаварийность рассматриваемой пространственной ситуации. Следовательно, далее необходимо рассмотреть возможность применения соотношений для оценки неорганизованности сложной пространственной ситуации, контролируемой и управляемой АСДПП авиатранспорта, описываемой упорядоченной многоуровневой структурой частных показателей.

3.3 Агрегирование показателей безаварийности пространственных процессов

Ранее в п.3.1. показано, что моделирование и оценка показателей безаварийности пространственных процессов авиатранспорта в АСДПП, как одной из сложных составляющих результативности программных комплексов указанных систем, носит сложный и многоаспектный характер. Практическим выражением этой сложности при квалиметрическом представлении и оценке безаварийности пространственных процессов авиатранспорта является таксономия многоуровневой декомпозиции безаварийности, как сводного показателя для более частных показателей безаварийности пространственных процессов. При этом, учитывая принятое в работе совместное представление в информационно-программной среде АСДПП пространственных процессов как взаимоувязанных цепочек соответствующих ситуаций, очевидно, что таксономия сводных и частных показателей безаварийности своими терминальными показателями должна иметь частные показатели безаварийности для текущей пространственной ситуации. При этом автор исходит из следующего понимания термина «дерево», применительно к структурной таксономии показателей, согласно [64]: Дерево - иерархически упорядоченный граф, не имеющий перекрестных связей. Ветвь дерева - совокупность дуг и вершин графа, имеющих связь с корневой вершиной. Корневая вершина - вершина, имеющая связи с вершинами, расположенными на более низких уровнях иерархии дерева. Любая корневая вершина порождает ветвь. Элементарная ветвь - пучок связей, исходящих из одной корневой вершины. Терминальная вершина - вершина, которая не имеет нисходящих связей и не является корневой.

В свою очередь, представление системы показателей оценки безаварийности пространственных процессов в рамках объектно-ориентированного подхода к разработке программных комплексов в виде дерева классов позволяет описать эту систему на языке программирования в

соответствующих специализированных программных средах (например: Java, JDK, JEES, JBRS-Tab, Lisp, JBossRules и др.) При этом в нотации используемого языка формального представления знаний и данных о такой системе показателей описывается каждый класс (показатель) с соответствующими ему слотами (отношениями, уточнениями, значениями). Если в описании каждого из показателей определить необходимость его использования для оценки организованности пространственного процесса (аварийности (нештатности) текущей ситуации или пространственного процесса в целом), указать приемлемые пределы изменений значений и характер влияния его неупорядоченности и неорганизованности на стоящие на более высоком уровне иерархии сводные показатели, то сама такая программная реализация соответствующих экземпляров классов определит иерархическую структуру показателей неупорядоченности пространственной ситуации (процесса). Таким образом, иерархия классов программных комплексов АСДПП способна адекватно отображать структуру показателей, определяющих оценку неорганизованности пространственной ситуации, и представлять ее в виде упорядоченного графа - дерева.

В квалиметрии программного обеспечения вводится термин «интегральный показатель» как обобщенный показатель, который признается ЛПР важным в отношении поставленной цели, является общим для всех допустимых решений и характеризует общую ценность решения таким образом, что ЛПР стремится получить по нему наиболее предпочтительную оценку [64]. При этом показатель, по которому оценивают степень достижения частной подцели, в отношении ее является интегральным и одновременно частным показателем в отношении цели более высокого уровня иерархии, в которую рассматриваемая подцель входит как частная. Каждый интегральный показатель должен быть единственным. Единственность интегрального показателя является средством устранения неопределенности при решении задачи оценки качества и эффективности двух систем одинакового целевого предназначения. Эта единственность обеспечивается на основе выполнения принципа

«вложения» частных показателей более низкого уровня иерархии в интегральный показатель более высокого уровня. Наиболее полно целям исследования соответствует трактовка принципа «вложения», предложенная в [41]: «Сущность принципа «вложения» заключается в том, что при выборе решения принятый критерий в своем количественном выражении должен содержать показатели (критерии) эффективности которые находятся на следующем нижнем уровне иерархии» [41]. Практической реализацией этого принципа является широко используемая схема формирования сводных и интегральных показателей [42]

$$W_{ij} \Rightarrow W_i(W_{ij}) \Rightarrow M(W_i), \quad (3.3.1)$$

что в развернутом виде:

$$\left. \begin{aligned} W_{ij} \Rightarrow 1 - \exp\left(-\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} x_{ij}\right) \Rightarrow \sum_{i=1}^m V_i \left[1 - \exp\left(-\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} x_{ij}\right) \right], \\ \alpha_{ij} = -\ln(1 - W_{ij}) \end{aligned} \right\}, \quad (3.3.2)$$

где: W_{ij} – показатель качества или критерий эффективности j -го элемента i -ой системы (вероятность решения задачи j -ым элементом); W_i – показатель качества или критерий эффективности решения i -ой задачи всеми элементами i -ой системы (вероятность решения i -ой задачи); $M(W_i)$ — математическое ожидание вероятности решения всех задач с учетом коэффициентов их относительной значимости (важности, веса) — V_i .

В общем виде принцип “вложения” формулируется как

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= K_1(\alpha_1); \\ K_2 &= K_2(\alpha_1, \alpha_2) = K_2(\alpha_2, K_1); \\ K_i &= K_i(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i) = K_i(\alpha_i, K_{i-1}) \end{aligned} \right\}, \quad (3.3.3)$$

где: α_i — показатели i -го уровня; K_i — показатели качества (критерий эффективности) i -го уровня.

Основываясь на (3.3.2), способ увязки показателей представлен как:

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= K_1(\alpha_1) \\ K_{i+1} &= K_{i+1}(\alpha_{i+1}, K_i) \end{aligned} \right\}, \quad (3.3.4)$$

где $i = 1 \dots (n-1)$.

Изменение целей и объектов исследования не влечет за собой изменения принципов формирования системы показателей оценки: принцип «вложения» (3.3.3) и подход (3.3.4) к увязке критериальных показателей различных уровней иерархии базируются на принципах системного подхода, данных квалиметрии, теории эффективности и справедливы для любых систем и целей их исследования.

Таким образом, структура показателей организованности пространственной ситуации представляет собой дерево. При этом показатель более низкого уровня всегда раскрывает ту характеристику ситуации, которая оценивается на более высоком уровне иерархии в виде интегрального показателя большей степени общности. Поэтому следует рассмотреть реализацию принципа вложения применительно к структурам показателей, представленных в виде дерева.

Предположим, что узел иерархии B_{ij} , принадлежащий j -му уровню дерева, показывает i -ую элементарный показатель, оценивающий характеристику $T_{k,j-1}$, ассоциированную с узлом иерархии $B_{k,j-1}$. Иными словами, узел иерархии B_{ij} охарактеризовывается показателем T_{ij} , композиционно обобщающим более простые показатели, описываемые подмножеством узлов иерархии $\{B_{r,j+1}\}$. Узел B_{ij} входит в состав пучка связей с корневым узлом иерархии $B_{k,j-1}$ и подмножеством порождаемых узлов $\{B_{ij}\}(i = \overline{1, n})$, что дает основания для существования пучка связей с подмножеством узла иерархии $\{B_{r,j+1}\}(i = \overline{1, m})$. В общем случае оценка характеристики, фигурирующей в узле иерархии B_{ij} , определяется двумя видами критериальных показателей:

1) собственным качеством, т.е. показателем, оценивающим ту целостную характеристику, которую он определяет;

2) вложенными качествами, т.е. показателями определяющими частные характеристики рассматриваемого качества (характеризующими вершины $\{B_{r,j+1}\}$).

Если вершина дерева (узел иерархии этого дерева) имеет восходящие связи, то она обладает собственным качеством, если вершина дерева имеет нисходящие связи, то она обладает вложенными качествами. Конечные вершины дерева обладают только собственными качествами, вложенными качествами обладают только корневые вершины. Не имеет собственных качеств только исходная вершина дерева B_{01} , представляющая собой интегральный показатель качества.

На основании выше изложенного принцип вложения для моделирования пространственных процессов в ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом можно представить в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} Q(B_{ij}) &= Q[m(B_{ij}), s(M_{j+1}^{ij})] && \text{для } \forall B_{ij} \in \{B_{\kappa}\}; \\ Q(B_{ij}) &= Q[m(B_{ij}), s(B_{ij})] && \text{для } \forall B_{ij} \notin \{B_{\kappa}\}; \\ Q(B_{01}) &= s(M_1^{01}) \end{aligned} \right\}, \quad (3.3.5)$$

где: $Q(B_{ij})$ – сводная квалиметрическая оценка в узле иерархии B_{ij} ; M_{j+1}^{ij} – подмножество узлов $B_{l,j+1}$, ассоциированных с пучком связей с корневым узлом B_{ij} ; $s(M_{j+1}^{ij})$ – интегрированное качество узла B_{ij} , измеряемое по показателям, свойственным узлам $B_{l,j+1} \in M_{j+1}^{ij}$; $\{B_{\kappa}\}$ – подмножество корневых узлов; B_{01} – интегральный узел иерархии, $m(B_{ij})$ – вес показателя $Q(B_{ij})$ при его композиционном включении в показатель высокого уровня, для которого верно:

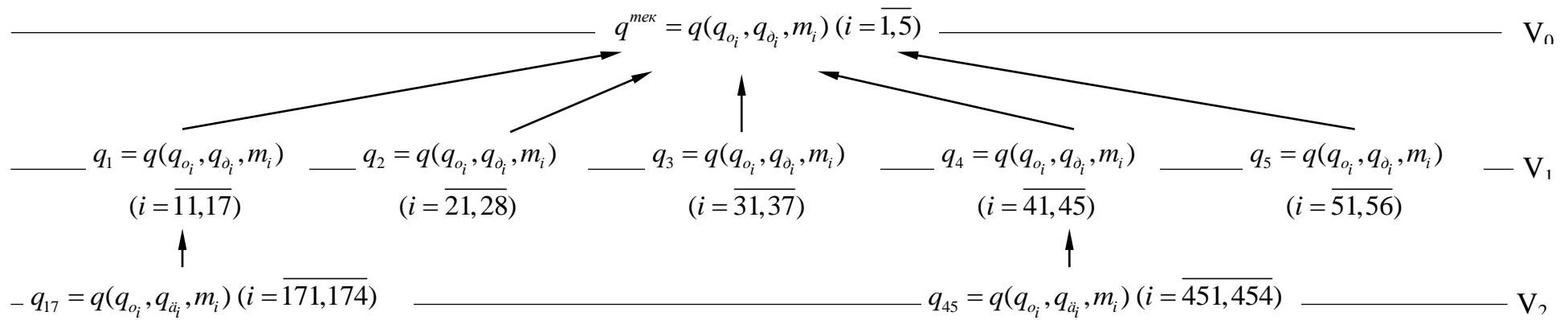
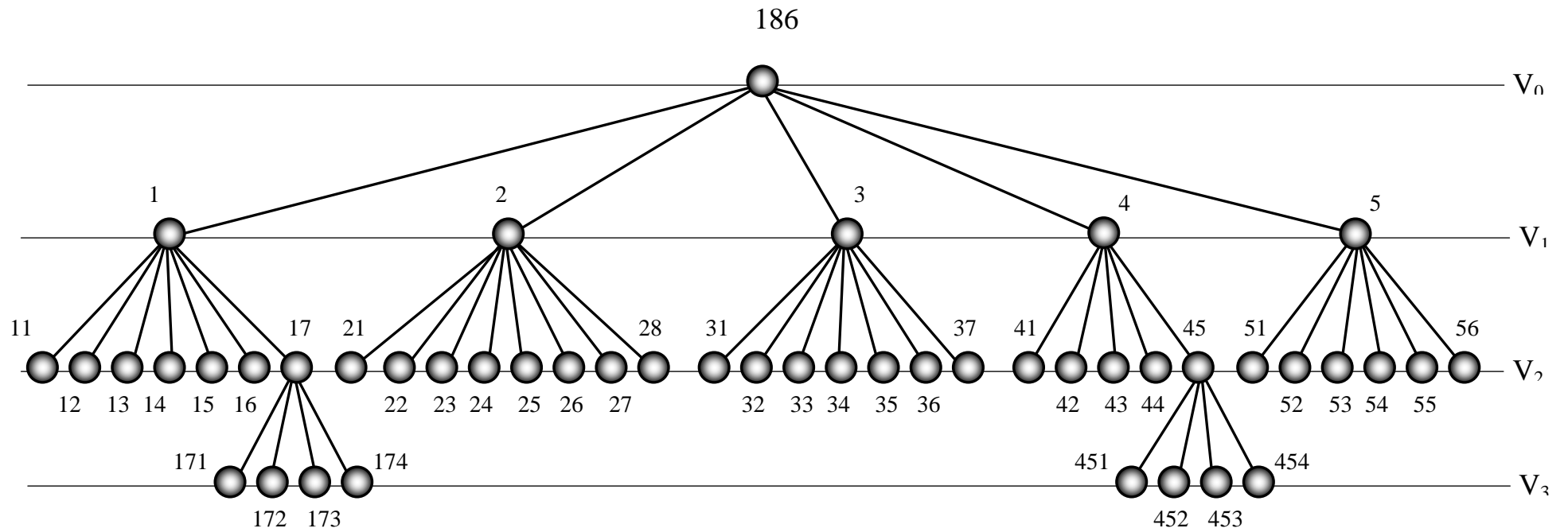
$$\exists M_{j+1}^{ij} (M_{j+1}^{ij} \in D) \wedge \{Q(B_{ij})\} (B_{ij} \in M_{j+1}^{ij}; i = \overline{1, n}) \rightarrow \bigcup_{i=1}^n m(B_{ij}) = a, \quad (3.3.6)$$

где $\bigcup_{i=1}^n m(B_{ij}) = a$ есть правило a оценки значимости агрегируемых показателей.

Поясняющий пример на рисунке 3.3.1. Если элементарные (терминальные узлы иерархии) показатели представлены в единой шкале измерений, то оценка элементарного показателя заключается в

$$s(M_{j+1}^{ij}) = \bigcup_{i=1}^n m_{i,j+1}^{ij} Q(B_{l,j+1}^{ij}) = F(Q(B_{l,j+1}^{ij}), m_{i,j+1}^{ij}) \text{ при } \bigcup_{i=1}^n m(B_{ij}) = a, \quad (3.3.7)$$

где $B_{l,j+1}^{ij}$ – узлы, которые входят в пучок M_{j+1}^{ij} , образуемый корневым узлом B_{ij} ;
 $Q(B_{l,j+1}^{ij})$ – значения показателей в узлах иерархии $B_{l,j+1}^{ij}$; $m_{i,j+1}^{ij}$ – вес таких показателей при композиционном объединении в сводный показатель.



$$\text{где } q(q_{o_i}, q_{d_i}, m_i) = 1 - \left[\prod_{i=1}^l (1 - q_{o_i}) \right] \left(1 - \sum_{i=l+1}^n m_i q_{d_i} \right), \text{ при } \sum_{i=l+1}^n m_i \leq 1$$

Рисунок 3.3.1 – Пример дерева критериальных показателей и соответствующая ему схема агрегирования

В иной формулировке: для системы показателей структурированной в виде дерева, построение структуры сводных показателей заключается в определении в (3.3.7) интегральной формы функции-свертки $F(Q(B_{l,j+1}^{ij}), m_{i,j+1}^{ij})$, отвечающей за корректность композиционного объединения подмножества одноуровневых частных показателей. Этому отвечает свертка вида (3.2.15), которая:

- 1) реализует композиционное объединение сколь угодно большого подмножества одноуровневых частных показателей;
- 2) задает математически корректный алгоритм композиции частных показателей с учетом их веса для вышестоящих в иерархии показателей.

Если система показателей оценки безаварийности пространственных ситуаций по ходу развития пространственного процесса авиатранспорта представлена в виде дерева, аналогичного по структуре приведенному на рисунке 3.3.1., а все показатели, характеризующие вершины дерева с позиций их влияния на организованность и упорядоченность пространственной ситуации, идентифицированы как определяющие и дополняющие, и для дополняющих корректно определен их вес, то схема агрегирования показателей для оценки текущей неупорядоченности пространственной ситуации, как меры ее нештатности (аварийности), будет иметь вид, приведенный в нижней части рисунка 3.3.1. Данная схема агрегирования универсальна, а конкретный вид ее реализации определяется самой структурой критериальных показателей оценки безаварийности пространственных процессов.

В целом, метод комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте, благодаря представленной схеме агрегирования показателей, хорошо автоматизируем и позволяет эффективно моделировать квалиметрические системы показателей безаварийности практически любого уровня сложности. Представленная схема агрегирования позволяет декомпозировать сложные функциональные модели оценки на более простые составляющие, которые легко реализуются в соответствующих программных средах. Так, например, на рисунке 3.3.2.

приведена максимально обобщенная модель комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте в нотации IDEF (Integration Definition for Function Modeling) [84].

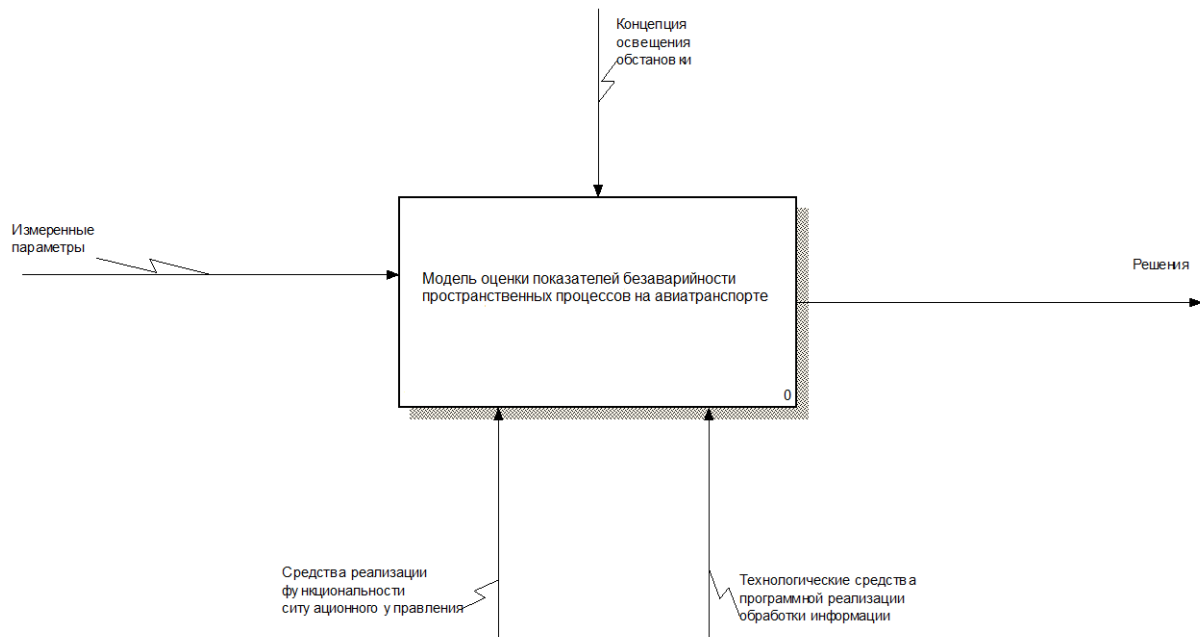


Рисунок 3.3.2 – Обобщенная функциональная модель оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте в нотации IDEF

Представленная модель последовательно декомпозируется на три более простых подмодели, что показано на рисунке 3.3.3.

В свою очередь каждая из подмоделей может быть декомпозирована на свои составляющие, каждая из которых может иметь сложную математико-логическую и программную реализацию. Так, например, функциональная подмодель «Формирование параметров обстановки» на рисунке 3.3.3. реализуется посредством математического аппарата представленного в Приложении В и имеет свою сложную функциональную структуру, показанную на рисунке 3.3.4.

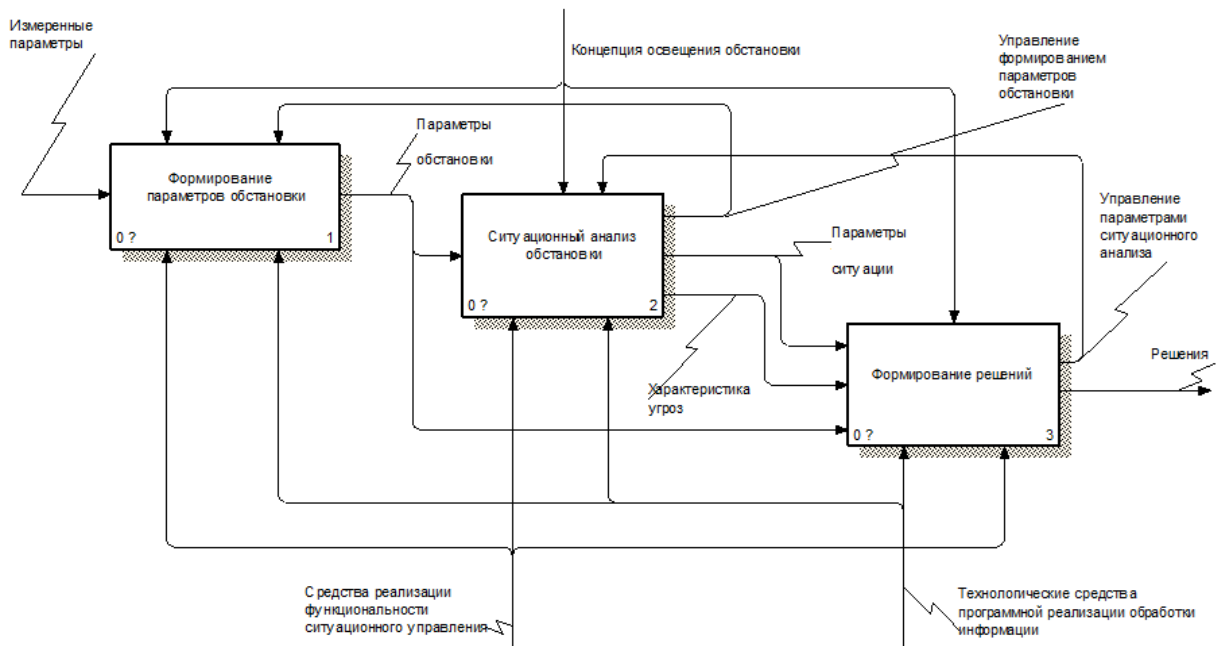


Рисунок 3.3.3 – Первичная декомпозиция функциональной модели оценки показателей безаварийности пространственных процессов на подмодели

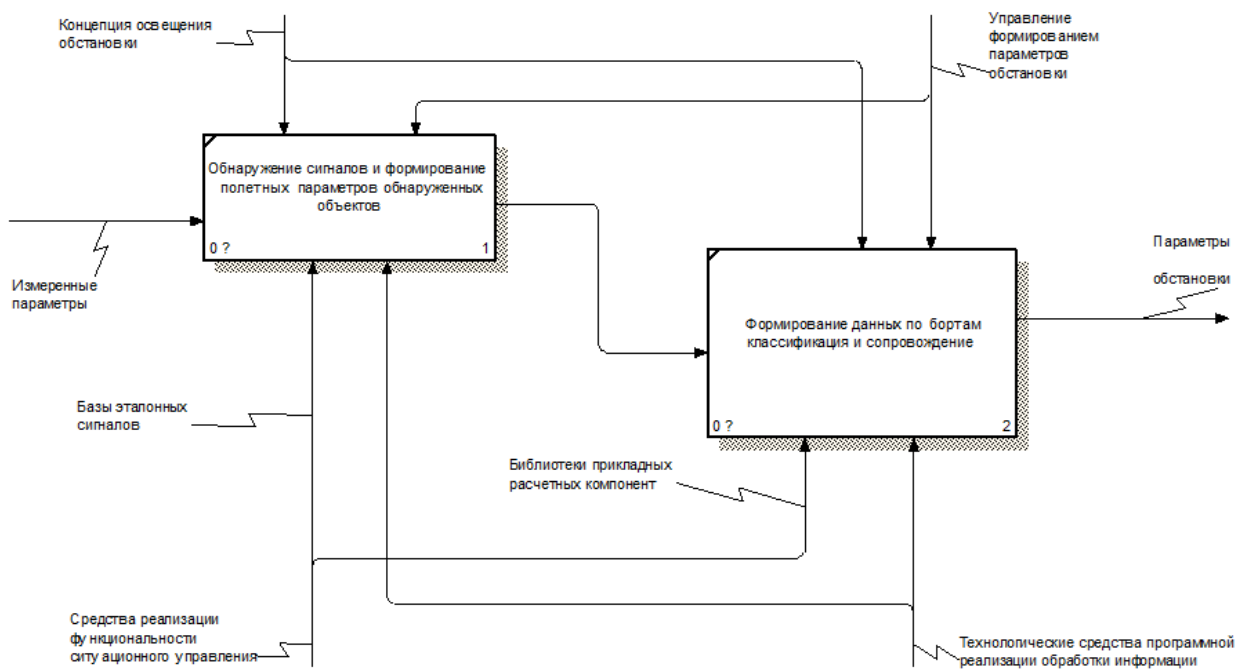


Рисунок 3.3.4 – Функциональная структура подмодели «Формирование параметров обстановки»

Аналогично, в рассматриваемом примере, декомпозируются вторая и третья подмодели, представленные на рисунках 3.3.5. и 3.3.6. соответственно.

Таким образом, метод комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте представляет собой как методологический инструментарий, так и мощную базу для создания соответствующих образцов программных решений по автоматизации процедур корректной идентификации «штатной» или «нештатной» пространственных ситуаций в ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом и актуализации внимания авиационных диспетчеров (пользователей указанных программных комплексов) на пространственных процессах, требующих своевременной корректуры [145].

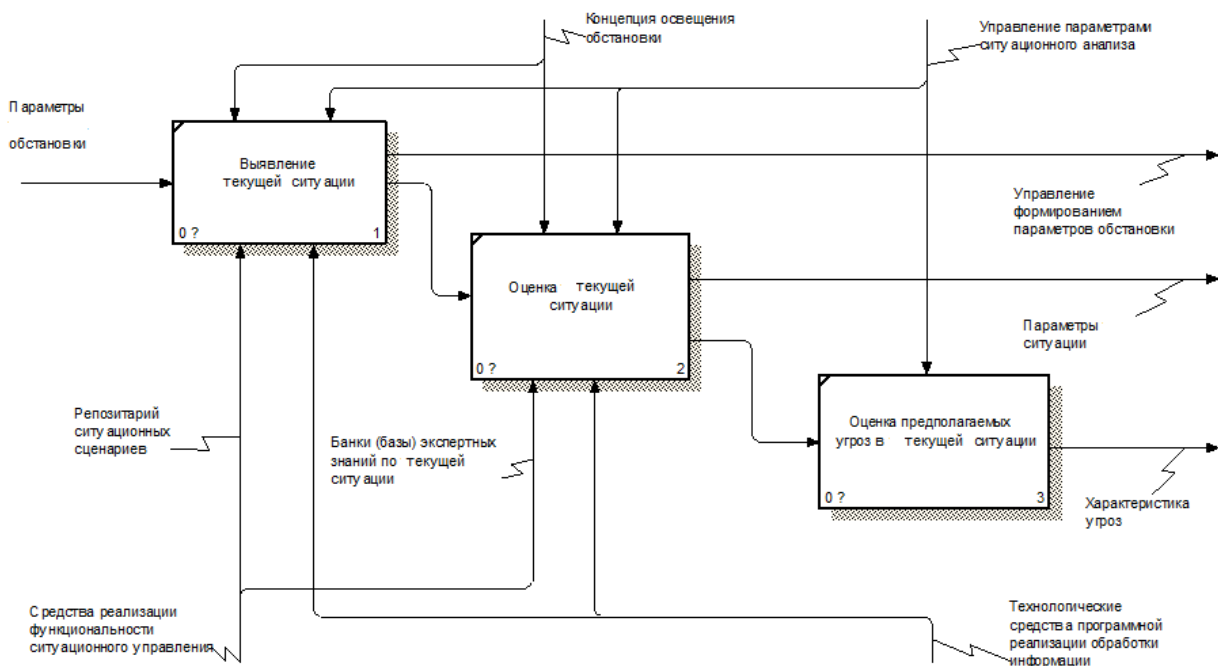


Рисунок 3.3.5 – Функциональная структура подмодели «Ситуационный анализ обстановки»

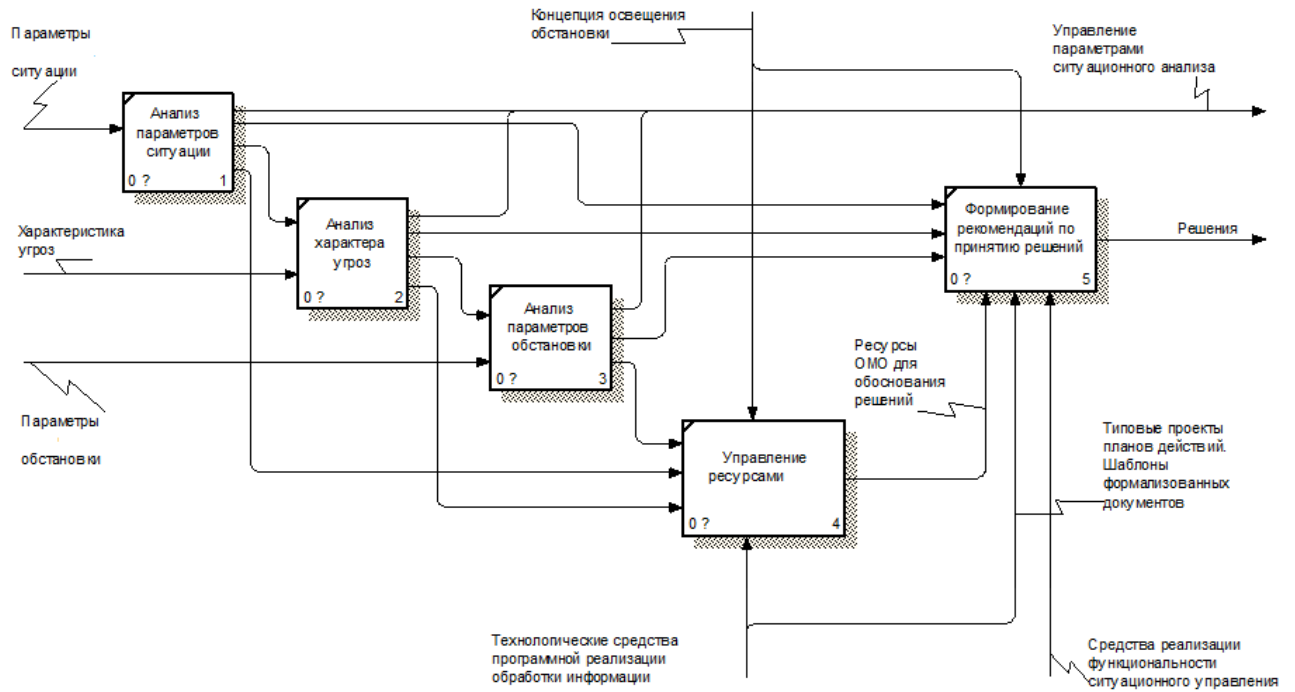


Рисунок 3.3.6 – Функциональная структура подмодели «Формирование решений»

3.4 Выводы по третьей главе

1. Разработка метода комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте имела целью обоснование и разработку комплекса математических моделей и процедур, обеспечивающих как оценку соответствия параметров планируемых пространственных процессов некоторому нормативному уровню безаварийности, так и оценку необходимости корректуры управляемых параметров фактических пространственных процессов в случаях снижения их безаварийности ниже некоторого нормативного уровня.

2. Основные положения и научно-методические средства системно-информационного анализа формируют методологическую базу для оценки частных, сводных показателей безаварийности протекания пространственных процессов авиатранспорта, а так же комплексной оценки степени изменения интегрального показателя динамики качества протекания этих процессов

3. С позиций теории системно-информационного анализа идентификация пространственной ситуации как «штатной» или «нештатной» определяется неорганизованностью оцениваемой пространственной ситуации. Под неорганизованность пространственной ситуации понимается представленная в системе предпочтений диспетчера (ЛПР) общая оценка ущерба от неупорядоченности показателей, влияющих на безаварийность развития пространственных процессов, относительно эталонной модели рассматриваемой ситуации.

4. На основе аксиоматики системно-информационного анализа обоснован и разработан математический аппарат метода комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте, обеспечивающий:

- представление неупорядоченности показателей, характеризующих безопасность пространственных процессов, в единой шкале, которая корректна с позиций теории измерений и квалиметрии пространственных процессов;

- оценку общей неупорядоченности рассматриваемой пространственной ситуации с учетом характера и степени влияния неупорядоченности ее элементов на достижение цели обеспечения безаварийности пространственных процессов авиатранспорта;

- оценку неорганизованности оцениваемого пространственного процесса как меры ущерба от общей неупорядоченности рассматриваемой пространственной ситуации;

- идентификацию рассматриваемой пространственной ситуации как «штатной» или «нештатной» на основе сравнительной оценки полезности управляющих воздействий АСДПП с их соответствующими нормативными значениями.

5. Основные характеристики разработанного метода заключаются:

- в обобщении данных системно-информационного анализа, теории эффективности, теории измерений, инженерной психологии и квалиметрии в отношении качества управления пространственными процессами;

- в применении сложных систем показателей для оценки неорганизованности пространственных процессов;

- в формализованном решении задачи идентификации “штатной” или “нештатной” пространственных ситуаций и в обеспечении возможности актуализации внимания диспетчера АСДПП на пространственных процессах, требующих корректуры.

6. Метод комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте представляет собой как методологический инструментарий, так и мощную базу для создания соответствующих образцов программных решений по автоматизации процедур корректной идентификации «штатной» или «нештатной» пространственных ситуаций в ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом и актуализации внимания авиационных пользователей указанных программных комплексов на пространственных процессах, требующих своевременной корректуры с их стороны.

Глава 4. Методы квалиметрического оценивания программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте

4.1 Метод оценки качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте

4.1.1 Типы показателей качества и шкал, применяемых при оценке ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом

Оценка качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом представляет собой анализ их соответствия требованиям по строго определенной системе показателей. При этом, если какой-либо показатель имеет сложную структуру, т.е. является сводным, композиционно включающим частные показатели, характеризующие отдельные желаемые свойства выбираемого программного комплекса из множества альтернативных вариантов, то тогда процедура квалиметрической оценки из простого действия видоизменяется в многоэтапную процедуру оценивания. Показатели такого оценивания будут композиционно-сложными. Непосредственно оценить их, как правило, невозможно. Возможно декомпозировать такие показатели на более простые. Объективное наличие нескольких уровней в такой декомпозиции ведет к синтезу иерархии показателей [135]. В этой иерархии на самом нижнем уровне представлены показатели, составляющие «элементарные показатели» - $\{q_i\}$ (т.е. показатели, которые могут быть непосредственно оценены количественно или качественно). На вышестоящих уровнях иерархии представляются более сложные, они же сводные, показатели $\{q_{ij}\}$, включающие в себя взвешенные композиции показателей, входящих в элементарные показатели, а так же другие сводные показатели. Корнем такой иерархической

структуры является интегральный показатель Q_0 - качество ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом.

В составе такой иерархической структуры вес каждого показателя q_i для расчета значения оценки интегрального показателя Q_0 будет различной. Тогда, для численного определения веса показателя q_i , в композиции ближайшего сводного показателя в соответствии с иерархией показателей вес выражается как соответствующий коэффициент :

$w_{m,n}$ - локальный вес участия m -го показателя в композиции n -го.

$$w_{m,n} \in (0,1); w_{m,n} \in R \quad (4.1.1)$$

При этом в рамках одной композиции сводного показателя:

$$\sum_m w_{m,n} = 1. \quad (4.1.2)$$

Соответственно, численная оценка веса любого элементарного или сводного показателя q_i в композиции интегрального показателя Q_0 , согласно структуры иерархии показателей, определяется коэффициентом :

b_m^* - глобальный вес участия m -го показателя в композиции интегрального показателя Q_0 . Аналогично локальным весам:

$$b_m^* = \prod_{q_m}^{Q_0} w_{m,n} \quad (4.1.3)$$

$$b_m^* \in (0,1); b_m^* \in R. \quad (4.1.4)$$

Учет специфики выявления входной экспертной информации для определения значений локальных и глобальных весов составляет конструктивное существо по выделению в составе предлагаемого метода оценки качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом соответствующих более частных процедур-подметодов. При этом основным признаком выделения частной процедуры в методе является именно отличительная особенность используемой входной экспертной информации для квалиметрического оценивания рассматриваемых программных комплексов. В качестве такого признака могут выступать: специфика размерности и вида

используемых шкал для измерения значений по элементарным показателям, особенности учета степени неопределенности во входной экспертной информации, а так же отличия в математической форме свертки значений оценок сводных и элементарных показателей в интегральную оценку. Математико-логическое существо оценки качества заключается в “выявлении” совокупности исходных свойств оцениваемого объекта, в данном случае искомых программных комплексов. Частные оценки этих свойств представляют собой некоторые переменные, принимающие строгое множество значений. Говоря другими словами, свойства оцениваемого ПК должны быть измеренными по какой-либо шкале.

Однако понятия измерения и шкалы определяются в современной квалиметрии неоднозначно. В частности, в классической теории числового измерения абстрагируются от точности измерительных процедур и считают, что каждой градации оцениваемой характеристики (показателя качества) может быть приписано определенное действительное число. Понятие действительного числа вводится как некоторый постулат о возможности сколь угодно точных измерений. Существо традиционного измерения заключается в определении уровня проявления q измеряемой характеристики у анализируемого программного комплекса x : каждому программному комплексу x ставится в соответствие положительное действительное число $q=q(x)$. Обобщенно представим эту измерительную процедуру в виде некоторого прибора-измерителя: тогда каждой из возможных степеней проявления измеряемой характеристики ставится в соответствие соответствующий пункт шкалы такого прибора-измерителя. При такой приборной интерпретации традиционного измерения шкалой служит множество всех действительных чисел R . При этом считается, что свойства имеют характер величин, т.е. абстракций от таких характеристик, как время реакции, скорость, курс, высота, и т.д. Особенности множества $\{q\}$ возможных градаций характеристики, понимаемой как величина, традиционно связываются со свойствами множества R^1 действительных чисел [92].

Оценка качества программного обеспечения вообще, и ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, в частности, увязано с т.н. нечисловыми измерениями. В этом случае термин «измерение» означает действие, когда характеристикам ставятся в соответствие некоторые строго упорядоченные градации качества. Тогда, в роли результатов измерения рассматриваются не только действительные числа, но и математические системы (фундаментальные алгебраические множества), обладающие некоторой частью свойств действительных чисел, однако, обязательно имеющих отношение порядка между своими элементами - подобие отношения неравенства между числами. Это обеспечило в квалиметрии программного обеспечения целый ряд специальных шкал измерения характеристик (показателей) качества прикладного ПО, в том числе ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом. К таковым шкалам следует отнести:

1. Номинальная шкала или шкала наименований. Она допускает взаимно-однозначные преобразования $\varphi: R^1 \rightarrow R^1$ для любого измерения-действительного числа $x \in R^1$ на число $y = \varphi(x) \in R^1$, если выполняется

$$\forall x_1, x_2 \in R^1 \{x_1 \neq x_2\} \Leftrightarrow \{\varphi(x_1) \neq \varphi(x_2)\}. \quad (4.1.5)$$

2. Ординальная или порядковая шкала. Она задается совокупностью монотонных преобразований вида $\varphi: R^1 \rightarrow R^1$, если выполняется

$$\forall x_1, x_2 \in R^1 \{x_1 \leq x_2\} \Leftrightarrow \{\varphi(x_1) \leq \varphi(x_2)\}. \quad (4.1.6)$$

3. Шкала отношений. Она задается группой пропорциональных преобразований $\varphi: R^1 \rightarrow R^1$ для которых выполняется

$$y = \varphi(x) = \alpha x, \quad \alpha \in R^1, \alpha > 0. \quad (4.1.7)$$

В зависимости от определяющих ее преобразований: сжатия при $0 < \alpha < 1$ или растяжения при $\alpha > 1$, она имеет своим отношение преобразуемых величин:

$$\forall x_1, x_2 \in R^1, x_2 \neq 0 \quad \frac{\varphi(x_1)}{\varphi(x_2)} = \frac{\alpha x_1}{\alpha x_2} = \frac{x_1}{x_2}. \quad (4.1.8)$$

4. Шкала разностей или интервалов. Она определяется группой линейных преобразований $\varphi: R^1 \rightarrow R^1$ с коэффициентом пропорциональности, для которого выполняется

$$y = \varphi(x) = x + \beta, \quad \beta \in R^1. \quad (4.1.9)$$

Определяющие ее линейные преобразования с коэффициентом пропорциональности еще называют преобразованиями сдвига, так как их инвариантом выступает разность преобразуемых величин:

$$\forall x_1, x_2 \in R^1 \quad \varphi(x_1) - \varphi(x_2) = (x_1 + \beta) - (x_2 + \beta) = x_1 - x_2. \quad (4.1.10)$$

При этом: $\varphi: R^1 \rightarrow R^1$, $\varphi(x) = x + \beta$, $\beta \in R^1$.

5. Шкала отношений разностей. Эта шкала задается группой положительных линейных преобразований $\varphi: R^1 \rightarrow R^1$ для которых выполняется

$$y = \varphi(x) = \alpha x + \beta, \quad \alpha, \beta \in R^1, \alpha > 0. \quad (4.1.11)$$

Она имеет своим инвариантом отношение разностей преобразуемых величин:

$$\forall x_i \in R^1, \quad i = 1, 2, 3, 4, \quad x_3 \neq x_4 \quad \frac{\varphi(x_1) - \varphi(x_2)}{\varphi(x_3) - \varphi(x_4)} = \frac{(\alpha x_1 + \beta) - (\alpha x_2 + \beta)}{(\alpha x_3 + \beta) - (\alpha x_4 + \beta)} = \frac{x_1 - x_2}{x_3 - x_4}. \quad (4.1.12)$$

Таким образом, объективно обусловленное применение т.н. нечисловых измерений при оценке качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, ведет к тому, что частные и сводные показатели из одной иерархии оценки качества могут оцениваться-измеряться на базе шкал выше указанных видов, соответственно значения таких оценок будут заданы на разных алгебраических множествах. Это, в свою очередь, требует особого отношения к адекватности задания целевой функции оценки, которая обеспечивает математическое сворачивание значений частных показателей интегральный показатель качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом.

Адекватность задания заключается в учёте такого числа ограничений, эксплицируемых на процесс оценки фактом применения разнотипных шкал оценки частных показателей, а так же сферой применения рассматриваемых в исследовании программных комплексов. В трудах ведущих ученых-квалиметристов [3, 11, 12, 37, 38, 43, 50] вообще, и специалистов по разработке ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом [41, 42, 66, 67, 73, 14] показано, что для специфики и особенностей, свойственных оценке качества исследуемых ПК, наиболее рациональной

формой интегрального критерия оценки качества выступает один из простых типов аддитивного критерия – интегральный критерий линейной формы:

$$Q = \sum_{i=1}^n w_i q_i, \quad (4.1.13)$$

где

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \quad \text{для} \quad i = \overline{1, n} \quad . \quad (4.1.14)$$

Выше раскрытое применение разнотипных шкал для оценки частных показателей приводит к нечеткому, нечисловому, неточному и неполному характеру входной квалиметрической информации, используемой для оценки качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом. Обобщенно далее в работе такой характер квалиметрической информации, входной для метода, понимается как ее качественная недостаточность. Учет этого характера, прежде всего, сказывается на существовании получения весов или локальных приоритетов $\{w_i\}$, которые и должны учитывать характер входной в метод информации. В связи с тем, что итоговая оценка качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом носит характер не конечного заключения о потребительских свойствах этого вида ПО, а некоторого индикатора аномалий в его развитии, в данном исследовании так же в качестве базовой принята процедура определения локальных и глобальных приоритетов на основе математического метода (аппарата) агрегирования сводных показателей в условиях информационной недостаточности. (Он же метод рандомизированных сводных показателей), подробно представленный в [92]. В отличие от аналогичных математических методов сводных показателей, наиболее популярными из которых являются метод наименьших квадратов и метод анализа иерархий, математический аппарат рандомизированных сводных показателей позволяет учесть и невозможность градуирования экспертных оценок, и факты частичного отсутствия входной информации и пр.

Таким образом, применение математического аппарата метода рандомизированных сводных показателей при линейной форме интегрального

показателя качества создает математическую основу для сочетания разнотипового шкалирования значений частных показателей оценки и единого критерия их интегральной свертки.

4.1.2 Построение исходной сети показателей оценки

Синтез для каждого сложного свойства ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом $x_i, i=1, \dots, n$, частного показателя q_i представляет собой построение функции $q_i = q_i(x_i)$ соответствующей рассматриваемой характеристике x_i . При этом, показатели q_1, \dots, q_n должны быть нормированными и одинаково поляризованными: $0 \leq q_i \leq 1$ и увеличение показателя q_i при неизменном значении остальных показателей ведет к увеличению интегрального показателя качества Q . Главным конструктивом предлагаемого метода является то, что каждый показатель качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом может оцениваться по разным типам шкал. Это позволит осуществить переход от начальных характеристик, имеющих несопоставимые диапазоны изменения, к нормированным частным показателям, принимающим значения из обусловленного интервала. Именно это позволяет определить понятие веса, обозначающего сравнительную значимость отдельных показателей. Согласно п.4.1.1, веса в рамках сети показателей оценки бывают локальные и глобальные.

Широкое многообразие шкал измерения, используемых для оценки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом по частным показателям есть следствие реализации монотонного преобразования $\varphi: R^1 \rightarrow R^1$ исходной шкалы действительных чисел R^1 , что обосновано ранее в п.4.1.1.

Сводные и интегральный показатели качества, в рамках предлагаемого метода, реализуются через аддитивную свертку значений отдельных показателей, входящих в сеть квалиметрических показателей оценки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом. На этой базе возможно проанализировать k оцениваемых программных комплексов или совокупностей программных компонент, реализующих соответствующую

задачу ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом. При этом предполагается, что их качество описывается векторами $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$, $q_i^{(j)} \in [0,1]$, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, k$, каждый из которых есть многопараметрическая оценка соответствующего ПК и представляет собой вектор значений отдельных показателей $q = (q_1, \dots, q_m)$. Далее будем полагать, что на множестве всех оцениваемых ПК, квалитметрически представленных векторами значений отдельных показателей, задано отношение строгого доминирования:

$$(q^{(r)} \triangleright q^{(s)}) \Leftrightarrow ((\forall i q_i^{(r)} \geq q_i^{(s)}) \wedge (\exists j q_j^{(r)} > q_j^{(s)})). \quad (4.1.13)$$

и обозначаемое \triangleright .

Соотношение (4.1.13) следует трактовать так, что ПК $q^{(r)}$ доминирует по оцениваемому качеству ПК $q^{(s)}$ тогда, когда он не менее предпочтителен по каждому отдельному показателю ($q_i^{(r)} \geq q_i^{(s)}$) и существует показатель, по которому первый объект предпочтительнее второго ($q_j^{(r)} > q_j^{(s)}$). Упорядочение анализируемых ПК, в соответствии с (4.1.13), будет строгим упорядочением.

Также, наряду с отношением строгого упорядочения по предпочтительности \triangleright необходимо ввести отношение нестрогого порядка \succeq как:

$$(q^{(r)} \succeq q^{(s)}) \Leftrightarrow ((q^{(r)} \triangleright q^{(s)}) \vee (\forall i q_i^{(r)} = q_i^{(s)})). \quad (4.1.14)$$

При этом есть обратная возможность определять отношение строгого порядка \triangleright через отношение нестрогого порядка \succeq :

$$(q^{(r)} \triangleright q^{(s)}) \Leftrightarrow ((q^{(r)} \succeq q^{(s)}) \wedge (q^{(r)} \neq q^{(s)})). \quad (4.1.15)$$

При упорядочении ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом с помощью отношения покомпонентного доминирования возникает существенная трудность: наличие большого числа объектов оценки $q^{(r)}$, $q^{(s)}$, несравнимых по отношению порядка \succeq , т.е. ПК, для которых не выполняется ни соотношение $q^{(r)} \succeq q^{(s)}$, ни соотношение $q^{(s)} \succeq q^{(r)}$. Тогда оценить долю сравнимых по отношению порядка \succeq ПК можно так: выбираются две многокритериальные оценки случайным образом из совокупности

$\{q = (q_1, \dots, q_m), q_i \in [0,1], i = 1, \dots, m\}$ всех возможных векторов значений отдельных показателей. Под выбором случайным образом, в данном случае, следует понимать выбор двух случайных величин $\tilde{q}^{(r)} = (\tilde{q}_1^{(r)}, \dots, \tilde{q}_m^{(r)})$, $\tilde{q}^{(s)} = (\tilde{q}_1^{(s)}, \dots, \tilde{q}_m^{(s)})$, каждая из которых равномерно распределена на указанном множестве всех возможных векторов значений отдельных показателей. Вероятность сравнимости по отношению порядка \succeq этих случайных векторов определяется так

$$P\{(\tilde{q}^{(r)} \succeq \tilde{q}^{(s)}) \vee (\tilde{q}^{(s)} \succeq \tilde{q}^{(r)})\} = \frac{1}{2^{m-1}}. \quad (4.1.16)$$

Из (4.1.16) следует: шансы встретить сравнимые многокритериальные оценки качества быстро уменьшаются с ростом числа используемых показателей. В частности, если оцениваются ПК по $m = 11$ критериям, то вероятность того, что пара случайно выбранных комплексов сравнима по всем критериям сразу, меньше одной тысячной ($P = 1/2^{10} = 1/1024 < 0.001$). Именно для обеспечения сравнимости многопараметрических оценок используются сводные показатели, суть которых состоит в построении по вектору отдельных показателей $q = (q_1, \dots, q_m)$ сводного показателя Q (интегральный показатель Q по своей математической сущности есть наиболее общий сводный показатель), представляющего собой некоторую функцию $Q = Q(q) = Q(q_1, \dots, q_m)$ вектора отдельных показателей q , которая удовлетворяет условию монотонности

$$\forall q^{(j)}, q^{(l)} \in \{q : q = (q_1, \dots, q_m), q_i \in [0,1]\} \{q^{(j)} \triangleright q^{(l)}\} \Rightarrow \{Q(q^{(j)}) \geq Q(q^{(l)})\}. \quad (4.1.17)$$

В наиболее общем виде синтезирующая функция для обозначения свертки отдельных или частных показателей в сводные имеет вид:

$$Q_\varphi(q; w) = Q_\varphi(q_1, \dots, q_m; w_1, \dots, w_m) = \varphi^{-1}\left(\sum_{i=1}^m w_i \varphi(q_i)\right). \quad \text{Подставляя в это выражение}$$

степенную функцию $y = \varphi(x) = x^\lambda$, $\lambda > 0$ ($x = \varphi^{-1}(y) = \sqrt[\lambda]{y}$), можно получить взвешенное степенное среднее порядка λ , в виде

$$Q_\lambda(q; w) = Q_\lambda(q_1, \dots, q_m; w_1, \dots, w_m) = \left(\sum_{i=1}^m w_i q_i^\lambda\right)^{1/\lambda}. \quad (4.1.18)$$

Варьируя значение параметра λ , можно получить из взвешенного степенного среднего (4.1.18) все используемые агрегирующие функции. Так при $\lambda = 1$ синтезируется взвешенное среднее арифметическое

$$Q_+(q; w) = Q_1(q; w) = \sum_{i=1}^m w_i q_i, \quad (4.1.19)$$

при $\lambda \rightarrow 0$ - дает взвешенное среднее геометрическое

$$Q_\times(q; w) = Q_0(q; w) = \prod_{i=1}^m q_i^{w_i} \quad (4.1.20)$$

для частных показателей q_1, \dots, q_m , и т.д.

Выше приведенные взвешенное среднее арифметическое (4.1.19) и взвешенное среднее геометрическое (4.1.20) в современной квалиметрии ПО наиболее распространенные агрегирующие функции для свертки частных показателей q_1, \dots, q_m качества ПК в единый сводный показатель Q , оценивающий уровень качества в целом. Выбор каждой из этих синтезирующих функций определяется тем, что они существенно различаются возможной компенсацией малых значений частных показателей, что подробно описано в [92]. При этом мультипликативному сводному показателю можно придать аддитивную форму

$$Q_+^*(q; w) = \ln Q_\times(q; w) = \ln \left(\prod_{i=1}^m q_i^{w_i} \right) = \sum_{i=1}^m w_i \ln q_i = \sum_{i=1}^m w_i q_i^* . \quad (4.1.21)$$

Т.е., ввиду монотонности логарифмического преобразования, если ПК, с многопараметрической оценкой $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$, доминирует, с т.з. сводного мультипликативного показателя $Q_\times(q; w)$, ПК $q^{(l)} = (q_1^{(l)}, \dots, q_m^{(l)})$ ($Q_\times(q^{(j)}; w) > Q_\times(q^{(l)}; w)$), то он будет доминировать его и с т.з. модифицированного сводного показателя (4.1.21): ($Q_+^*(q^{(j)}; w) > Q_+^*(q^{(l)}; w)$). Именно так осуществляется сведение мультипликативной свертки к простейшей аддитивной свертке показателей, за счет изменения измерения значений исходных характеристик (частных или отдельных показателей). В частности, пусть частные показатели q_1, \dots, q_m измеряются на шкале разностей. Следовательно, любое значение $q_i^{(0)}$ каждого частного показателя q_i будет

известно с точностью до некоторого сдвига $\beta_i \in R^1$. Подстановка т.н. сдвинутых значений $q_i^{(0)} + \beta_i$, $i = 1, \dots, m$, в формулу аддитивной свертки (4.1.19), позволяет получить следующее выражение:

$$Q_+(q_1^{(0)} + \beta_1, \dots, q_m^{(0)} + \beta_m; w) = \sum_{i=1}^m w_i q_i^{(0)} + \sum_{i=1}^m w_i \beta_i = Q_+(q_1^{(0)}, \dots, q_m^{(0)}; w) + B. \quad (4.1.22)$$

Из этого выражения можно прийти к следующему выводу: если частные показатели измерены на шкале разностей, то и аддитивный сводный показатель измеряется на шкале того же типа - разностей со "сдвигом" B .

Если же значения частных показателей q_1, \dots, q_m измеряются по шкалам отношений то, каждое значение $q_i^{(0)}$ каждого отдельного показателя q_i будет известно с точностью до некоторого растяжения/сжатия $\alpha_i \in R^1$, $\alpha_i > 0$. Подстановка растянутых/сжатых значений $\alpha_i q_i^{(0)}$, $i = 1, \dots, m$, в формулу мультипликативной свертки (4.1.20), позволяет получить

$$Q_\times(\alpha_1 q_1^{(0)}, \dots, \alpha_m q_m^{(0)}; w) = \left(\prod_{i=1}^m \alpha_i^{w_i} \right) \times \left(\prod_{i=1}^m q_i^{w_i} \right) = A Q_\times(q_1^{(0)}, \dots, q_m^{(0)}; w). \quad (4.1.23)$$

Из выражения (4.1.23), в свою очередь, можно прийти к выводу: если частные показатели измерены на шкале отношений, то и мультипликативный сводный показатель измеряется на шкале отношений с растяжением/сжатием A .

Строго определить и обозначить т.н. сдвиг шкалы разностей, задав начало, как $q_i = 0$, и конец, как $q_i = 1$, отсчёта, значительно проще, чем осуществить выбор коэффициента растяжения/сжатия шкалы отношений. Этот фактор является главной причиной выбора аддитивной синтезирующей функции в предлагаемом методе оценки. Так же факторами, поддерживающими данный выбор, являются: математико-логическая простота, понятная интерпретация весовых коэффициентов и т.д. Поэтому в матаппарате метода оценки качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом используются именно аддитивные свертки $Q_+(q; w)$ частных показателей для расчета значений сводных и интегральной оценок программных комплексов

или отдельных программных компонент ситуационного управления авиатранспортом.

Отдельно следует обосновать адекватность вида агрегирующей функции $Q(q; w)$, $q = (q_1, \dots, q_m)$, $w = (w_1, \dots, w_m)$, относительно эмпирической системы отношений, которые определяют градации частных показателей q_1, \dots, q_m , значения которых, измеряются (непосредственно оцениваются) на соответствующих шкалах. При этом любой показатель q_i непосредственно оценивается с точностью до возрастающего преобразования $\varphi_i(q_i)$, $i = 1, \dots, m$. Т.е., шкалы, на которых измеряются значения многопараметрической оценки ПК $q = (q_1, \dots, q_m)$, есть шкалы порядка или ординальные шкалы, определяемые отношениями строгого линейного порядка \succ^i , $i = 1, \dots, m$. Многопараметрическая оценка q измеряется в таком случае на шкале порядка, определяемой отношением строгого порядка \succ , задаваемого для двух векторов $q = (q_1, \dots, q_m)$, $q' = (q'_1, \dots, q'_m)$ выражением

$$(q \succ q') \Leftrightarrow \left(\forall i (q_i \succ^i q'_i) \text{ или } (q_i = q'_i) \right) \wedge \left(\exists j : q_j \succ^j q'_j \right). \quad (4.1.24)$$

Следовательно, вытекает вывод: в виду того, что используемые для построения сводного показателя агрегирующие функции $Q(q; w)$ являются монотонными, то логически следует инвариантность упорядочения анализируемых ПК по значениям сводного показателя $Q(q; w)$ относительно любой системы строго возрастающих преобразований $\varphi_i(q_i)$, $i = 1, \dots, m$:

$$\begin{aligned} [Q(q_1, \dots, q_m; w) \geq Q(q'_1, \dots, q'_m; w)] &\Leftrightarrow \\ [Q(\varphi_1(q_1), \dots, \varphi_m(q_m)) \geq Q(\varphi_1(q'_1), \dots, \varphi_m(q'_m))] & \end{aligned} \quad (4.1.25)$$

Таким образом, сохраняющие отношения между градациями частных показателей преобразования $\varphi_i(q_i)$, $i = 1, \dots, m$, самих показателей q_1, \dots, q_m , являются допустимыми по отношению к сводному показателю $Q(q_1, \dots, q_m; w)$. Они сохраняют отношение нестрогого порядка \geq между градациями качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, измеряемого этими сводными или интегральными показателями. Обобщенно выше указанное

можно сформулировать: интегральный и сводные показатели, удовлетворяющие условию монотонности, являются адекватными относительно монотонных преобразований значений частных показателей.

Каков же прагматический результат от применения сформулированного утверждения? Каков практический смысл для рассматриваемой процедуры синтеза сети показателей квалиметрической оценки в предлагаемом методе? Это можно пояснить на логически связной композиции ниже приводимых примеров. Предположим, рассматривается некоторый конечный список частных показателей, композиционно включаемых в сводные и интегральный показатели качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом: 1) Оценка времени выработки проекта решения по разрешению опасной ситуации - z_1 , 2) Мощность базы знаний ПК по выявлению потенциально опасных ситуаций - z_2 , 3) Удобство и интуитивная понятность интерфейса пользователя - z_3 , 4) Требовательность к ресурсам аппаратной платформы - z_4 , 5) Инкорпорируемость в программные среды традиционного кода - z_5 . В Таблице 4.1.1 представлены диапазоны или исходные множества возможных значений соответствующих частных показателей, которыми оперируют эксперты и инженер по качеству ПО при непосредственном рассмотрении характеристик ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом.

Пусть для данного примера оценка качества осуществляется для 9 различных реализаций ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом от альтернативных компаний-разработчиков, у которых регистрируются значимые методологические или технологические подходы, способы, программно-технические приемы к разработке, созданию ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом.

Таблица 4.1.1 – Пример набора частных показателей оценки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом и диапазоны возможных значений

N	Наименование показателя	Диапазон
Z_1	Оценка среднего времени выработки проекта решения по разрешению опасной ситуации	1) Более 10 сек.; 2) От 3 до 10 сек.; 3) Менее 3 сек.
Z_2	Мощность базы знаний ПК по выявлению потенциально опасных ситуаций	1) Низкая; 2) Средняя; 3) Достаточно высокая; 4) Высокая.
Z_3	Удобство и интуитивная понятность интерфейса пользователя	1) Неудобный/Непонятный; 2) Не вполне удобный и понятный; 3) Удобный, относительно понятный; 4) Удобный и интуитивно понятный.
Z_4	Требовательность к ресурсам аппаратной платформы	1) Очень высокая; 2) Высокая; 3) Низкая.
Z_5	Инкорпорируемость в программные среды традиционного кода	1) Плохо; 2) Хорошо; 3) Отлично.

Оценка проводится по следующим значениям выше представленных 5 элементарных (т.е. непосредственно оцениваемых) показателей z_1, \dots, z_n (Таблица 4.1.2).

Таблица 4.1.2 – Значения элементарных показателей качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом для рассматриваемого примера

N	Реализации (ПК разработки)	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5
1	Реализация 1 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	Менее 3 сек	Достаточно высокий	Неудобный/Непонятный	Очень высокая	Отлично
2	Реализация 2 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	Более 10 сек.	Высокая	Неудобный/Непонятный	Низкая	Плохо
3	Реализация 3 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	Менее 3 сек	Средняя	Удобный и интуитивно понятный	Очень высокая	Плохо
4	Реализация 4 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	Менее 3 сек	Низкая	Удобный, относительно понятный	Очень высокая	Хорошо
5	Реализация 5 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	От 3 до 10 сек.	Достаточно высокая	Неудобный/Непонятный	Очень высокая	Хорошо

<i>N</i>	Реализации (ПК разработки)	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5
6	<i>Реализация 6 ПК СУ АСДПП авиатранспорта</i>	Менее 3 сек	Высокая	Неудобный/Непонятный	Низкая	Хорошо
7	<i>Реализация 7 ПК СУ АСДПП авиатранспорта</i>	Менее 3 сек	Высокая	Удобный и интуитивно понятный	Очень высокая	Плохо
8	<i>Реализация 8 ПК СУ АСДПП авиатранспорта</i>	От 3 до 10 сек.	Низкая	Не вполне удобный и понятный	Высокая	Хорошо
9	<i>Реализация 9 ПК СУ АСДПП авиатранспорта</i>	Менее 3 сек	Низкая	Удобный, относительно понятный	Очень высокая	Отлично

Из таблицы 4.1.2. следует, что все элементарные показатели z_1, \dots, z_5 непосредственно оценены на шкале наименований, кроме показателя z_5 , непосредственно оцененного по ординальной шкале. В целях обеспечения интегральной свертки необходимо оценить все показатели на ординальной шкале, градации которой заданы по возрастанию степени удовлетворения потребностей в разрабатываемом ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом. Для этого следует использовать трехбалльную шкалу, имеющую, например, три градации степени удовлетворения потребностей: *Отлично* – такая реализация ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом в наибольшей степени удовлетворяет возможного потребителя; *Хорошо* – данная реализация ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом в определенной степени удовлетворяет возможного потребителя; *Плохо* – данная реализация ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом не удовлетворяет возможного потребителя. Пусть опыт оценки качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом и знания экспертов допускают возможность дать следующие оценки $y = y(z_i)$ номинальным значениям признаков z_i согласно таблице 4.1.2.: $y_1(\text{Более 10 сек.}) = y_2(\text{Низкая}) = y_3(\text{Неудобный/Непонятный}) = y_4(\text{Не вполне удобный и понятный}) = y_5(\text{Очень высокая}) = \text{“Плохо”}$; $y_1(\text{От 3 до 10 сек.}) = y_2(\text{Средняя}) = y_3(\text{Удобный, относительно понятный}) = y_4(\text{Высокая}) = \text{“Хорошо”}$; $y_1(\text{Менее 3 сек.}) =$

y_2 (Достаточно высокая) = y_2 (Высокая) = y_3 (Удобный и интуитивно понятный) = y_4 (Низкая) = “Отлично”.

Таким образом, исходные 5 показателей y_1, \dots, y_5 , сворачиваемых в сводный показатель качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, оказываются измеренными по ординальной трехбалльной шкале с градациями *Плохо*, *Хорошо*, *Отлично* уровня удовлетворения потребностей возможного пользователя, что показано в таблице 4.1.3.

Таблица 4.1.3 – Значения показателей при измерении по ординальной шкале

<i>N</i>	Реализации (ПК разработки)	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
1	Реализация 1 ПК СУ АСДПП авиатранспрта	<i>Плохо</i>	<i>Отлично</i>	<i>Отлично</i>	<i>Плохо</i>	<i>Отлично</i>
2	Реализация 2 ПК СУ АСДПП авиатранспрта	<i>Отлично</i>	<i>Отлично</i>	<i>Отлично</i>	<i>Отлично</i>	<i>Плохо</i>
3	Реализация 3 ПК СУ АСДПП авиатранспрта	<i>Плохо</i>	<i>Хорошо</i>	<i>Плохо</i>	<i>Плохо</i>	<i>Плохо</i>
4	Реализация 4 ПК СУ АСДПП авиатранспрта	<i>Плохо</i>	<i>Плохо</i>	<i>Плохо</i>	<i>Плохо</i>	<i>Хорошо</i>
5	Реализация 5 ПК СУ АСДПП авиатранспрта	<i>Хорошо</i>	<i>Отлично</i>	<i>Отлично</i>	<i>Плохо</i>	<i>Хорошо</i>
6	Реализация 6 ПК СУ АСДПП авиатранспрта	<i>Плохо</i>	<i>Отлично</i>	<i>Отлично</i>	<i>Отлично</i>	<i>Хорошо</i>
7	Реализация 7 ПК СУ АСДПП авиатранспрта	<i>Плохо</i>	<i>Отлично</i>	<i>Плохо</i>	<i>Плохо</i>	<i>Плохо</i>
8	Реализация 8 ПК СУ АСДПП авиатранспрта	<i>Хорошо</i>	<i>Плохо</i>	<i>Хорошо</i>	<i>Хорошо</i>	<i>Хорошо</i>
9	Реализация 9 ПК СУ АСДПП авиатранспрта	<i>Плохо</i>	<i>Плохо</i>	<i>Плохо</i>	<i>Плохо</i>	<i>Отлично</i>

При этом полученные значения элементарных показателей y_1, \dots, y_5 уровня удовлетворения потребностей возможного пользователя имеют исключительно ординальный характер, а следовательно не являются действительными числами над которыми можно проводить классические арифметические операции. Чтобы проводить известные арифметические операции, значениям элементарных показателей y_1, \dots, y_5 необходимо придать числовой вид. То есть, необходимо задать отображение $x = \varphi(y)$ градаций значений показателя y в множество действительных чисел R^1 , которое сохраняет порядок следования градаций. Из бесконечного множества допустимых заданий ординальных шкал,

по которым измерены параметры y_1, \dots, y_5 , можно выбрать простое преобразование, задаваемое так: $x = \varphi(\text{"плохо"}) = 1$, $x = \varphi(\text{"хорошо"}) = 2$, $x = \varphi(\text{"отлично"}) = 3$.

На основе такого преобразования становится возможно синтезировать числовые значения параметров x_1, \dots, x_5 , сворачиваемых в сводные показатели качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом. Они представлены в Таблице 4.1.4.

Таблица 4.1.4 – Значения параметров частных показателей оценки в числовой форме

N	Реализации (ПК разработки)	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
1	Реализация 1 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	1	3	3	1	3
2	Реализация 2 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	3	3	3	3	1
3	Реализация 3 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	1	2	1	1	1
4	Реализация 4 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	1	1	1	1	2
5	Реализация 5 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	2	3	3	1	2
6	Реализация 6 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	1	3	3	3	2
7	Реализация 7 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	1	3	1	1	1
8	Реализация 8 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	2	1	2	2	2
9	Реализация 9 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	1	1	1	1	3

Теперь элементарные показатели x_1, \dots, x_5 , образующие нижний уровень иерархии показателей оценки, а так же в своей совокупности показывающих уровень удовлетворения пользовательских потребностей в анализируемых ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, оценены на шкале действительных чисел R^1 . Они могут использоваться для самых различных преобразований, предполагающих все возможные арифметико-логические действия над ними. Этот факт значительно расширяет математические возможности работы со значениями квалиметрических показателей оценки, полученных в условиях информационной недостаточности.

Тогда, в рамках рассматриваемого примера оценки элементарных показателей x_1, \dots, x_5 , входящих в сводные и интегральный показатели качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, становится корректно реализуемым использование линейной нормировки, определяемой формулой (4.1.14) и синтезирующей значения элементарных показателей q_1, \dots, q_5 в виде, представленном в таблице 4.1.5.

Таблица 4.1.5 – Нормированное представление значений параметров частных показателей оценки

<i>N</i>	Реализации (ПК разработки)	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
1	Реализация 1 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	0	1	1	0	1
2	Реализация 2 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	1	1	1	1	0
3	Реализация 3 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	0	0,5	0	0	0
4	Реализация 4 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	0	0	0	0	0,5
5	Реализация 5 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	0,5	1	1	0	0,5
6	Реализация 6 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	0	1	1	1	0,5
7	Реализация 7 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	0	1	0	0	0
8	Реализация 8 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	0,5	0	0,5	0,5	0,5
9	Реализация 9 ПК СУ АСДПП авиатранспорта	0	0	0	0	1

Таким образом, любая из строк в таблице 4.1.5. есть многопараметрическая оценка $q = (q_1, \dots, q_5)$ свойств ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом соответствующей реализации или разработчика. Далее следует построить в обобщенном виде сводный показатель оценки сложного показателя качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом как программного изделия от различных разработчиков. Значения частных показателей для указанного показателя берутся из таблицы 4.1.5. Первоначально будем предполагать, что все частные показатели q_1, \dots, q_5 имеют одинаковый вес в составе сводного (интегрального) показателя $Q(q_1, \dots, q_5)$, то есть $w_i = 1/5 = 0.20$. Следовательно, сводный показатель ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, композиционно

сводимого из вектора частных показателей $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_5^{(j)})$, $j = 1, \dots, 9$, определяется по соотношению:

$$Q_j = Q(q^{(j)}; w) = Q(q_1^{(j)}, \dots, q_5^{(j)}; w_1, \dots, w_5) = Q(q_1^{(j)}, \dots, q_5^{(j)}; 1/5, \dots, 1/5) = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 q_i^{(j)}. \quad (4.1.26)$$

Результирующие расчетные значения Q_j , $j = 1, \dots, 9$, сводного (интегрального) показателя Q согласно формуле (4.1.26) представлены в таблице 4.1.6.

Таблица 4.1.6 – Результирующие расчетные значения интегрального показателя иллюстративного примера оценки

Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8	Q_9
0,60	0,80	0,10	0,10	0,60	0,70	0,20	0,40	0,20

Результаты в таблице 4.1.6 показывают, что наибольшее значение $Q_1 = 0.80$ интегрального (сводного) показателя Q качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом реализация разработчика номер два, а наименьшими значениями $Q_3 = Q_4 = 0.10$ такого показателя обладают реализации разработчиков три и четыре.

4.1.3 Взвешивание сети показателей оценки в условиях недостаточности входной квалиметрической информации

Как ранее указывалось в п. 4.1.1 применение разнотипных шкал для оценки частных показателей приводит к нечеткому, нечисловому, неточному и неполному характеру входной квалиметрической информации, используемой для оценки качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом. Обобщенно далее в работе такой характер квалиметрической информации, входной для метода, понимается как ее качественная недостаточность. Учет этого характера, прежде всего, сказывается на существе получения весов или локальных приоритетов $\{w_i\}$, которые и должны учитывать характер входной в метод информации. Такой “учет” реализован в

предлагаемом методе посредством процедуры рандомизации сводных показателей и вероятностном учете степени недостаточности входной квалиметрической информации.

Если принять, что числовые вектора исходных значений частных показателей оценки $x = (x_1, \dots, x_m)$ анализируемых реализаций ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом заданы, и при этом каждый из них оценен на числовой шкале $\varphi_i(R^1)$, полученной строго возрастающим отображением $\varphi: R^1 \rightarrow R^1$, то формирование интегрального (сводного) показателя Q следует представлять как воплощение следующих трех шагов:

1. Задаются нормирующие функции $q_i(\varphi_i(x_i))$, $i = 1, \dots, m$, преобразующие исходные значения частных показателей, первично непосредственно оцененные по тем или иным числовым шкалам, в частные показатели $q_i = q_i(\varphi_i(x_i))$, $q_i \in [0,1]$; Это позволяет рассматривать качество j -го ПК, описываемого вектором значений исходных показателей $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$, $j = 1, \dots, k$ (k - число рассматриваемых реализаций ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом), как многопараметрическую оценку $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$, $q_i = q_i(\varphi_i(x_i))$, $j = 1, \dots, k$ ($q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$ - т.е. вектор значений переменных $q = (q_1, \dots, q_m)$).

2. Определяется математический вид агрегирующей функции-свертки $Q = Q(q) = Q(q_1, \dots, q_m)$, которая есть отображение $Q: [0,1]^m \rightarrow [0,1]$ m -мерного единичного куба $[0,1]^m \subset R^m$ в единичный отрезок $[0,1] \in R^1$, соответствующее условию монотонности и краевым условиям. Агрегирующая функция-свертка ставит в соответствие j -му ПК, имеющему многопараметрическую оценку $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$, интегральный или сводные показатели вида $Q(q^{(j)}) = Q(q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$.

3. Агрегирующая функция $Q = Q(q; w)$, задаваемая вектором $w = (w_1, \dots, w_m)$, $w_i \geq 0$, $w_1 + \dots + w_m = 1$, т.е. вектором весовых коэффициентов, получает однозначную идентификацию при фиксации этого вектора

$w^{(0)} = (w_1^{(0)}, \dots, w_m^{(0)})$. То есть j -ой реализации ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, имеющей многопараметрическую оценку $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$, однозначно ставится в соответствие значение $Q^{(j)} = Q(q^{(j)}; w^{(0)})$ сводного показателя $Q(q; w^{(0)})$.

Резюмируя выше сказанное, можно констатировать: для синтеза интегральной оценки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, математически представленного вектором значений элементарных показателей $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$, следует строго определить:

- 1) функции $y_i = \varphi_i(x_i)$, $i = 1, \dots, m$, являющиеся непрерывными строго возрастающими и определяющими шкалы для непосредственной оценки значений исходных параметров;
- 2) нормирующие функции $q_i = q_i(y_i) \in [0,1]$, $i = 1, \dots, m$, преобразующие исходные параметры в значения частных показателей;
- 3) агрегирующую m -местную функцию-свертку $Q = Q(q) \in [0,1]$, задающую математическую форму интегрального показателя;
- 4) m -мерный вектор весов или весовых коэффициентов $w = (w_1, \dots, w_m)$, представляющих собой параметры агрегирующей функции-свертки: $Q = Q(q; w)$.

При строгом наличии такого множества необходимых математических сущностей уже возможно синтезировать однозначную интегральную или сводную оценку, вида:

$$Q^{(j)} = Q(q^{(j)}; w) = Q(q(\varphi(x^{(j)})); w) = Q(q_1(\varphi_1(x_1^{(j)})), \dots, q_m(\varphi_m(x_m^{(j)})); w) \quad (4.1.27)$$

для ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, представленного вектором значений элементарных показателей $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$.

Однако в реальной практической деятельности часто интегральный и сводные показатели формируются при качественной недостаточности исходной квалиметрической информации. Она выражается в том, что указанные

математические сущности заданы или определены не однозначно, а с некоторой точностью до множества, а именно:

- 1) о функции $y_i = \varphi_i(x_i)$ известна только ее принадлежность некоторому классу таких функций $\check{\varphi}_i = \{\varphi_i^{(l)}(x_i), l \in L\}$, $i = 1, \dots, m$;
- 2) о нормирующей функции $q_i = q_i(y_i) \in [0,1]$ так же известна только ее принадлежность некоторому классу $\check{q}_i = \{q_i^{(r)}(y_i), r \in R\}$, $i = 1, \dots, m$;
- 3) о агрегирующей функции-свертке $Q = Q(q) \in [0,1]$ известна только ее принадлежность некоторому классу соответствующих m -местных функций $\check{Q} = \{Q^{(s)}, s \in S\}$;
- 4) о числовом векторе $w = (w_1, \dots, w_m)$ известна его принадлежность некоторому множеству векторов $\check{w} = \{w^{(u)}, u \in U\}$.

Неопределенность такого задания сводного показателя приводит к ситуации, когда реализации ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, каждая из которых описана вектором исходных значений частных показателей $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$, сопоставляется не одна сводная оценка, а некоторое множество $\check{Q}_j = \{Q_j^{(t)}, t \in T\}$ таких оценок. В современной алгебре хорошо разработан аппарат учета неопределенности выбора конкретного элемента z из множества таких элементов $Z = \{x^{(\theta)}, \theta \in \Theta\}$ при помощи рандомизации этого выбора. Рандомизация осуществляется путем задания на некоторой системе подмножеств множества Z вероятностной меры. Её результатом является рандомизированный элемент \tilde{z} , принимающий значения из множества Z . При рандомизации, в зависимости от элементов, составляющих множество Z , могут получиться случайные величины ($z \in R^1$), случайные векторы ($z \in R^m$), стохастические процессы (Z - множество одноместных функций), стохастические поля (Z - множество многоместных функций) и другие случайные алгебраические сущности. В частности, рандомизируя неопределенность, связанную с формированием сводного показателя качества ПК ситуационного управления для АСДПП

авиатранспортом, синтезируем следующие математико-стохастические сущности:

- 1) стохастический процесс $\tilde{y}_i = \tilde{\varphi}_i(x_i)$ из $\tilde{\varphi}_i = \{\varphi_i^{(l)}(x_i), l \in L\}$, $i = 1, \dots, m$;
- 2) стохастический процесс $\tilde{q}_i = \tilde{q}_i(y_i)$ из $\tilde{q}_i = \{q_i^{(r)}(y_i), r \in R\}$, $i = 1, \dots, m$;
- 3) стохастическое поле $\tilde{Q} = \tilde{Q}(q)$ из m -местных функций $\tilde{Q} = \{Q^{(s)}, s \in S\}$;
- 4) случайную m -мерную величину-вектор $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m)$ из $\tilde{w} = \{w^{(u)}, u \in U\}$.

Введение указанных стохастических процессов, стохастического поля и случайного вектора в математическое выражение (4.1.27) позволяет синтезировать рандомизированную интегральную или сводную оценку качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, иными словами: рандомизированный интегральный или сводный показатель качества указанных комплексов:

$$\tilde{Q}^{(j)} = \tilde{Q}(\tilde{q}^{(j)}; \tilde{w}) = \tilde{Q}(\tilde{q}(\tilde{\varphi}(x^{(j)})); \tilde{w}) = \tilde{Q}(\tilde{q}_1(\tilde{\varphi}_1(x_1^{(j)})), \dots, \tilde{q}_m(\tilde{\varphi}_m(x_m^{(j)})); \tilde{w}) \quad (4.1.28)$$

как программного средства, описываемого вектором исходных значений частных (элементарных) показателей $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$.

Тогда, оценкой j -й реализации ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом будет являться некоторая случайная величина $\tilde{Q}^{(j)}$, а сравнение j -ой и l -ой реализации, описываемых векторами исходных значений частных показателей $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$ и $x^{(l)} = (x_1^{(l)}, \dots, x_m^{(l)})$ соответственно, сводится к сравнению значений рандомизированных сводных показателей $\tilde{Q}^{(j)}$ и $\tilde{Q}^{(l)}$. Это математическое преобразование задачи квалиметрического оценивания и сравнительного анализа реализаций ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом к задаче оценивания и сравнения рандомизированных сводных показателей составляет математическое существо предлагаемого метода. В роли простой и интуитивно понятной детерминированной меры уровня рандомизации интегрального или сводных показателей вида $\tilde{Q}^{(j)}$ применяется математическое ожидание их значения, как случайной величины:

$$\bar{Q}^{(j)} = M \tilde{Q}^{(j)} = M \tilde{Q}(\tilde{q}(\tilde{\varphi}(x^{(j)}))). \quad (4.1.29)$$

Следовательно, мерой точности оценки интегрального или сводных показателей $\bar{Q}^{(j)}$ служит соответствующее стандартное отклонение их значений, случайной величины $\tilde{Q}^{(j)}$:

$$S^{(j)} = \sqrt{D \tilde{Q}^{(j)}} = \sqrt{D \tilde{Q}(\tilde{q}(\tilde{\varphi}(x^{(j)})))} \quad (4.1.30)$$

В ряду отношений стохастического доминирования между случайными величинами $\tilde{Q}^{(j)}$, $\tilde{Q}^{(l)}$ простейшим является доминирование в среднем. Рандомизированный сводный показатель $\tilde{Q}^{(j)}$ доминирует в среднем рандомизированный сводный показатель $\tilde{Q}^{(l)}$, что здесь и далее по тексту будет обозначаться " $\tilde{Q}^{(j)} \succ^M \tilde{Q}^{(l)}$ ", если выполняется условие

$$(\tilde{Q}^{(j)} \succ^M \tilde{Q}^{(l)}) \Leftrightarrow (M \tilde{Q}^{(j)} > M \tilde{Q}^{(l)}) \Leftrightarrow (\bar{Q}^{(j)} > \bar{Q}^{(l)}). \quad (4.1.31)$$

Так же при оценке качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом может использоваться отношение доминирования по вероятности: рандомизированный сводный показатель $\tilde{Q}^{(j)}$ доминирует по вероятности рандомизированный сводный показатель $\tilde{Q}^{(l)}$ на уровне достоверности α , что обозначается " $\tilde{Q}^{(j)} \succ^{P,\alpha} \tilde{Q}^{(l)}$ ", если выполняется условие

$$(\tilde{Q}^{(j)} \succ^{P,\alpha} \tilde{Q}^{(l)}) \Leftrightarrow (P(\{\tilde{Q}^{(j)} > \tilde{Q}^{(l)}\}) > \alpha), \quad (4.1.32)$$

где $P(\{\tilde{Q}^{(j)} > \tilde{Q}^{(l)}\})$ - вероятность стохастического неравенства $\tilde{Q}^{(j)} > \tilde{Q}^{(l)}$, а значение α принадлежит отрезку $[0,1]$. Значение вероятности $P(j,l) = P(\{\tilde{Q}^{(j)} > \tilde{Q}^{(l)}\})$ следует понимать в качестве меры достоверности доминирования $\tilde{Q}^{(j)}$ над $\tilde{Q}^{(l)}$.

То есть математический аппарат рандомизации сводных показателей подсчитывает для k оцениваемых реализаций ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, описываемых числовыми векторами $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$, $j = 1, \dots, k$, значений частных (элементарных) показателей, следующие величины:

1) значения сводных показателей оценки реализаций: $\bar{Q}^{(j)}$, $j = 1, \dots, k$;

- 2) меры точности значений сводных показателей $\bar{Q}^{(j)}$: $S^{(j)}$, $j = 1, \dots, k$;
 3) меры достоверности доминирования: $P(j, l)$, $j, l = 1, \dots, k$.

На базе указанных значений становится возможно рейтинговать анализируемые реализации ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, оценивать точность полученных значений оценки по $S^{(j)}$ и учесть степень достоверности такой ранжировки реализаций по $P(j, l)$.

Расчет значений $\bar{Q}^{(j)}$, $S^{(j)}$, $P(j, l)$ у рандомизированных сводных показателей, согласно выражению (4.1.28), трансвычислителен. Вследствие чего, в ходе проведенного диссертационного исследования, задача расчета значений $\bar{Q}^{(j)}$, $S^{(j)}$, $P(j, l)$ была упрощена путем введения нескольких доп. положений.

В частности, из всего множества агрегирующих функций, соответствующих условиям монотонности и нормировки (обоснованных ранее), был выделен подкласс взвешенных средних, синтезирующих рандомизированные сводные показатели вида

$$\tilde{Q}(\tilde{q}(\tilde{\varphi}(x)); \tilde{w}) = Q(\tilde{q}(\tilde{\varphi}(x)); \tilde{w}; \tilde{\psi}) = \tilde{\psi}^{-1} \left(\sum_{i=1}^m \tilde{w}_i \tilde{\psi}(\tilde{q}_i(\tilde{\varphi}_i(x_i))) \right), \quad (4.1.33)$$

где $\tilde{u} = \tilde{\psi}(v)$ - стохастический процесс, существо которого есть непрерывные строго возрастающие функции; $\tilde{v} = \tilde{\psi}^{-1}(u)$ - стохастический процесс, существо которого есть непрерывные строго возрастающие функции $v = \psi^{-1}(u)$, обратные к функциям $u = \psi(v)$. Неопределенность выбора функции $u = \psi(v)$, задаваемой процессом $\tilde{u} = \tilde{\psi}(v)$, можно уменьшить, строго определив математическую форму ψ . Например, предположим ψ - степенная: $u = \psi(v) = v^\lambda$, $\lambda > 0$, $v = \psi^{-1}(u) = \sqrt[\lambda]{u}$. Тогда возможно получить рандомизированное взвешенное степенное среднее:

$$\tilde{Q}(\tilde{q}(\tilde{\varphi}(x)); \tilde{w}) = Q(\tilde{q}(\tilde{\varphi}(x)); \tilde{w}; \tilde{\lambda}) = \left(\sum_{i=1}^m \tilde{w}_i \tilde{q}_i^{\tilde{\lambda}}(\tilde{\varphi}_i(x_i)) \right)^{1/\tilde{\lambda}}. \quad (4.1.34)$$

Далее выбирается конкретизированное значение $\lambda = 1$, и выражение (4.1.34) преобразуется к рандомизированному взвешенному средне-арифметическому виду:

$$Q_+(\tilde{q}(\tilde{\varphi}(x); \tilde{w})) = \sum_{i=1}^m \tilde{w}_i \tilde{q}_i(\tilde{\varphi}_i(x_i)). \quad (4.1.35)$$

Это позволяет в дальнейшем в качестве базовой формы сводных (интегрального) показателя оценки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом использовать рандомизированную аддитивную форму:

$$\tilde{Q}_+(q) = Q_+(q; \tilde{w}) = Q_+(q_1, \dots, q_m; \tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m) = \sum_{i=1}^m \tilde{w}_i q_i. \quad (4.1.36)$$

Таким образом, прежде всего, рассматривается недостаточность входной квалиметрической информации о композиционной значимости различных частных показателей в составе сводных и сводных в составе интегрального. Учет этого вида недостаточности осуществляется на основе вектора рандомизированных весовых коэффициентов $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m)$. Эта загрубленная модель (используемая на данном этапе представления метода оценки) анализа информационной недостаточности, характерной для синтеза сводных оценок ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом является рациональной, т.к. позволяет анализировать аппарат расчета числовых значений весовых коэффициентов, определяющих выше указанную композиционную значимость.

Пусть при оценке используется аддитивная свертка $Q_+(q; w)$ частных показателей q_1, \dots, q_m функционирования анализируемых реализаций ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом. При этом предполагается, что вектор весов $w = (w_1, \dots, w_m)$ задается с точностью до некоторого множества векторов $W = \{w^{(t)} = (w_1^{(t)}, \dots, w_m^{(t)}), t \in T\}$, т.е. синтез сводных оценок происходит в условиях информационной недостаточности, выраженной в неопределенности задания композиционных весов показателей.

Для построения дискретной модели неопределенности задания весовых коэффициентов предположим, что каждый из этих коэффициентов измеряется с

точностью до конечного шага $h = 1/n$, определяемого натуральным числом $n > 1$. Иными словами, предполагается, что весовые коэффициенты могут быть только в дискретных значениях:

$$w_i \in w(n) = \left\{ 0, \frac{1}{n}, \frac{2}{n}, \dots, \frac{l}{n}, \dots, \frac{n-2}{n}, \frac{n-1}{n}, 1 \right\} \quad (4.1.37)$$

Из чего следует, что множество всех возможных векторов весовых коэффициентов

$$W(m, n) = \left\{ w^{(t)} = (w_1^{(t)}, \dots, w_m^{(t)}), w_i^{(t)} \in w(n), w_1^{(t)} + \dots + w_m^{(t)} = 1, t \in T(m, n) \right\}, \quad (4.1.38)$$

где $T(m, n) = \{1, \dots, N(m, n)\}$ - множество значений индекса t . Оно является конечным множеством, содержащим число элементов $N(m, n)$, равное

$$N(m, n) = \binom{n+m-1}{n} = \binom{n+m-1}{m-1} = \frac{(n+m-1)!}{n!(m-1)!}. \quad (4.1.39)$$

Рандомизируя неопределенность выбора вектора весов $w^{(t)}$ из множества всех таких возможных векторов $W(m, n)$ при помощи случайного индекса \tilde{t} , равномерно распределенного на множестве $T(m, n) = \{1, \dots, N(m, n)\}$:

$$P(\{\tilde{t} = t\}) = \frac{1}{N(m, n)}, \quad t \in N(m, n) = \{1, \dots, N(m, n)\}, \quad (4.1.40)$$

получаем рандомизированный вектор весов $\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m)$, индуцированный индексом \tilde{t} :

$$\tilde{w} = (\tilde{w}_1, \dots, \tilde{w}_m) = w^{(\tilde{t})} = (w_1^{(\tilde{t})}, \dots, w_m^{(\tilde{t})}) . \quad (4.1.41)$$

Этот рандомизированный вектор весов равномерно распределен на множестве всех возможных векторов $W(m, n)$.

Нетрудно вычислить математическое ожидание $\bar{w}_i = M \tilde{w}_i$ и стандартное отклонение $s_i = \sqrt{D \tilde{w}_i}$ ($D \tilde{w}_i$ - дисперсия случайной величины \tilde{w}_i) i -го рандомизированного весового коэффициента:

$$\bar{w}_i = M \tilde{w}_i = \frac{1}{N(m, n)} \sum_{t=1}^{N(m, n)} w_i^{(t)} = \frac{1}{m}, \quad (4.1.42)$$

$$s_i = \sqrt{D \tilde{w}_i} = \sqrt{\frac{1}{N(m, n)} \sum_{t=1}^{N(m, n)} [w_i^{(t)} - \bar{w}_i]^2} = \sqrt{\frac{m-1}{m^2(m+1)} + \frac{1}{n} \frac{m-1}{m(m+1)}} . \quad (4.1.43)$$

В качестве наглядного примера такой рандомизации рассмотрим следующее: предположим, что дано 3 частных показателя ($m = 3$), композиционная значимость которых в составе сводного показателя определяется весами или, в другой терминологии, локальными приоритетами w_1, w_2, w_3 , отсчитываемыми со скважностью $h = 1/5 = 0.2$ ($n = 5$). Тогда множество $W(3,5)$ всех векторов весов $w^{(t)} = (w_1^{(t)}, w_2^{(t)}, w_3^{(t)})$ будет включать в себя $N(3,5) = 21$ строк, перечисленных в таблице 4.1.7. Каждая строка этой таблицы представляет собой исходный числовой вектор значений по трем искомым показателям квалиметрической оценки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом на данном уровне иерархической системы показателей, для текущей декомпозиции вышестоящего сводного показателя оценки.

Таблица 4.1.7–Множество всех векторов весов $w^{(t)} = (w_1^{(t)}, w_2^{(t)}, w_3^{(t)})$ при $m = 3, n = 5$

t	$w_1^{(t)}$	$w_2^{(t)}$	$w_3^{(t)}$
1	0,0	0,0	1,0
2	0,0	0,2	0,8
3	0,0	0,4	0,6
4	0,0	0,6	0,4
5	0,0	0,8	0,2
6	0,0	1,0	0,0
7	0,2	0,0	0,8
8	0,2	0,2	0,6
9	0,2	0,4	0,4
10	0,2	0,6	0,2
11	0,2	0,8	0,0
12	0,4	0,0	0,6
13	0,4	0,2	0,4
14	0,4	0,4	0,2
15	0,4	0,6	0,0
16	0,6	0,0	0,4
17	0,6	0,2	0,2
18	0,6	0,4	0,0
19	0,8	0,0	0,2
20	0,8	0,2	0,0
21	1,0	0,0	0,0

На основании таблицы 4.1.7, рассчитываются согласно (4.1.42) и (4.1.43), математические ожидания $\bar{w}_i \approx 0.333$ и стандартные отклонения $s_i \approx 0.298$ рандомизированных весов \tilde{w}_i , $i = 1, 2, 3$. Такие значения мат. ожидания следует рассматривать как оценки весов показателей качества в ситуации т.н. композиционного равновесия или равноважности. При этом, согласно стандартных отклонений $s_i \approx 0.298$ следует всегда помнить о наличии значительного разброса значений весов вокруг полученных оценок $\bar{w}_i = 1/m \approx 0.333$.

Вводя в аддитивную свертку $Q_+(q; w)$, полученный из множества всех возможных векторов $W(m, n)$, вектор весовых коэффициентов $w^{(t)} = (w_1^{(t)}, \dots, w_m^{(t)})$, можно получить для оцениваемой реализации ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, описываемой вектором значений частных показателей $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$, следующую математическую форму сводного показателя:

$$Q_+^{(t)}(q^{(j)}) = Q_+(q^{(j)}; w^{(t)}) = \sum_{i=1}^m w_i^{(t)} q_i^{(j)}. \quad (4.1.44)$$

Таким образом, многопараметрической оценке $q^{(j)}$ ставится в соответствие класс $\{Q_+^{(t)}(q^{(j)}), t \in T(m, n) = \{1, \dots, N(m, n)\}\}$ сводных оценок (не обязательно попарно различных). В частности, пусть дано 4 квалиметрически анализируемых реализации ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом ($k = 4$), которым в соответствие поставлены вектора значений частных показателей $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, x_3^{(j)})$, $j = 1, 2, 3, 4$ - Таблица 4.1.8, где j есть вариант оцениваемой реализации ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом).

Для синтеза значений частных показателей q_1, q_2, q_3 осуществляется линейная нормировка исходных значений элементарных показателей x_1, x_2, x_3 . При нормировке $x_i^{(j)} = 1$ сопоставляется $q_i^{(j)} = 0$; для $x_i^{(j)} = 3$ - $q_i^{(j)} = 1$; а для $x_i^{(j)} = 2$ - $q_i^{(j)} = 0.5$.

Таблица 4.1.8 – Исходные значения частных показателей $x_i^{(j)}$, $i = 1, 2, 3$, $j = 1, 2, 3, 4$

j	$x_1^{(j)}$	$x_2^{(j)}$	$x_3^{(j)}$
1	1	2	3
2	3	2	1
3	2	3	2
4	3	1	3

Именно в результате указанной нормировки синтезируется таблица 4.1.9, включающая нормированные значения $q_i^{(j)}$, $i = 1, 2, 3$, $j = 1, 2, 3, 4$, частных показателей композиционно включаемые в многопараметрические оценки квалиметрически оцениваемых реализаций ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом.

Таблица 4.1.9 – Нормированные значения показателей $q_i^{(j)}$, $i = 1, 2, 3$, $j = 1, 2, 3, 4$

j	$q_1^{(j)}$	$q_2^{(j)}$	$q_3^{(j)}$
1	0	0,5	1
2	1	0,5	0
3	0,5	1	0,5
4	1	0	1

На базе (4.1.44) и таблицы 4.1.9, становится возможным определить все значения $Q_+^{(t)}(q^{(j)}) = Q_+(q^{(j)}; w^{(t)})$, $t = 1, \dots, 21$, $j = 1, 2, 3, 4$, для интегрального (сводного) показателя по 4 оцениваемым реализациям ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом (Таблица 4.1.10). Теперь можно взять в качестве искомым сводных оценок исследуемых реализаций ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом мат. ожидания

$$\bar{Q}_+^{(j)} = M \tilde{Q}_+^{(j)} = M Q_+(q^{(j)}; \tilde{w}) = \frac{1}{N(m, n)} \sum_{t=1}^{N(m, n)} Q_+^{(t)}(q^{(j)}) \quad (4.1.45)$$

рандомизированных сводных показателей $\tilde{Q}_+^{(j)} = Q_+(q^{(j)}; \tilde{w})$, $j = 1, \dots, k$.

В качестве мер точности таких оценок естественно взять стандартные отклонения $S^{(j)} = \sqrt{D \tilde{Q}_+^{(j)}}$, $j = 1, \dots, k$, определяемые формулой

$$S^{(j)} = \sqrt{D \tilde{Q}_+^{(j)}} = \sqrt{\frac{1}{N(m, n)} \sum_{t=1}^{N(m, n)} [Q_+^{(t)}(q^{(j)}) - \bar{Q}_+^{(j)}]^2}. \quad (4.1.46)$$

Таблица 4.1.10 – Значения рандомизированного сводного показателя $Q_+^{(t)}(q^{(j)})$ при $t = 1, \dots, 21$, $j = 1, 2, 3, 4$

t	$Q_+^{(t)}(q^{(1)})$	$Q_+^{(t)}(q^{(2)})$	$Q_+^{(t)}(q^{(3)})$	$Q_+^{(t)}(q^{(4)})$
1	1,0	0,0	0,5	1,0
2	0,9	0,1	0,6	0,8
3	0,8	0,2	0,7	0,6
4	0,7	0,3	0,8	0,4
5	0,6	0,4	0,9	0,2
6	0,5	0,5	1,0	0,0
7	0,8	0,2	0,5	1,0
8	0,7	0,3	0,6	0,8
9	0,6	0,4	0,7	0,6
10	0,5	0,5	0,8	0,4
11	0,4	0,6	0,9	0,2
12	0,6	0,4	0,5	1,0
13	0,5	0,5	0,6	0,8
14	0,4	0,6	0,7	0,6
15	0,3	0,7	0,8	0,4
16	0,4	0,6	0,5	1,0
17	0,3	0,7	0,6	0,8
18	0,2	0,8	0,7	0,6
19	0,2	0,8	0,5	1,0

Введя в соотношения (4.1.45), (4.1.46) значения $Q_+^{(t)}(q^{(j)})$, $t = 1, \dots, 21$, $j = 1, 2, 3, 4$, рандомизированного сводного показателя согласно таблицы 4.1.10, становится возможным получить оценки $\bar{Q}_+^{(j)}$ и их стандартные отклонения $S^{(j)} = \sqrt{D\tilde{Q}_+^{(j)}}$, $j = 1, \dots, 4$, приведенные в таблице 4.1.11, в которой j - номер реализации ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, а значения $\min(j)$, $\max(j)$ - минимальное и максимальное значение интегрального показателя $Q_+^{(t)}$, $t = 1, \dots, N(m, n)$.

Таблица 4.1.11 – Интегральные (сводные) оценки $\bar{Q}_+^{(j)}$ ПК ситуационного управления для АСДПП и соответствующие стандартные отклонения $S^{(j)} = \sqrt{D\tilde{Q}_+^{(j)}}$, $j = 1, \dots, 4$

j	$\bar{Q}_+^{(j)}$	$S^{(j)}$	$\min(j)$	$\max(j)$
1	0,500	0,258	0,000	1,000
2	0,500	0,258	0,000	1,000
3	0,667	0,149	0,500	1,000
4	0,667	0,298	0,000	1,000

На заключительном этапе рассматриваемого метода оценки производится расчет вероятности $P(j,l)$, $j,l=1,\dots,k$, попарного доминирования рандомизированных сводных показателей по формуле

$$P(j,l) = P\left\{\tilde{Q}_+^{(j)} > \tilde{Q}_+^{(l)}\right\} = \frac{N\{t: Q_+^{(t)}(q^{(j)}) > Q_+^{(t)}(q^{(l)})\}}{N(m,n)}, \quad (4.1.47)$$

где $N\{t:\dots\}$ есть число элементов множества $\{t:\dots\}$. В частности, вероятность $P(3,2)$, по формуле (2.3.21) и данным таблицы 2.3.4., учитывая, что для $t=1,\dots,15$ выполнено неравенство $Q_+^{(t)}(q^{(3)}) > Q_+^{(t)}(q^{(2)})$, а для $t=16,\dots,21$ - не выполнено. Вероятность попарного доминирования составит $P(3,2) = 15/21 \approx 0.714$. Аналогично определяется вероятность попарного доминирования для всех остальных пар сводных показателей (Таблица 4.1.12)

Таблица 4.1.12 – Значения вероятности $P(j,l)$, $j,l=1,2,3,4$, попарного доминирования рандомизированных сводных показателей

$j \setminus l$	1	2	3	4
1	0,000	0,429	0,286	0,333
2	0,429	0,000	0,286	0,333
3	0,714	0,714	0,000	0,476
4	0,571	0,571	0,524	0,000

Как правило, исходная экспертная информация выражена лишь чисто сравнительными утверждениями типа "значимость показателя q_r выше значимости любого другого показателя q_s ", "частные показатели q_u и q_v имеют примерно одинаковую значимость для сводной оценки" и т.д. Как ранее указывалось, на математико-аналитическом языке это означает, что эта нечисловая информация может быть представлена в виде системы равенств и неравенств

$$OI = \{w_r > w_s; w_u = w_v, \dots\} \quad (4.1.48)$$

для вектора весовых коэффициентов $w = (w_1, \dots, w_m)$, $w_i \geq 0$, $w_1 + \dots + w_m = 1$, определяющих композиционную значимость частных показателей q_1, \dots, q_m , $q_i \in [0,1]$, оценивающих исследуемое качество реализаций ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом с точки зрения m различных

отдельных показателей. Естественно назвать информацию о весовых коэффициентах, выражаемую системой равенств и неравенств (4.1.48), ординальной (порядковой) информацией. Помимо ординальной информации инженер по качеству, оценивающий качество ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, может также иметь и неточную информацию о числовых значениях некоторых весовых коэффициентов, выражающуюся в виде системы неравенств,

$$II = \{a_i \leq w_i \leq b_i, i \in \{1, \dots, m\}\} \quad (4.1.49)$$

указывающих возможные диапазоны $[a_i, b_i]$, $i \in \{1, \dots, m\}$ варьирования весовых коэффициентов, где $0 \leq a_i \leq b_i \leq 1$. При этом естественно называть информацию о весовых коэффициентах, выражаемую системой неравенств (4.1.49), интервальной информацией. Интервальную форму информации рационально использовать для выражения суждений обо всей системе весовых коэффициентов: например, "отдельный показатель q_i имеет значимость, которую не превосходит значимость всех остальных отдельных показателей вместе взятых", можно представить в виде интервальной информации $\{w_i \geq 0.5\}$. Или:" Если значимость одного отдельного показателя q_j не превосходит значимости показателя q_i и значимость всех остальных показателей вместе взятых не превосходит значимости показателя q_j , то для соответствующих весовых коэффициентов должно выполняться

$$II = \{0.50 \leq w_i \leq 1.00, 0.25 \leq w_j \leq 0.5\}. \quad (4.1.50)$$

Интервалы, согласно интервальной информации II типа (4.1.49), могут быть сужены за счет учета нормирующего соотношения $w_1 + \dots + w_m = 1$. Так, в частности, из приведенного соотношения нормировки следует, что если учесть неравенства $0 \leq a_i \leq w_i$, $i = 1, \dots, m$, $a_1 + \dots + a_m = a \leq 1$, ограничивающие значения весов снизу, то получается выражения-неравенства

$$w_i = 1 - \sum_{k=1}^{i-1} w_k - \sum_{l=i+1}^m w_l \leq 1 - \sum_{k=1}^{i-1} a_k - \sum_{l=i+1}^m a_l = 1 + a_i - \sum_{k=1}^m a_k = a_i + (1 - a), \quad (4.1.51)$$

ограничивающие весовые коэффициенты сверху. По аналогии, при учете неравенств $w_i \leq b_i \leq 1$, $i = 1, \dots, m$, $b_1 + \dots + b_m = b \geq 1$, ограничивающие значения весов сверху, то получаются выражения-неравенства

$$w_i = 1 - \sum_{k=1}^{i-1} w_k - \sum_{l=i+1}^m w_l \geq 1 - \sum_{k=1}^{i-1} b_k - \sum_{l=i+1}^m b_l = 1 + b_i - \sum_{k=1}^m b_k = b_i - (b - 1), \quad (4.1.52)$$

ограничивающие весовые коэффициенты снизу.

Следовательно, наличие интервальной информации $\Pi = \{a_i \leq w_i \leq b_i, i \in \{1, \dots, m\}\}$ вида (4.1.49) позволяет задать систему:

$$\Pi = \{\max\{a_i, b_i - (b - 1)\} \leq w_i \leq \min\{b_i, a_i + (1 - a)\}, i \in \{1, \dots, m\}\} \quad (4.1.53)$$

неравенств, определяющих согласованные интервалы варьирования весовых коэффициентов. В качестве примера: пусть имеется интервальная информация

$$\Pi = \{0.1 \leq w_1 \leq 0.3; 0.1 \leq w_2 \leq 0.3; 0.3 \leq w_3 \leq 0.5\} \quad (4.1.54)$$

о весовых коэффициентах w_1, w_2, w_3 . Включая эту информацию в (4.1.53) как $a = 0.5$, $b = 1.1$, становится возможным получить

$$\Pi^* = \{0.2 \leq w_1 \leq 0.3; 0.2 \leq w_2 \leq 0.3; 0.4 \leq w_3 \leq 0.5\} . \quad (4.1.55)$$

Т.е. такую систему неравенств, которая определяет интервалы с длинами в 2 раза меньше, чем длины соответствующих интервалов, изначально задаваемых неравенствами из (4.1.54).

Сокращение интервалов возможного варьирования весовых коэффициентов можно добиться и сопоставляя интервальную информацию Π с ординальной информацией OI .

$$I = OI \cup \Pi \quad (4.1.56)$$

Именно таким образом математически описывается учет качественной недостаточности исходной квалиметрической информации на этапе синтеза сети показателей оценки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, а именно ее нечисловой, нечеткий, неточный и неколичественный характер.

Как же качественная недостаточности исходной квалиметрической информации может быть учтена в рассматриваемом дискретном математическом аппарате задания весовых коэффициентов для сети

показателей оценки качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом. Для этого необходимо рассмотреть:

$$W(m, n; I) = \{w^{(t)} = (w_1^{(t)}, \dots, w_m^{(t)}) : w^{(t)} \in W(m, n), t \in T(m, n; I)\}. \quad (4.1.57)$$

Описанное (4.1.57) множество состоит из тех векторов весовых коэффициентов, которые входят в множество $W(m, n)$ всех векторов с дискретными компонентами и удовлетворяют системе всех равенств и неравенств, определяемых ординальной, интервальной и нечеткой, т.е. качественно недостаточной информацией I . Для простоты записи далее следует полагать, что множество $T(m, n; I)$ состоит из перенумерованных возможных значений индекса t : $T(m, n; I) = \{1, \dots, N(m, n; I)\}$. Множество $W(m, n; I)$ есть множество всех допустимых векторов значений веса, т.е. соответствующих коэффициентов. Понятно, что множество всех допустимых векторов весовых коэффициентов $W(m, n; I)$ является подмножеством множества всех возможных векторов весовых коэффициентов $W(m, n)$. Эти два множества совпадают в случае отсутствия ограничений на весовые коэффициенты, т.е. в случае "пустоты" системы неравенств и равенств $I (I = \emptyset)$, являющейся следствием полного отсутствия даже недостаточной информации о весовых коэффициентах: $W(m, n; \emptyset) = W(m, n)$.

Очевидно, что в общем случае $W(m, n; I) \subseteq W(m, n)$ и $N(m, n; I) \leq N(m, n)$. Если же система I содержит хотя бы одно нетривиальное равенство и/или неравенство, то имеют место строгие неравенства: $W(m, n; I) \subset W(m, n)$ и $N(m, n; I) < N(m, n)$. При этом возможно весьма существенное уменьшение числа допустимых векторов $N(m, n; I)$ по сравнению с исходным числом $N(m, n)$ всех возможных векторов весовых коэффициентов. Например, если работать с векторами весовых коэффициентов из 5 элементов $w = (w_1, \dots, w_m)$, компоненты которых отсчитываются с шагом $h = 0.05$ ($n = 1/h = 20$), то имеется $N(5, 20) = 10626$ возможных векторов весовых коэффициентов. Учет же исходной экспертной информации, которая по своей сути является качественно недостаточной:

$$I = \{w_1 > w_2 > w_3 > w_4 > w_5; 0.05 \leq w_5\} \quad (4.1.58)$$

редуцирует это число всех возможных векторов до числа $N(5,20;I) = 7$ всех допустимых векторов весовых коэффициентов. Неопределенность выбора конкретного вектора весовых коэффициентов $w = (w_1, \dots, w_m)$ из множества всех допустимых векторов $W(m, n; I)$ можно промоделировать при помощи рандомизации этого выбора и в результате получится рандомизированный вектор весовых коэффициентов $\tilde{w}(I) = (\tilde{w}_1(I), \dots, \tilde{w}_m(I))$, представляющий собой дискретную случайную величину, распределенную равномерно на $W(m, n; I)$. Нетрудно вычислить мат. ожидание $\bar{w}_i(I) = M \tilde{w}_i(I)$ и стандартное отклонение $s_i = \sqrt{D \tilde{w}_i(I)}$, где $D \tilde{w}_i(I)$ - дисперсия случайной величины $\tilde{w}_i(I)$, i -го рандомизированного весового коэффициента:

$$\bar{w}_i(I) = M \tilde{w}_i(I) = \frac{1}{N(m, n; I)} \sum_{t=1}^{N(m, n; I)} w_i^{(t)}, \quad (4.1.59)$$

$$s_i(I) = \sqrt{D \tilde{w}_i(I)} = \sqrt{\frac{1}{N(m, n; I)} \sum_{t=1}^{N(m, n; I)} [w_i^{(t)} - \bar{w}_i(I)]^2}. \quad (4.1.60)$$

Проиллюстрировать данный тезис можно, продолжив изложение сквозного примера: пусть имеется 3 отдельных показателя ($m = 3$), относительная значимость которых измеряется весовыми коэффициентами w_1, w_2, w_3 , отсчитываемыми со скважностью $h = 1/5 = 0.2$ ($n = 5$). Тогда множество $W(3,5)$ всех возможных векторов весовых коэффициентов $w^{(t)} = (w_1^{(t)}, w_2^{(t)}, w_3^{(t)})$ состоит из $N(3,5) = 21$ строк, перечисленных в таблице 4.1.7. Пусть от экспертов получена дополнительная качественно недостаточная информация о свойствах анализируемых реализаций ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом:

$$I_1 = \{w_1 > w_2; w_3 \leq 0.2\} \quad (4.1.61)$$

и на ее базе сформировано множество всех допустимых векторов весовых коэффициентов $W(m, n; I_1) = W(3,5; I_1)$ из тех векторов $w^{(t)} = (w_1^{(t)}, w_2^{(t)}, w_3^{(t)})$, компоненты которых удовлетворяют неравенствам из (4.1.61). Из таблицы 4.1.7., очевидно, что ограничения, по информации I_1 , соответствуют числовые

векторы с индексами 17-21. Эти векторы, в переиндексированном виде, представлены в таблице 4.1.13., где индекс t пронумеровывает множество $T(m, n; I) = T(3, 5; I_1) = \{1, 2, 3, 4, 5\}$; $N(m, n; I) = N(3, 5; I_1) = 5$. По таблице 4.1.13 вычисляются, на базе соотношений (4.1.59) и (4.1.60), мат. ожидания $\bar{w}_i(I_1)$ и стандартные отклонения $s_i(I_1)$ рандомизированных весов $\tilde{w}_i(I_1)$, $i = 1, 2, 3$, приведенные в таблице 4.1.14, в которой i - индекс частного показателя.

Таблица 4.1.13 – Множество всех допустимых векторов весовых коэффициентов $w^{(t)} = (w_1^{(t)}, w_2^{(t)}, w_3^{(t)})$ при $I_1 = \{w_1 > w_2; w_3 \leq 0.2\}$

t	$w_1^{(t)}$	$w_2^{(t)}$	$w_3^{(t)}$
1	0,6	0,2	0,2
2	0,6	0,4	0,0
3	0,8	0,0	0,2
4	0,8	0,2	0,0
5	1,0	0,0	0,0

Таблица 4.1.14 содержит в себе минимальные $\min(i)$, $i = 1, 2, 3$ и максимальные $\max(i)$, $i = 1, 2, 3$ значения весов согласно таблицы 4.1.13. Полученные мат. ожидания следует рассматривать как оценки весов, соответствующих исходной качественно недостаточной информации I_1 . Это позволяет считать вектор оценок $\bar{w}(I) = (\bar{w}_1(I_1), \dots, \bar{w}_3(I_1))$ численным образом этой исходной качественно недостаточной информации I_1 .

Расчет вероятности $p(r, s; I)$, $r, s = 1, \dots, m$, композиционного доминирования рандомизированных весовых коэффициентов $\tilde{w}_i(I)$, $i = 1, \dots, m$, сводится к

$$p(r, s; I) = P(\{\tilde{w}_r(I) > \tilde{w}_s(I)\}) = \frac{N\{t : w_r^{(t)} > w_s^{(t)}\}}{N(m, n; I)}, \quad (4.1.62)$$

В выражении (4.1.62) $N\{t : \dots\}$ есть число элементов множества $\{t : \dots\}$.

Таблица 4.1.14 – Оценки весов $\bar{w}_i(I_1)$ и меры их точности $s_i(I_1)$, $i = 1, 2, 3$, при исходной недостаточно информации $I_1 = \{w_1 > w_2; w_3 \leq 0.2\}$

i	$\bar{w}_i(I_1)$	$s_i(I_1)$	$\min(i; I_1)$	$\max(i)$
1	0,760	0,150	0,600	1,000
2	0,160	0,150	0,000	0,400
3	0,080	0,098	0,000	0,200

Вероятность $p(r,s;I)$ следует интерпретировать как меру достоверности доминирования рандомизированного весового коэффициента $\tilde{w}_r(I)$ над аналогичным коэффициентом $\tilde{w}_s(I)$, определяемую по исходной недостаточной квалиметрической информации I . В частности, в рассматриваемом примере вероятность $p(1,2;I_1)$ можно найти, применив (4.1.62) к таблице 4.1.13. Так как, для всех $t=1,\dots,5$ выполнено $w_1^{(t)} > w_2^{(t)}$, то, $p(1,2;I_1)=1$. Аналогично для всех остальных пар получаются результаты, показанные в таблице 4.1.15.

Таблица 4.1.15 – Вероятности композиционного доминирования рандомизированных весовых коэффициентов $p(r,s;I_1)$, $r,s=1,2,3$,

$r \setminus s$	1	2	3
1	0,000	1,000	1,000
2	0,000	0,000	0,400
3	0,000	0,200	0,000

Итоги расчета математических ожиданий рандомизированных весовых коэффициентов, как оценок весов этих коэффициентов $\tilde{w}_i(I)$, $i=1,\dots,m$, стандартных отклонений, как мер их точности $s_i(I)$, $i=1,\dots,m$, и вероятностей попарного доминирования, как мер достоверности оценки $p(r,s;I)$, $r,s=1,\dots,m$, наглядно отображать как соответствующие диаграммы. На рисунке 4.1.1. приведена диаграмма для результатов расчетов рассмотренного выше сквозного примера, т.е. для $I = I_1 = \{w_1 > w_2; w_3 \leq 0.2\}$.

На диаграмме с рисунка 4.1.1, согласно данных из таблиц 4.1.14. и 4.1.15., отмеченным серединам жирных отрезков соответствуют оценки $\bar{w}_i(I_1)$, $i=1,2,3$ весов сопоставленных частных показателей. Длина каждого жирного отрезка равна соответствующему удвоенному стандартному отклонению $s_i(I_1)$, $i=1,2,3$, а правые концы отрезков, расположенных между жирными отрезками, указывают вероятности доминирования. Подставляя в выражение аддитивной свертки $Q_+(q;w)$ вектор весовых коэффициентов $w^{(t)} = (w_1^{(t)}, \dots, w_m^{(t)})$ из множества допустимых векторов $W(m,n;I)$, можно получить для оцениваемой реализации ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, описываемой

вектором значений частных показателей $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$, соответствующее значение интегрального или сводного показателя:

$$Q_j^{(t)}(I) = Q_+^{(t)}(q^{(j)}; I) = Q_+(q^{(j)}; w^{(t)}; I) = \sum_{i=1}^m w_i^{(t)} q_i^{(j)}. \quad (4.1.63)$$

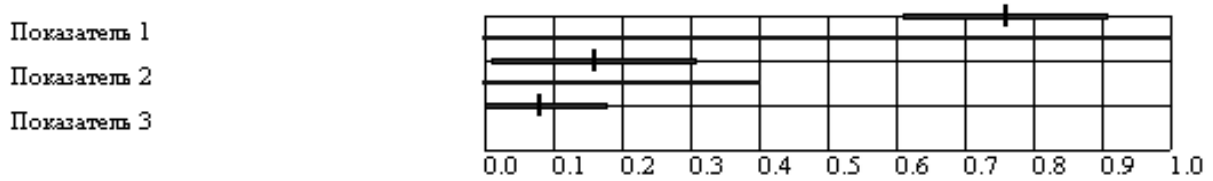


Рисунок 4.1.1 – Диаграмма представления рандомизированной оценки весовых коэффициентов при $I_1 = \{w_1 > w_2; w_3 \leq 0.2\}$

Тогда для сквозного примера, иллюстрирующего предлагаемый метод, в котором оцениваются 4 реализации ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом ($k = 4$), и каждой из реализаций получены вектора исходных значений показателей $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, x_3^{(j)})$, $j = 1, 2, 3, 4$, используя недостаточную информацию $I_1 = \{w_1 > w_2; w_3 \leq 0.2\}$, становится возможным выделить из таблицы 4.1.10. допустимые с точки зрения информации I_1 значения $Q_+^{(t)}(q^{(j)}) = Q_+(q^{(j)}; w^{(t)})$, $t = 1, \dots, 5$, $j = 1, 2, 3, 4$, сводного показателя для 4 оцениваемых реализаций. Результаты такого выделения показаны в таблице 4.1.16, в которой t индексирует перенумерованные значения $1, \dots, N(3, 5; I_1) = 5$.

В роли искомых сводных оценок реализаций ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом принимаются математические ожидания

$$\bar{Q}_+^{(j)}(I) = M \tilde{Q}_+^{(j)}(I) = M Q_+(q^{(j)}; \tilde{w}(I)) = \frac{1}{N(m, n; I)} \sum_{t=1}^{N(m, n; I)} Q_+^{(t)}(q^{(j)}) \quad (4.1.64)$$

рандомизированных сводных показателей $\tilde{Q}_+^{(j)}(I) = Q_+(q^{(j)}; \tilde{w}(I))$, $j = 1, \dots, k$. В роли мер точности таких оценок качества берутся стандартные отклонения

$S^{(j)}(I) = \sqrt{D \tilde{Q}_+^{(j)}(I)}$, $j = 1, \dots, k$, определяемые как:

$$S^{(j)}(I) = \sqrt{D \tilde{Q}_+^{(j)}(I)} = \sqrt{\frac{1}{N(m, n; I)} \sum_{t=1}^{N(m, n; I)} [Q_+^{(t)}(q^{(j)}) - \bar{Q}_+^{(j)}(I)]^2}. \quad (4.1.65)$$

Таблица 4.1.16 – Допустимые значения сводного показателя $Q_+^{(t)}(q^{(j)})$, $t=1,\dots,5$, $j=1,2,3,4$, при исходной недостаточной информации $I_1 = \{w_1 > w_2; w_3 \leq 0.2\}$

t	$Q_+^{(t)}(q^{(1)})$	$Q_+^{(t)}(q^{(2)})$	$Q_+^{(t)}(q^{(3)})$	$Q_+^{(t)}(q^{(4)})$
1	0,3	0,7	0,6	0,8
2	0,2	0,8	0,7	0,6
3	0,2	0,8	0,5	1,0
4	0,1	0,9	0,6	0,8
5	0,0	1,0	0,5	1,0

Введя в (4.1.64), (4.1.65) значения $Q_+^{(t)}(q^{(j)})$, $t=1,\dots,5$, $j=1,2,3,4$, показателей из таблицы 4.1.16, на следующем шаге рассматриваемого метода производят расчет значений интегральной оценки $\bar{Q}_+^{(j)}(I_1)$ и стандартные отклонения $S^{(j)}(I_1) = \sqrt{D\tilde{Q}_+^{(j)}(I_1)}$, $j=1,\dots,4$, для каждой из реализаций. Для сквозного примера эти значения приведены в таблице 4.1.17, в которой j - номер оцениваемой реализации ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, $Min(j; I_1) / Max(j; I_1)$ - минимальное/максимальное значение интегрального показателя $Q_+^{(t)}$, $t=1,\dots, N(m, n; I) = N(3, 5; I_1)$.

Таблица 4.1.17 – Интегральные оценки $\bar{Q}_+^{(j)}(I_1)$ реализаций ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, соответствующие стандартные отклонения $S^{(j)}(I_1) = \sqrt{D\tilde{Q}_+^{(j)}(I_1)}$, $j=1,\dots,4$.

j	$\bar{Q}_+^{(j)}(I_1)$	$S^{(j)}(I_1)$	$Min(j; I_1)$	$Max(j; I_1)$
1	0,160	0,102	0,000	0,300
2	0,840	0,102	0,700	0,000
3	0,580	0,075	0,500	0,700
4	0,840	0,150	0,600	1,000

На заключительном этапе производится расчет вероятности $P(j, l; I)$, $j, l = 1, \dots, k$, попарного доминирования рандомизированных сводных показателей в составе интегрального показателя:

$$P(j, l; I) = P\left(\left\{\tilde{Q}_+^{(j)}(I) > \tilde{Q}_+^{(l)}(I)\right\}\right) = \frac{N\{t : Q_+^{(t)}(q^{(j)}) > Q_+^{(t)}(q^{(l)})\}}{N(m, n; I)}, \quad (4.1.66)$$

для которого $N\{t : \dots\}$ есть количество элементов множества $\{t : \dots\}$.

Для завершения представленного примера по (4.1.66) и таблице 4.1.15. определим значение вероятности $P(4,3;I_1)$: т.к. для $t=1,3,4,5$ выполнено неравенство $Q_+^{(t)}(q^{(4)}) > Q_+^{(t)}(q^{(3)})$, а для $t=2$ - не выполнено, то $P(4,3;I_1) = 4/5 = 0.800$. Аналогично выполняется расчет для остальных пар сводных показателей. Результаты для рассматриваемого примера приведены в таблице 4.1.18.

Таблица 4.1.18 – Значения вероятности $P(j,l;I_1)$, $j,l=1,2,3,4$, композиционного доминирования рандомизированных сводных показателей

$j \setminus l$	1	2	3	4
1	0,000	0,000	0,000	0,000
2	1,000	0,000	1,000	0,400
3	0,000	0,000	0,000	0,200
4	0,000	0,400	0,800	0,000

Диаграмма на рисунке 4.1.2. получена на основе данных из таблиц 4.1.17. и 4.1.18. На диаграмме серединам жирных отрезков соответствуют оценки $\bar{Q}_+^{(j)}(I_1)$, $j=1,2,3,4$, сводных показателей оценки качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Аналогично предыдущей диаграмме длина каждого жирного отрезка равна удвоенному стандартному отклонению $S^{(j)}(I_1)$, $j=1,2,3,4$, а правые отрезков, расположенных между жирными отрезками, указывают вероятность доминирования рандомизированного сводного показателя. Эта диаграмма наглядно представляет приоритетность по сводному показателю 4 исследуемых реализаций ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом: вероятности доминирования $P(2,4;I_1) = P(4,2;I_1) = 0.400$ мало отличаются от величины 0.5, соответствующей полной статистической неразличимости соответствующих рандомизированных сводных показателей. Реализации два и четыре значимо доминируют третью реализацию ($P(2,3;I_1) = 1.000$, $P(4,3;I_1) = 0.800$, для которой значимо доминирует первая реализация $P(3,1;I_1) = 1$).

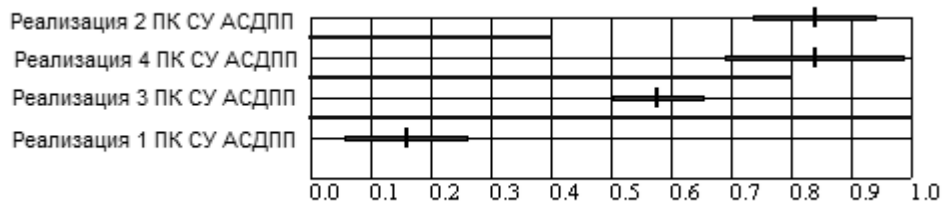


Рисунок 4.1.2 – Диаграмма представления рандомизированных оценок реализаций ПК ситуационного управления АСДПП при $I_1 = \{w_1 > w_2; w_3 \leq 0.2\}$

Анализируя таблицы 4.1.11 и 4.1.12 в сравнении с аналогичными таблицами 4.1.17 и 4.1.18 нетрудно увидеть на представленном расчетном примере, что аналитический учет недостаточности исходной квалиметрической информации I позволил: повысить точность оценок весов частных показателей $\bar{w}_i(I)$, $i = 1, \dots, m$, и сводных (интегрального) показателей $\bar{Q}_+^{(j)}$, $j = 1, \dots, k$, т.е. уменьшаются стандартные отклонения $s_i(I)$ и $S^{(j)}(I)$, а так же увеличивается достоверность ранжирования как весовых коэффициентов, так и сводных показателей, т.е. устремляются к единице многие вероятности доминирования $p(r, s; I)$, $r, s = 1, \dots, m$, и $P(j, l; I)$, $j, l = 1, \dots, k$.

4.1.4 Специфика оценивания при различных вариантах недостаточности входной квалиметрической информации

Применение стохастического математического аппарата рандомизации для учета влияния недостаточности входной квалиметрической информации на задание весов, иными словами значений доминирования показателей в сводных показателях, при оценке качества реализаций ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом дает новые способы учета исходной экспертной информации при оценке конкретных реализаций указанного вида ПО. Это выражается, во-первых, в различных способах взвешивания сети показателей для оценки качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, а, во-вторых, в предоставлении возможности работать с нечеткостью вербальных оценок и заключений экспертов. В данном параграфе

оговариваются способы характерные для первого варианта недостаточности входной квалиметрической информации. Необходимо выделить следующие специфические способы оценивания ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом при различных вариантах недостаточности входной квалиметрической информации, с пояснением существа этих способов:

1. Расчет весов на основе прямой недостаточной входной квалиметрической информации о приоритетности показателей оценки;

При этом способе оценивания по исходной информации о значениях элементарных показателей z_1, \dots, z_m , измеренных по номинальным шкалам, определяются значения y_1, \dots, y_m , $y_i = y_i(z_i)$, $i = 1, \dots, m$, измеряемых по ординальным шкалам. Далее выявляются числовые значения показателей x_1, \dots, x_m , как результат квантификации сопоставленных параметров: $x_i = \varphi_i(y_i)$. И далее, выводятся значения частных показателей q_1, \dots, q_m , $q_i = q_i(x_i)$, качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Результатом являются векторы $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$, $j = 1, \dots, k$, значений частных показателей q_1, \dots, q_m для полного множества k оцениваемых реализаций ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

Так же по прямой недостаточной входной квалиметрической информации I о композиционной значимости частных показателей q_1, \dots, q_m определяются оценки $\bar{w}_i(I)$, $i = 1, \dots, m$, соответствующих рандомизированных весов. Как следствие, каждая сводная оценка $\bar{Q}_j(I)$ качества j -й реализации ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, описываемой вектором $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$, определяется согласно выражению

$$\bar{Q}_j(I) = \sum_{i=1}^m \bar{w}_i(I) q_i^{(j)}. \quad (4.1.67)$$

Последовательно рассматривая различные способы задания оценок $\bar{w}_i(I)$, $i = 1, \dots, m$, весовых коэффициентов, определяющих композиционную значимость частных показателей качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, следует обратить внимание, что данный вариант получения

оценок $\bar{w}_i(I)$, $i = 1, \dots, m$, состоит в прямом задании недостаточной входной квалиметрической информации I о значимости частных показателей q_1, \dots, q_m с дальнейшим вычислением искомых оценок при помощи математического аппарата рандомизации. Пусть, например, эксперт задает прямую недостаточную входную квалиметрическую информацию о композиционной значимости частных показателей в виде $I_2 = \{w_2 = w_3 = w_4 > w_1 = w_5\}$. Учет таких данных посредством стохастического аппарата рандомизации весов - приоритетов композиционного доминирования частных показателей в сводных показателях при оценке качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом для 5 произвольных частных показателей дает результаты, представленные на рисунке 4.1.3.

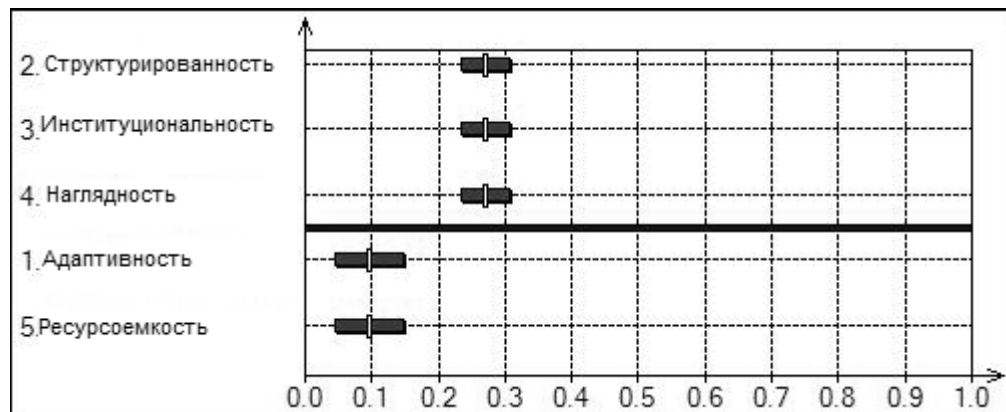


Рисунок 4.1.3 – Визуализация оценок весовых коэффициентов по прямой недостаточной входной информации $I_2 = \{w_2 = w_3 = w_4 > w_1 = w_5\}$

2. Расчет весов на основе обучающей выборки, состоящей из примера оцениваемых реализаций ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом с упорядоченными оценками качества;

Пусть эксперт обладает недостаточной входной квалиметрической информацией J о значениях сводных показателей Q_j , $j = 1, \dots, k$, причем эта информация может быть представлена в виде $J = \{Q_r > Q_s, Q_j = Q_l, A_u \leq Q_u \leq B_u, \dots\}$, где $0 \leq A_u \leq B_u \leq 1$. Так как неравенство, такое как, например, $Q_r > Q_s$ для сводных показателей представимо в виде линейного неравенства:

$$Q_r = \sum_{i=1}^m q_i^{(r)} w_i > Q_s = \sum_{i=1}^m q_i^{(s)} w_i \quad (4.1.68)$$

для вектора весов w_1, \dots, w_m , то любую входную информацию J следует рассматривать в качестве входной недостаточной информации о весах показателей и синтезировать на ее базе искомые оценки $\bar{w}_i(J)$, $i=1, \dots, m$. В частности, это бывает, когда эксперт имеет информацию J об упорядоченности оцениваемых реализаций ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом по уровню достижения соответствующих свойств: $J = \{Q_2 > Q_6 > Q_1 > Q_5 > Q_8 > Q_7 > Q_3 > Q_4 > Q_9\}$. То есть, упорядоченное таким способом множество 9 ранее оцененных реализаций ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом выступает в роли обучающей выборки, по которой синтезируются оценки $\bar{w}_i(J)$, $i=1, \dots, 5$, для весов w_1, \dots, w_5 . Визуально результат взвешивания для тех же 5 частных показателей будет иметь вид показанный на рисунке 4.1.4.

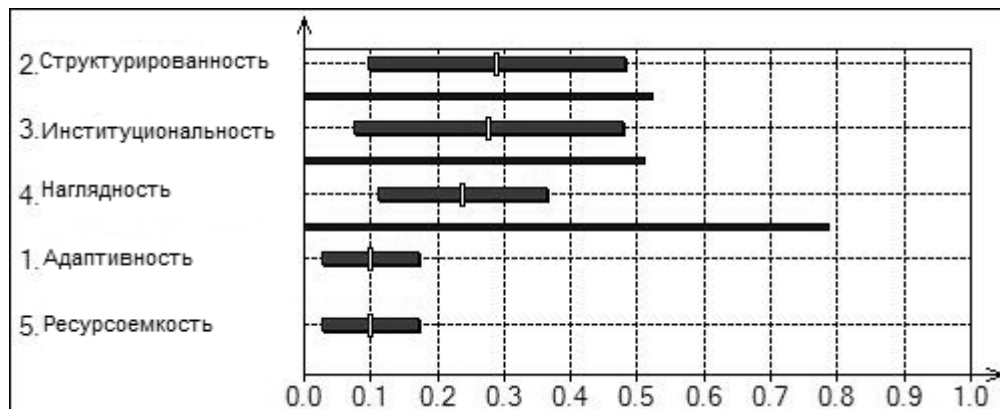


Рисунок 4.1.4 – Визуализация оценок весовых коэффициентов на основе обучающей выборки, состоящей из примера оцениваемых реализаций

$$J = \{Q_2 > Q_6 > Q_1 > Q_5 > Q_8 > Q_7 > Q_3 > Q_4 > Q_9\}$$

3. *Расчет весов на основе смешанной недостаточной входной квалиметрической информации о приоритетности частных показателей и сводных показателях;*

Пусть эксперт обладает недостаточной входной квалиметрической информацией I о некоторых весах частных показателей w_i , $i=1, \dots, m$, и

недостаточной входной квалиметрической информацией J о значениях сводных показателей Q_j , $j=1, \dots, k$. В этом случае, он использует смешанную информацию (I, J) для синтеза оценок $\bar{w}_i(I, J)$, $i=1, \dots, m$, весов, задающих значимость частных показателей q_1, \dots, q_m для композиции сводных показателей вида $Q = Q(q_1, \dots, q_m)$ качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Пример: эксперт имеет недостаточную входную квалиметрическую информацию $I_2 = \{w_2 = w_3 = w_4 > w_1 = w_5\}$ о весах и недостаточную входную квалиметрическую информацию $J = \{Q_2 > Q_6 > Q_1 > Q_5 > Q_8 > Q_7 > Q_3 > Q_4 > Q_9\}$ об упорядоченности оцениваемых реализаций ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом в соответствии со сводными показателями. Тогда итог определения рандомизированных оценок весовых коэффициентов примет вид диаграммы, показанной на рисунке 4.1.5.

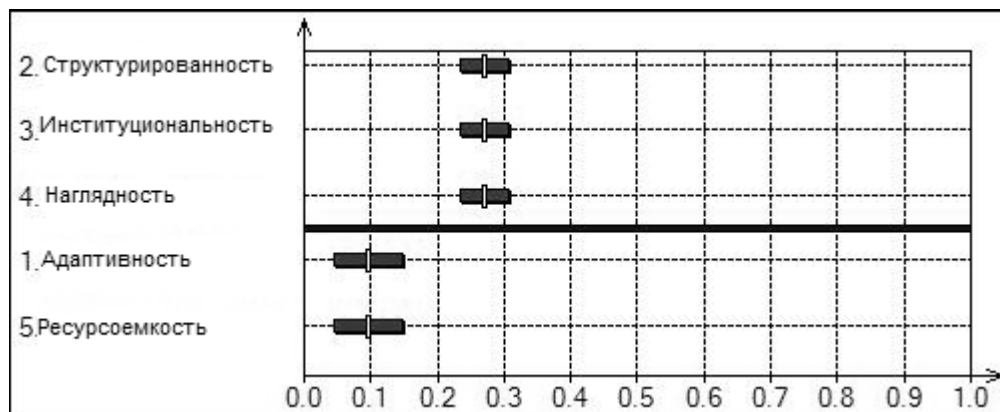


Рисунок 4.1.5 – Визуализация оценок весовых коэффициентов по смешанной недостаточной входной информации $I_2 = \{w_2 = w_3 = w_4 > w_1 = w_5\}$,

$$J = \{Q_2 > Q_6 > Q_1 > Q_5 > Q_8 > Q_7 > Q_3 > Q_4 > Q_9\}$$

4. Расчет весов на основе на основе иерархии показателей качества.

Большое количество частных показателей q_1, \dots, q_m , описывающих параметрически качество ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, объективно диктует необходимость перехода к иерархии, на каждом уровне которой последовательно агрегируются частные показатели

данного уровня в сводные показатели выше стоящего уровня. Вершиной такой иерархии выступает интегральный показатель качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Как в такой иерархии показателей оценить веса, учитывающие влияние частных показателей на сводные и интегральный показатели качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Вернемся к примеру с ранее рассмотренными 5 частными показателям q_1, \dots, q_5 , 3 из которых (q_1, q_2, q_3) определяют потребительское качество, а два остальных (q_4, q_5) – программно-техническое качество.

Частные показатели q_1, \dots, q_5 обозначают нулевой уровень иерархии. Они разбиваются на 2 группы: 1) показатели, определяющие потребительское качество (q_1, q_2, q_3) , и 2) показатели, определяющие программно-техническое качество (q_4, q_5) проверяемой реализации ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Показатели q_1, q_2, q_3 композиционно объединяются в сводный показатель $Q_1 = Q_1(q_1, q_2, q_3) = q_1 w_1^{(1)} + q_2 w_2^{(1)} + q_3 w_3^{(1)}$, где веса $w_1^{(1)}, w_2^{(1)}, w_3^{(1)}$ оцениваются по прямой недостаточной входной квалиметрической информации $I_1 = \{w_3^{(1)} > w_2^{(1)} > w_1^{(1)}\}$. Тогда сводный показатель Q_1 оценивает потребительское качество ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. А показатели q_4, q_5 синтезируются в сводный показатель $Q_2 = Q_2(q_4, q_5) = q_4 w_4^{(1)} + q_5 w_5^{(1)}$, где весовые коэффициенты $w_4^{(1)}, w_5^{(1)}$ оцениваются по прямой недостаточной входной квалиметрической информации $I_2 = \{w_4^{(1)} > w_5^{(1)}\}$. Тогда сводный показатель Q_2 оценивает программно-техническое качество ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

Анализ выше приведенных двух подиерархий оценки для агрегированных показателей Q_1, Q_2 показывает их соответствие одному из рассмотренных способов взвешивания и оценки: на рисунке 4.1.6 показан сводный показатель Q_1 - потребительское качество ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

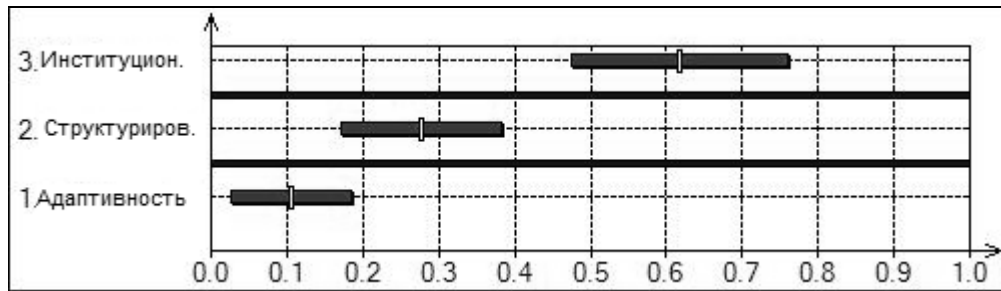


Рисунок 4.1.6 – Визуализация оценок весовых коэффициентов по прямой недостаточной входной информации $I_1 = \{w_3^{(1)} > w_2^{(1)} > w_1^{(1)}\}$

На основе выражения (4.1.68) и рандомизированных оценок $\bar{w}_i^{(1)}(I_1)$, $i = 1, 2, 3$, весов $w_1^{(1)}, w_2^{(1)}, w_3^{(1)}$, получаются значения $\bar{Q}_j^{(1)}(I_1)$, $j = 1, \dots, k$, сводного показателя потребительского качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Аналогично синтезируется сводный показатель Q_2 программно-технического качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, что показано на рисунке 4.1.7.

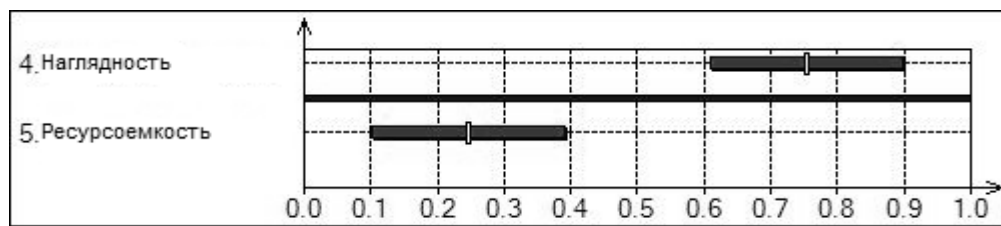


Рисунок 4.1.7 – Визуализация оценок весовых коэффициентов по прямой недостаточной входной информации $I_2 = \{w_4^{(1)} > w_5^{(1)}\}$

Подставляя в (4.1.68) рандомизированные оценки $\bar{w}_i^{(1)}(I_2)$, $i = 4, 5$ весов $w_4^{(1)}, w_5^{(1)}$, производится расчет значений $\bar{Q}_j^{(2)}(I_2)$, $j = 1, \dots, k$, сводного показателя программно-технического качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

В свою очередь, сводные показатели Q_1, Q_2 композиционно сводятся в интегральный показатель $Q_3 = Q_3(Q_1, Q_2) = Q_1 \cdot w_1^{(2)} + Q_2 \cdot w_2^{(2)}$ качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом по всему множеству $q_1, \dots, q_5, Q_1, Q_2$ частных и сводных показателей. Так, например, веса $w_1^{(2)}, w_2^{(2)}$

оценены по прямой недостаточной входной информации $I_3 = \{w_1^{(2)} > w_2^{(2)}\}$. Тогда диаграмма синтеза интегрального показателя Q_3 будет иметь вид показанный на рисунке 4.1.8.

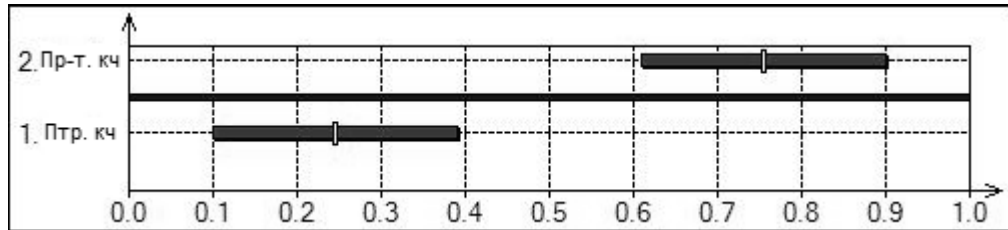


Рисунок 4.1.8 – Визуализация оценок весовых коэффициентов по прямой недостаточной входной информации $I_3 = \{w_1^{(2)} > w_2^{(2)}\}$

На базе (4.1.68) и полученных оценок $\bar{w}_i^{(2)}(I_3)$, $i = 1, 2$, весов $w_1^{(2)}, w_2^{(2)}$, рассчитываются значения $\bar{Q}_j^{(3)}(I_3)$, $j = 1, \dots, k$, интегрального показателя качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом по каждой из оцениваемых k реализаций.

Таким образом, общая схема применения стохастического аппарата рандомизации для учета недостаточности входной квалиметрической информации (а именно её неполноты, нечеткости, неточности и нечислового характера) для расчета весов показателей оценки качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, для расчета оценок конкретных реализаций указанных комплексов, такова:

- первоначально, в несколько этапов для всех k оцениваемых реализаций ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом строятся векторы $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$, $j = 1, \dots, k$, значений отдельных показателей q_1, \dots, q_m .

- по имеющейся у эксперта недостаточной входной информации I о композиционной значимости частных показателей q_1, \dots, q_m синтезируются оценки $\bar{w}_i(I)$, $i = 1, \dots, m$, весов, определяющих степень значимости соответствующих показателей.

- на базе векторов $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$, $j = 1, \dots, k$, значений частных показателей q_1, \dots, q_m и оценки $\bar{w}_i(I)$, $i = 1, \dots, m$, весов w_1, \dots, w_m , вычисляется для j -

го проверяемой реализации ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом величина $\bar{Q}_j(I)$ интегрального показателя качества, как взвешенное среднее арифметическое $\bar{Q}_j(I) = \sum_{i=1}^m \bar{w}_i(I) q_i^{(j)}$ значений $q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)}$, $j = 1, \dots, k$, аналогичных частных показателей.

Приведенная схема представляет собой обобщенное существо предлагаемого метода оценки качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте. Она дает возможность обобщить в единую структуру все ранее детализированные процедуры расчетов значений и весов показателей оценки качества указанных программных комплексов в условиях объективной недостаточности исходной квалиметрической информации.

4.2. Метод репрезентации вербальных оценок показателей качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте

Представленный в п. 4.1.4 методологический аппарат учета качественной недостаточности входной квалиметрической информации ориентирован на работу с неполной, неточной и неколичественной информацией, используемой при формировании и взвешивании сети показателей оценки качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Представляемый в данном пункте метод ориентирован на учет нечеткости вербальных суждений экспертов, задействованных в процедурах оценки качества указанных программных комплексов.

4.2.1. Нечеткий характер квалиметрической информации, получаемой от экспертов в вербальном виде

Базовым подходом к организации работы с экспертами, как главными и основными источниками входной или начальной квалиметрической информации о важности и значениях показателей качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, является следующая совокупность принципиальных положений [134]:

- при анализе качества программного комплекса эксперт имеет в своем сознании модель идеала (эталон) с которым он сравнивает анализируемую конкретную реализацию;

- суть измерения значения того или иного показателя качества ПК экспертом заключается в измерении степени совпадения имеемого качества по данному показателю у анализируемой реализации ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом с эталонной моделью этой реализации у него в сознании. Степень совпадения с идеальной моделью показывает уровень качества по данному показателю, что позволяет рассматривать каждое такое не инструментальное измерение как некоторое значение несовпадения (разницу):

$$\Delta Y_i = Y_i - Y_0, \quad (4.2.1.)$$

где Y_i – уровень проявления свойства у i -й реализации ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом;

Y_0 – эталонный уровень проявления свойства для ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

- выше приведенное понимание природы значений оценок качества получаемых от экспертов как по частным (элементарным) показателями, так и по интегральным (сводным) показателями на описанных ранее типах шкал позволяет использовать получаемые оценки более простых показателей в иерархии для расчета значений оценок более сложных, т.е. показателей вышестоящих уровней композиции иерархической сети показателей.

Следовательно, представленный подход к оценке элементарных показателей оценки качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом на основе их сравнения с аналогичными показателями некоторого эталона, которая в формализованном виде представляет собой некоторую идеальную модель значений многопараметрической оценки. Очевидно, что в таких условиях формирования значений показателей оценки они могут иметь только приближенный, качественный и нечеткий характер. Возможность перехода от качественных нечетких оценок к четким количественным оценкам, как известно, способен обеспечить математический аппарат теории нечетких множеств, и, в частности, применение моделей лингвистической переменной.

Под лингвистической переменной B^\wedge в работе понимается набор

$$B^\wedge = \langle \beta, F^\wedge(\beta), X^\wedge, G^\wedge, M^\wedge \rangle, \quad (4.2.2)$$

где β - имя лингвистической переменной;

$F^\wedge(\beta)$ - терм-множество лингвистической переменной β , т.е. множество лингвистических (вербальных) значений переменной β , причем каждое из этих значений является нечеткой переменной с областью определения X^\wedge ;

G^{\wedge} - синтаксическое правило (имеющее обычную форму грамматики), порождающее значения α^{\wedge} нечетких переменных вербальных значений лингвистической переменной β ($\alpha^{\wedge} \in F^{\wedge}(\beta)$);

M^{\wedge} - семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной $\alpha^{\wedge} \in F^{\wedge}(\beta)$ нечеткое множество.

Для построения лингвистической переменной B^{\wedge} , применительно к выше описанному подходу к оценке качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, шкала для непосредственного оценивания значений показателей качества преобразуется в непрерывную шкалу оценки совпадения альтернатив, в которой каждому граничному значению ставится в соответствие описание возможных значений термов лингвистической переменной $B^{\wedge} = \text{«совпадение с потенциальным значением показателя»}$. При этом предлагается оперировать при оценке элементарных показателей терминами, приведенными в таблице 4.2.1. В случае использования данного аппарата при непосредственном оценивании элементарных показателей экспертами, число экспертов может соответствовать числу специалистов, задействованных в мероприятиях проектирования и создания ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, если оценивание носит текущий характер, а может быть определено в соответствии с требованиями математико-статических методов экспертного опроса, если оценивание носит принципиальный, итоговый характер и требуется получить оценку результатов улучшения качества ПК большей объективности и достоверности, чем в первом случае.

На базе шкалы, представленной в таблице 4.2.1., графически задаются функции принадлежности нечетких множеств $\mu(u)$, описывающих значения лингвистической переменной $B^{\wedge} = \text{«совпадение с потенциальным значением показателя»}$. Для их построения использована известная и апробированная процедура построения функций принадлежности на основе экспертных оценок. Процедура подкрепляется результатами экспертно-статистического исследования и позволяет строить функции принадлежности μ_T^B термов B в

виде π -формы. Возможно использование других аналогичных методик построения функций принадлежности, включая μ_T^B с T -формой. Детальные аспекты построения функций принадлежности для термов лингвистической переменной являются предметом исследований соответствующего раздела теории нечетких множеств и инженерной психологии (психолингвистики), однако предлагаемый метод инвариантен к используемой методике построения функций принадлежности термов лингвистической переменной. В настоящей исследовании, на основании проведенных исследований и анализа экспертного опыта, признан приоритет использования π -формы функций принадлежности термов лингвистической переменной $B^\wedge = \text{“совпадение с потенциальным значением показателя”}$, как соответствующий более дифференциально-поступательному подходу в трактовке термов лингвистической переменной. Иными словами, использование π -формы функций принадлежности термов лингвистической переменной B^\wedge определяется тем, что эта форма обеспечивает наибольшую “осторожность” перехода от вербальных к числовым значениям B в силу выпуклого вниз характера экспоненциальной функции, использованной для построения μ_T^B

$$\mu_T^B(U) = \exp(-a(T-U)^2) \quad \text{при} \quad a = 4Ln \frac{0,5}{b^\wedge{}^2}, \quad (4.2.3)$$

где T – числовое значение терма для $\mu_T^B=1$ в соответствии со шкалой, приведенной в таблице 4.2.1;

a – коэффициент согласования;

b^\wedge - расстояние между точками перехода, т.е. точками, в которых функция вида (4.2.3) принимает значение 0,5.

Результаты расчета функций принадлежности термов лингвистической переменной B^\wedge (“совпадение с потенциальным значением показателя”) на основании (4.2.3) позволяют получить полную шкалу этой лингвистической переменной. Такая шкала позволяет перейти от вербальных оценок в первичной квалиметрической информации, получаемой от эксперта к нечетким числовым

их значениям, описываемых соответствующим числовым множеством и заданной на нем функцией принадлежности μ_T^B для каждого из термов.

Таблица 4.2.1 – Определение термов и их значений для лингвистической переменной B^\wedge

№ п/п	Терм	Значение при $\mu_T^B = 1$	Аналитический вид функции принадлежности терма	Сущность терма	Вербальные значения терма
1	Несовпадение	0	$\mu_T^B(U) = 1 - 2U$	Нет смысла сравнивать альтернативы, очевидное полное несовпадение	Несовпадение, несравнимость, несопоставимость, отсутствие соответствия
2	Слабое совпадение	1	$\mu_T^B(U) = e^{-13,1(1-U)^2}$	Совпадение альтернатив практически незаметно нет уверенности в нем	Малозаметно, слабое, неубедительное
3	Умеренное совпадение	3	$\mu_T^B(U) = e^{-1,46(1-U)^2}$	Опыт и суждения подтверждают легкое совпадение; существуют показания о совпадении, но показания недостаточно убедительны	Умеренное, легкое, недостаточно убедительное
4	Существенное или сильное совпадение	5	$\mu_T^B(U) = e^{-0,35(1-U)^2}$	Опыт и суждения подтверждают существенное (сильное) совпадение альтернатив, существуют хорошие доказательства и логические критерии, которые указывают на это	Существенное, сильное надежное
5	Значительное совпадение	7	$\mu_T^B(U) = e^{-0,27(1-U)^2}$	Совпадение настолько сильное, что оно становится практически значительным; существуют убедительные свидетельства совпадения альтернатив	Значительное, очень сильное, убедительное
6	Абсолютное совпадение	9	$\mu_T^B(U) = e^{-0,16(1-U)^2}$	Очевидность совпадения альтернатив подтверждается наиболее сильно; максимально подтверждается осязаемость совпадения; свидетельство в пользу совпадения в высшей степени убедительно	Абсолютное, максимальное, очевидное
7	Промежуточные значения между соседними значениями	2,4,6,8		Компромиссный случай	

При этом функции принадлежности термов переменной B^\wedge должны отвечать требованиям предъявляемым к лингвистическим переменным:

$$\mu_{T_1}^B(U_1) = 1; \quad \mu_{T_5}^B(U_5) = 9; \quad (4.2.4)$$

$$(\forall \beta^\wedge \in B^\wedge \setminus \{\beta^\wedge\}) \quad (0 < \sup_{u \in U} \mu_{T_i \cap T_{i+1}}^B(U) < 1); \quad (4.2.5)$$

$$(\forall \beta^{\wedge} \in B^{\wedge}) (u \in U) : (\mu_T^B(U) = 1); \quad (4.2.6)$$

$$(\forall B^{\wedge}) (u_1 \in R_1) (u_2 \in R_2) ((u \in U)(u_1 < u < u_2)). \quad (4.2.7)$$

Наличие шкалы оценивания, представленной в таблице 4.2.1, и соответствующей ей лингвистической переменной позволяет учесть нечеткость исходной информации в процессе оценки элементарных показателей качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Отсюда становится возможным оценивать результаты проектирования и создания ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом в условиях нечеткости исходной квалиметрической информации. Целью учета нечеткости исходной информации является адаптация методологического подхода к оценке реализаций ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом к качественному характеру и нечеткости оценок элементарных показателей путем отображения их в виде значений функции принадлежности $\mu_T^B(U)$ термов лингвистической переменной B^{\wedge} . Элементарные показатели оцениваются в соответствии со шкалой (0,9), представленной в таблице 4.2.1, в удобных терминах и переводятся программой интерпретации в соответствующие термы лингвистической переменной B^{\wedge} . Графически существо этого перевода поясняется рисунком 4.2.1.

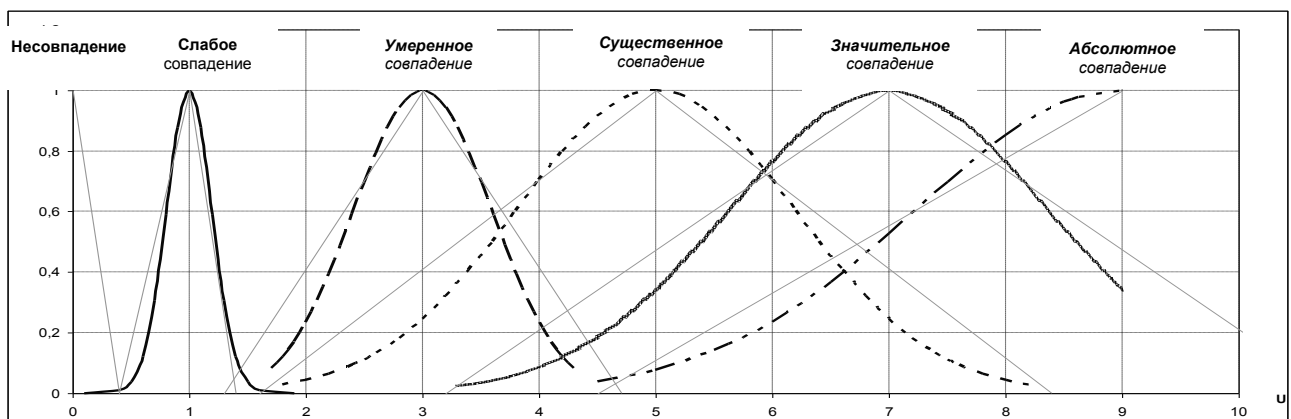


Рисунок 4.2.1 – Графическая интерпретация перевода вербальных оценок показателей в числовую форму через функции принадлежности термов лингвистической переменной B^{\wedge}

Значения оценок вышестоящих показателей рассчитываются в соответствии с (4.1.44) и учетом (4.2.3) по соответствующим значениям весов композиционного участия более простых показателей в составе более сложных (сводных) показателей качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. При этом функция принадлежности $\mu_T^B(U)$ вышестоящего в иерархии показателя рассчитывается в соответствии с правилами операций над нечеткими числами с использованием уровневых множеств. Использование этих операций предпочтительно в силу монотонного характера экспоненциальной функции, использованной для описания $\mu_T^B(U)$ в (4.2.3). π -форма функции принадлежности термов $\mu_T^B(U)$ содержит 2 участка одинаковой монотонности (возрастающий и убывающий), что позволяет каждый участок монотонности описать конечным числом M точек, при этом для каждого участка монотонности $\min M = 2$. Соответственно, при необходимости получения более точной формы функции принадлежности необходимо увеличивать значение M , до необходимой точности.

Сущность выполнения операций над нечеткими числами с использованием уровневых множеств применительно к рассматриваемой задаче сводится к следующему:

1) участки одинаковой монотонности функций принадлежности $\mu_T^{B1}(U), \dots, \mu_T^{B2}(U), \dots, \mu_T^{BN}(U)$ показателей $c_1 \dots c_i \dots c_N$ (где N – число показателей, участвующих в рассматриваемой декомпозиции сложного показателя c_0 с $\mu_T(z)$) описываются последовательностью точек

$$\left(\{u_1^1, u_1^2, \dots, u_1^i, \dots, u_1^M\}, \dots, \{u_j^1, u_j^2, \dots, u_j^i, \dots, u_j^M\}, \dots, \{u_N^1, u_N^2, \dots, u_N^i, \dots, u_N^M\} \right); \quad (4.2.8)$$

2) для соответствующих по монотонности участков функций принадлежности нечетких чисел оценки показателей, участвующих в декомпозиции c_0 , из точек удовлетворяющих условию

$$\mu_T^{B1}(u_1) = \mu_T^{B2}(u_2) = \dots = \mu_T^{BN}(u_N) \quad (4.2.9)$$

формируются уровневые множества U

$$U_i = \{u_1^i, \dots, u_j^i, \dots, u_N^i\} \quad (i = 1 \div M); \quad (4.2.10)$$

3) на базе каждого i -го уровневого множества, после умножения его элементов на соответствующий числовой вектор весовых коэффициентов композиционной значимости показателей оценки вида (4.1.41) рассчитывается поточечно функция принадлежности нечеткого числа оценки интегрального показателя C_0 , в соответствии с формулой

$$\mu_{\sum_{j=1}^N T_j}^N(z) = \sup_{z = \sum_{i=1}^N u_j^i} \min(\mu_T^{B^1}(u_1^i), \dots, \mu_T^{B^j}(u_j^i), \dots, \mu_T^{B^N}(u_N^i)) \quad \text{при} \quad \sum_{j=1}^N T_j = T' \quad (4.2.11)$$

Получаемые оценки сводных и интегральных показателей в иерархической сети G в виде нечетких чисел накладываются на шкалу лингвистической переменной B^\wedge и интерпретируются путем анализа итогового совпадения значения оценки с идеальным значением этого показателя в модели ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом в сознании эксперта. В данной работе в качестве допущения принято, что лингвистическая переменная $B^\wedge =$ “совпадение с потенциальным значением показателя” имеет одинаковые функции принадлежности описывающие ее значения для всех показателей сети G . Однако, на практике, при необходимости более “тонкого” анализа качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, на основании результатов быстрого прототипирования и предварительного анализа условий нечеткости, функции принадлежности термов B^\wedge для различных показателей в сети G могут быть рассчитаны на основе функций принадлежности термов B^\wedge для элементарных показателей в соответствии с назначениями, устанавливаемыми экспертом для каждой конкретной узко-специфической реализации указанных программных комплексов. Наличие совокупностей функций принадлежностей термов лингвистической переменной B^\wedge для каждого показателя c_i делает возможным интерпретировать получаемую оценку в виде нечеткого множества. Необходимо указать, что в силу узкой предметной привязанности назначений перехода предложить универсальную их форму не представляется возможным.

При анализе и интерпретации результатов оценки качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом в условиях недостаточности исходной квалиметрической информации, и прежде всего, нечеткости экспертных оценок элементарных показателей качества указанных комплексов, возможны два принципиальных случая наложения кривой функции принадлежности значения оценки на шкалу термов V^{\wedge} :

а) Когда следует сделать вывод, что по анализируемому показателю оценка лучше одного термина (Например, слабо совпадающего качества с идеальным, но хуже другого термина (Например, умеренно совпадающего), т.к. мерой выступают степень совпадения данного показателя с аналогичным у идеальной модели ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом).

б) Когда следует сделать вывод о значении оценки с соответствующей степенью принадлежности, как количественной характеристикой четкости этой информации. Так, например, может быть признано, что оценка по анализируемому показателю соответствует желаемой следующим образом:

$$V^{\wedge} = \{ \text{"значительно"}/0,8; \text{"абсолютно"}/0,4 \} \quad (4.2.12)$$

Резюмируя выше описанное можно перейти к выводам, что представленный логико-математический аппарат обработки нечетких экспертных оценок элементарных показателей качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом позволяет:

- принять решение об оценке результатов разработки ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом в условиях нечеткости исходной информации;

- обеспечить естественную качественную интерпретацию результатов количественного оценивания качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом в рамках принятой терминологической нотации термов лингвистической переменной “совпадение с потенциальным значением показателя”;

- количественно анализировать и учитывать степень нечеткости получаемых квалиметрических оценок;

- оперировать при работе с экспертами лингвистическими переменными, т.е. вербальными терминами, более доступными для употребления.

Основываясь на том, что цель разработки методологического подхода к оценке качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом заключалась в обосновании структуры и математической формы представления интегрального показателя оценки, разработке формализованных процедур обработки исходной качественной и нечеткой информации об значениях элементарных показателей по результатам экспертизы в целях четкой количественной оценки качества и недостатков соответствующих реализаций указанных ПК, следует сделать вывод, что сложность используемого математического аппарата, многошаговый характер процесса оценки, с одной стороны, и высокий уровень формализации всех этих процедур, с другой стороны, предопределяют необходимость создания соответствующих инструментальных программных средств для такой оценки. Разработанный же логико-математический аппарат представляет собой инструментарий, программная реализация которого обеспечивает автоматизацию оценки качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

4.3 Общая процедура оценки качества программных комплексов ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом

Методы оценки качества и репрезентации вербальных оценок показателей качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте при их практической реализации могут быть обобщены в составе единой процедуры оценки качества указанных ПК в условиях недостаточности исходной квалиметрической информации. Указанная недостаточность понимается как:

- нечисловой характер информации о важности показателей оценки и их значений (Это информация об «измерении», оценке параметра ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом на ординальной шкале. При этом слово "измерение" обозначает операцию, согласно которой измеряемым объектам приписываются некоторые упорядоченные градации по измеряемому показателю);

- неточность (Это информация об оценке параметра ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, выраженная в интервальном виде, а не в виде точечного значения. Как правило, она может быть представлена в виде системы равенств и неравенств);

- неполнота исходной квалиметрической информации о соотношении показателей оценки (Это информация, содержащая отрывочные данные об измерении параметра ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, т.е. не исчерпывающая описание состояния объекта оценки по данному показателю);

- нечеткость (Это информация непосредственного оценивания элементарных показателей экспертами в качественных или приближенных категориях).

В составе процедуры оценки качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом в условиях недостаточности исходной квалиметрической информации выделяют такую последовательность этапов:

1. Построение сети показателей оценки качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, ее взвешивание и определение конкретизированной формы интегрального критерия оценки. В том числе:

- 1.1. Шкалирование и построение областей значений частных показателей оценки;
 - 1.2. Рандомизация и оценка композиционных весов частных показателей в составе сводных показателей в условиях недостаточности исходной информации;
 - 1.3. Генерализация процедуры расчета сводных и интегрального показателей качества анализируемых реализаций исследуемых ПК.
 2. Получение вербальных значений по элементарным показателям качества и их репрезентация в нечеткие значения термов лингвистических переменных. В том числе:
 - 2.1. Выбор формы представления термов лингвистической переменной «совпадение с потенциальным качеством»;
 - 2.2. Аналитический расчет нечетких значений термов указанной лингвистической переменной;
 - 2.3. Интерпретация вербальных значений оценок в единицах нечеткой шкалы значений термов лингвистической переменной;
 - 2.4. Использование аппарата уровневых множеств для определения формы сводных и интегрального критерия в условиях нечеткости оценок качества;
 3. Проведение расчета значений сводных и интегрального показателей качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом и формирование матрицы указанных значений;
 4. Сравнительный анализ с целью ранжирования анализируемого ансамбля реализаций ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, определение приоритетного варианта реализации по назначенному перечню показателей;
 5. Исследование возможных аномалий в развитии программного кода выбранного варианта реализации ПК, выбор путей и способов улучшения качества этого варианта ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.
- Существо описанной общей процедуры оценки в графическом виде показано на рисунке 4.3.1.

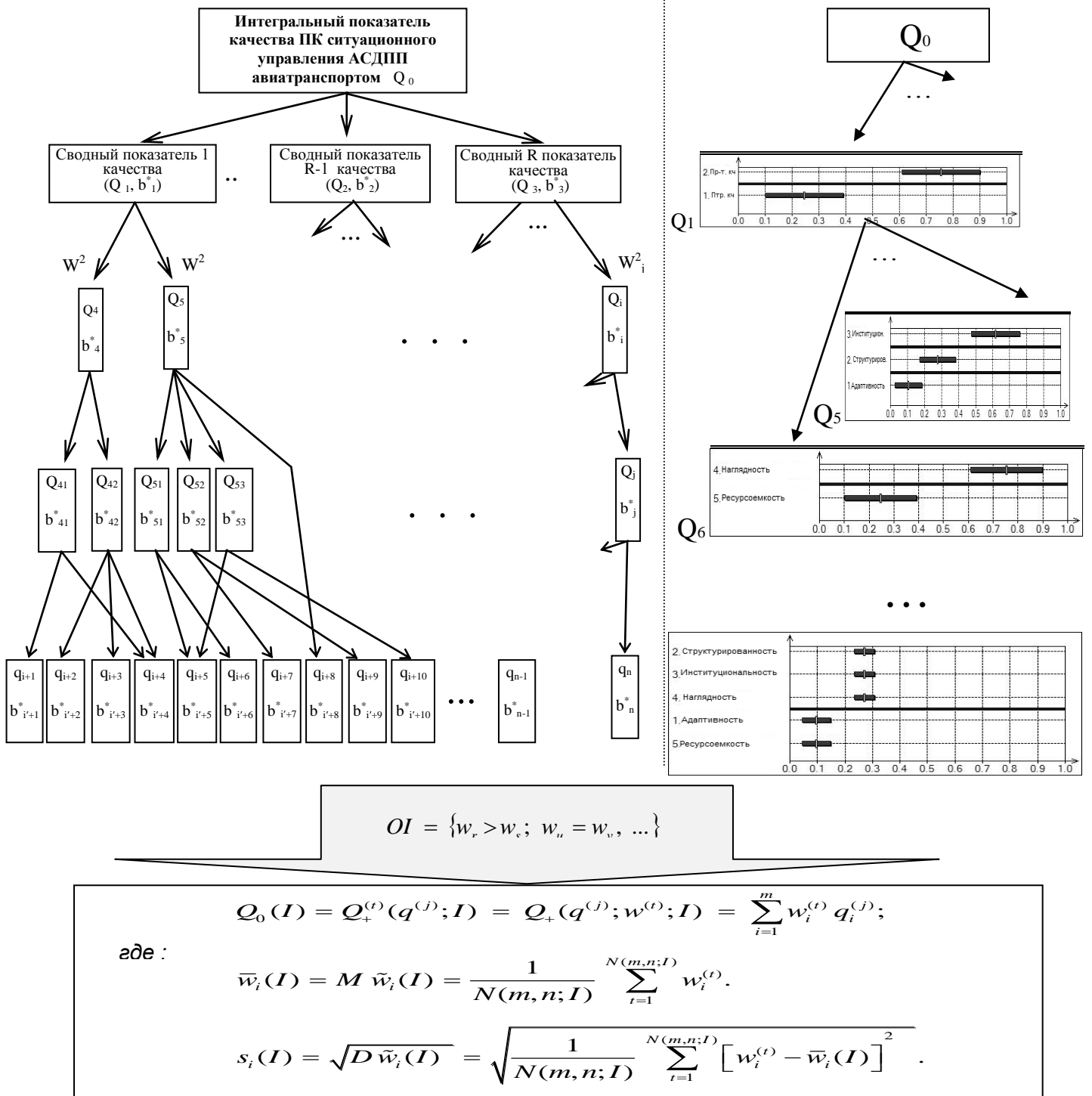


Рисунок 4.3.1 – Существо общей процедуры оценки качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом в условиях недостаточности исходной квалиметрической информации

4.4 Выводы по четвертой главе

1. При создании ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом значениями оценок качества по элементарным показателям, как правило, выступают не столько данные измерений от инструментальных процедур, сколько данные экспертизы от специалистов-экспертов. Для последних свойственна нечеткость, неполнота, неточность и выражение в нечисловой форме. Эта особенность входной квалиметрической информации для оценки ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом требует задания соответствующей математической формы критерия оценки - свертки частных показателей в сводные и в интегральный.

2. Учет недостаточности входной квалиметрической информации при оценке ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, ведет к тому, что частные показатели из единой системы качества оцениваются на базе шкал различных типов. Это значит, что численные оценки таких частных показателей задаются на разных алгебраических множествах. Это, в свою очередь, предъявляет особые требования шкалированию результатов т.н. нечисловых измерений и учету их релевантности.

3. Применение научно-методического аппарата рандомизации сводных показателей в условиях недостаточности входной квалиметрической информации при линейно-аддитивной форме целевой функции оценки обеспечивает необходимое комплексирование шкалирования показателей оценки различных типов и механизмов их свертки. Это тот конструктив, который позволяет использовать разработанный метод в условиях недостаточности входной информации при оценке ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

4. Преобразования $\varphi_i(q_i)$, $i = 1, \dots, m$, сохраняющие отношения между градациями показателей, для частных показателей q_1, \dots, q_m являются допустимыми по отношению к интегральному показателю $Q(q_1, \dots, q_m; w)$, т.е. сохраняющими отношение нестрогого порядка \geq между градациями качества,

измеряемого этим интегральным показателем. (Сводные показатели, которые удовлетворяют условию монотонности, являются адекватными относительно монотонных преобразований значений частных показателей).

5. Стохастический аппарат рандомизации приоритетов доминирования показателей в сводных показателях или, иными словами, весов показателей при оценке качества ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом дает возможность обрабатывать входную квалиметрическую нечисловую, неточную и неполную информацию о композиционной важности частных показателей, что делает предлагаемый метод оценки качества эффективным средством построения сводных показателей оценки качества выше указанных комплексов.

6. Проведенное обоснование возможности использования аппарата шкалирования частных и рандомизации сводных показателей в условиях входной информационной недостаточности для оценки ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом позволило полно детализировать метод оценки качества указанных комплексов. Объективным ограничением разработанного метода оценки качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте является размерность применяемой системы показателей, т.к. мультипликативный характер учета дисперсии весов не позволяет работать с иерархиями показателей с числом уровней 4 и более, и числом показателей на одном уровне превышающем 20.

7. Существо метода репрезентации вербальных оценок показателей качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте заключается в представлении нечетких вербальных суждений экспертов о значениях частных показателей оценки в виде нечетких чисел термов соответствующей лингвистической переменной, процедур пересчета этих нечетких чисел в значения сводных и интегральных показателей качества и механизме предметной интерпретации результатов такого расчета.

Глава 5. Методы улучшения качества программных комплексов ситуационного управления на авиатранспорте

5.1 Метод повышения надежности программных комплексов диспетчеризации за счет механизмов повторного использования кода

5.1.1 Обоснование структуры и конструктивного существа метода

Прикладное программное обеспечение, реализуемое в современных ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, характеризуется ориентацией и соответственно реализацией сложных математических моделей, являющихся алгоритмическим представлением реальных физических процессов. Нередко, реальные задачи, решение которых необходимо реализовать в ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, находятся на стыке нескольких областей знаний, что существенно осложняет процесс математического описания и соответственно программной реализации подобных задач. Кроме этого, многие логико-математические модели строятся на алгебраических формулах, требующих применения различных методов вычислительной математики для возможности получения по ним численных расчетов, что требует нетривиальных знаний методов вычислительной математики, достигаемых ими точности и трудоемкости вычислений, что имеет решающее значение при программной реализации подобных математических моделей [16,84]. То есть, прикладное программное обеспечение ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом строится в большей степени на наукоемких областях знаний, и соответственно и само является наукоемким.

Создание программного обеспечения в интересах ситуационного управления авиатранспортом заключается не только в программной реализации сложных прикладных функций, позволяющих реализовать необходимую функциональность, но и в разработке многочисленных программных

механизмов, отвечающих за надежность и корректность вычислительного процесса, удобный интерфейс пользователя, целесообразное использование вычислительных ресурсов, обеспечение взаимодействия различных программ в рамках единого процесса, обмен между ними информацией и сообщениями т.д., что, как правило, требует от разработчика ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом фундаментальных знаний в прикладной предметной области. При этом программная реализация непосредственных математических моделей, как правило, подразумевает наличие существенных знаний в соответствующих прикладных теориях, что в принципе, в настоящее время, невозможно требовать от разработчиков программного обеспечения. Сложившаяся на сегодняшний день практика разработки программного обеспечения требует разграничения сфер ответственности в процессе создания программной продукции. Т.е. разработчики программного обеспечения должны в первую очередь отвечать за реализацию общих программных механизмов, обеспечивающих корректное поведение программы в рамках соответствующей операционной системы, а также корректное взаимодействие программных блоков между собой. При этом задача создания программных алгоритмов СУ, реализующих требуемые логико-математические модели, выносится в отдельную задачу, которая должна выполняться разработчиками при тесном взаимодействии с соответствующими специалистами в конкретных прикладных областях знаний. Высокая трудоемкость и наукоемкость данного процесса, а также необходимость обеспечения взаимодействия специалистов в различных областях знаний приводит к большим затратам на данный процесс. Поэтому именно здесь, в первую очередь, необходимо использовать механизм повторного использования уже ранее разработанного и верифицированного программного кода, как создание и использование баз и библиотек готовых программных компонентов. Иными словами, процесс создания программных комплексов СУ для АСДПП авиатранспортом, с применением любого из существующих на сегодняшний день подходов к проектированию и созданию программной продукции является чрезвычайно сложным и трудоемким

процессом и несмотря на то, что новые подходы к программированию позволяют, с одной стороны, существенно повышать эффективность разработки программной продукции, с другой стороны, постоянно возрастающие требования к функциональной сложности, возможностям межпрограммного взаимодействия, эргономичности и т.д. указанных ПК требуют все более длительных сроков их разработки. Применительно к ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, можно отметить постоянно возрастающие требования как к количеству, так и к качеству решаемых ими задач, что приводит к необходимости разработки более сложных, точных и оптимизированных алгоритмов расчета, учета большого количества дополнительных факторов, обеспечения межзадачного взаимодействия, обеспечения стандартного формата данных и многого другого.

В целях снижения временных затрат на разработку программной продукции, с момента появления первых подходов к программированию, стали использоваться и развиваться так называемые механизмы повторно используемого кода [12, 13, 19, 38, 50]. Сущность этих механизмов состоит в идее, повторного использования в новых разработках ранее созданного программного кода. Т.е., например, если уже ранее выполнялась задача расчета основных радиолокационных характеристик среды для вычисления оценки дальности радиолокационного обнаружения летящих бортов РЛС в зоне посадки, то данный программный код может быть повторно использован и для вычисления дальности радиолокационного обнаружения низколетящих маломерной авиации наземными РЛС. Таким образом, повторное использование кода, часто может обеспечить существенное снижение трудоемкости процесса создания нового программного обеспечения, а так же значительный рост верифицированности и надежности ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, как программных изделий.

В настоящее время к механизмам повторно используемого кода относят базы или библиотеки функций, процедур, классов, объектов и агентов. Для обозначения более общей категории, терминологически объединяющей выше

указанные базы и библиотеки, в работе введен термин «базы программных компонент». Первоначально базы (библиотеки) функций и процедур обязаны своим появлением развитию структурного подхода в программировании. При этом функция, в широком смысле, представляет собой программную реализацию некоторой необходимой функциональности, которая может иметь на входе один или несколько параметров, а на выходе только один параметр. А процедура, в отличие от функции, может иметь на выходе несколько параметров. При этом, функции являются самыми элементарными механизмами повторно используемого кода, на которых в свою очередь могут строиться процедуры и другие программные механизмы. Базы функций и процедур в настоящее время очень широко используются при разработке программного обеспечения в любой методологии программирования и поэтому, практически все известные среды разработки программного обеспечения, содержат в своем составе базы, например, строковых, элементарных математических, статистических и других процедур, и функций.

Базы или библиотеки классов и объектов, появились благодаря развитию объектно-ориентированного подхода в программировании. При этом, классы, в отличие от функций и процедур являются несравнимо более сложными программными механизмами, позволяющими аккумулировать в себе не только требуемую функциональность, которая реализуется через так называемые методы классов, но и позволяют хранить данные, необходимые для описания классов. Поэтому классы являются иерархически более высокоуровневыми программными элементами, что позволяет с одной стороны более эффективно на основе их применения разрабатывать новое программное обеспечение, с другой стороны они требуют существенных затрат на свою непосредственную реализацию.

Базы классов, как и базы функций и процедур, также в настоящее время широко используются при разработке ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. В частности, сегодня любая объектно-ориентированная среда разработки ПО содержит в своем составе разнообразные базы классов (они же

палитры компонент), реализующих различные программные механизмы, необходимые при разработке программ. Базы объектов, под которыми понимаются визуальные и невизуальные компоненты различной реализации, ActiveX объекты, а также объекты в кросс-платформенной реализации, являются непосредственным развитием классов и нередко создаются именно на их основе. Базы объектов – это целый ряд разноуровневых программных механизмов различного назначения, от обеспечения возможности визуализации задания свойств экземпляров классов в средах разработки, до обеспечения механизмов межпрограммного взаимодействия в рамках как единых, так и гетерогенных сред. Все объектно-ориентированные среды разработки программного обеспечения содержат в своем составе ряд типичных визуальных и невизуальных компонентов и Active X объектов, которые позволяют существенно повышать надежность и снижать временные затраты в первую очередь на реализацию интерфейсных элементов программных решений, а также целого ряда необходимых внутренних механизмов для реализации практически любого программного решения.

Базы агентов, соответственно, представляют собой совокупность реализованных агентов, различной функциональности. Новизна данного подхода, сложность реализуемых в агентах методов интеллектуальной обработки данных еще не привела к достаточно широкому распространению и использованию агентов при создании ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Однако, перспективность и реализуемость многоагентного подхода позволяют заключить, что он так же развивается на основе использования механизмов повторно используемого кода, а именно баз программных компонент.

Наличие и применение, рассмотренных выше, механизмов повторно используемого кода, при их адаптации и соответствующей реализации в интересах разработки прикладного программного обеспечения, способно существенно повысить эффективность, надежность, качество разработки и сопровождения ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

Данные механизмы позволяют и, в первую очередь, их необходимо применять для реализации наукоемкой составляющей ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Т.е. все прикладные математические формулы и соответствующие алгоритмы вычислений необходимо реализовать в виде баз программных функций, процедур, классов, объектов и т.д., что позволит:

- во-первых, создать базу программных компонент пригодных для решения большого множества прикладных задач и тем самым обеспечить возможность их повторного применения при разработке и сопровождении как существующего, так и вновь разрабатываемого прикладного программного обеспечения ситуационного управления АСДПП авиатранспортом;

- во-вторых, позволит разработчикам ПК СУ основные усилия сосредоточить на реализации внутренних программных решений, а не на реализацию сложных прикладных расчетов, которые чрезвычайно трудоемки и в которых они не являются специалистами;

- добиться значительного повышения надежности разрабатываемого ПО, за счет использования в его составе уже отлаженных и апробированных компонент, снижения вероятности возникновения ошибок за счет «крупно блочного» характера разработки ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

Таким образом, создание и широкое применение баз программных компонентов, на основе механизмов повторно используемого кода в технологическом процессе создания ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом обеспечивает:

- надежность, унификацию и стандартизацию разрабатываемого прикладного программного обеспечения для ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом;
- повышение эффективности разработки и сопровождения ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, за счет снижения

временных затрат на непосредственное кодирование, тестирование и отладку ПО.

Метод повышения надежности ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом за счет механизмов повторного использования кода разработан в рамках диссертационного исследования как совокупность соответствующей модели разработки, накопления и использования соответствующих баз программных компонент, а так же описания согласующейся методики разработки таких баз. Указанная модель, дающая обобщенное представление о существе метода в целом, показана на рисунке 5.1.1.

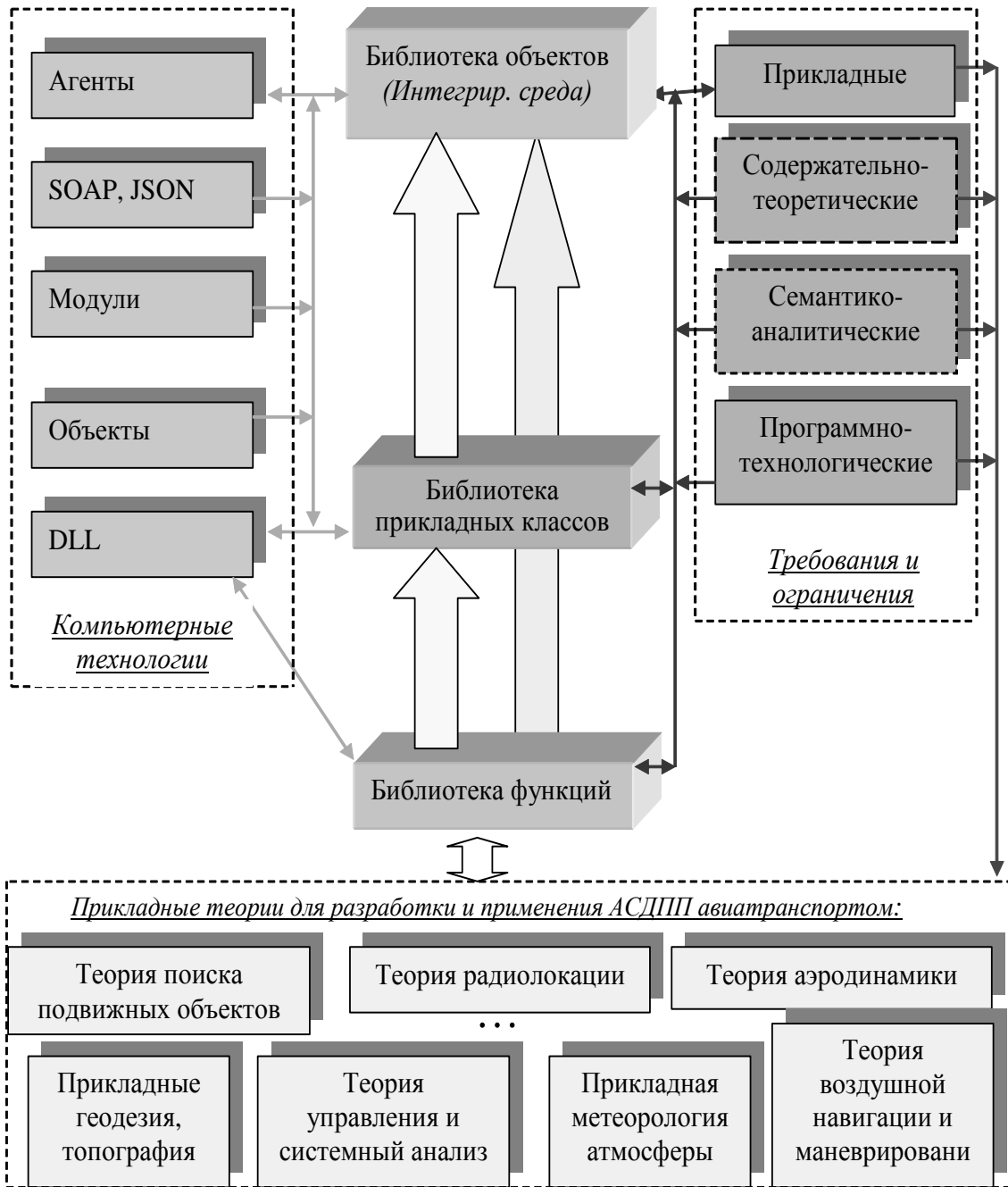


Рисунок 5.1.1 – Структура и конструктивное существа метода повышения надежности ПК СУ АСДПП за счет механизмов повторного использования кода

5.1.2 Базы программных компонент повторного использования кода как основа обеспечения надежности и эффективности разработки ПК

Сама идея необходимости разработки баз программных компонент повторного использования кода, и в частности, библиотек функций для различных областей прикладных знаний в интересах создания программного обеспечения различного уровня в настоящее время не вызывает сомнений. Это связано с тем, что подобные библиотеки являются наиболее доступным и в тоже время общепринятым способом повторного использования кода, что в свою очередь, позволяет повышать надежность и эффективность разработки нового программного обеспечения за счет снижения временных затрат на непосредственное кодирование, тестирование и отладку программных продуктов [11-13,38]. Прежде всего, использование библиотек функций и других видов баз программных компонент повторного использования кода приводит к повышению надежности вновь создаваемого программного обеспечения [37,50], что является исключительно важным показателем, особенно для ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

Наблюдаемое за последнее время достаточно бурное развитие вычислительной техники и на этом фоне не менее стремительное развитие методологий программирования, нисколько не уменьшило потребности разработчиков ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом в библиотеках функций, как в одном из основных механизмов повторного использования кода.

Эту потребность в самых общих случаях снимают средства разработки программного обеспечения, имеющие в своем составе наиболее часто используемые библиотеки, например, математических, статистических, строковых и других функций. Но потребность в непосредственно прикладных функциях, т.е. функциях реализующих, как правило, алгебраические формулы прикладных областей знаний, необходимых при реализации ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом (например, таких как: радиолокации,

аэродинамики, метеорологии, геодезии и т.д.), до сих пор остается неудовлетворенной. Следует также заметить, что появление новых методологий программирования и новых механизмов повторного использования кода, ни в коей мере не снижают интереса к библиотекам функций. Например, в получившем широкое развитие объектно-ориентированном программировании, парадигма которого основывается на использовании объектов, как экземпляров классов, функциональность которых, в свою очередь обеспечивается описанием соответствующих методов, непосредственная реализация последних, нередко выполняется на базе все тех же библиотек функций. Кроме этого, и сами функции продолжают использоваться в «чистом» виде в объектно-ориентированных языках. Несмотря на развитие методологий программирования, непосредственное представление библиотек функций еще со времен структурного программирования практически не изменилось [84]. Общепринятым представлением таких библиотек является набор исходных листингов, реализующих некоторое множество, как правило, взаимосвязанных функций некоторой предметной области и сопроводительная документация к ним. Как такового стандарта на представление листингов и документации не существует, поэтому конкретная реализация библиотек зависит во многом от конкретных разработчиков. Современные возможности языков программирования, непосредственно отразившись в программных реализациях вновь создаваемых прикладных функций, практически не повлияли на представления соответствующих библиотек, если не брать в расчет ныне принятое представление документации в электронном виде: например, таком как формат Windows Help, или же форматы Compiled HTML и HTML. Не появился до сих пор и стандарт на программно-функциональное представление библиотек функций, хотя по умолчанию в качестве одного выступает реализация библиотек, применяющаяся в средах программирования.

Сложность ситуации состоит в том, что существующие стандарты на разработку программной продукции, не принято использовать при разработке

библиотек функций, т.к. библиотеки функций не выступают в роли конечного продукта. Они используются внутри средств разработки, и их отдельная стандартизация до сих пор также не являлась принципиальной. С другой стороны, использование, общепринятого подхода к представлению библиотек функций, реализующих сложные математические зависимости прикладных областей человеческих знаний, в том числе и в области диспетчеризации пространственных процессов, далеко не всегда может быть оправдано. Это связано с достаточной сложностью большинства областей человеческих знаний. При этом текстовое описание подобных функций, которое используется в документации к библиотекам, далеко не всегда может быть полным.

Таким образом, исходные листинги и документация не могут качественно служить информативно-емким и полным описанием для библиотек прикладных функций. Требуется новая форма представления библиотек функций, с учетом возможностей современных языков программирования, требований настоящего времени и потребностей разработчиков. Актуальной данная задача является и при разработке ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

Действительно, прикладное программное обеспечение, применяемое в ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом должно обладать как минимум улучшенными надежностными характеристиками. Ведь от его функционирования, во многом зависит как эффективность воздушного движения, так и безопасность воздушных судов в условиях объективной противоречивости диспетчеризируемых пространственных процессов. И здесь, без использования надежных, однозначно описанных библиотек прикладных функций обойтись невозможно. Это положение в полной мере соответствует требованиям существующей нормативной базе системы технического регулирования в РФ, представленной в соответствующих ГОСТах [29,30,32-34] и отраслевых стандартах. Перед разработчиками, использующими такие базы программных компонент как библиотеки функций, всегда остро стоит проблема их изначальной надежности (корректности), т.е. отсутствия ошибок

реализации, соответствия заявленному назначению и т.д. Данная проблема традиционно снимается в большей мере организационными мерами, как например, в фонде алгоритмов и программ, где каждая задача проверяется соответствующей комиссией, и включение ее в фонд происходит только на основании соответствующего приказа, так и путем представления исходных кодов функций, где задача проверки корректности ложится на разработчиков, что требует определенных затрат времени. Следует отметить, что в настоящее время, именно предоставление исходных кодов, является общепринятым способом «гарантии» корректной программной реализации, т.к. только прозрачное тестирование и визуальная проверка кодов может гарантировать корректную работу любой программной реализации компоненты для ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

Так же прикладным функциям, как готовым компонентам программного кода, присуща такая проблема, как недостаточно четкое логико-математическое описание области определения функции с одной стороны, а с другой стороны явное описание области определения функции в программной реализации. Нарушение этого принципа приводит к огромному количеству ошибок при синтезе программного кода для ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом на основе баз программных компонент. Эта ситуация, как правило, усугубляется тем, что невозможно требовать от разработчиков программной продукции существенных знаний по прикладным теориям, в интересах которых создается программное обеспечение СУ АСДПП. Помимо вышесказанного существующим библиотекам функций присущи и свои внутренние недостатки: отсутствие автоматизированных механизмов тестирования функций, одновариантность представления функций (т.е. реализация на одном языке программирования) и отсутствие удобных механизмов поиска, а так же некоторые другие.

Исходя из вышесказанного, в рамках разработанного метода повышения надежности ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом за счет механизмов повторного использования кода предлагается новая визуальная

форма представления библиотек функций в виде единой программной оболочки, которая позволяет:

- отображать список всех реализованных в библиотеке функций;
- отображать для каждой функции ее математическую формулу, список входящих аргументов с указанием их названия, размерности;
- непосредственно в программной оболочке выполнять расчет любой из реализованных в библиотеке функций, как со значениями по умолчанию, так и с любыми введенными пользователем значениями;
- представлять, как график функции строящийся по умолчанию с соответствующими значениями аргументов, так и график, строящийся относительно любого заданного аргумента функции с произвольными значениями;
- представлять текстовое описание функций в формате Windows Help, которое должно содержать: полное название функции, область ее применения, список аргументов, размерность, ограничения применения, математическую формулу функции, особенности программной реализации, ссылку на первоисточник, контрольные примеры использования и т.д.;
- представлять листинг любой реализованной функции с комментариями на двух и более языках программирования по выбору пользователя.

Подобное визуальное представление библиотек прикладных функций способно достаточно полно удовлетворить потребности разработчиков и руководителей проектов при создании и сопровождении программного обеспечения для ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. При этом использование визуальных библиотек функций способно обеспечить повышение прежде всего надежностных характеристик разрабатываемого на их основе программного обеспечения.

5.1.3. Основные этапы метода

1. В рамках предлагаемого метода повышения надежности ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом за счет механизмов повторного использования кода предполагается, что объектно-ориентированный анализ и проектирование баз программных компонент, таких как визуальные библиотеки прикладных функций, осуществляется с использованием визуальных средств унифицированного языка моделирования UML. Отличительной особенностью данного подхода является создание в процессе анализа и проектирования визуальных моделей разрабатываемого программного продукта на языке UML, которые обладают высокой семантической насыщенностью. К моменту начала создания любого ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом разработчики должны наиболее полно изучить частные требования, выдвигаемые заказчиками к создаваемой системе. В течение длительного времени в процессе как объектно-ориентированной, так и традиционной разработки программного обеспечения применялись типичные сценарии, позволяющие разработчикам лучше понять требования к системе. Однако эти сценарии обычно трактовались весьма неформально – их почти всегда использовали, но редко документировали. Эта ситуация была изменена в программно-технологическом подходе Objectory [59,84]. Сценариям, которые в нем стали называть вариантами использования, была придана такая значимость, что, они превратились в один из основных элементов анализа и планирования проекта ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. В данном случае, вариант использования – это типичное взаимодействие пользователя с компьютерной системой. Нотация, используемая в UML, корни которой в том числе прослеживаются от программно-технологического подхода Objectory, позволяет удобно и с большой степенью детализации применять варианты использования для описания требований к системе. На рисунке 5.1.2. представлена диаграмма основных вариантов использования типовой визуальной библиотеки функций,

в соответствии с представленными ранее требованиями к функциональности данной программной реализации.



Рисунок 5.1.2 – UML-диаграмма вариантов использования библиотеки функций

При создании диаграмм вариантов использования принято делать упор на представление в них специфических задач пользователя (в данном случае разработчика ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом), что продемонстрировано на данном рисунке. В некоторых случаях полезно представлять на подобных диаграммах не задачи пользователя, а системные взаимодействия, которые отражают, каким образом система должна выполнять пользовательские задачи. Каждый вариант использования дополнен текстовым описанием, называемым потоком событий, в котором в стандартном виде описаны события, их взаимосвязь, вызываемые реализацией задач пользователя.

1. На втором этапе производится описание в UML-нотации модели потока событий для всех вариантов использования. Далее приведен, в качестве примера, стандартный формат описания модели потока событий для одного из вариантов использования, а именно модель потока событий варианта использования «Выбрать функцию». Кратко описание этой модели заключается в следующей констатации - Позволяет пользователю выбрать необходимую ему функцию, по ее названию, из раскрывающегося списка доступных функций.

Для неё основной поток событий следующий: Вариант использования начинается, когда пользователь выбирает из предлагаемого раскрывающегося списка название конкретной функции. При выборе пользователем функции - отображается ее математическая формула, список входящих в функцию аргументов, к каждому из аргументов прилагается строка ввода, в которую занесено одно из допустимых значений аргумента. При этом альтернативных потоков событий не предполагается.

Представление требований к базе программных компонент в подобном виде позволяет уже на этапах анализа и проектирования не только учесть предъявляемые к ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом требования, но и выработать конкретные варианты их реализации.

Рассмотренная выше диаграмма вариантов использования отражает наиболее высокий уровень абстракции, принимаемый в проекте, для представления задач пользователя. Для более низких уровней задач также используются диаграммы вариантов использования, задача которых состоит в раскрытии сущностей вариантов использования верхнего уровня. Таким образом, создается иерархическая структура вариантов требуемой степени детализации. В частности, в рассматриваемом примере следующие диаграммы на рисунках 5.1.3. и 5.1.4. раскрывают сущность вариантов использования «Построить график функции (произвольный)» и «Получить листинг функции».



Рисунок 5.1.3 – UML-диаграмма вариантов использования «Просмотреть график функции (произвольной)»

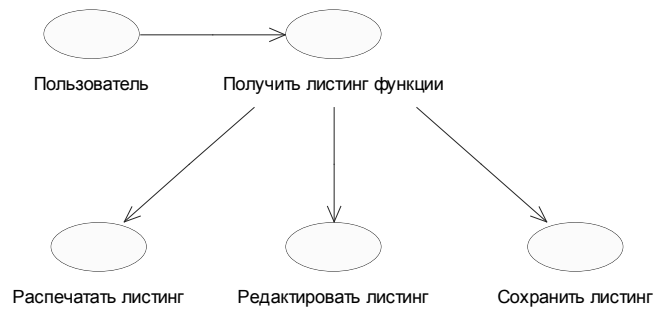


Рисунок 5.1.4 – UML-диаграмма вариантов использования «Получить листинг функции»

2. На основании данных из диаграмм вариантов использования осуществляется конструирование основных функциональных блоков разрабатываемой базы программных компонент для синтеза ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. То есть диаграммы вариантов использования дают необходимую информацию для дальнейшего анализа и проектирования. Подобное конструирование позволяет легко проследить не только назначение, но и взаимодействие программных блоков. Для этого конструирования использованы диаграммы последовательностей языка UML, которые представляют собой модели взаимодействия элементов программной реализации проекта. В рамках предлагаемого метода принято для каждого потока варианта использования формировать соответствующую диаграмму последовательностей. Например, для потока событий «Расчитать функцию» разработана следующая диаграмма последовательностей, которая изображена на рисунке 5.1.5.

3. Преимущество применения диаграмм последовательностей состоит в возможности выбора любого приемлемого уровня абстракции. Это проиллюстрировано на рисунке 5.1.6, на котором представлена модель той же диаграммы последовательностей для потока событий «Расчитать функцию», но выполненная на уровне абстракции этапа проектирования, который выполняется непосредственно перед началом программной реализации

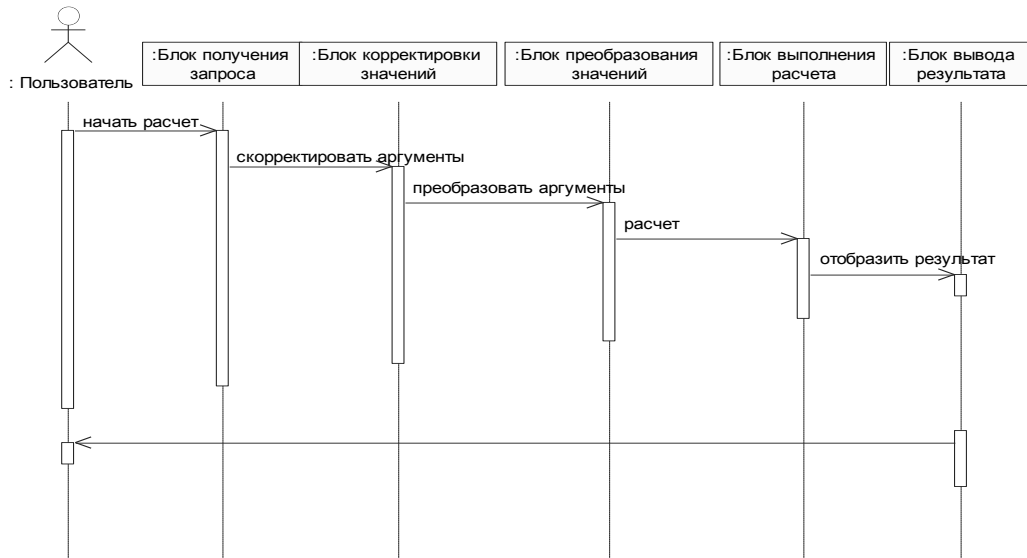


Рисунок 5.1.5 – Пример UML-диаграммы последовательностей потока событий

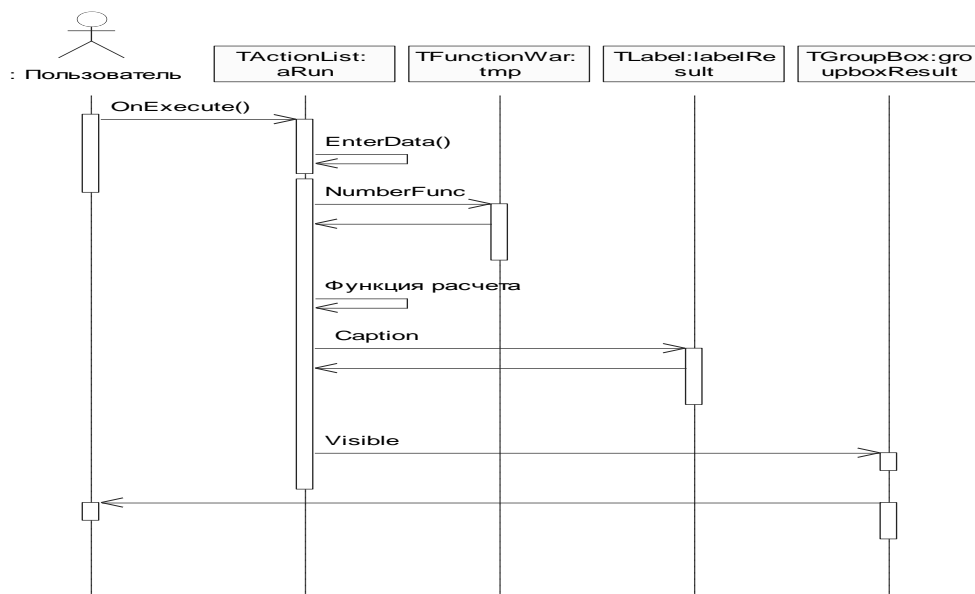


Рисунок 5.1.6 – Пример UML-диаграммы последовательностей потока событий на уровне программной реализации

Чем ниже уровень абстракции разработок диаграмм, тем более трудно восприимчивыми они становятся, что соответствует принципам объектно-ориентированного анализа и проектирования ПО. Именно в этом и проявляется универсальность данного подхода. Диаграммы высокого уровня абстракции служат в первую очередь для диалога с заказчиком, а диаграммы низкого

уровня – для диалога внутри разработчиков. Следует отметить, что, как правило, на диаграммах UML не показываются все реально используемые или присутствующие блоки, классы, объекты, связи, сущности и т.д. Это чрезвычайно сильно перегружает диаграммы и соответственно ухудшает качество их восприятия. Поэтому на диаграммах принято отображать только наиболее существенные элементы, обеспечивающие раскрытие сущности соответствующих программных процессов.

4. Центральным звеном по существу всех объектно-ориентированных методов являются диаграммы классов, что показано в [13,19,43,84]. Диаграммы классов используются для отображения типов объектов программной реализации и различного рода статических связей, которые существуют между данными объектами. Кроме этого, диаграммы классов способны отображать атрибуты классов, операции и ограничения, которые накладываются на связи между объектами.

Непосредственное проектирование классов начинается, в рамках предлагаемого метода, с наиболее высокого уровня абстракции, на котором удобно посредством диаграмм классов представлять словарь предметной области, при этом определяются имена, атрибуты, операции и обязанности классов. Исходя из вышесказанного, можно представить следующую диаграмму классов, раскрывающую схему обязанностей основных классов рассматриваемой в качестве примера визуальной библиотеки функций, как типового варианта базы программных компонент повторно используемого кода. Пример показан на рисунке 5.1.7.

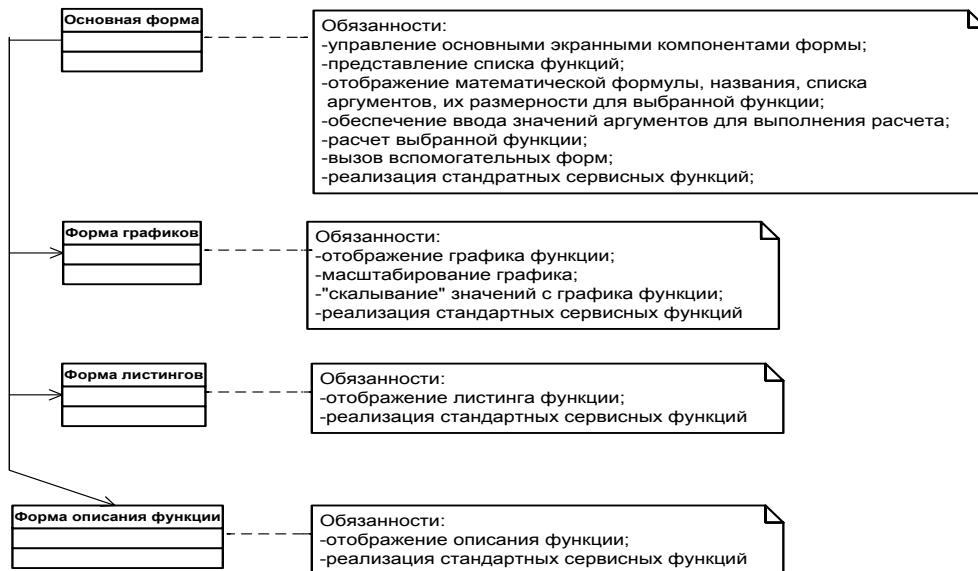


Рисунок 5.1.7 – Пример схемы обязанностей классов основной формы визуального представления библиотек функций для наибольшего уровня абстракции

Переход на ниже стоящий уровень иерархии классов позволяет таким же образом представить обязанности и названия классов, входящих непосредственно в каждую из экранных форм. Таким образом, схема обязанностей основных классов основной экранной формы рассматриваемого примера приобретает вид изображённый диаграммой представленной на рисунке 5.1.8.

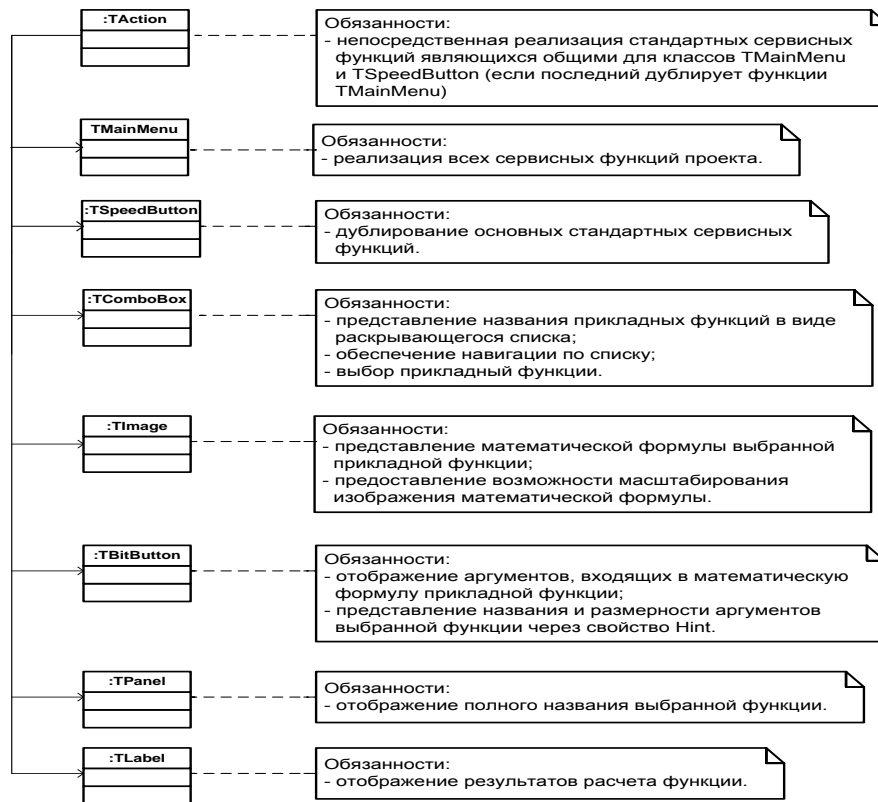


Рисунок 5.1.8 – Схема обязанностей классов основной формы программной реализации

В данном случае названия классов уже привязаны к конкретной программной реализации, что с одной стороны несколько затрудняет ее чтение, но с другой стороны более удобно при переходе к непосредственной программной реализации. Диаграммы классов, являются видом статических диаграмм, и их применение удобно при пояснении статических связей в проектируемой базе программных компонент для синтеза, развития и сопровождения ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Наиболее важную роль в данной программной реализации несет на себе класс *TFunction*, реализованный в модуле *DescriptFunc*, диаграмма классов которого представлена на рисунке 5.1.9. Данный модуль предназначен для описания функций непосредственно реализуемых в проекте ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, а так же в отдельных его подпроектах, т.е. в самостоятельных программных компонентах и включаемых подкомплексах, состоящих из программных компонент и других комплексов.

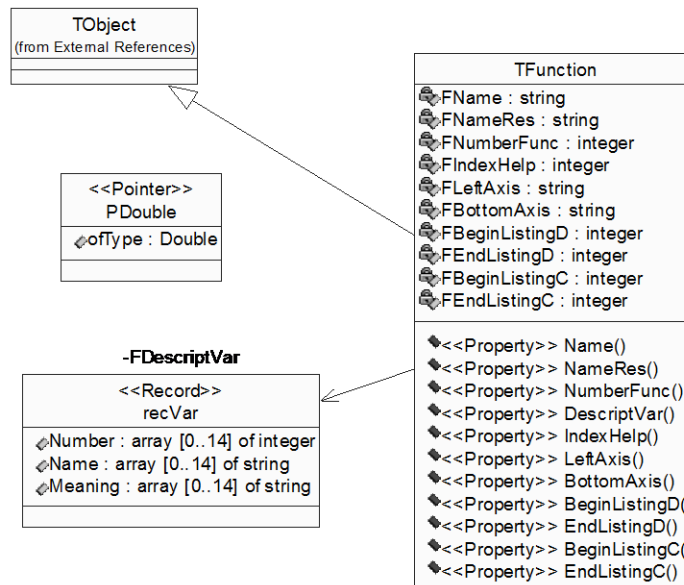


Рисунок 5.1.9 – UML-диаграмма классов модуля DescriptFunc

При проектировании визуальной библиотеки функций для синтеза, развития и сопровождения ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом объективно возникает задача хранения необходимой информации для представления реализованных прикладных функций. В качестве решения данной проблемы разработан пользовательский класс *TFunction*, реализованный на базе класса *TObject*. Класс *TFunction* является специализированным элементом, т.н. потомком, обобщенного элемента *TObject*, являющегося по отношению к первому предком. С типом данных *RecVar* класс *TFunction* находится в отношении ассоциации, которое непосредственно показывает зависимости между данными структурами. Примечание «*From External References*» на рисунке 5.1.9. означает, что реализация данных классов выполнена во внешних модулях. На диаграмме класса *TFunction* представлены поля и свойства данного класса, для каждого из которых изображается тип видимости, наименование и тип представления. Как видно из диаграммы, в соответствии с объектно-ориентированной парадигмой, поля класса имеют тип видимости *public*, а свойства - тип видимости *private*. Помимо непосредственно классов, на данной диаграмме представлены также типы данных используемых в проекте. В данном случае поля класса описаны через запись *RecVar*, состоящую в свою очередь из одного целочисленного и

двух строковых массивов заданной размерности. На рисунке 5.1.10 представлена схема диаграммы состояний, раскрывающая сущность объектов, при выполнении расчета по одной из выбранных пользователем функции. В качестве примера использована функция расчета высотного множителя, применяющегося в теории радиолокации.

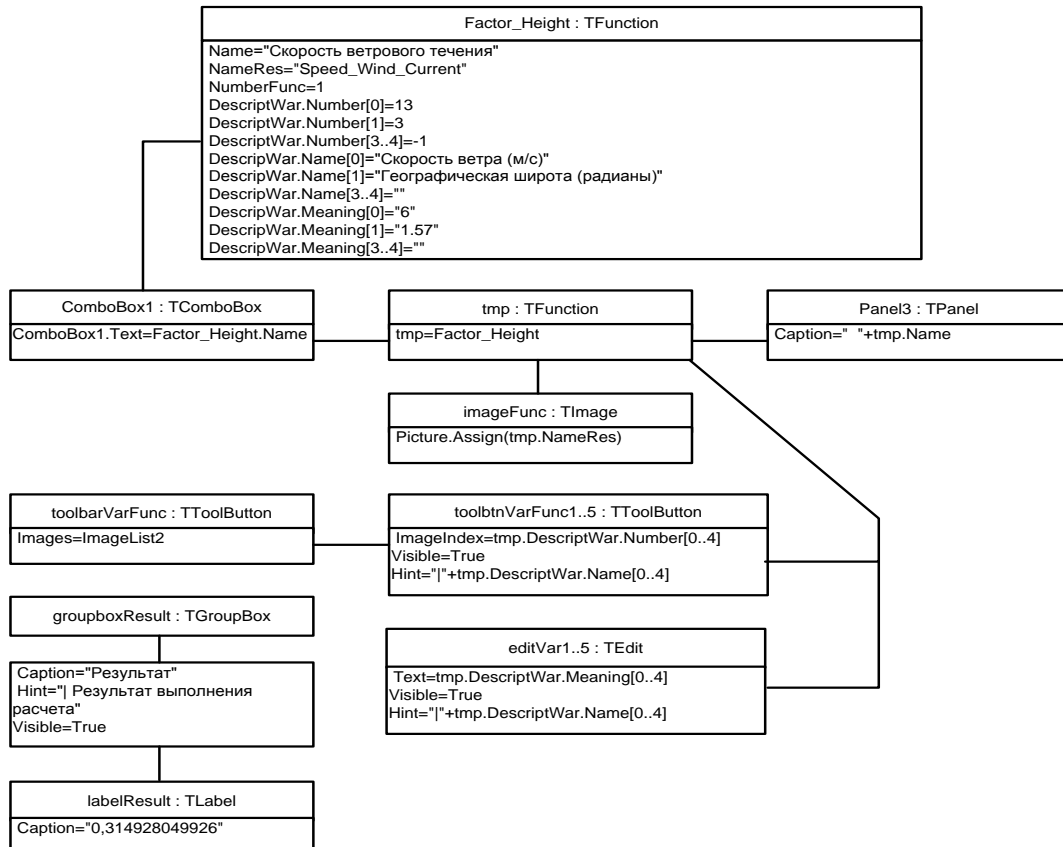


Рисунок 5.1.10 – Пример UML-диаграммы состояний при выполнении расчета функции расчета высотного множителя

На диаграмме 5.1.10 можно проследить непосредственное применение программных объектов, участвующих в этой операции. Данная диаграмма также относится к классу статических диаграмм, и соответственно, не отображает последовательности, методы и операции, через которые непосредственно выполняется расчет, зато предоставляет исчерпывающую информацию о том, какие ресурсы данных при этом используются.

5. Завершающим шагом проектирования визуальной библиотеки функций для синтеза, развития и сопровождения ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом является окончательная разбивка предполагаемого

программного кода на модули. Для этого в рамках предлагаемого метода используются диаграммы компонентов. На рисунке 5.1.11 представлен пример диаграммы компонентов, раскрывающей модульную структуру непосредственного исполняемого файла проекта *LibraryFunction.exe*.

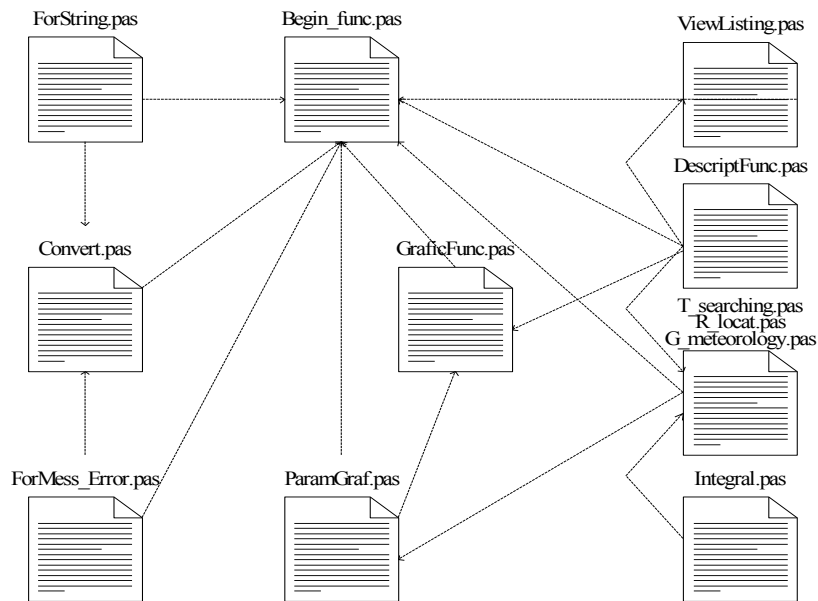


Рисунок 5.1.11 – Пример UML-диаграммы компонентов или модулей проекта библиотеки функций для ПК СУ АСДПП авиатранспортом

При этом назначение отдельных модулей раскрывают приведенные выше UML-диаграммы.

6. Последней диаграммой, разрабатываемой в рамках проектирования и обозначающей переход к этапам непосредственного программирования (реализации), является диаграмма компонентов, называемая иначе моделью доменной архитектуры. Её пример приведен на рисунке 5.1.12.

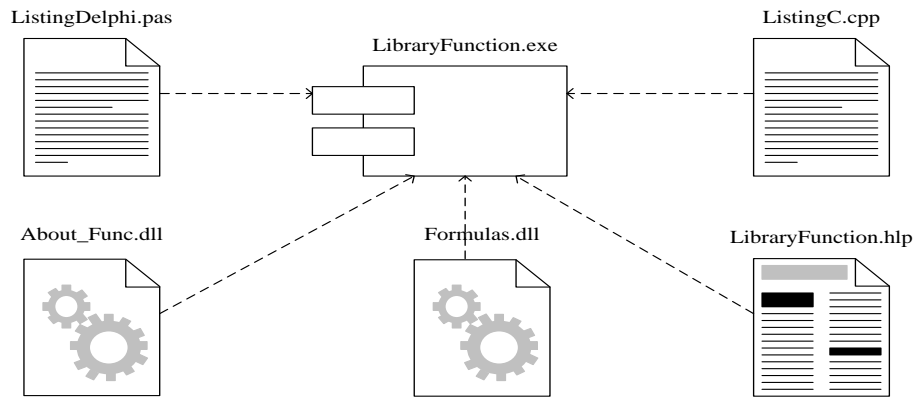


Рисунок 5.1.12 – Пример диаграммы компонентов

Диаграмма компонентов на рисунке 5.1.12 позволяет видеть, что доменная архитектура программной реализации представляет собой один выполняемый файл *LibraryFunction.exe*, из которого вызываются динамические библиотеки *About_Func.dll* и *Formulas.dll*. Первая из них отвечает за отображение информации о базе программных компонент, а вторая содержит в качестве ресурсов графические изображения всех реализованных в библиотеке функций и их аргументов. Текстовые по своей сути файлы *ListingDelphi.pas* и *ListingC.cpp* содержат в себе листинги программных реализаций функций, а файл *LibraryFunction.hlp* является файлом справочной системы, как по самой библиотеке, так и по реализованным в нем функциям.

7. Программная реализация визуальных библиотек прикладных функций предполагает обязательным обоснованный выбор основной среды разработки – как правило, это объектно-ориентированная среда визуального программирования. Примерами такой среды могут быть: Delphi, C++ Builder, JDK и другие. Помимо основной среды разработки, в качестве дополнительных программных средств разработки могут использоваться:

- визуальная среда объектно-ориентированного проектирования Rational Rose Enterprise Edition или подобные ей среды;
- дополнительная (альтернативная) среда объектно-ориентированного программирования;
- текстовый процессор, такой как MS Word или Open office;
- редактор формул, например, Microsoft Equation;

- графические редакторы типа Microsoft Paint или Image Editor;
- компилятор файлов помощи MS Help Workshop.

Применение метода допускает использование других (альтернативных) программных продуктов, как из основной, так и из дополнительной группы, обладающих сходными возможностями. При программной реализации базы программных компонент для ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом в качестве исходных данных должны выступать алгебраические (аналитические) представления функций с соответствующим описанием и (или) существующие библиотеки функций при условии наличия на них технической документации. Кроме этого, применение метода требует наличия исходных кодов визуальной оболочки представления библиотек функций, описанной ниже, а также начального уровня квалификации разработчика.

Основой программного создания и сопровождения визуальных библиотек прикладных функций для ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом является выполненная соответствующими специалистами декомпозиция предметной области, функции которой должны быть внесены в визуальную библиотеку, по основанию «функция». При этом под декомпозицией предметной области по основанию «функция» следует понимать процесс исследования и (или) разработки наиболее простых математических моделей, которые описывают реальные процессы и явления данной предметной области, выраженные в виде алгебраического (аналитического) представления, т.е. другими словами, представленные в виде математических функций.

Процесс декомпозиции имеет принципиальное значение не только для реализации предлагаемого метода, но и является важнейшим сам по себе, в качестве основного механизма повышения надежности ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом за счет повторного использования уже проверенного и верифицированного кода.

Фундаментальными понятиями процесса декомпозиции предметных областей являются понятия модели, интерпретации и функции. В настоящее время существуют различные определения этих понятий, но при этом смысловая характеристика их является однозначной, что видно из [45, 47, 64]. В указанных первоисточниках теоретически обоснована возможность выявления и представления законов, процессов, явлений в виде математической модели и соответствующей данной модели функции (набора функций), где под функцией можно понимать некоторую величину, которая зависит от переменной величины в некоторой области определения, если при этом каждому значению переменной величины из этой области определения соответствует одно определенное значение функции [64]. При этом в качестве теории, позволяющей непосредственно изучать созданные математические модели как взаимоувязанные совокупности функций (естественно имеющих аналитическое или графическое представление), в первую очередь выступает такой раздел высшей математики, как математический анализ, который в свою очередь базируется на таком фундаментальном понятии, как «функция».

Таким образом, понятие функции в настоящее время является фундаментальным элементом, на котором строится изучение, моделирование и автоматизация большинства прикладных областей знаний. Не является исключением и ситуационное управление авиатранспортом. Именно поэтому функции, как фундамент понятия математической модели, требуют выражения в виде компьютерной интерпретации их представления на основе положений приведенных ниже. При этом в прикладных областях знаний ситуационного управления авиатранспортом в отличие от формальной математической теории большое значение имеет не только сам факт выявления и описания обнаруженных математических зависимостей, но и выявление области определения данной зависимости, в первую очередь не с точки зрения математического анализа, а с точки зрения объективных ограничений соответствующего физического процесса. В качестве простейшего примера для пояснения этой проблемы можно привести следующее. Хорошо известно, что

для определения расстояния при равномерном прямолинейном движении можно использовать следующую формулу:

$$S = v \times t, \quad (5.1.1)$$

где v - скорость движения;

t - затраченное время.

При этом, с точки зрения математического анализа данная функция, как математическая модель равномерного прямолинейного движения, определена от минус до плюс бесконечности. При этом также ясно, что данная функция не имеет физического смысла при отрицательных значениях скорости и времени. С точки зрения математики подобное представление функции корректно, а с точки зрения физики нет. Тем не менее, обычно используется именно такое представление, без использования ограничений реальных практических ограничений предметной области. Существует большое количество моделей, выраженных через алгебраическое представление без использования ограничений физических процессов предметной области ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, при этом ограничения по физическому смыслу, которые должны быть наложены на модель, являются нетривиальными и часто либо не изучены, либо неизвестны. Например, в работе [66] показано, что основная теорема теории поиска подвижных объектов, выраженная в виде функции:

$$P(t) = 1 - e^{-FPk}, \quad (5.1.2)$$

где F - поисковый потенциал наблюдателя;

P_k - вероятность контакта;

является некорректной с точки зрения отсутствия задания как области определения функции, так и допустимых значений аргументов. Данный вывод был сделан на основе результатов анализа математического представления функции и имитационной модели, реализующей описываемый функцией физический процесс.

Таким образом, на компьютере можно корректно реализовывать только те модели, которые описываются конечными наборами рациональных чисел и

используют конечные последовательности арифметических действий или операций сравнения. Другими словами, математическая модель, выраженная в виде аналитического выражения не может быть абсолютно эквивалентной компьютерному представлению данного выражения. Это очень серьезное ограничение, накладываемое на применение компьютерных расчетов в прикладных областях знаний, тем не менее, в большой степени в настоящее время снимается за счет развития такой области высшей математики, как вычислительная математика, иногда также называемой компьютерной математикой. Сложность компьютерной реализации математических функций состоит в выборе или же разработке вычислительных методов решения конкретной задачи и их реализации на том или ином языке программирования, а также оценке степени соответствия выбранных методов заданным критериям точности и скорости расчетов. Следовательно, декомпозиция предметной области СУ авиатранспортом по основанию «функция» в совокупности с соответствующими методами вычислительной математики обеспечивает возможность программной интерпретации математических функций, как соответствующих математических моделей, для выполнения по ним аналитических расчетов на компьютере, с обеспечением заданной точности и достоверности получаемых результатов при допустимой скорости выполнения расчетов.

Непосредственно седьмой этап предлагаемого метода, и именно программная реализация визуальных библиотек прикладных функций, как вида баз программных компонент, представляет собой некоторый образ последовательности действий. Ниже этот образ раскрыт на примере добавления в визуальную библиотеку новой функции и таким образом отражает как процесс создания, так и процесс сопровождения визуальных библиотек функций, в частности, и баз программных компонент повторяемого кода, в целом. В качестве функции, на примере которой описан данный этап предлагаемого метода использована функция расчета дальности радиогоризонта, представленная математической формулой:

$$r_2 = \sqrt{2a_s} \times (\sqrt{h_a} + \sqrt{h_c}), \quad (5.1.3)$$

где a_s - эквивалентный радиус Земли (метры);

h_a - высота расположения антенны радиолокационной станции (метры);

h_c - высота расположения борта – самолета (метры). Для применения образа действий данного этапа необходимо загрузить среду разработки и организовать (открыть) в ней основной файл проекта *LibraryFunction.dpr*.

Подэтап 7.1. Создание графических образов функций

На данном этапе необходимо получить графические изображения в формате *.bmp* математической формулы и ее аргументов, поместить эти изображения в файлы ресурсов соответственно *imgFunction.res* и *imgArguments.res*, а затем поместить данные ресурсы в динамическую библиотеку, компиляция которой выполняется на основе модуля *Formulas.pas*. Для работы с файлами ресурсов используется простейший графический редактор, такой как *Image Editor*, из комплекта поставки современных сред разработки. В таком редакторе следует открыть описанные выше файлы ресурсов и добавить в них заранее подготовленные графические изображения формулы и ее аргументов. При этом каждому новому создаваемому ресурсу необходимо присвоить уникальное имя, после чего сохранить файлы ресурсов. Для компиляции динамической библиотеки, которая включает в себя данные файлы ресурсов достаточно активизировать соответствующий модуль в окне *ProjectManager* и выполнить соответствующую контекстно - зависимую команду, типа *Build*.

Подэтап 7.2. Программная реализация функций

На данном этапе необходимо выполнить непосредственную программную реализацию функции, прежде всего на основном языке программирования (Например, *Object Pascal*), поскольку на данном языке построена среда разработки (Например, *Delphi*) и именно данная программная реализация в первую очередь будет использоваться на следующих этапах. Применительно к рассматриваемому примеру можно привести следующую программную

реализацию функции расчета дальности радиогоризонта, показанную на рисунке 5.1.13.

```

=====
                Функция Radiohorizont
Функция определения дальности радиогоризонта
Вх. параметры: Ae - Эквивалентный радиус Земли (метры)
                Ha - Высота расположения антенны РЛС (метры)
                Hc - Высота расположения          (метры)
В случае ввода некорректных данных возвращает -1
=====
Function Radiohorizont(Ae,Ha,Hc :extended) :extended;
begin
try
Result:=sqrt(2*Ae)*(sqrt(Ha)+sqrt(Hc));
except
    Result:=-1;
end;
end;

```

Рисунок 5.1.13 – Пример программной реализации функции расчета дальности радиогоризонта на языке программирования *Object Pascal*

Для реализация функции на дополнительном языке программирования (Например, на C++) в рамках описываемого метода предлагается использовать соответствующую среду программирования (В данном случае: C++ *Builder*). При программной реализации функции на C++ следует соблюдать те же требования, которые предъявляются к программной реализации на *Object Pascal*, что видно из соответствующего листинга, представленного на рисунке 5.1.14. При этом тестирование программной реализации функции на C++ необходимо выполнить непосредственно по окончании их программирования.

```

/*=====
                Функция Radiohorizont
Определяет дальность радиогоризонта
Вх. параметры: Ae - Эквивалентный радиус Земли (метры)
                Ha - Высота расположения антенны РЛС (метры)
                Hc - Высота расположения          (метры)
Использует модуль Math.h
В случае ввода некорректных данных возвращает -1
=====*/
long double Radiohorizont(long double Ae, long double Ha,
                            long double Hc)
{
long double fResult=-1;
try
{
    Ae=2*Ae;
    if (Ae >=0 && Ha >= 0 && Hc >=0)
        fResult=sqrtl(Ae)*(sqrtl(Ha)+sqrtl(Hc));
}
catch(EMathError&)
{
}
return fResult;
}

```

Рисунок 5.1.14 – Пример программной реализации функции расчета дальности радиогоризонта на языке программирования C++

Подэтап 7.3. Реализация связи функции с визуальной оболочкой

На этом подэтапе необходимо выполнить описание и создание нового объекта как экземпляра класса *TFunction*, реализация которого уже выполнена в модуле *DescriptFunc.pas*. Затем непосредственно реализовать связи новой функции с визуальной оболочкой, после чего выполнить тестирование функции реализованной на *Object Pascal*, пропущенное на предыдущем подэтапе. Далее, реализовать функцию в виде динамической библиотеки и также выполнить ее тестирование. Для чего, в модуле *DescriptFunc.pas* в секции *var* следует добавить новую переменную типа *TFunction*. Название данной переменной может быть произвольным, однако ее физический смысл будет заключаться в описании представления новой функции, поэтому и ее название удобно сделать соответствующим. Далее в секции *resourcestring* следует описать под именем *sNameFunc*, имеющем следующий за последним индекс, строковый ресурс, содержащий полное название добавляемой функции. Например:

```
sNameFunc100 := 'Дальность радиогоризонта';
```

Далее в этой же секции следует добавить под именами *sNameVar*, имеющими следующий за последним индекс, строковые ресурсы, содержащие полное название аргументов функции с единицей их измерения. Например:

```
sNameVar200 := 'Эквивалентный радиус Земли (метры)';
sNameVar201 := 'Высота расположения антенны РЛС (метры)';
sNameVar202 := 'Высота расположения цели (метры)';
```

Затем, необходимо непосредственно создать экземпляр класса *TFunction*:

```
RadioHorizont := TFunction.Create;
```

после чего выполнить описание созданного объекта, т.е. присвоить необходимые значения полям данного экземпляра класса. На данном подэтапе при описании функции расчета соответствующий объект может быть проинициализирован как показано на рисунке 5.1.15.

```

//описание функции Radiohorizon - дальность радиогоризонта
with Radiohorizon do
begin
Name:=sNameFunc100;           NameRes:='Radiohorizon';
NumberFunc:=100;
with DescriptVar do
begin
Number[0]:=200;           Number[1]:=201;           Number[2]:=202;
Name[0]:=sNameVar200;     Name[1]:=sNameVar201;   Name[2]:=sNameVar202;
Meaning[0]:='8500000';    Meaning[1]:='25';       Meaning[2]:='500';
end;
IndexHelp:=0;
LeftAxis:= '';           BottomAxis:='';
BeginListingD:=0;        EndListingD:=0;
BeginListingC:=0;        EndListingC:=0;
end;

```

Рисунок 5.1.15 – Пример инициализации объекта

Далее выполняется явная загрузка изображений аргументов функции из динамической библиотеки в проект *LibraryFucntion.dpr*. Для этого открывается модуль *Begin_func* и выполняется явная загрузка новых изображений аргументов формулы из динамической библиотеки *Formulas.dll* в компонент *ImageList2*. Эта операция выполняется в процедуре (событии) *TfrmBegin_func.FormCreate(Sender: TObject)*, в которую добавляются операторы вида:

```

LoadFromResDll(NameResArg, BM);
ImageList2.Add(BM, BM);

```

где *NameResArg* – наименование ресурса изображения аргумента в файле ресурсов *imgArguments.res*. После этого название новой функции добавляется в компонент *ComboBox1*, показывающий список всех реализованных функций. При этом название функции в компоненте *ComboBox1* должно полностью совпадать с названием функции описанным в секции *resourcestring*. Непосредственное связывание объекта, описывающего новую функцию со списком функций выполняется в процедуре *TfrmBegin_func.ComboBox1Change(Sender: TObject)*. Например, для новой функции «дальность радиогоризонта» вводится следующий код:

```

if ComboBox1.Text = Radiohorizon.Name then
begin tmp:= Radiohorizon; bChoice:=True; end;

```

После этого сохранение проекта, запуск его на компиляцию и выполнение приводит к возможности отображения математической формулы функции, под которой будет располагаться список аргументов и строки ввода их значений, как представлено на рисунке 5.1.16.

Для обеспечения возможности расчета функции далее осуществляется возврат в модуль *Begin_func.pas*. В данном модуле, в процедуре *TfrmBegin_func.imageFuncClick(Sender: TObject)*, осуществляется непосредственное подключение выполненной программной реализации функции к фактическому проведению расчетов, для чего используется следующий программный код:

```
100 : begin
      fTmp:=Radiohorizont (A1, A2, A3);
      if fTmp = -1 then labelResult.Caption:='ERROR'
      else labelResult.Caption:=FloatToStr (fTmp);
      end;
```

Теперь в случае компиляции и выполнения проекта после выбора новой функции можно провести ее расчет и результаты расчета увидеть в рамках единого модального окна, как показано на рисунке 5.1.16. Для обеспечения построения графика функции «по умолчанию», вначале следует выбрать аргумент, относительно которого будет строиться график функции.

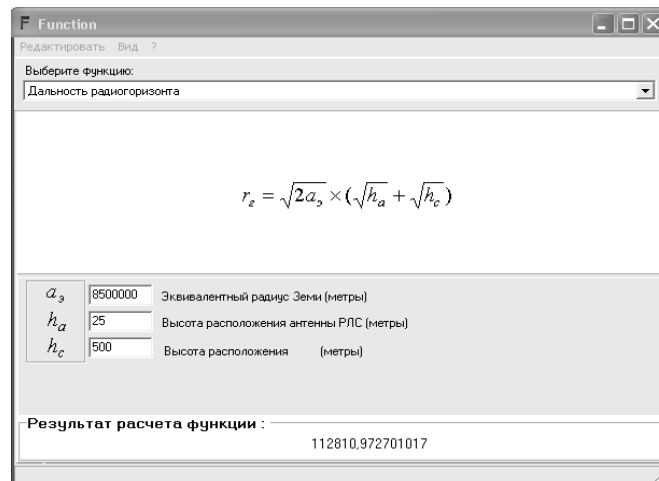


Рисунок 5.1.16 – Результат отображения аналитического вида новой функции и результатов ее расчета

Название данного аргумента следует поместить в поле *BottomAxis* объекта *RadioHorizont* описывающего новую функцию. Это выполняется в модуле *DescriptFunc.pas*. Далее в процедуре *TfrmBegin_func.aShowGraficExecute(Sender: TObject)* в конструкцию *case tmp.NumberFunc of* надо вставить следующий код:

```

100 : repeat
      fTmp:=Radiohorizont (A1, A2, tmpA); //вычисляем значение
      if fTmp = -1 then begin ErrorGrafic; Exit; end;
      New(pfX); pfX^:=tmpA; listX.Add(pfX); //запоминаем его
      New(pfY); pfY^:=fTmp; listY.Add(pfY);
      tmpA:=tmpA+200; //увеличиваем шаг
      until tmpA > 20000; //расчет вести пока ...

```

При этом в качестве *tmpA* подразумевается переменная, относительно которой будет происходить построение графика функции по умолчанию. Соответственно она должна находиться на месте той переменной, относительно которой строится график. После сохранения проекта и запуска его на выполнение визуальная оболочка позволяет строить график функции, отображение которого выводится в отдельное модальное окно как представлено на рисунке 5.1.17.

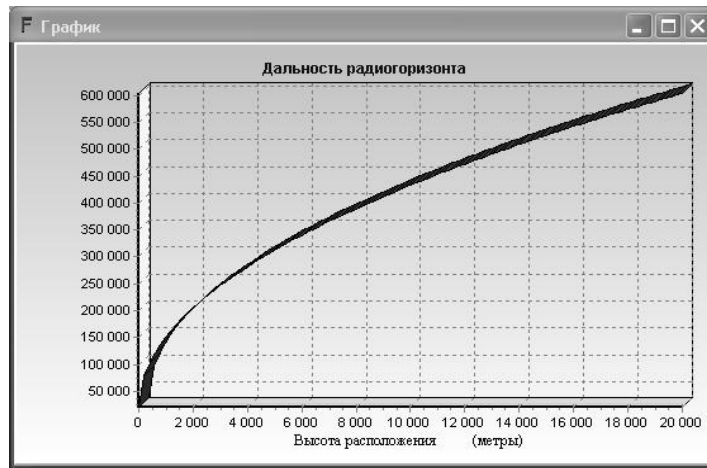


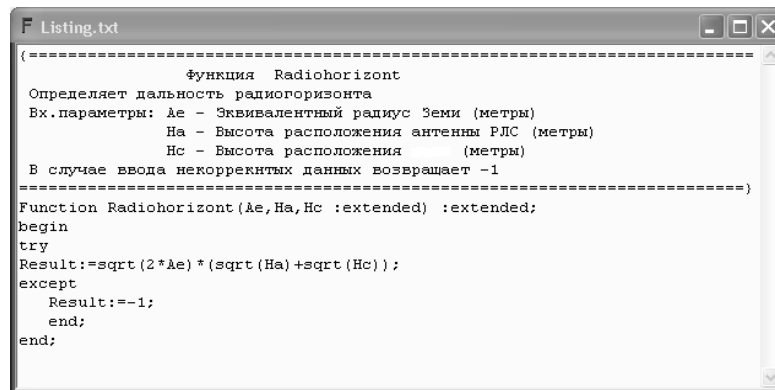
Рисунок 5.1.17 – Визуализация функции посредством построения её графика

Для реализации функции в виде динамической библиотеки необходимо в соответствующий файл *Names_dll.pas* скопировать уже выполненную программную реализацию функции, вставив в ее заголовок ключевое слово *stdcall*, обеспечивающее соответствующее соглашение о вызовах, а также название функции поместить в секцию *exports*. После этого следует выполнить компиляцию.

Подэтап 7.4. Формирование описания функции

На данном подэтапе выполняется подключение возможности просмотра из визуальной оболочки листинга новой функции, а также описание данной функции в формате *Windows Help* и подключение соответствующего описания к визуальной оболочке. После сохранения проекта и запуска его на выполнение,

вызов отображения исходного листинга функции приведет к созданию модального окна содержащего указанный листинг, как показано на рисунке 5.1.18.



```

=====
                функция Radiohorizont
Определяет дальность радиогоризонта
Вх.параметры: Ae - Эквивалентный радиус Земли (метры)
                Ha - Высота расположения антенны РЛС (метры)
                Hc - Высота расположения                (метры)
В случае ввода некорректных данных возвращает -1
=====
Function Radiohorizont (Ae,Ha,Hc :extended) :extended;
begin
try
Result:=sqrt (2*Ae) * (sqrt (Ha)+sqrt (Hc));
except
Result:=-1;
end;
end;

```

Рисунок 5.1.18 – Пример представления листинга функции в модальном окне визуализации

Процесс создания Help файлов заключается в описании текстовой части в виде *RTF* файлов, а также использование файла проекта и выполнении компиляции Help файла с использованием соответствующих программных пакетов, таких как *Microsoft Help Workshop*. В связи с этим исходные коды проекта содержат соответствующие файлы: *LibraryFunction.rtf* и *LibraryFunction.hpj* предназначенные для создания и сопровождения Help описания разрабатываемых функций. После сохранения проекта и запуска его на выполнение обеспечивается просмотр описания функции, выполненный в формате файла помощи.

Таким образом, предложенный метод повышения надежности программных комплексов АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода позволяет создавать глубоко верифицированные базы программных компонент повторяемого кода в рамках общей визуальной оболочки обладающей большими функциональными возможностями, что в свою очередь позволяет эффективно решить задачу повышения надежности указанных программных комплексов. Последовательное изложение существа этого метода несколько нивелирует сложную структуру (логическую последовательность) его реализации. Для исключения этого факта обобщенная структура предлагаемого метода приведена в графическом виде на рисунке 5.1.19.

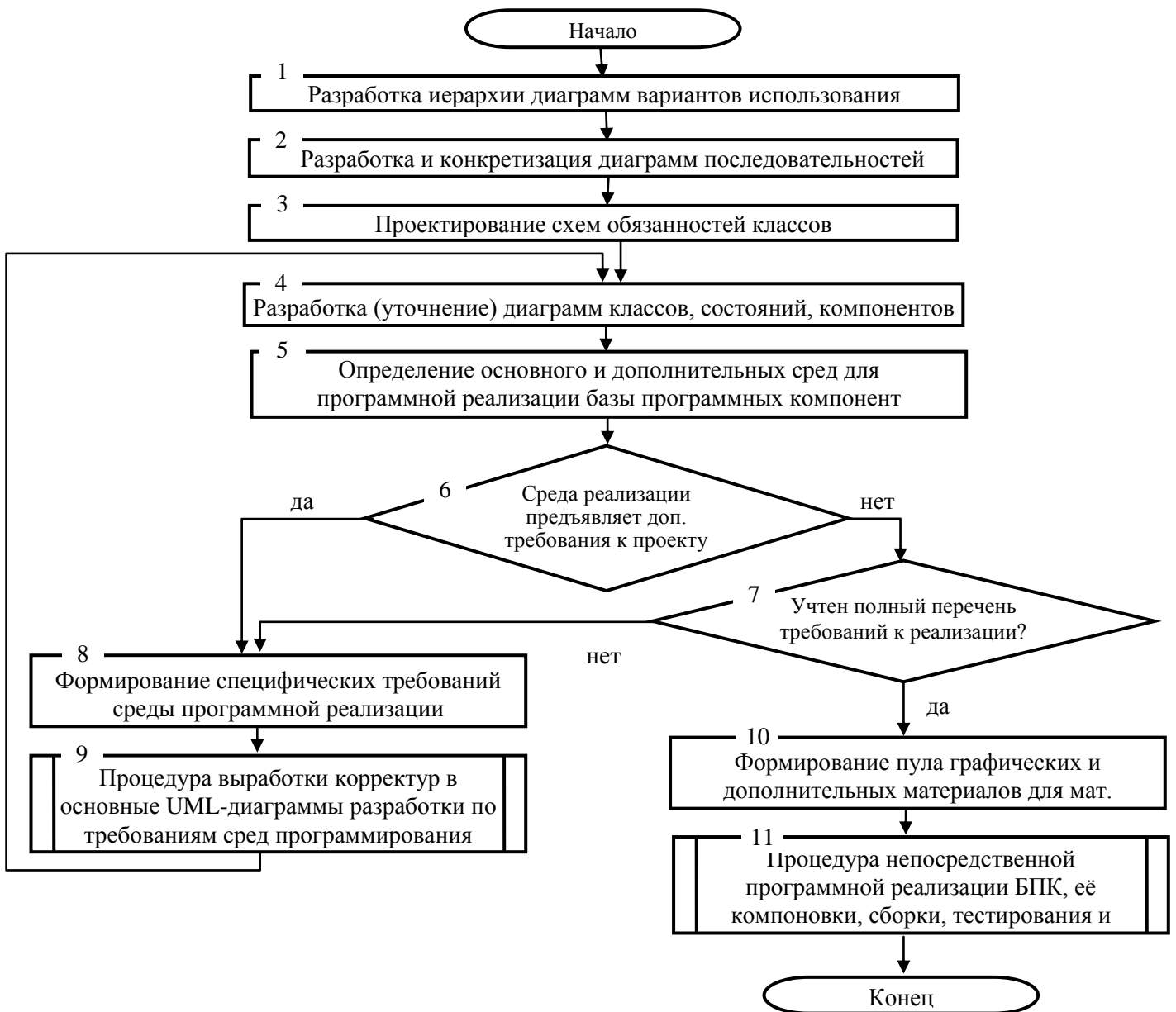


Рисунок 5.1.19 – Структура схема метода повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода

Предложенный метод обеспечивает не только рост надежности, но и снижение временных затрат и повышение результативности разработки программного обеспечения АСДПП авиатранспортом на основе подобных баз программных компонент (в т.ч. визуальных библиотек функций), как типичных представителей методологии повторного использования разработанного и верифицированного кода.

5.2 Метод улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте

5.2.1 Пути и средства улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами

Основой улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами является так же методология повторного использования кода опирающаяся на применение баз готовых (отработанных) программных компонент состоящих не только из библиотек программных функций, но и таких сложных программно-технологических конструкций, какими являются программный классы объектов, готовые программные объекты и сервисы. Базовые источники этой методологии продиктованы доминирующей сегодня технологией разработки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом – технологией объектно-ориентированного анализа, проектирования и программирования. Она основывается на представлении реализуемой предметной области в виде некоторых программных объектов, характеризующих реальные предметы данной области, участвующие в решении поставленной задачи, через их состояние и поведение, а также через связи этих объектов между собой. При этом формируются и описываются классы (под которыми в объектно-ориентированном анализе и проектировании понимается множество объектов предметной области, связанных общностью структуры и поведения и выделенных для их программной интерпретации [66]), охватывающие данную предметную область. Одновременно с описанием классов моделируются связи, т.е. взаимодействие между классами. Затем начинается моделирование области реализации, которое принято называть объектно-ориентированным проектированием. Т.е. в структуру разработанных классов включаются описания специфических компьютерных объектов, таких

как классы интерфейса пользователя, классы управления задачами, классы обработки данных и т.д. Поскольку объектно-ориентированный анализ и проектирование, как правило, используют один и тот же язык моделирования и соответственно систему обозначений, проще и выгоднее выполнять оба процесса параллельно и итерационно. Код и проекты при объектно-ориентированной разработке программного обеспечения являются действительно многократно используемыми, потому что они смоделированы непосредственно из реальной прикладной области. Каждый класс функционирует отдельно или вместе с небольшим числом равноценных классов. Внутри этого каркаса класс не соприкасается с остальной частью системы, а также не определяется, как он может использоваться внутри отдельной системы. Кроме того, такие механизмы как наследование и полиморфизм позволяют создавать новые классы на основе уже разработанных, что позволяет сохранить существующие функциональные возможности и добавлять только вновь необходимые. Это приводит к тому, что обобщенная разработка классов, с возможностью многократного использования – становится постоянной фоновой целью любого проекта, обеспечивающей экономичность разработки вновь иницируемых проектов ПК для АСДПП авиатранспортом.

Сегодня можно констатировать появление большого количества новых строительных блоков для программ, создаваемых на основе библиотек классов и объектов. Это, прежде всего визуальные и не визуальные компоненты, преимуществом которых является возможность их использования в режиме сред разработки: SOAP и JSON объекты, сервисы, позволяющие реализовывать режимы межпрограммного взаимодействия, как в рамках единой операционной среды, так и в рамках гетерогенных сред и др. Поэтому логично было бы расширить обобщенный подход к созданию баз готовых программных компонент за счет библиотек классов, объектов и сервисов, включив в него тем самым вновь появившиеся возможности.

Таким образом, такие базы готовых программных компонент как библиотеки классов и объектов расширенные реализациями этих классов (и объектов, как конкретных реализаций классов) в рамках технологий VCL, Active X, SOAP, а так же других технологий сервис-ориентированной архитектуры программного обеспечения, следует называть комплексными библиотеками классов и объектов (сервисов) для разработки ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, а данный подход комплексным подходом к созданию библиотек прикладных классов, объектов, сервисов для разработки программных комплексов. Именно широкая и системная разработка, накопление и использование комплексных библиотек классов и объектов (сервисов) для разработки ПК ситуационного управления авиатранспортом есть причина улучшения экономичности разработки указанных программных комплексов. В этом заключается конструктивное существо предлагаемого метода.

При разработке баз программных компонент наибольшую трудность вызывает создание исходных библиотек классов и объектов, проблема здесь, как правило, состоит не столько в самом программировании, сколько в необходимости тщательного анализа предметной области, выделения в ней существенных классов (объектов), требуемых ими расчетных методов и т.д. Объектно-ориентированные CASE – средства позволяют автоматически создать шаблоны программного кода для непосредственной программной реализации библиотеки классов и объектов. Далее выполняется ее программная реализация, тестирование и отладка. Опыт работы показывает, что разработчику ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, создавшему библиотеку классов, требуется незначительное время для выделения и реализации из нее классов, подходящих для создания тех или иных компонентов, или же создания библиотек объектов. Действительно, в настоящее время комплексные библиотеки классов и объектов, т.е. библиотеки, при создании которых разработчики не ограничиваются лишь созданием обобщенных классов, а наращивают их за счет библиотек визуальных и не

визуальных компонентов различной реализации, библиотек SOAP объектов, способны принести значительные преимущества. Подобный подход позволяет дать в руки разработчика уникальный набор строительных блоков для создания программных комплексов различной внутренней реализации. Все это способно значительно снизить трудоемкость, сроки реализации, т.е. повысить экономичность при достаточной степени надежности создаваемых программных систем.

Вышеперечисленные характеристики качества, которые можно повысить за счет разработки комплексных библиотек классов, являются весьма актуальными для ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом. Именно при разработке программного обеспечения АСДПП, за счет сложившейся объективной централизованности их заказа, наиболее просто обеспечить разработку комплексных библиотек классов и объектов. Дело в том, что фирмы-разработчики, работающие на рынке программного обеспечения, далеко не всегда могут себе позволить выделить пусть и незначительные, но все же всегда дефицитные временные ресурсы на обеспечение комплексного подхода. Это под силу сделать только достаточно большим организациям, устойчиво работающим в таком сегменте рынка как обслуживание транспорта. Это связано с тем, что дополнительные затраты на разработку комплексных библиотек классов и объектов у них будут впоследствии перекрыты при сопровождении уже разработанного программного обеспечения и при создании нового, аналогичной направленности. В свою очередь, заказчик вправе требовать от разработчика создания не только непосредственно программного обеспечения, но и комплексных библиотек классов, и объектов (сервисов) по соответствующей тематике, с целью помещения их либо в центральный фонд алгоритмов и программ Минтранса, либо в Государственные фонды алгоритмов и программ по видам деятельности соответствующих Федеральных агентств. Это позволяет:

- значительно экономить финансовые затраты при заказе нового программного обеспечения ПК ситуационного управления для АСДПП

авиатранспортом, поскольку во многом оно сможет быть построено за счет использования уже реализованных классов, компонентов и объектов находящихся в фонде алгоритмов и программ;

- обеспечить возможность привлечения большего количества разработчиков к тендерам на разработку программного обеспечения АСДПП авиатранспортом, т.к. даже более мелкие организации разработчиков смогут писать качественное программное обеспечение для АСДПП на основе библиотек классов, содержащихся в фондах алгоритмов и программ. Соответственно, это также приведет к снижению финансовых затрат, росту экономичности разработки и повышению качества программного обеспечения.

Необходимо также иметь в виду, что программное обеспечение в области управления пространственными процессами авиатранспорта характеризуется повышенной сложностью. Соответственно этому же уровню сложности должны соответствовать и библиотеки прикладных классов, объектов и сервисов. Разработка различных компонентов на основе библиотек классов, отложенная до возникновения в них потребности, будет соответственно и более трудоемкой и требовать значительно более исходной документации, чем если бы они разрабатывались изначально. Необходимо также сознавать, что, программное обеспечение для ПК АСДПП авиатранспортом в большинстве случаев должно создаваться с учетом его дальнейшего сопровождения, что приводит к необходимости внесения в него в дальнейшем новых функциональных возможностей, реализации новых аппаратных и других требований. Таким образом, комплексный подход к разработке библиотек прикладных классов, при минимальных дополнительных финансовых и временных затратах на его реализацию, способен значительно повысить экономичность, надежность и сложность создаваемых программных комплексов управления для АСДПП авиатранспортом, обеспечить снижение трудоемкости и общих сроков их реализации за счет предоставления разработчикам программного обеспечения уникального набора реализаций

механизмов повторно используемого кода, применимых для различных условий.

Описанная концептуальная модель улучшения экономичности реализуется посредством реализации последовательного ряда процедур, показанных ниже.

5.2.2 Этапы моделирования и создания комплексных библиотеки прикладных классов и объектов (сервисов)

Для представления последовательности этапов создания комплексных библиотек классов, объектов и сервисов было выполнено моделирование обобщенной библиотеки классов, реализующей ряд основных, базовых классов для таких предметных областей как метеорология и радиолокация, которые находят самое непосредственное применение при разработке автоматизированных образцов АСДПП авиатранспортом, и, в частности, при разработке ПО для программных комплексов ситуационного управления наземными пространственными процессами на площадках аэродромов. В качестве языка и, соответственно, нотации объектно-ориентированного моделирования был использован язык UML. Описание библиотеки классов и объектов представлено в виде диаграмм классов, выполненных на уровне абстракции области реализации, которые представлены на рисунках 5.2.1 и 5.2.2. Данные классы образованы на базе стандартного класса *TComponent*, а при описании реализации некоторых их атрибутов использовались пользовательские типы данных, образованных на основе стандартных типов среды разработки *Delphi*, таких как перечисляемый (*enumerated*) и диапазонный (*subrange*) типы. В частности, на рисунке 5.2.2 показано, что реализованы классы и отдельные объекты по радиолокации: *TCustomRLU* (предназначен для определения основных величин радиолокационных условий, применяемых в большинстве радиолокационных расчетов), *TCustomSimmDNA* (предназначен для определения характеристик симметричной диаграммы направленности антенны) и *TCustomRLN* (предназначенный для определения значения радиолокационной наблюдаемости по методике РОПРН – 90). Данные три

классы реализованы на базе класса *TComponent*, при этом, при реализации класса *TCustomRLN* дополнительно использовались классы (*TAirForRLN*, *TWateForRLN*, *TAdditionalForRLN*), содержащие необходимые параметры, образованные в свою очередь от класса *TObject*. Класс *TCustomRLU* через использование ассоциативных связей с классами *TCustomRLN* и *TCustomSimmDNA*, способен использовать значения атрибутов и вызов расчетных методов данных классов.

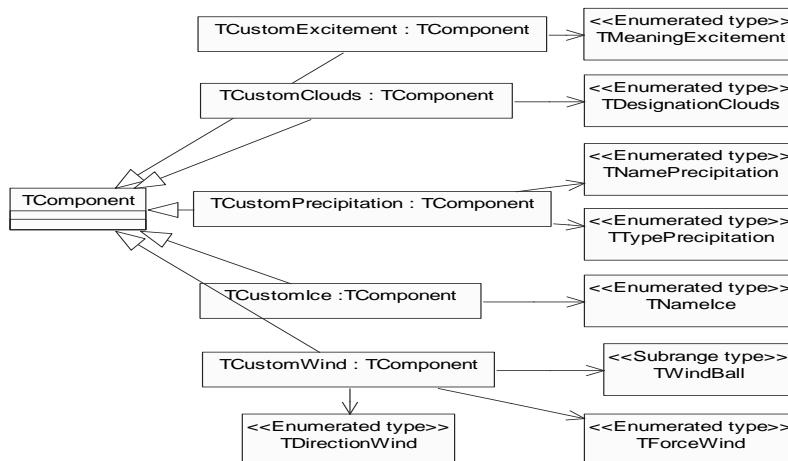


Рисунок 5.2.1 – UML-диаграмма реализованных классов метеорологической предметной области

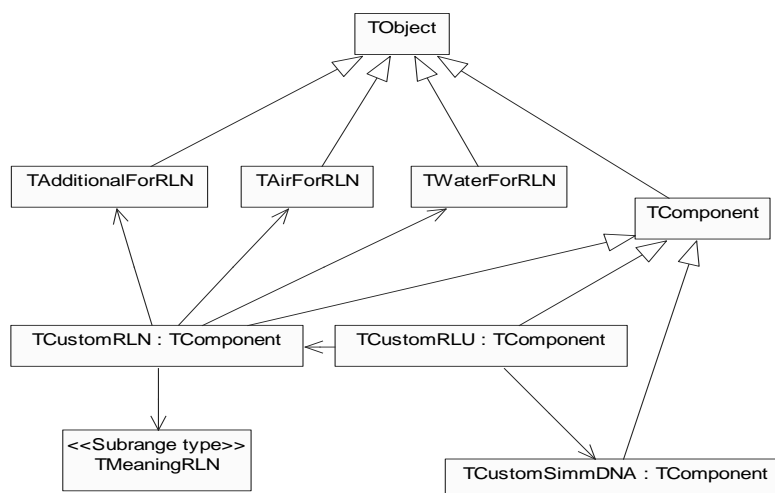


Рисунок 5.2.2 – UML-диаграмма реализованных классов радиолокационной предметной области

В целях обеспечения применения экономичного подхода к созданию ПК для АСДПП авиатранспортом за счет предварительной разработки библиотек прикладных классов, программных объектов, сервисов в данной работе предлагается соответствующая последовательность процедур-этапов создания указанных комплексных библиотек. Данная последовательность этапов или, иными словами, метода предназначена для создания комплексных библиотек классов и объектов (сервисов) на основе исходных библиотек, т.е. библиотек, реализующих описание обобщенных прикладных классов некоторой предметной области. Данный метод обобщает существующие частные методики по созданию визуальных компонентов различной реализации, объектов для сервис-ориентированных реализаций в рамках единого процесса и с учетом экономного создания их на основе различных ПК для перспективных АСДПП на авиатранспорте.

Структурная схема метода улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте представлена на рисунке 5.2.3. Непосредственное описание метода выполнено на примере создания комплексной библиотеки классов на основе некоторой исходной библиотеки классов, в качестве которой выступает библиотека классов и объектов, реализующая основные базовые классы по радиолокации и метеорологии:

I. Создание VCL- компонентов

Для создания VCL компонентов необходимо выделить в исходной библиотеке классов, такие классы, которые целесообразно представлять в виде визуальных и (или) не визуальных компонентов. Критерием для подобной выборки служит необходимость реализации для некоторого класса визуального представления, а также необходимость предоставления на этапе проектирования программы визуального доступа к методам и свойствам класса через инспектор объектов. Кроме этого, реализуемый в качестве компонента класс должен иметь в качестве своего предка либо сам класс *TComponent*, либо один из его потомков.

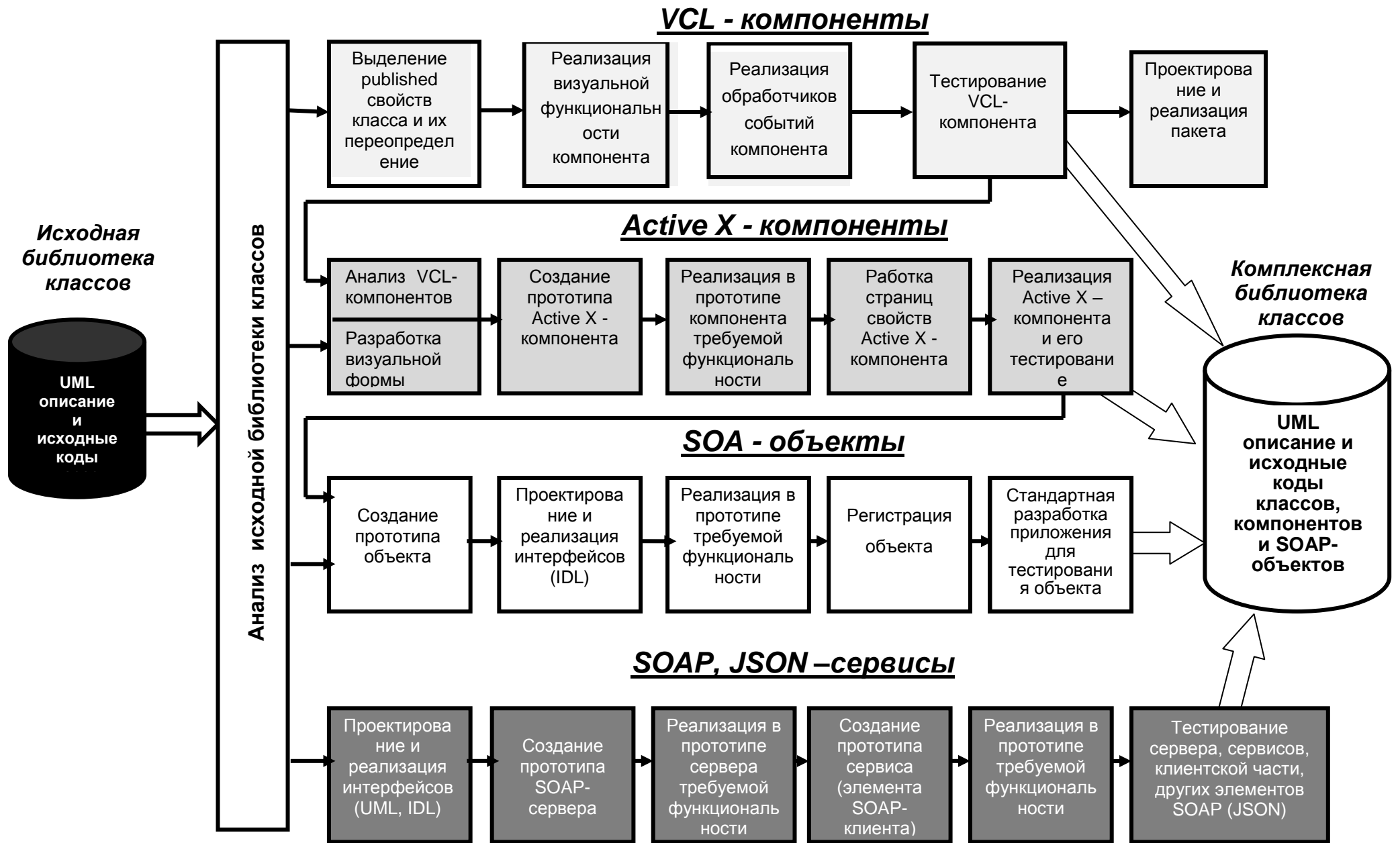


Рисунок 5.2.3 – Структурная схема метода улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте

Основной порядок действий при программной реализации компонентов заключается в следующем:

- 1.1. Выделение свойств исходного класса, которые следует сделать доступными для редактирования будущим пользователям компонента в окне *Object Inspector*;
- 1.2. Реализация методов и свойств, обеспечивающих визуальное поведение компонента (только для визуальных компонентов);
- 1.3. Создание программных событий, на которые должен реагировать компонент;
- 1.4. Тестирование создаваемого компонента;
- 1.5. Создание пакета, для размещения созданных компонентов в палитре компонентов.

Программная реализация каждого представленного пункта напрямую связана с функциональностью и программными механизмами, заложенными как в исходные классы, так и в создаваемые компоненты. При непосредственной реализации компонента следует переопределять свойства (которые должны быть показаны в инспекторе объектов), используя секцию *published*. Типичный пример этого действия будет приведен ниже. При разработке собственных обработчиков событий удобнее использовать стандартный обобщенный указатель на функцию, которому передается один параметр типа *TObject*, в качестве которого выступает переменная *Self*, указывающая на текущий объект. Данный указатель имеет имя *TNotifyEvent* и используется в большинстве событий. Если же в обработчике события надо передать какие-то параметры помимо *Self*, то только тогда вместо типа *TNotifyEvent* следует объявлять свой тип, и это объявление должно размещаться до объявления класса, как показано на рисунке 5.2.4.

```
private
  FOnMyEvent :TNotifyEvent;
published
  property OnMyEvent :TNotifyEvent read FMyEvent write FMyEvent;
```

Рисунок 5.2.4 – Объявление специализированного типа

Применительно к создаваемой библиотеке классов и объектов, целесообразно создать не визуальные компоненты, унаследовавшие свои свойства соответственно от стандартных базовых объектов *TCustomWind*, *TCustomExitement*, *TCustomPrecipitation*, *TCustomClouds*, *TCustomIce*, *TCustomRLN*, *TCustomSimmDNA*. Для иллюстрации механизма их создания приведены на рисунках 5.2.5. и 5.2.6. исходные листинги программного кода, реализующего описание класса *TCustomWind* из исходной библиотеки классов, объектов и программного кода, реализующего описание соответствующего данному классу компонента. При разработке компонентов следует создавать соответствующие пакеты (package), служащие для хранения исходных кодов созданных компонентов в виде специализированных динамических библиотек. Это упрощает пользователям установку и использование подобных компонент.

```

type
  TWind = class(TCustomWind)
    published
      property Angle ;
      property Force ;
      property ForceBall ;
      property Direction ;
      property InImpulses ;
      property Speed ;
    end;

type
  TMyEvent = procedure(Sender :TObject; var CanEvent :
    boolean) of Object;
  TMyClass = class(TObject)
  private
    FMyEvent :TMyEvent;
  published
    property OnMyEvent :TNotifyEvent read FMyEvent write FMyEvent;

```

Рисунок 5.2.5 – Программная реализация описания класса *TCustomWind*

Для создания пакетов следует использовать объект *Package* из репозитория базовых объектов среды разработки. При этом дальнейшие действия будут заключаться в подключении в диалоговом режиме к данному объекту модулей, содержащих программный код разработанных компонентов, создании иконок для каждого компонента и компиляции пакета.

При этом основная методико-технологическая сложность, как правило, заключается в осмысленном размещении компонентов по пакетам.

```

type
TCustomWind = class (TComponent)
private
    FAngle :single ; //направление (градусы)
    FForceBall :TWindBall ; //сила ветра (баллы)
    FForce :TForceWind ; //сила ветра (внутренне представление)
    FDirect :shortstring; //направление (N, NO, O, SO и т.д.)
    FDirection :TDirectionWind ; //направление (внутреннее представление)
    FDirectTyp :shortstring; //направление (северный, южный и т.д.)
    FInImpulses :single ; //скорость в порывах (метры в секунду)
    FSpeed :single ; //скорость (метры в секунду)
    FForceTyp :shortstring ; //тип (умеренный, штормовой и т.д)
protected
    procedure SetAngle(Value :single); virtual;
    procedure SetForce(Value :TForceWind); virtual;
    procedure SetForceBall(Value :TWindBall); virtual;
    procedure SetDirection(Value :TDirectionWind); virtual;
    procedure SetInImpulses(Value :single); virtual;
    procedure SetSpeed(Value :single); virtual;
public
    property Angle :single read FAngle write SetAngle ;
    property Force :TForceWind read FForce write SetForce ;
    property ForceBall :TWindBall read FForceBall write SetForceBall ;
    property Direct :shortstring read FDirect ;
    property Direction :TDirectionWind read FDirection write SetDirection ;
    property DirectTyp :shortstring read FDirectTyp ;
    property InImpulses :single read FInImpulses write SetInImpulses ;
    property Speed :single read FSpeed write SetSpeed ;
    property ForceTyp :shortstring read FForceTyp ;
published
end;

```

Рисунок 5.2.6 – Программная реализация компонента TWind

II. Создание ActiveX компонентов

ActiveX компоненты, называемые также элементами управления ActiveX, в отличие от VCL компонентов обладают одним весьма важным свойством – их поддерживает практически любая среда разработки под управлением операционной системы Windows, что соответственно, дает более широкие возможности их повторного использования.

Элементы управления ActiveX представляют собой библиотеки, содержащие исполняемый код. Эти библиотеки могут быть использованы в различных приложениях как встроенные элементы управления, поэтому обладают свойствами, события и методами по аналогии с компонентами VCL. ActiveX компоненты представляют собой встроенные (in-process) серверы, выполняющиеся в адресном пространстве использующего их приложения.

При создании ActiveX компонента на основе нескольких компонентов VCL (при этом необходимо иметь в виду, что класс *TForm* – также является

визуальным компонентом) следует придерживаться приведенного ниже порядка действий:

- 2.1. Разработать обычными средствами среды разработки приложение в виде визуальной формы, которое целесообразно представить в виде ActiveX компонента.
- 2.2. Создать новое приложение (программный прототип) на основе объекта *ActiveForm* из репозитория среды разработки.
- 2.3. Выполнить наполнение формы необходимыми визуальными объектами и программно реализовать требуемую функциональность.
- 2.4. В случае необходимости использования новых интерфейсных элементов при показе свойств создаваемого элемента управления ActiveX, которые отсутствуют в среде разработки – необходимо самостоятельно создать данные страницы свойств.
- 2.5. Откомпилировать созданное приложение и зарегистрировать его в качестве элемента управления ActiveX в реестре операционной системы.
- 2.6. Протестировать созданный элемент управления ActiveX. Тестированию, в данном случае, необходимо уделить особое внимание, т.к. будущие пользователи данного компонента не должны сомневаться в его надежности, работоспособности и корректности. Для тестирования необходимо использовать несколько сред, поддерживающих использование элементов управления ActiveX. Прежде всего, это *Visual Basic, VisualC++, Microsoft Word, Microsoft Excel* и пр.

III. Создание SOA– объектов

В настоящее время принято различать 2 типа SOA – объектов. Это внутренние серверы – представляемые в виде динамических библиотек, и внешние серверы – представляемые в виде EXE (т.е. исполняемых) – файлов. При этом возможность удаленного запуска и соответственно использования имеется только у внешних SOA – объектов.

Как правило, в качестве внешних серверов SOA (называемых также серверами автоматизации) выступают функционально достаточные и независимые приложения, которые могут обеспечить имеющейся в них функциональностью с другими приложениями. Задачи и соответственно функциональность внутренних серверов автоматизации, более просты. Их удобно использовать, например, когда у некоторого количества компонентов одного продукта стоит задача использовать один и тот же функциональный код. При этом организация данного кода в виде SOA сервера обеспечивает удобство его модификации при сопровождении всего продукта.

Таким образом, при разработке комплексных библиотек прикладных классов и объектов, следует ограничивать создание SOA объектов рамками реализации их в качестве внутренних серверов автоматизации, а задача создания внешних серверов автоматизации должна выноситься на стадию реализации конкретного проекта ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом.

Для программной реализации внутреннего SOA сервера необходимо:

- создать ActiveX библиотеку (прототип), в которой будет храниться программная реализация создаваемого SOA сервера;
- создать объект автоматизации (прототип), который будет нести основную функциональную нагрузку создаваемого сервера (обычно это компонент *Automation Object* также из репозитория объектов);
- реализовать описание библиотеки типов, которая на языке IDL описывает методы и свойства создаваемого сервера (для реализации библиотеки типов используется мастер *Type Library*);
- выполнить программную реализацию функциональности сервера;
- откомпилировать, а затем зарегистрировать созданный сервер в реестре операционной системы;
- создать клиентское приложение для тестирования разработанного сервера;
- протестировать и отладить компонент.

Наиболее просто создаются SOA серверы, реализующие некоторый набор обычных процедур или функций. При этом большая часть программного кода,

позволяющая использовать данные функции в SOA сервере, создается автоматически. Более сложная ситуация возникает тогда, когда SOA сервер должен состоять из объектов, а клиентское приложение должно иметь возможность создавать хранимые на сервере объекты и вызывать их методы. Для реализации данного механизма следует придерживаться приведенной методики, раскрывающей механизм загрузки из клиентского приложения визуальной формы, хранящейся на сервере. Внешний вид созданной тестовой программы представлен на рисунке 5.2.7.

Исходные данные		Результаты	
Температура воды	11	Радиолокационная наблюдаемость	
Температура воздуха	21	0	
Относительная влажность воздуха	75	Эквивалентный радиус Земли	
Бризговая циркуляция воздуха	Нет		
Скорость ветра	18	Диапазон коэффициента улучшения	
Время суток	До часа ночи		
Гидрометеоры	Нет	Расчетный коэффициент	
Сплошной ледяной покров	Нет		
Размер цели	Малая		
Диапазон волн РЛС	3 см		
Антенна и цель внутри волновода	Нет		
Характеристика инверсии	Нет		

Рисунок 5.2.7 – Модальное окно тестовой программы класса *TCustomRLN*

Для превращения данной тестовой программы во внутренний SOA сервер выполняется следующая последовательность операций:

1. Создать новую ActiveX библиотеку и на ее базе создать объект автоматизации. В качестве имени класса, реализующего SOA объект, задать имя *ServerRLN* и указать, что сервер будет работать в режиме *Multiple instance*.
2. Добавить к данному проекту модуль, который реализует созданную тестовую программу для класса *TCustomRLN* и выполнить сохранение проекта.
3. В модуле тестовой программы создать новый процедурный тип *TMeaningRLN*, в секции *public* определить переменную *FOnMeaningRLN* для этого типа и создать строку, обеспечивающую передачу из сервера значения компонента *editRLN*, поместив ее в обработчики формы, при которых

изменяется значение этого компонента. Соответствующий фрагмент кода представлен на рисунке 5.2.8.

```

procedure TServerRLN.ShowFormRLN(NI: SYSINT);
var
    FD :TfrmRLN ;
begin
    FD := nil ;
try
    FD := TfrmRLN.Create(nil);
    FD.FOnMeaningRLN:=TMeaningRLN(NI);
    FD.ShowModal;
finally
    if Assigned(FD) then FD.Release;
    Application.ProcessMessages;
end;
end;

```

Рисунок 5.2.8 – Создание процедурного типа TMeaningRLN

4. Теперь в библиотеке типов в интерфейсе *IServerRLN* необходимо описать новый метод *ShowFormRLN*, который будет обеспечивать загрузку экранной формы сервера. Для этого метода следует указать один параметр *NI* типа *integer*.

5. Далее в модуле реализации сервера необходимо ввести программную реализацию метода *ShowFormRLN*.

6. Выполнить компилирование проекта и регистрацию сервера в реестре операционной системы.

Таким образом, непосредственное создание SOA сервера завершено, а теперь для его тестирования и рассмотрения механизма загрузки визуальной формы хранимой в нем следует создать соответствующее приложение-клиент, работающее с данным сервером. Для этого:

1. Необходимо закрыть текущий проект и создать новый проект для обычного приложения в среде разработки.

2. Разместить на форме нового проекта одну кнопку и две метки. Кнопка будет использоваться для загрузки визуальной формы SOA сервера, а метка для вывода сообщения, посылаемого сервером клиенту.

3. В секцию *uses* поместить вызов стандартного модуля хранящего методы для работы с SOA объектами. В секции *public* указать новую переменную *V* типа *variant*. Далее ввести следующий код, как показано на рисунке 5.2.9.

4. Сохранить проект и запустить его на выполнение. При этом в клиентском приложении будет создаваться SOA объект и вызываться его визуальная форма.

```

Procedure MyNotify(const S:string); stdcall;
begin
  Form1.Label2.Caption:=S;
end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  V:=CreateOleObject('ServerRLN.ServerRLN');
  V.ShowFormRLN(integer (@MyNotify));
  V:=Unassigned;
end;

```

Рисунок 5.2.9 – Создание приложение-клиента

При расчете в этой форме значения, получаемое значение также будет отображаться и в клиентском приложении. Экранная форма для указанных манипуляций продемонстрирована на рисунке 5.2.10.

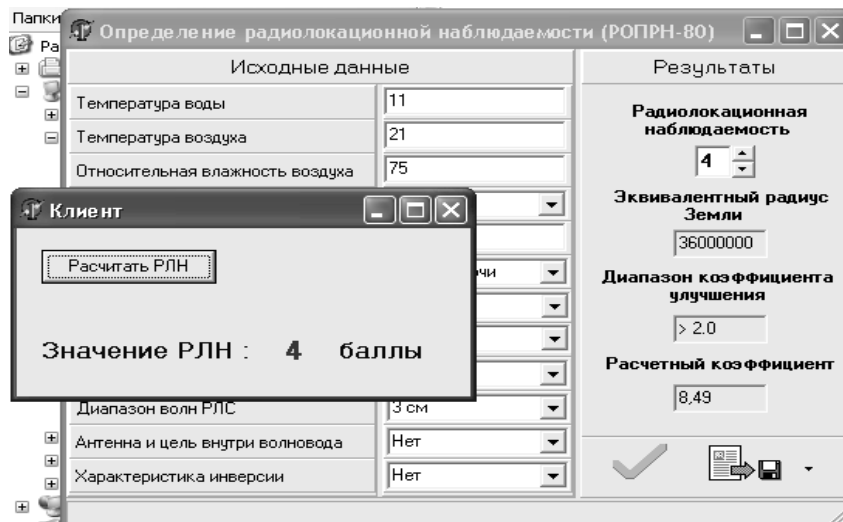


Рисунок 5.2.10 – Вызов сервера из клиентского приложения

Представленная методика общего метода улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте позволяет реализовывать любую однотипную задачу.

IV. Создание SOAP (JSON) – сервисов

Технологии SOAP (JSON) являются в отличие от ранее описанных более универсальными и мощными технологиями, чем и объясняется их широкое применение в настоящее время в отличии от предшественников, применение которых ограничивалось достаточной сложностью и высокими затратами, связанными с приобретением необходимых программных инструментов для ее реализации.

Связку объектов SOAP (JSON) и клиентов трудно назвать приложением как таковым: клиент может обращаться к любому свободному экземпляру сервера и в любую минуту сам может стать сервером. Поэтому для разработки SOAP (JSON) приложений необходимо придерживаться следующего порядка действий:

1. проектирование и реализация интерфейсов (UML, IDL);
2. создание программного прототипа сервера и клиента;
3. программная реализация сервера;
4. программная реализация клиента;
5. отладка сервера и клиента.

Далее приведена методика выполнения программной реализации SOAP (JSON) сервиса на достаточно простом примере, выполнения расчета дальности радиогоризонта.

4.1. Проектирование и реализация интерфейса SOAP-сервиса на основе UML и IDL

Ключевым понятием SOAP (JSON) сервисов является понятие интерфейса, т.е. любой SOAP (JSON) сервис описывается через ключевое слово-интерфейс (*interface*). В рассматриваемом примере, для определения дальности радиогоризонта будет использоваться следующая формула 5.1.3. В этой формуле достаточно легко выделить требуемые сущности для описания соответствующего объекта. Пусть новый сервис называется *Account*, задавая

для него три атрибута (по количеству аргументов формулы), их можно назвать *RadiusEarth*, *HeightA* и *HeightC*. В качестве размерности для атрибутов указывается тип *short*. Далее следует задать одну операцию, которая непосредственно будет выполнять расчет дальности радиогоризонта. Этой операции можно указать имя *rechnen* и задать возвращаемый ею тип как *float*. Область видимости атрибутов и операции следует задать как *public*. Созданное таким образом описание сервиса показано на рисунке 5.2.11.

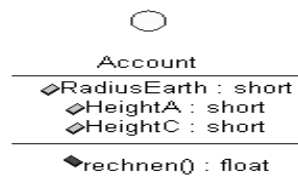


Рисунок 5.2.11 – UML описание SOAP- сервиса

Выполнение реализации сервиса в нотации UML позволило обеспечить: первое – это получение документированного описания сервиса; второе – получение описания этого же сервиса на языке IDL. Для достижения последнего всего лишь необходимо автоматически получить IDL описание на основе существующего UML, что позволяет делать любое CASE средство. Применительно к Rational Rose это команда *Tools/SOA/Browse SOA source*. Полученное при этом IDL описание SOAP - сервиса представлено на рисунке 5.2.12.

```

account.idl
// Account.idl

interface Account {
    attribute short RadiusEarth ;
    attribute short HeightA ;
    attribute short HeightC ;
    float rechnen();
};
  
```

Рисунок 5.2.12 – IDL описание SOAP- сервиса Account

Далее следует сохранить это описание в виде текстового файла с расширением *.idl*, которое впоследствии будет использовано для создания прототипа SOAP (JSON) сервиса.

4.2. Создание программного прототипа SOAP сервера («поставщика») и клиента («потребителя»).

Для этого следует пользоваться современной специализированной средой разработки. В которой необходимо создать новый проект, взяв за основу объект –*SOAServer Application*. При этом в качестве описания SOAP (JSON) сервиса будет использовано описание, сохраненное ранее в файле с расширением *.idl*. Эти действия приводят к автоматической генерации необходимого программного кода для реализации SOAP-сервера. Далее аналогично выполняется получение заготовки программного кода для реализации клиента, за счет создания нового приложения, за основу которого, необходимо взять *Items – SOA Client Application*.

4.3. Реализация в прототипе SOAP -сервера необходимой функциональности

Для этого в автоматически сгенерированном файле *account_impl.pas* следует выполнить непосредственную программную реализацию методов, заголовки и структуры описания которых созданы автоматически. В данном случае необходимо внести соответствующий код для методов доступа к полям SOAP сервиса и метода реализации непосредственного расчета дальности радиогоризонта.

В первом случае, требуемый код будет аналогичен представленному на рисунке 5.2.13.

```

procedure Taccount._set_RadiusEarth ( const RadiusEarth : SmallInt);
begin
    _RadiusEarth := RadiusEarth;
end;

function Taccount._get_HeightA : SmallInt;
begin
    Result := _HeightA;
end;

```

Рисунок 5.2.13 – Код методов доступа к полям сервиса и метода реализации непосредственного расчета

Во втором случае, необходимо выполнить программную реализацию функции расчета дальности радиогоризонта, включив последнюю в описание метода *rechnen*, как показано на рисунке 5.2.14.

```

function TAccount.rechnen : Single;
begin
  Result:=sqrt(2*1000*RadiusEarth) * (sqrt(HeightA) + sqrt(HeightC)) ;
end;

```

Рисунок 5.2.14 – Код реализации функции расчета дальности радиогоризонта

Так же следует сделать первоначальное определение атрибутов SOAP сервисов, выполняемое в методе-конструкторе *Create*, как показано на рисунке 5.2.15.

```

constructor TAccount.Create;
begin
  inherited;
  _RadiusEarth := 8500;
  _HeightA := 25 ;
  _HeightC := 5000 ;
end;

```

Рисунок 5.2.15 – Первоначальное определение атрибутов сервисов

Компилирование данного проекта, после внесения указанных изменений, приведет к созданию SOAP-сервера, реализующего возможность расчета дальности радиогоризонта.

4.4. Реализация в программном прототипе SOAP-клиента требуемой функциональности

Программная реализация функциональности клиента по существу заключается в самом обычном программировании. Для этого можно расположить на форме визуальные элементы ввода, через которые можно задать значения входных параметров. Далее можно разместить, например, кнопку, при нажатии на которую будет выполняться расчет, а также какой-либо визуальный элемент для отображения результатов расчетов. При этом весь программный код, реализующий функциональность клиента, может выглядеть достаточно просто, как показано на рисунке 5.2.16, где *Acct* – переменная, указывающая на используемый SOAP-сервис – *Account*.

```

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    acct := TAccountHelper.bind;
end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    Acct.RadiusEarth := StrToInt(Edit4.Text);
    Acct.HeightA := StrToInt(Edit5.Text);
    Acct.HeightC := StrToInt(Edit6.Text);
    Label10.Caption := FloatToStr(acct.rechnen);
end;

```

Рисунок 5.2.16 – Пример программной реализации функциональности клиента

4.5 Связное тестирование сервера и клиента

Для обеспечения взаимодействия клиентского приложения с SOAP- сервисом необходимо использовать промежуточное ПО, в качестве которого можно использовать, например *VisiBroker Smart Agent* из состава *VisiBroker*. Таким образом, для выполнения тестирования сервера и клиента, следует запустить *VisiBroker Smart Agent*, затем запустить сначала сервер, а потом клиентское приложение. При выполнении нажатия кнопки «Расчет» в клиентском приложении, через *VisiBroker Smart Agent* устанавливается соединение с сервером, которому посылается запрос на выполнение расчета, результаты которого отображаются в клиентском приложении. В серверное приложение, помимо приведенного выше описания, был добавлен компонент *Memo*, в котором при загрузке сервера отображается информационная строка о его загрузке, а при каждом выполнении расчета по запросу клиента появляется сообщение о выполнении расчета. Методика тестирования SOAP-сервера и клиента, практически ничем не отличается от тестирования обычных программных продуктов.

Таким образом, разработанный метод позволяет добиться улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами за счет обеспечения возможности практического применения комплексных библиотек прикладных классов и объектов (сервисов) для создания выше указанных ПК. По своей сущности это метод обеспечения системного и крупноблочного синтеза исполняемого кода ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Использование данного метода способно обеспечить создание многофункциональных

библиотек классов, объектов и сервисов, применимых к эффективному решению разноплановых задач диспетчеризации авиатранспорта, с внутренней реализацией самого высоко уровня сложности, обеспечивая при этом снижение сроков и соответственно затрат на создание нового и сопровождение существующего программного обеспечения ПК СУ АСДПП, а также обеспечить повышение результативности разработки соответствующих программных систем при высоком уровне их надежности.

5.3 Экспериментальная проверка и оценка эффективности результатов исследования

Оценка эффективности результатов исследования проведена в рамках диссертационного эксперимента, который осуществлен с использованием средств имитационного моделирования применительно к характеристикам типовой АСДПП авиатранспортом, пример которой описан в приложении Г. Целью эксперимента являлось установление факта статистически-значимого прироста результативности (т.е. ее составляющих) программных комплексов АСДПП авиатранспортом за счет реализации в их прикладном программном обеспечении ситуационных методов управления. При этом составляющие результативности рассматриваются, как некоторые показатели качества программных комплексов АСДПП авиатранспортом, а факт роста результативности по этим составляющим рассматривается как улучшение качества.

Эксперимента был реализован по схеме, заключающийся в:

- 1) прототипировании и моделировании работы двух контрастных альтернатив (имитационных моделей программных комплексов для АСДПП авиатранспортом: одна – на основе традиционно подхода к диспетчеризации авиатранспорта, вторая – на основе принципов ситуационного управления, реализуемого в рамках разработанных концепции и научно-методического инструментария) и анализе их корректности;
- 2) интерпретации составляющих результативности как показателей качества создания и функционирования ПК для АСДПП авиатранспортом;
- 3) сравнительном анализе результатов применения разработанных и альтернативных методов, соответствующих процедур и решений.

В качестве контрастных альтернатив в эксперименте рассмотрены:

- использование традиционных средств диспетчеризации и поддержки решений диспетчера на основе математико-алгоритмических моделей задач

выявления и разрешения коллизий в развитии пространственных процессов авиатранспорта;

- использование аппарата ситуационного управления, реализуемого на базе сценарного подхода и программной технологии экспертных систем для решения того же круга задач.

В процессе эксперимента решены следующие частные задачи:

1. Произведено математико-статистическое моделирование выше описанных контрастных альтернатив с использованием программного пакета MathCAD 2000 Professional, скелетной экспертной системы Jess, интегрирующей среды Protege, а так же исходного информационного ресурса, сформированного на основе данных с сайта <https://www.flightradar24.com/> и оперативной информации из БД маломерной авиации, интегрируемых в ГИС «Онтомап».

2. Проведен сравнительный анализ и оценку альтернативных вариантов программных моделей-реализаций ПК для АСДПП авиатранспортом.

3. Оценен комплексный эффект от внедрения результатов исследования.

В процессе математико-статистического моделирования и сравнительного анализа альтернативных вариантов ПК АСДПП авиатранспортом осуществлено три серии оценивания (по двенадцать актов каждый) показателей результативности прототипов. При этом предполагалось, что альтернативные прототипы ПК для АСДПП использовались для автоматизированного выявления и разрешения коллизий в движении авиатранспорта, которые моделировались и анализировались в среде MathCAD 2000 Professional, за счет объединения данных по самолетам гражданской авиации с сайта <https://www.flightradar24.com/> и из БД маломерной авиации в равнозначном статусе, как показано на рисунке 5.3.1. Указанное объединение позволило имитировать возникновение коллизий, которые необходимо выявлять и предотвращать с использованием ПК для АСДПП авиатранспортом. В качестве опытного района рассмотрено воздушное пространство над Финским заливом и близлежащими аэропортами. Это позволило при каждом акте оценивания

использовать однородные, типовые и максимально приближенные к достоверному варианты представления входной информации для диспетчеризации авиатранспорта. Пример такого варианта показан на рисунке 5.3.2.

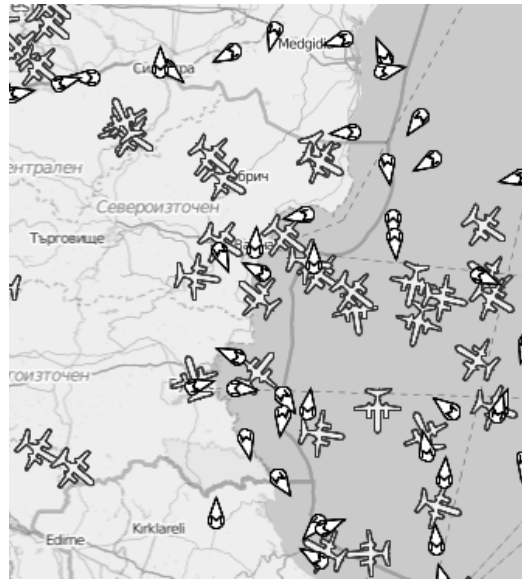


Рисунок 5.3.1 – Объединение данных по крупным самолетам гражданской и маломерной авиации в равнозначном статусе высот

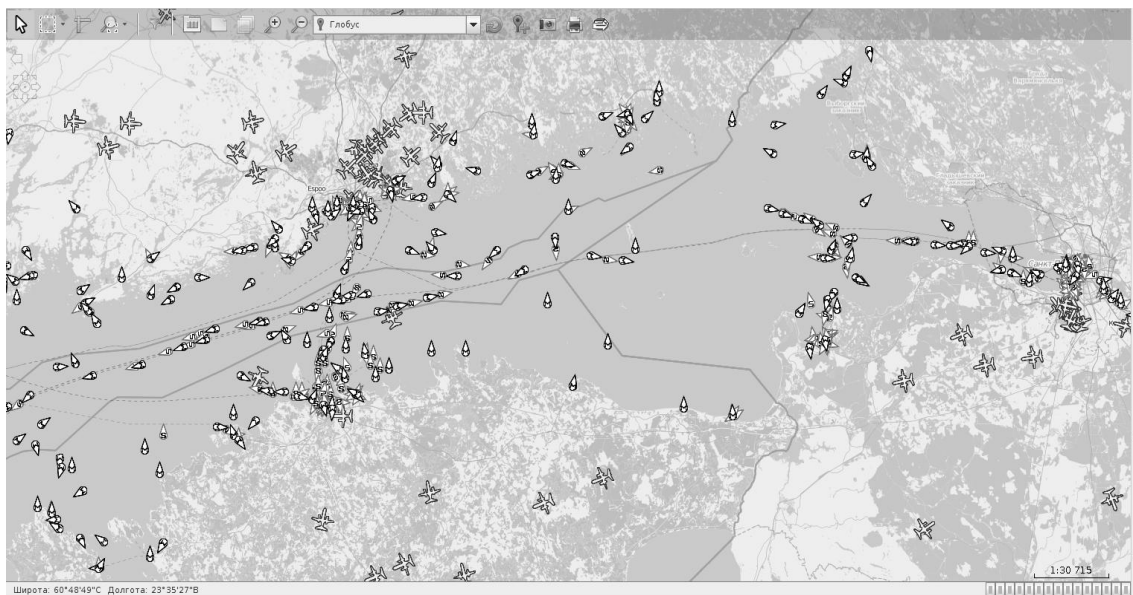


Рисунок 5.3.2 – Пример экспериментального варианта представления входной информации для диспетчеризации авиатранспорта в ГИС «Онтомап»

В таблице 5.3.1 представлены варианты интерпретации составляющих функциональной результативности ПК для АСДПП авиатранспортом в виде более частных технических показателей, которые далее были рассмотрены и оценены как показатели качества указанных комплексов.

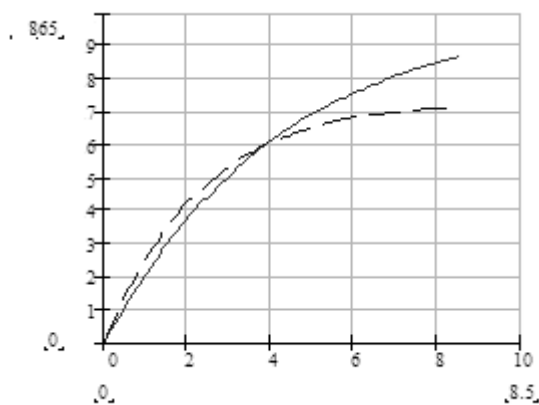
Таблица 5.3.1 – Интерпретация составляющих результативности ПК для АСДПП авиатранспортом

№ п/п	Показатели, составляющие результативность ситуационного управления согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2015	Интерпретация в показателях качества ПК АСДПП, согласно ГОСТ Р ИСО 25010 - 2015; ГОСТ Р 27000 - 2015; ГОСТ 34.601-90 для эксперимента.	Методологический (научно-методический) способ оценки и сравнительного анализа альтернативных вариантов в рамках эксперимента, конкретизированный показатель (критерий) эффективности.
1.	Экономичность	Экономичность разработки.	Сокращение времени разработки, при заданном (неизменном) уровне сложности решаемых задач.
2.	Прибыльность	Надежность; Верифицированность; Время разработки	Снижение вероятности факта ошибки (дефекта) программного кода ПК.
3.	Производительность	Эффективность функционирования.	Рост числа разрешаемых коллизий в единицу времени.
4.	Действенность	Адаптивность;	Уменьшение вероятности ошибки при росте контролируемых бортов
5.	Условия трудовой деятельности	Робастость; Институциональность.	Сложносоставной показатель, оценивается качественно экспертом
6.	Нововведения	Потребительские свойства	Сложносоставной показатель, оценивается качественно экспертом

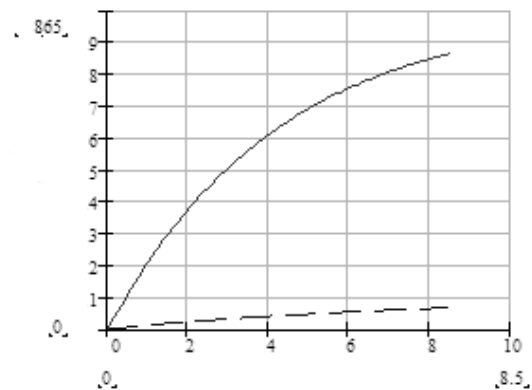
На основании представленной интерпретации составляющих функциональной результативности и полученных результатов оценки по конкретизированным показателям эффективности альтернативных моделей ПК АСДПП в эксперименте получены следующие результаты сравнительного анализа:

1. Сокращение времени разработки одного компонента прикладного программного обеспечения соответствующего типовой функции-задаче, при заданном (неизменном) уровне сложности решаемых задач проанализирована на ансамбле реализаций моделирования. Обобщение результатов моделирования позволили получить следующие зависимости, представленные на рисунке 5.3.3. В частности, сплошная линия описывает временную

трудоемкость разработки ПК для АСДПП авиатранспортом на традиционных математико-алгоритмических принципах, а пунктирная – временную трудоемкость для ПК ситуационного управления, реализуемого на базе технологии экспертных систем. Ось абсцисс – тысячи строк программного кода реализации на языке высокого уровня, ось ординат – временная трудоемкость в человеко-месяцах. Из рисунка 5.3.3 а) видно, что при непосредственной (полноручной, с нуля) разработка ПК СУ для АСДПП может быть даже более трудоемкой, чем разработка аналогичного ПК на традиционных принципах. Однако, применение предлагаемого в данном исследовании методологического инструментария повторного использования кода из готовых баз программных компонент позволяет добиться резкого сокращения времени разработки именно ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, что показано на рисунке 5.3.3 б).



а) Без использования предлагаемого инструментария

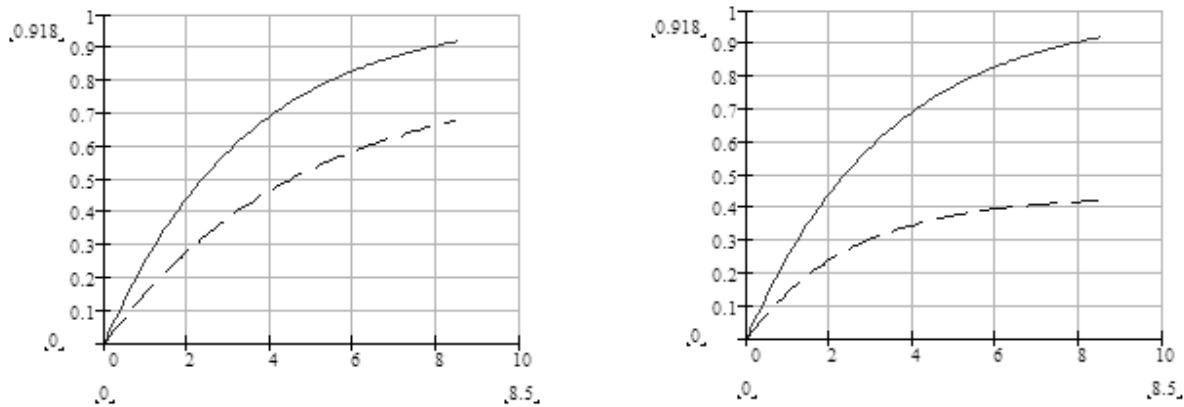


б) С использованием предлагаемого инструментария

Рисунок 5.3.3 – Сравнение времени разработки компонента прикладного программного обеспечения соответствующего типовой функции-задаче

2. Снижение вероятности факта ошибки (дефекта) программного кода ПК для АСДПП авиатранспортом. Сравнительные результаты моделирования представлены на рисунке 5.3.4. В частности, сплошная линия описывает вероятность возникновения программистской ошибки - дефекта кода при разработке на традиционных математико-алгоритмических принципах, а

пунктирная – для случая ситуационного управления, реализуемого на базе технологии экспертных систем. Ось абсцисс – тысячи строк программного кода реализации на языке высокого уровня, ось ординат – значение вероятности ошибки-дефекта. Эффект от использования предлагаемого инструментария очевиден, значим и наглядно виден из сравнительного анализа составляющих а) и б) на рисунке 5.3.4.



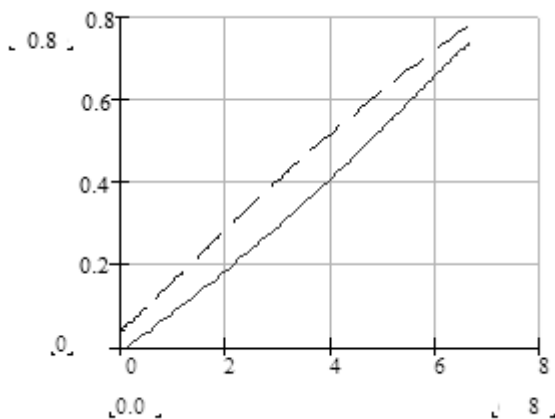
а) Без использования предлагаемого инструментария

б) С использованием предлагаемого инструментария

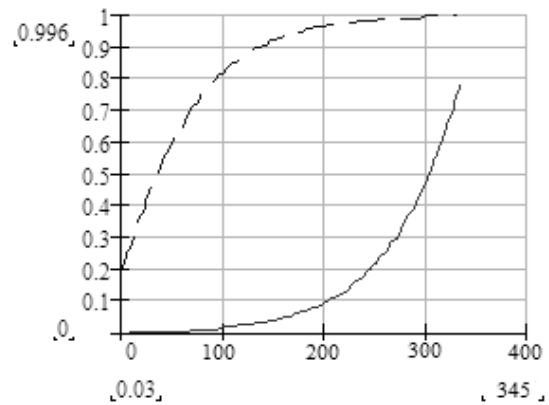
Рисунок 5.3.4 – Сравнение вероятностей ошибки (дефекта) программного кода ПК для АСДПП авиатранспортом

3. Рост числа разрешаемых коллизий в единицу времени. Сравнительные результаты моделирования представлены на рисунке 5.3.5. Сплошная линия описывает вероятность успешного своевременного выявления коллизии диспетчером при использовании ПК диспетчеризации на традиционных математико-алгоритмических принципах, а пунктирная – для случая ситуационного управления, реализуемого на базе технологии экспертных систем. Ось абсцисс – количество диспетчерских коллизий формируемых системой моделирования на фоне реальной обстановки от системы Flightradar, ось ординат – значение вероятности своевременного выявления и разрешения коллизии. При этом в ходе моделирования обнаружено, что при малом числе формируемых системой моделирования коллизий человек-машинная система

Диспетчер-ПК АСДПП демонстрирует практически равную эффективность обнаружения и разрешения опасных ситуаций (сплошная линия), как и экспертная система в составе ПК СУ АСДПП, что видно из результатов моделирования на рисунке 5.3.5. а). Однако, при увеличении числа моделируемых конфликтных или опасных ситуаций преимущество полной автоматизации процедуры выявления и выработки рекомендаций по разрешению коллизий с использованием методов ситуационного управления становится очевидным, что видно из рисунка 5.3.5. б).



а) При малом числе моделируемых опасных ситуаций, без фоновой обстановки



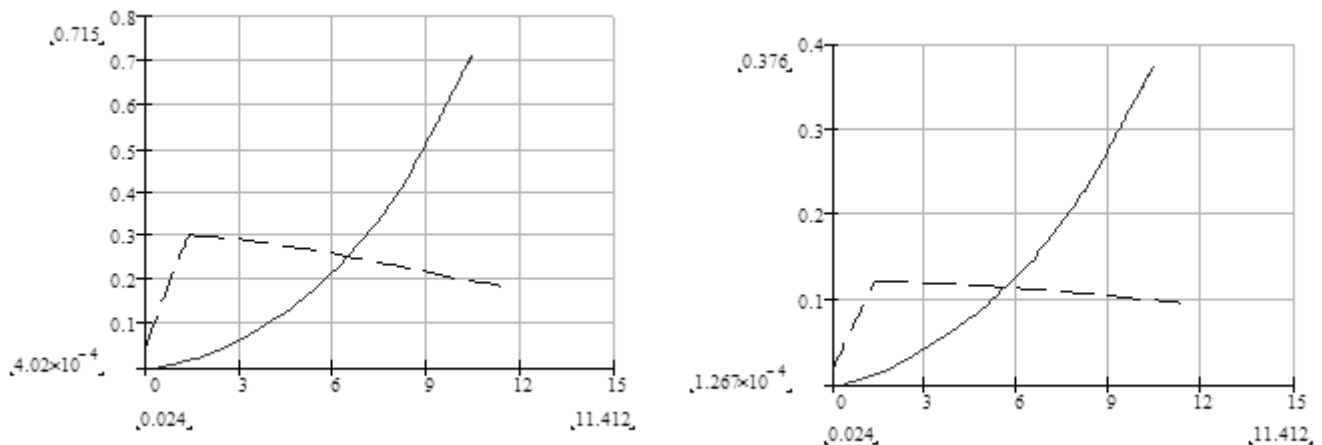
б) При большом числе моделируемых опасных ситуаций, с фоновой обстановкой

Рисунок 5.3.5 – Сравнение вероятностей успешного своевременного выявления и успешного разрешения заданного числа коллизий в АСДПП

4. Уменьшение вероятности ошибки диспетчеризации при росте числа контролируемых бортов. Сравнительные результаты моделирования представлены на рисунке 5.3.6. Сплошная линия описывает вероятность возникновения ошибки диспетчеризации при использовании ПК поддержки принятия решений на традиционных математико-алгоритмических принципах, а пунктирная – для случая использования ПК ситуационного управления, реализуемого на базе технологии экспертных систем. Ось абсцисс – количество контролируемых пространственных процессов имитируемых системой моделирования на фоне реальной обстановки от системы Flightradar, ось

ординат – значение вероятности возникновения ошибки диспетчеризации. Эффект от использования предлагаемого инструментария очевиден, значим и наглядно виден из сравнительного анализа составляющих а) и б) на рисунке 5.3.6.

5. Обеспечение условий трудовой деятельности диспетчера. Является сложносоставным показателем, который оценивается качественно путем экспертизы. В ходе диссертационного эксперимента эффект по данному показателю оценки эффективности предлагаемых научных результатов рассмотрен и представлен рядом характеристик предлагаемых научно-методических средств и поддерживающего их инструментария, которые выгодно отличают его от рассматриваемых уже известных и альтернативных методов.



а) Без использования предлагаемого инструментария

б) С использованием предлагаемого инструментария

Рисунок 5.3.6 – Сравнение вероятности возникновения ошибки диспетчеризации при росте числа контролируемых бортов одним диспетчером

К этим характеристикам были отнесены:

5.1. Применение комплексного подхода к поддержке деятельности авиадиспетчера с точки зрения информационного и программного обеспечения его деятельности на базе АСДПП, в том числе к интеллектуальным функциям

своевременного выявления, идентификации и классификации сложных (опасных) навигационных ситуаций.

5.2. Обеспечение качественно нового уровня управления воздушным трафиком в условиях его нарастающей интенсивности, за счет реализации новейших концепций ситуационного управления, а так же сценарно-репрезентативной технологии формирования текущей модели обстановки на АРМ диспетчера.

5.3. Создание базы для широкого внедрения технологий искусственной интеллектуальности в ПК АСДПП авиатранспортом, обеспечения разумной интенсификации труда авиадиспетчера за счет глубокой автоматизации и интеллектуализации.

6. Уровень и характер новизны (Нововведения). Является сложносоставным показателем, который оценивается качественно путем экспертизы. Аналогично выше приведенному показателю эффективности: эффект представлен рядом характеристик предлагаемых научно-методических средств и поддерживающего их инструментария, которые выгодно отличают его от рассматриваемых уже известных и альтернативных методов. В частности, к таким характеристикам были отнесены:

6.1. Обеспечение гибкости учета структурной сложности системы показателей качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, многоуровневой вложенности более простых показателей в состав более сложных и связей между ними; возможности оценивания качества в условиях недостаточности исходной квалиметрической информации.

6.2. Предоставление возможности адекватного оценивания текущего качества ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, не как конечного предписания об уровне его развития, а как диагностирующей информации для выработки корректирующего воздействия на ход проектирования и создания.

6.3. Возможность использования предлагаемого аппарата на всех этапах разработки программного обеспечения для ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом.

6.4. Обеспечение возможности снизить уровень итеративности технологического процесса разработки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом, повысить уровень сложности реализуемых задач, а как следствие снизить трудоемкость, повысить безошибочность работы АСДПП авиатранспортом, в целом.

Таким образом, обобщение результатов оценки эффективности предлагаемого методологического инструментария дает возможность заключить, что его использование позволяет, за счет повышения результативности (всех ее составляющих) программных комплексов АСДПП на основе принципов ситуационного управления, добиться улучшения качества этих ПК.

5.4 Выводы по пятой главе

1. Повторное использование программного кода, за счет системного создания и использования различных баз программных компонент (библиотек функций, классов, объектов и сервисов), обеспечивает существенное снижение трудоемкости процесса создания нового программного обеспечения, а так же значительный рост верифицированности и надежности ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом, как программных изделий.

2. Системное создание и широкое применение баз программных компонентов, на основе механизмов повторно используемого кода в технологическом процессе разработки ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом обеспечивает: надежность, унификацию и стандартизацию разрабатываемого прикладного программного обеспечения для указанных комплексов, а так же повышение эффективности разработки и сопровождения этих ПК, за счет снижения временных затрат на непосредственное кодирование, тестирование и отладку их ПО.

3. Понятие функции в настоящее время является фундаментальным элементом, на котором строится изучение, моделирование и автоматизация ситуационного управления авиатранспортом, как прикладной области знаний. Именно поэтому функции, как фундамент понятия математической модели, требуют выражения в виде компьютерной интерпретации их представления на основе разработанного метода повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода. При этом в прикладных областях знаний ситуационного управления авиатранспортом в отличие от формальной математической теории большое значение имеет не только сам факт выявления и описания обнаруженных математических зависимостей, но и выявление области определения данной зависимости, в первую очередь не с точки зрения математического анализа, а с точки зрения объективных ограничений соответствующего физического процесса.

4. Предложенный метод повышения надежности программных комплексов АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода позволяет создавать глубоко верифицированные базы программных компонент повторяемого кода в рамках общей визуальной оболочки обладающей большими функциональными возможностями, что в свою очередь позволяет эффективно решить задачу повышения надежности указанных программных комплексов. Он обеспечивает не только рост надежности как таковой, но и снижение временных затрат и повышение результативности разработки программного обеспечения для АСДПП авиатранспортом на основе указанных баз, как типичных представителей методологии повторного использования разработанного и верифицированного кода.

5. Метод улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте позволяет добиться улучшения экономичности разработки указанных комплексов за счет обеспечения возможности практического применения комплексных библиотек прикладных классов и объектов (сервисов) для создания этих ПК. По своей сущности это метод обеспечения системного и крупноблочного синтеза исполняемого кода ПК ситуационного управления АСДПП авиатранспортом. Использование данного метода способно обеспечить создание многофункциональных библиотек классов, объектов и сервисов, применимых к эффективному решению разноплановых задач диспетчеризации авиатранспорта, с внутренней реализацией самого высоко уровня сложности, обеспечивая при этом снижение сроков и соответственно затрат на создание нового и сопровождение существующего программного обеспечения ПК СУ АСДПП, а также обеспечить повышение результативности разработки соответствующих программных систем при высоком уровне их надежности.

6. Обобщение результатов оценки эффективности предлагаемого методологического инструментария в ходе диссертационного эксперимента

дает возможность заключить, что его использование позволяет, за счет повышения результативности (всех ее составляющих) программных комплексов АСДПП на основе принципов ситуационного управления, добиться улучшения качества этих ПК.

Заключение

Полученные, сформулированные и обоснованные выводы по главам диссертационной работы дают возможность резюмировать данное исследование в целом, т.е. обобщить промежуточные выводы. Проведенное диссертационное исследование позволяет прийти к следующим обобщающим выводам и практическим рекомендациям:

1. Совокупность полученных в настоящем диссертационном исследовании научных результатов составляет теоретическую базу улучшения качества программных комплексов АСДПП авиатранспортом, ориентированных на реализацию принципов ситуационного управления пространственными процессами.

2. Разработанная теоретическая база обеспечивает решение научно-технической проблемы системного улучшения качества программных комплексов АСДПП на авиатранспорте на основе разработки концепции и научно-методического инструментария повышения их результативности на основе принципов ситуационного управления.

3. Улучшение качества управления пространственными процессами и их безопасности на основе всестороннего совершенствования ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом может быть гарантирован, если в процессе разработки указанных ПК в составе АСДПП будут использованы:

– Научно-методическая концепция улучшения качества управления пространственными процессами на авиатранспорте за счет средств ситуационного менеджмента;

– Метод анализа динамики качества протекания авиационного пространственного процесса;

– Метод комплексной оценки показателей безаварийности пространственных процессов на авиатранспорте;

– Метод оценки качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;

– Метод репрезентации вербальных оценок показателей качества программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте;

– Метод повышения надежности ПК АСДПП на авиатранспорте за счет механизмов повторного использования кода;

– Метод улучшения экономичности разработки программных комплексов ситуационного управления пространственными процессами на авиатранспорте.

4. Прогностический потенциал полученных научных результатов обусловлен следующими принципиальными возможностями:

1) возможностью интеллектуальной, информационной и функциональной поддержки деятельности диспетчеров авиатранспорта при обеспечении безаварийности пространственных процессов и активизации внимания диспетчера на фактических пространственных процессах с угрозой возникновения опасных (нештатных) ситуаций;

2) возможностью обеспечения линейности и исключения случаев цикличности процесса проектирования и разработки ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом;

3) возможность объективной оценки качества и недостатков принятых проектных решений по разработке ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом.

5. Полученные в результате исследования научные результаты, выводы и рекомендации носят обобщенный характер, что позволяет их использовать:

– для разработки документов, уточняющих базу нормативно-технического регулирования и регламентирующих процесс проектирования ПК ситуационного управления для АСДПП авиатранспортом на всех стадиях выполнения проектных работ;

– для организации перспективных НИОКР с целью адаптации ПК СУ к предметным областям и целям тех систем управления, в состав которых они входят;

– для разработки автоматизированных систем обеспечивающего характера (Например, тренажерно-обучающих систем профессиональной подготовки диспетчерского состава, осуществляющего управление различными видами транспортных потоков).

6. С учетом указанного выше вынесенные на защиту научные результаты являются новыми, достоверными, теоретически и практически значимыми. Они могут быть квалифицированы как совокупность технических и технологических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны.

Таким образом, в диссертационной работе получено семь научных результатов (положений выносимых на защиту). Эти результаты соответствуют формуле специальности 05.02.23 – «Стандартизация и управление качеством продукции» и основным областям исследования этой специальности.

Перспективными направлениями дальнейших исследований в области улучшения качества прикладных программных комплексов для диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта, являются:

1. Интеграция в состав специализированных АСДПП систем поддержки принятия решений (СППР), проектируемых в настоящее время как самостоятельный компонент соответствующих систем управления и отображения информации.

2. Стандартизация принципов, методов и процедур формирования рекомендаций диспетчеру АСДПП при выработке сигнала о возникновении фактической или прогнозируемой нештатной пространственной ситуации.

3. Разработка методов блокирования в АСДПП неправильных действий и команд диспетчера, непосредственно приводящих к возникновению опасной (нештатной) пространственной ситуации.

4. Создание специализированных методов и методик тестирования интеллектуальных ПК в составе АСДПП по всему множеству возможных сочетаний показателей безаварийности пространственных ситуаций и настройки системы оценки качества протекания диспетчеризируемых

пространственных процессов на систему предпочтений пользователей (диспетчеров).

Обозначенные выше направления дальнейших исследований призваны обеспечить улучшение качества программно-информационной поддержки деятельности диспетчеров авиатранспорта, а в конечном итоге, рост эффективности и безаварийности диспетчеризируемых авиатранспортных потоков.

Список сокращений и условных обозначений

АРМ	— автоматизированное рабочее место	
АСДПП	— автоматизированная система диспетчеризации пространственных процессов	
АСУ	— автоматизированная система управления	
АСУ-Т	— АСУ транспортом	
БД	— база данных	
БЗ	— база знаний	
ВГ	— внутренняя граница	
ВТ	— вычислительная техника	
ГИС	— географическая информационная система	
ГИТ	— геоинформационная технология	
ДЗЗ	— дистанционное зондирование Земли	
ДНА	— диаграмма направленности	
ДПП	— диспетчеризация пространственных процессов	
ИАСУ	— интегрированная АСУ	
ИИ	— искусственный интеллект	
ИС	— индекс согласованности	
ИТ	— информационная технология	
ЛПР	— лицо, принимающее решение	
ОГ	— опасная граница	
ОКР	— опытная конструкторская работа	
ООП	— объектно-ориентированный подход	
ОС	— отношение согласованности	
ПАК	— программно-аппаратный комплекс	
ПК	— программный комплекс	
ПО	— программное обеспечение	
ППО	— прикладное программное обеспечение	
СКО	— среднее квадратическое отклонение	
СМО	— система мониторинга обстановки	
СОИ	— средство отображения информации	
СППР	— система поддержки принятия решений	
СУ	— ситуационное управление	
СУБД	— система управления базами данных	
УОГ	— условно опасная граница	
ЧФ	— человеческий фактор	
ЭМП	— электро-магнитное поле	
ЭС	— экспертная система	

Словарь терминов

1. **Автоматизированное рабочее место (work station, workstation), рабочая станция** – индивидуальный комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для автоматизации профессионального труда специалиста - оператора системы диспетчеризации и пр. Обычно в АРМ входит персональный компьютер или рабочая станция с дисплеем и другие периферийные устройства. АРМ работает **в составе** локальной или территориальной **сети (networked workstation)** или **в автономном режиме (stand-alone workstation)**.

2. **Алгоритм (algorithm)**- Формальная процедура, гарантирующая получение оптимального или корректного решения.

3. **Аппаратное обеспечение (hardware)** - аппаратные средства, аппаратура, технические средства – техническое оборудование системы обработки информации (в отличие от программного обеспечения, процедур, правил и документации), включающее собственно компьютер и иные механические, магнитные, электрические, электронные и оптические периферийные устройства или аналогичные приборы, работающие под ее управлением или автономно, а также любые устройства, необходимые для функционирования системы (например, GPS- аппаратура, электронные картографические приборы и приборы геодезические). Общая организация взаимосвязи элементов **А.о.** вычислительных систем называется **архитектурой (architecture)**, совокупность функциональных частей – конфигурацией (configuration) системы.

4. **Аппаратно-программное обеспечение (software/hardware, “hard and soft”)**, программно-аппаратное обеспечение – совокупность аппаратного обеспечения системы обработки информации.

5. **База данных (data base)** - совокупность данных, организованных по определенным правилам, устанавливающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными.

6. База знаний (knowledge base) - 1. Часть системы, основанной на знаниях, или экспертной системы, содержащая экспертные знания. 2. Совокупность знаний о некоторой предметной области, на основе которых можно проводить рассуждения. Основная часть экспертных систем, в которых с помощью БЗ представляются навыки и опыт экспертов, разрабатывающих эвристические подходы в ходе решения проблем. Обычно БЗ представляет собой набор фактов и правил, формализующих опыт специалистов в конкретной предметной области и позволяющих на вопросы о ней давать ответы, которые в явном виде не содержатся в БЗ.

7. Банк данных, БнД (databank, data bank) – система централизованного или распределенного хранения и коллективного использования данных, которая представляет собой взаимосвязанную совокупность баз данных, СУБД и комплекс прикладных программ.

8. Взаимодействующие источники знаний (cooperating knowledge sources) - Специализированные модули в экспертной системе, которые независимо анализируют данные и взаимодействуют друг с другом через центральную структурированную базу данных, называемую доской объявлений.

9. Графическая форма представленных данных (graphic form) – электронная форма представленных данных в виде графических знаков.

10. Данные (datum, *pl.* data) – зарегистрированная информация, представленная в электронном виде, пригодном для обработки автоматическими средствами при возможном участии человека.

11. Естественный язык (natural language) - Стандартный метод обмена информацией между людьми, например, английский язык, в отличие от искусственных языков, таких как языки программирования.

12. Запрос (query, request) – задание на **поиск** (retrieval) данных в базе данных, отвечающих некоторым условиям.

13. Знания (knowledge) - Информация необходимая программе для того, чтобы эта программа вела себя интеллектуально.

14. **Интерпретатор** (interpreter) – часть механизма вывода, которая решает, каким образом применять предметные знания. В программировании – часть программного обеспечения, анализирующая программу, чтобы решить, какие затем предпринять действия.

15. **Интерфейс** (interface) – совокупность средств и правил, обеспечивающих взаимодействие вычислительных систем, входящих в их состав устройств, программ, а также пользователя с системой; последний носит особое название **интерфейс пользователя** (user interface), в современных программных средствах оформляется графически.

16. **Информация** (information) – **1.** совокупность знаний о фактических данных и зависимостях между ними; «сведения, являющиеся объектом некоторых операций; передачи, распределения, преобразования, хранения или непосредственного использования», данные, релевантные пользователю; **2.** в вычислительной технике: содержание, присваиваемое данным посредством соглашений, распространяющихся на эти данные; данные, подлежащие вводу в компьютер, обрабатываемые пользователю. Законы, методы и способы накопления, обработки и передачи информации с помощью компьютеров и иных технических устройств, изучаются **информатикой** (informatics, computer science).

17. **Информационное обеспечение** (information support) – совокупность массивов информации (баз данных, банков данных и иных структурированных наборов данных), систем кодирования, классификации и соответствующей документации, обслуживающая систему обработки данных (наряду с программным и аппаратным обеспечением).

18. **Исчерпывающий поиск** (exhaustive search) - Метод решения, при котором все возможные решения последовательно перебираются каким-либо примитивным способом, пока не будет найдено приемлемое решение.

19. **Исчисление предикатов** (predicate calculus) - Формальный язык классической логики, который использует функции и предикаты для описания отношений между отдельными сущностями.

20. **Качество** — сложное свойство объекта, обуславливающее его пригодность для использования по назначению.
21. **Конечный пользователь** (end-user) - Человек, который использует законченную информационную систему по предоставлению ему тех или иных услуг: человек для которого разработана система.
22. **Критерий оценивания свойства** — правило, с помощью которого определяют соответствие интенсивности свойства предъявляемым требованиям.
23. **Мастерство** (skill) - Результативное и умелое применение знаний для получения решений в некоторой предметной области.
24. **Механизм вывода** (inference engine) - Та часть системы, в которой содержатся общие знания о схеме управления решением задач.
25. **Механизм объяснения** (explanation facility) - Часть системы, которая объясняет, каким образом были получены решения, и обосновывает действия, принятые для их получения.
26. **Множественные линии рассуждений** (multiple lines of reasoning) - Метод получения решения, при котором используется ограниченное число (возможно, не зависящих друг от друга) разных подходов к решению задачи.
27. **Обратная цепочка рассуждений** (backward chaining) - Метод вывода, в котором система начинает с того, что хочет доказать, например с z , и пытается установить факты, необходимые для доказательства z .
28. **Объект** (object) – **1.** определенная часть реальной действительности (предмет, процесс, явление); **2.** совокупность точек пространства, объединенных функциональной общностью с точки зрения конкретной цели.
29. **Оценивание свойства** — определение значения характеристики.
30. **Оценка** — результат оценивания. При этом, **Измерение** — определение значения количественной характеристики, основанное на поиске значения физической величины опытным путем с помощью технических средств.

31. **Переформулирование задачи** (problem reformulation) - Преобразование задачи, сформулированной некоторым образом, в форму, которая способствует более быстрому и эффективному решению.

32. **Показатель свойства** — количественная характеристика, с помощью которой оценивается свойство. **Групповой показатель свойства** — показатель группы свойств. **Обобщенный показатель свойства** — показатель сложного свойства. **Частный показатель сложного свойства** — показатель свойства, входящего в совокупность свойств, с помощью которой можно представить сложное свойство.

33. **Показатель качества** - количественная характеристика, с помощью которой оценивается одна из составляющих качества. При этом выделяют: **Элементарный показатель качества** – единичный показатель качества, который характеризует независимое простое свойство, не требующее дальнейшей декомпозиции (квантификации). **Групповой показатель качества** – комплексный показатель качества, который определяется на некотором множестве частных показателей, расположенных в структуре показателей на один уровень ниже его. **Частный показатель качества** – элементарный или групповой показатель, который характеризует некоторый групповой или интегральный показатель, расположенный в иерархической структуре показателей на один уровень выше его. **Интегральный показатель качества** – наивысший по уровню иерархии групповой показатель, не являющийся частным по отношению ни к одному из показателей.

34. **Пользователь** (user) - Человек, использующий автоматизированную систему, например конечный пользователь программного средства, эксперт, инженер знаний, разработчик инструмента или потребитель информационной услуги.

35. **Представление** (representation) - Процесс формулирования или описывания проблемы таким образом, чтобы ее было легко решить.

36. **Проблема размерности** (scaling problem) - Трудность, связанная с попыткой применить методы решения, разработанные для упрощенной версии задачи, к самой реальной задаче.

37. **Программа** (program, routine) – **1.** данные, предназначенные для управления конкретными компонентами системы обработки данных в целях реализации определенного алгоритма; **2.** упорядоченная последовательность команд, подлежащих обработке, последовательность предложений **языка программирования** (programming language). Совокупность **П. (1)** и документации к ним образует программное обеспечение.

38. **Программное обеспечение** (software), **математическое обеспечение, программные средства** – совокупность программ системы обработки информации и программных документов, необходимых при эксплуатации этих программ; различают общее, в том числе **системное программное обеспечение** (system software), и **прикладное программное обеспечение** (application software).

39. **Реальная задача** (real-world problem) - Сложная практическая задача, решение которой полезно и в некотором смысле оправдывает затраты на его получение.

40. **Результат (эффект)** — конечный итог операции, в том числе все ее последствия. **Целевой эффект** — результат, ради которого проводится операция.

41. **Ресурсы** — силы и средства, которые используются для проведения операции.

42. **Робастность** (robustness) - Способность решателя задач лишь постепенно снижать качество своей работы по мере приближения к границам области компетентности или допустимой надежности данных.

43. **Свойство** — характерная черта, сторона объекта, которая внутренне присуща ему и обуславливает его различие или сходство с другими объектами. **Простое свойство** — свойство, которое нельзя представить в виде некоторой совокупности свойств объекта, а **сложное свойство** — свойство,

которое представимо в виде некоторой совокупности свойств объекта. При этом **Группа свойств** — любая совокупность свойств объекта; **Признак объекта** — устойчивая совокупность свойств объекта, используемая для различения объектов или их классификации.

44. **Символьное рассуждение** (symbolic reasoning) - Процесс решения задачи, основанный на применении стратегий и эвристик для манипулирования символами, означающими понятия проблемной области.

45. **Система управления базами данных** - СУБД (data base management system, DBMS) – комплекс программ и языковых средств, предназначенных для создания, ведения и использования баз данных.

46. **Ситуация** - акт возникновения совокупности событий, характеризующийся стечением всех соответствующих обстоятельств и положений.

47. **Ситуационное управление** - управление функционированием технической или организационно-технической системы на основе результатов интерпретации ситуаций, прогнозирования, планирования и выработки управляющих решений для технических систем, структура, свойства и основные процессы функционирования которых не могут быть полностью формально описаны с использованием различных математических моделей.

48. **Состояние объекта** — совокупность свойств, которая отражает процесс изменения объекта. Состояние объекта описывают с помощью набора характеристик свойств, составляющих совокупность, которая определяет это состояние, и значений этих характеристик в момент времени, соответствующий описанию состояния. Изменение объекта на данном интервале времени — это последовательность состояний, которые принимает объект в каждый момент времени на этом интервале. Данный процесс описывают путем задания начального (исходного) состояния и изменения этого состояния для каждого момента времени на заданном интервале. **Развитие** — изменение объекта, подчиняющееся закономерностям, которые определяют существование объекта.

49. **Средства поддержки** (support environment) - Программы и аппаратура, связанные со средствами построения экспертной системы, помогающие пользователю взаимодействовать с экспертной системой. К ним относятся сложные отладочные средства, удобные программы редактирования и развитые устройства графического вывода.

50. **Формат данных** (data format) – способ представления данных вне и в памяти компьютера.

51. **Характеристика свойства** — описание свойств объекта. Характеристика имеет наименование и значение. Наименование характеристики совпадает с названием свойства. Значение характеристики можно задать количественно и качественно, поэтому различают количественные и качественные характеристики: **Количественная характеристика** — описание свойства объекта с помощью некоторой переменной, значения которой характеризуют уровень или интенсивность этого свойства. Такую переменную обычно называют величиной. **Качественная характеристика** — описание свойства объекта без явного количественного оценивания интенсивности свойства.

52. **Цепочка вывода** (inference chain) - Последовательность шагов или предметных правил, используемых в системе, основанной на правилах, чтобы достичь заключения.

53. **Эвристика** (heuristic) - Эмпирическое правило, упрощающее или ограничивающее поиск решений в предметной области, которая является сложной или недоступной ясному пониманию.

54. **Эксперт** (domain expert) - Человек, который за годы обучения и практики научился чрезвычайно эффективно решать задачи, относящиеся к конкретной предметной области.

55. **Эффективность** — сложное свойство операции, характеризующее ее приспособленность к достижению цели, ради которой операция осуществляется.

Список литературы

1. Автоматизированная система диспетчерского управления городским транспортом – (<http://asduvrn.narod.ru/>).
2. Автоматизированная система управления транспортом. Код ГРНТИ 504931. Информация о технологии - (<http://www.sibpatent.ru/>).
3. Азгальдов, Р.И. Методы оценки качества продукции [Текст] / Р.И. Азгальдов, О.С. Райхман. – М.: Энергоатомиздат, 1991. - 264 с.
4. Айвозян, С.А. Прикладная статистика: исследование зависимостей [Текст] / С.А. Айвозян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1985. - 487 с.
5. Александров, А.В. Алгоритмы и программы структурного метода обработки данных [Текст] / А.В. Александров, Н.Д. Горский. – Л.: Наука, 1993-207 с.
6. Баркалая, Г.О. Принципы формирования системы единых критериев эффективности [Текст] / Г.О. Баркалая, В.Г. Милованов, С.К. Свирин // Методы определения состава и оценки боевой эффективности ВМФ: научн.-техн. сб. № 50. – М.: МО СССР, 1990. – С.9-19.
7. Беляев, В.И. Математическое моделирование систем шельфа [Текст] / В.И. Беляев, Н.В. Кондуфорова.– Киев: Наукова думка, 1990. – 240 с.
8. Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок [Текст] / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1974. -159 с.
9. Большая российская энциклопедия. – (<http://slovari.yandex.ru/>).
10. Борисов, А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования [Текст] / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров – Рига: Зинатне, 1991.-223 с.
11. Характеристики качества программного обеспечения [Текст] / Б.У. Боэм, [и др.] – М.: Мир, 1981. -312 с.
12. Боэм, Б.У. Инженерное проектирование программного обеспечения [Текст]: пер. с англ. /Б.У. Боэм. – М.: Радио и связь, 1985. -252 с.

13. Ванн Тассел, Д. Стиль, разработка, эффективность, отладка и испытание программ [Текст]: пер. с англ. / Д. Ванн Тассел. – М.: Мир, 1995. - 248 с.
14. Вентцель, Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988. -208 с.
15. Воронин, М.Н. Гармонизация, интеграция и слияние данных: три источника и три составные части ГИС технологий [Текст] / М.Н. Воронин, В.В. Попович // Труды 2-го международного семинара «Интеграция информации и ГИС», - СПб.: «Анатолия», 2009. – С. 152-158.
16. Гаврилова, Т.А. Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы [Текст] / Т.А. Гаврилова, Д.И. Муромцев. - 2-е издан. - СПб, Издательство «Высшая школа менеджмента»; Издат. Дом Санкт-Петерб. Гос. университета, 2008. – 488 с.
17. Гаврилова, Т.А. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем [Текст] / Т.А. Гаврилова, К.Р. Червинская. – М.: Радио и связь, 1992. – 152 с.
18. Голдблат, Р. Топосы. Категорный анализ логики [Текст]: пер. с англ. / Р. Голдблат. - М.: Мир, 1989. - 294 с.
19. Городецкий, В.И. Многоагентный подход к реализации программного обеспечения [Текст] / В.И. Городецкий // Труды VII международной конференции «Региональная информатика-2008»: сб. – СПбСПОИСУ, 2009. - с.12-26.
20. Гомеостатика живых, технических, социальных и экологических систем [Текст] / Ю.М. Горский [и др.]. - Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1999. -212 с.
21. Горский, Ю.М. Информационные аспекты управления и моделирования [Текст] / Ю.М. Горский. - М.: Наука, 1978. - 264 с.
22. Горский, Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления [Текст] / Ю.М. Горский. - Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1988. -128 с.

23. ГОСТ 2.601-95. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы. [Текст] - М.: Рособоронстандарт, 2005. – 46с.
24. ГОСТ 34.201-89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем. [Текст] - М.: Госкомстандарт, 2002. – 36с.
25. ГОСТ 34.601-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы стадии создания. [Текст] - М.: Госкомстандарт, 2002. – 84с.
26. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Система менеджмента качества. Основные положения и словарь. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2015. – 42с.
27. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2015. – 57с.
28. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Процессы жизненного цикла программных средств. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2012. – 174с.
29. ГОСТ Р 51904-2002. Программное обеспечение встроенных систем. Общие требования к разработке и документированию. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2012. – 36с.
30. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15910-2002. Информационная технология. Процесс создания программного средства пользователя. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2012. – 98с.
31. ГОСТ 15971-90. Системы обработки данных. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1992.
32. ГОСТ 28806—90. Качество программных средств. [Текст] - М.: Госкомстандарт, 1999. – 114с.
33. ГОСТ Р ИСО 25 010 -2015. Качество информационных продуктов. Основные процедуры определения. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2015. – 76 с.
34. ГОСТ Р ИСО 27000 -2015. Качество программных средств. Основные процедуры определения. [Текст] - М.: Стандартиформ, 2015. – 36с.

35. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15 288-2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. [Текст] - М.: Стандартинформ, 2006. – 57с.
36. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000 – 2010. Менеджмент риска. Принципы и руководство. [Текст] - М.: Стандартинформ, 2012. – 26с.
37. Губинский, А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем [Текст] / А.И. Губинский. – Л.: Наука, 1982. -222 с.
38. Дайитбегов, Д.М. Программное обеспечение статистической обработки данных [Текст] / Д.М. Дайитбегов, О.В. Калмыков, А.И. Черепанов. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 211 с.
39. Денисов, А.А. Теория больших систем управления [Текст] / А.А. Денисов. - Л.: Энергоиздат : Ленингр. отд-ние, 1982. - 287 с.
40. Джонс, Дж. К. Методы проектирования [Текст] / К. Дж. Джонс. пер. с англ. Т. Г. Бурмистровой, И. В. Фриденберга; под ред. В. Ф. Венды, В. М. Мунипова. - 2-е изд., доп. - М.: Мир, 1986. - 326 с.
41. Ивакин, Я.А. Методы интеллектуализации промышленных геоинформационных систем для диспетчеризации пространственных процессов [Текст]: монография / Я.А. Ивакин; под ред. Р.М.Юсупова. – СПб.: СПИИРАН, 2008. - 239 с.
42. Ивакин, Я.А. Интеллектуализация геоинформационных систем. Методы на основе онтологий [Текст]: Научное издание / Я.А. Ивакин – Саабрюненг: Ламберт-Академик Пабблишинг, 2010. – 475с.
43. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания [Текст]: справочник / под общ. ред. А.И. Губинского, В.Г. Евграфова. – М.: Машиностроение, 1993. – 527 с.
44. Каракин, В.П. Региональные геоинформационные системы [Текст] / В.П. Каракин, А.В. Кошкарев. – М.: Наука, 1993. – 352 с.: ил.
45. Каш, Ф. Модули и кольца [Текст] / Ф. Каш. – М.: Мир, 1981. – 264 с.

46. Коллинз, Г. Структурные методы разработки систем: от стратегического планирования до тестирования [Текст]: пер. с англ. / Г. Коллинз, Дж. Блей. – М.: Финансы и статистика, 1986. -156 с.
47. Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ [Текст]: пер. с англ. / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. - М.: Центр непрерывного математического образования, 2000.
48. Кошкарев, А.В. Геоинформатика [Текст] / А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов. - М.: Картгеоцентр-Геоиздат, 1993. -214 с.
49. Куликовский, Л.Ф. Теоретические основы информационных процессов [Текст] / Л.Ф. Куликовский, В.В. Мотов. – М.: Высшая школа, 1999. – 264 с.
50. Липаев, В.В. Обеспечение качества программных средств. Методы и стандарты [Текст] / В.В. Липаев. – М.: МГТУ «Станкин», 2002. -302 с.
51. Луконин, В.П. Теория обработки навигационной информации [Текст] / В.П. Луконин. - Л.: ВМА имени Н.Г. Кузнецова, 2003. – 283 с.
52. Майерс, Г. Надежность программного обеспечения [Текст]: пер. с англ. / Г. Майерс. – М.: Мир, 1980. -186 с.
53. Мамиконов, А.Г. Проектирование АСУ [Текст] / А.Г. Мамиконов. - М.: Высш. шк., 1997. – 302 с.
54. Математическая энциклопедия [Текст]: т. 3 -М.: Издательство «Советская энциклопедия», 1984. -1215 с.
55. Матерон, Ж. Основы прикладной геостатистики [Текст] / Ж. Матерон. – М.: Мир, 1968. – 452с.
56. Мелихов, А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой [Текст] / А.Н. Мелихов, Л.С. Верштейн, С.Я. Коровин. – М.: Наука, 1990-272 с.
57. Мичурин, С.В. Проектирование чувствительного элемента некогерентной системы АСД в условиях помеховой неопределенности [Текст] / С.В. Мичурин, А.А. Оводенко// Межвузовский сборник – Л.: ЛИАП, 1991 – 36-51с.

58. Мичурин, С.В. Автоматизированные системы ситуационного управления и диспетчеризации пространственных процессов на авиатранспорте [Текст] / С.В. Мичурин, Я.А. Ивакин, М.С. Смирнова // Радиопромышленность. Вып.4 – М.: АО «ЦНИИ «Электроника», 2015 – 24-36с.
59. Мусаев, А.А. Интеграция автоматизированных систем управления крупных промышленных предприятий: принципы, проблемы, решения [Текст] / А.А. Мусаев, Ю.М. Шерстюк // Автоматизация в промышленности. – 2003. № 10. – С. 40-45.
60. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта [Текст] / под ред. Поспелова Д.А. – М.: Наука, 1986. – 396 с.
61. Николаев, В. Н. Системотехника: методы и приложения [Текст] / В. Н. Николаев, В. М. Брук. - Л.: Машиностроение: Ленингр. отд-ние, 1985 – 199 с.
62. Общероссийский классификатор продукции (ОК 005-2003) [Текст]: (ред. измен. N 79/2007ОКП). – М.: Комитет российской федерации по стандартизации, метрологии и сертификации, 2003. – 131 с. – (<http://zaki.ru/>).
63. Объекты единой системы организации воздушного движения. Федеральные авиационные правила [Текст]: [введены в действие приказом Министра транспорта Российской Федерации №31 от 18.04.2005 г.]; Зарегистрированы в Министерстве юстиции РФ 06.05.2005 за № 6585 - (<http://www.audit-felix.ru/>).
64. Першиков, В.И. Толковый словарь по информатике [Текст] / В.И. Першиков, В.М. Савинков. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 264 с.
65. Попов, Э.В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ [Текст] / Э.В. Попов. - М.: Наука, 1997. - 288 с.
66. Попович, В.В. Геоинформационная система для комплексов мониторинга [Текст] / В.В. Попович [и др.]. - СПб.: Наука, 2013. - 480 с.
67. Попович, В.В. Интеллектуальная ГИС в системах мониторинга [Текст] / В.В. Попович [и др.] // Труды СПИИРАН. - СПб, 2006. - Вып. 3, т. 1.- с.45-61

68. Поспелов, Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. [Текст] / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 216 с., ил.
69. Печников, А.Н. Проектирование и применение компьютерных технологий обучения [Текст] / А.Н.Печников, А.Н.Шиков //- СПб.: Изд-во ВВМ, 2014.
70. Саати, Т. Аналитическое планирование. Организация систем [Текст] / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1985. - 212 с.
71. Сазонов, Б.В. К определению понятия “проектирование”. Методология исследования проектной деятельности [Текст] / Б.В. Сазонов. - М.: ЦНИПИАСС, 2008. -56 с.
72. Серапинас, Б.Б. Глобальные системы позиционирования [Текст] / Б.Б. Серапинас. – М.: ИКФ «Каталог», 2002. – 106 с.
73. Сорокин, А. Проблемы обмена пространственной информацией: зарубежный и отечественный опыт [Текст] / А. Сорокин, И. Мерзлякова // ГИС-обозрение. – 2016. №2(48). – С. 32-38.
74. Статистические и динамические экспертные системы [Текст]: монография / Э.В.Попов [и др.]. – М.: Финансы и статистика, 2004. - 264с.
75. Суздаль, В.И. Теория игр для флота [Текст] / В.И. Суздаль. – М.: Воениздат, 1987г. – 320с.
76. Тернер, Д. Вероятность, статистика и исследование операций [Текст] / Д. Тернер. – М. Статистика, 1976. - 431с.
77. Уотермен, В. Руководство по экспертным системам [Текст] / В. Уотермен. – М.: Мир, 1999. -252с.
78. Филатов, В.Н. Автоматизированная поддержка принятия решений на базе геоинформационных систем [Текст] / В.Н. Филатов, С.П. Присяжнюк // Информация и космос. 2004. №2. – С. 61-69.
79. Цаленко, М.Ш. Моделирование семантики в базах данных [Текст] / М.Ш. Цаленко – М.: Наука, 1989г.-286с.
80. Цаленко, М.Ш. Основы теории категорий [Текст] / М.Ш. Цаленко, Е.Г. Шульгейфер. – М.: Наука, 1984г. -256с.

81. Цветков, В.Я. Геоинформационные системы и технологии [Текст] / В.Я. Цветков. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
82. Черепанов, В.С. Экспертные оценки в педагогических исследованиях [Текст] / В.С. Черепанов. - М.: Педагогика, 1999. -152с.
83. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем [Текст] / Р. Шеннон. - Искусство и наука. - М.: Мир, 1978. – 418с.
84. Черемных С.В. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум / С.В. Черемных, И.О. Семенов, В.С. Ручкин. - М.:Финансы и статистика, 2006. - 192 с: ил.
85. Федеральные авиационные правила “Организация воздушного движения в Российской Федерации”. М.: Минтранс России, 2013.
86. Boehm, B.W. Software engineering economics [Text] / B.W. Boehm. - 1981 by Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, USA -767 p.
87. Cressie, N.A.C. Statistics for spatial data [Text] / N.A.C. Cressie. – New York: John Wiley & Sons. -1991. – 900 p.
88. Doc 9859 AN/460: Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) [Текст]. – Нью-Йорк: Международная организация гражданской авиации, 2006. – 464 с. - (<http://www.icao.int/>).
89. Griffith, D.A. Statistical Analysis for Geographers [Text] / D.A. Griffith, C.G. Amerhein. New York: Prentice Hall. - 1991. – 478 p.
90. Holger, Knublauch, An AI tool for the real world [Text] / Holger Knublauch. Knowledge modeling with Protégé, JavaWorld.com, 06/20/03
91. Horton, R. Canopy shading effects on soil heat and water flow [Text] / R. Horton // Soil Sci. Am. J. – 1989. - v.53. – pp. 669-679.
92. Hovanov, N.V. Decision support system ASPID-3W (Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency) [Text] / N.V. Hovanov, K.N. Hovanov // Certificate of the computer program official registration: Russian Federal Agency for legal safeguard of computer programs, databases, and integrated-circuit layouts (RosAPO). – Moscow. – 1996. - № 960087.

93. Jacobson, G. Situation Management: Basic Concepts and Approaches [Text] / G. Jacobson, J. Buford, L. Lewis // International Workshop “Information Fusion and Geographic Information Systems” (IF&GIS2007): Proc. - St.Petersburg. - May 27-29. - 2007. - Pp.26-34.
94. James, Owen, Open source rule management [Text] / James Owen.- InfoWord.com, November 02, 2006.
95. Nadler, G. An Investigation of Design Methodology [Text] / G. Nadler. // Management Science. -1967.-V.13.-№.10.
96. Owen, Densmore, Java Geography for the Smart Mob [Text] / Owen Densmore.- Part 1: Open Map, O’Reilly OnJava.com, March 6, 2003.
97. Popovich, V. Data for Geographic Information Systems [Text] / V. Popovich, A. Pankin, Y. Ivakin // 11th International Conference on Urban Regional Development in the in information society (CORP 2006): Proc. – Vien. - February 12-16. – 2006. –pp91-96.
98. Sorokin, R. Intelligent Geoinformation Systems for Modeling and Simulation [Text] / R. Sorokin // The International Workshop on Harbor, Maritime and Multimodal Logistics Modeling & Simulation (HMS-2003): Proc. -Riga.- 2003. - P. 395–398.
99. Sorokin, R. Application of artificial intelligence methods in geographic information systems [Text] / R. Sorokin, Y. Ivakin // International Workshop “Information Fusion and Geographic Information Systems” (IF&GIS2005): Proc.- St.Petersburg.- September 25-27.- 2005.- pp.105-114.
100. Valet G. Mauris. A statistical overview of Resent Literature in Information Fusion [Text] / Valet G. Mauris. -Fusion 2000, IEEE AES. - March 2001.
101. Intelligent Situation Awareness on GIS Basis [Text] / M. Voronin, V. Popovich, A. Pankin, L. Sokolova // MILCOM 2006: - Proc. - November 17-21.- 2006. - Washington.

102. Jean-Claude Thill. Is Spatial Really That Special? A Tale of Spaces. // In: Proceedings International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems: Towards the Digital Ocean, Brest, France, May 10-11, 2011. pp 3-12.
103. Bin Jiang. A Shot Note on Data-Intensive Geospatial Computing. // In: Proceedings International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems: Towards the Digital Ocean, Brest, France, May 10-11, 2011. pp 12-17.
104. Gennady Andrienko. Visual Analytics for Geographic Analysis, Exemplified by Different Types of Movement Data. // In: Proceedings International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems, St.Petersburg, Russia, May 17-20, 2009. pp 3-18.
105. Christophe Claramunt. Maritime GIS: From Monitoring to Simulation Systems. // In: Proceedings International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems, St.Petersburg, Russia, May 27-29, 2007. –pp.34-44.
106. Mieczyslaw Kokar. Ontology Development: A Parameterization. // In: Proceedings International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems, St.Petersburg, Russia, September 25-27, 2005. – Pp.15-17.
107. Katia Sycara. Geo-Spatial Reasoning Context for High Level Information Fusion.// In: Proceedings International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems, St.Petersburg, Russia, September 25-27, 2005. – Pp.13-14.
108. Manfred Schrenk. Planning in a rapidly changing world – challenges and thoughts on «Dynamic Planning». // In: Proceedings International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems, St.Petersburg, Russia, September 25-27, 2005. – Pp.6-12.
109. Vasily Popovich. Concept of Geoinformatic Systems for Information Fusion.// In: Proceedings International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems, St.Petersburg, Russia, September 17-20, 2003. – Pp.83-97.
110. Alexander Smirnov, Mikhail Pashkin, Nikolai Shilov, Tatiana Levashova, Andrew Krizhanovsky. Knowledge Logistics in Open Information Environment: KSNNet-Approach and Portable Hospital Configuration Case Study. //

In: Proceedings International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems, St.Petersburg, Russia, September 17-20, 2003. – Pp.134-144.

111. Gunn Evertsen, Torun Tollefsen, Gudmundur Jokulsson, Asgeir Finnseth. Integrated Relevant Information and Geographical Maps in a Flood Management System. // In: Proceedings International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems, St.Petersburg, Russia, September 25-27, 2005. – Pp.35-41.

112. Manfred Schrenk, Walter Pozare. «Centore MAP»: Combining X-border Information from Multiple Sources for Planning Purposes.// In: Proceedings International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems, St.Petersburg, Russia, May 27-29, 2007. –pp.96-110.

113. Alexander Prokaev. Intelligent Geoinformation Systems Based Information Integration in the objects' search tasks. // In: Proceedings International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems, St.Petersburg, Russia, September 25-27, 2005. – Pp.54-64.

114. Andrey Makshanov, Alexander Prokaev. Empirical Bayes Trajectory Estimation on the Base of Bearings from Moving Observer. // In: Proceedings International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems, St.Petersburg, Russia, May 27-29, 2007. –pp.323-334.

115. Christophe Claramunt, Sergey Levashkin, Michela Bertolotto (Eds.) - Proceedings 4th International Conference GeoSpatial Semantics, Brest, France, May 12-13, 2011.

116. Walford, N. Geographical Data Analysis [Text] / N. Walford. – N. Y.: John Wiley & Sons. - 1995.

117. Watson, D.F. Conturing: A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data [Text] / D.F. Watson. - Oxford Pergamum Press, 1992. – 321 p.

118. White, F.E. A Model for Data Fusion [Text] / F.E. White // 1st National Symposium on Sensor Fusion: Proc. – 2008.

119. Черников, П.Е. Методы программной поддержки взаимодействия диспетчеров на трассах и вне трасс в автоматизированной системе управления

воздушным движением. Дисс.на соиск.уч.степ. канд.техн.наук, М.: МГТУ ГА, 2010.

120. Рыбалкина, А.Л., Спирин, А.С. Развитие радиолокационного геофизического мониторинга окружающей среды с целью повышения уровня безопасности полетов. Научный вестник МГТУ ГА, 2015, № 222, с. 138-142.

121. Автоматизированные системы управления воздушным движением: новые информационные технологии в авиации / Р.М. Ахметов, А.А. Бибутов, А.В. Васильев и др. Под ред. С.Г. Пятко и А.И. Красова. СПб. Политехника, 2004.

122. Болелов, Э.А., Матюхин, К.Н., Майлов, Н.Н. Показатель устойчивости функционирования комплекса средств передачи информации автоматизированной системы управления воздушным движением. Научный вестник МГТУ ГА, 2015, № 222, с. 182-189.

123. Квалификационные требования. КТ-253 «Бортовое оборудование ГНСС/ЛККС», ред. 1. Международный авиационный комитет. М. 2007

124. Бабуров, С.В., Елисеев, Б.П., Буряков, Д.А. и др. Перспективы развития радиотехнических систем гражданского применения. Научный вестник МГТУ ГА, 2012, вып. 176, С. 7-18

125. Бабуров, В.И., Пономаренко, Б.В. Принципы интегрированной бортовой авионики. – СПб.: изд-во «Агентство «РДК-Принт», 2005 – 448с.

126. Проект национального стандарта. Средства наблюдения, навигации, связи и автоматизации организации воздушного движения гражданской авиации Российской Федерации. Тактико-технические требования. М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2014.

127. <http://www.azimut.ru>

128. Мичурин, С.В. Компьютерные системы менеджмента. // С.В. Мичурин, Е.Г. Губарева, В.Л. Островская – СПб.: ГААП, 1995. – 36с.

129. Мичурин, С.В. Подготовка документов с использованием ЭВМ. Текстовый процессор MULTI-EDIT– СПб.: ГААП, 1994. – 15с.

130. Мичурин, С.В. Проектирование радиоэлектронных систем. // С.В. Мичурин, Е.И. Култышев, А.П. Шепета - СПб.: ЛИАП, 1993. – 45с.
131. Мичурин, С.В. Информатика. Системное программное обеспечение // С.В. Мичурин, Н.В. Зуева, Е.И. Конт и др. - СПб.: ГААП, 1996. – 75с.
132. Мичурин, С.В. Вопросы информационной безопасности в базовой системе информатики // С.В. Мичурин, В.П. Заболотский., А.Г. Степанов – СПб., Труды IV СПб межрегион. конференции "Информационная безопасность регионов России, 2005 – стр.125-132.
133. Мичурин, С.В. Информационные технологии управления. Табличный процессор QUATTRO PRO// С.В. Мичурин, А.Г. Степанов, Н.В. Зуева и др. - СПб.: ГУАП, 2003. – 72с.
134. Мичурин, С.В. Математические модели и методы в рыночной экономике. Научная монография // С.В. Мичурин, А.Г. Степанов, Г.В. Алексеев и др.- СПб.: Международный банковский институт, 2003. 426 с.
135. Мичурин, С.В. Картирование потоков создания ценности на этапах жизненного цикла продукции / С.В. Мичурин , Е.А. Фролова, В.С. Чмыхин, А.С. Коновалов // Вопросы радиоэлектроники. 2016. №2. С.73-77.
136. Мичурин, С.В. Методы повышения результативности ситуационного управления пространственными процессами / С.В. Мичурин // Вопросы радиоэлектроники. 2014. №2. С.47-56.
137. Мичурин, С.В. Структура системы требований квалиметрической оценки ситуационного управления пространственными процессами / С.В. Мичурин, Я.А. Ивакин, М.С. Смирнова// Вопросы радиоэлектроники. 2016. №6. С.79-86.
138. Мичурин, С.В. Улучшение качества автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов // Сб.докл. второй научно-технической конференции «Будущее предприятия – в творчестве молодых» СПб, 2016. С.136-138

139. Мичурин, С.В. Автоматизированное управление эффективностью пространственных процессов на базе подходов ситуационного менеджмента // Вопросы радиоэлектроники. 2015. № 8. С. 65-72.

140. Мичурин, С.В. Повышение качества управления пространственными процессами авиатранспорта // Вопросы радиоэлектроники. 2015. № 8. С.79-86

141. Мичурин, С.В. Результативность и качество программных комплексов ситуационного управления для автоматизированных систем диспетчеризации пространственных процессов авиатранспорта / С.В. Мичурин, Я.А. Ивакин // Информационно-управляющие системы. 2016. №4(83). С. 26-38.

142. Мичурин С.В. Автоматизированное управление пространственными процессами на базе подходов ситуационного менеджмента // Сб. докладов Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем. – СПб., ГУАП, 2016.

143. Мичурин, С.В. Структурирование информационных показателей безаварийности пространственных процессов / С.В. Мичурин // Вопросы радиоэлектроники. 2016. №9. С.44-53.

144. Мичурин, С.В. Управление качеством диспетчеризации пространственных процессов для гражданской авиации / С.В. Мичурин, В.М. Балашов, Е.Г. Семенова // Сб. докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли. – Казань, 2016г.

145. Мичурин, С.В. Агрегирование показателей безаварийности пространственных процессов / С.В. Мичурин // Вопросы радиоэлектроники. 2015. №9. С.37-45.

146. Michurin, S.V., Chmykhin, V.S. Computing resources distribution assessment on application of virtual machine technology // Advances in virtualization technologies: Proceedings of the International scientific and practical conference (Tbilisi, Georgian, September, 2015) / – Tbilisi: Anticrisis Center of Security Problems, 2015. – pp.16-22

147. Smirnova, M.S., Michurin, S.V. Primary reorganization of server park in computer network on application of virtual machine technology // Advances in virtualization technologies: Proceedings of the International scientific and practical conference (Tbilisi, Georgian, September, 2015) / – Tbilisi: Anticrisis Center of Security Problems, 2015. pp.23-31.

Приложение А

Аспектная интерпретация и анализ последствий геопространственных действий воздушных объектов

Под аспектной интерпретацией геопространственных действий объектов понимается рассмотрение этих действий с какой-то определенной точки зрения. Например: рассмотрение деятельности аэропорта с точки зрения его экономической эффективности.

Наиболее информационноёмкой и интеллектуальной является реализация задачи аспектной интерпретации и анализа последствий геопространственных действий объектов в правовой ГИС. Такая система предназначена для оперативного анализа правового статуса объектов и выдачи диспетчерам АСДПП (лицам принимающим решения) юридической оценки действий этих объектов, в реальном масштабе времени. Анализ правового статуса подвижных объектов построен на том, что экспертная система в каждый момент времени анализирует соответствие правовых характеристик подвижного объекта (Например, таких как: государственная принадлежность, наличие преступников на борту и пр.) правовому режиму той точки пространства (среды), в которой этот объект находится. Реализация такой функциональности АСДПП требует особого подхода к формализации предметной области на основании аспектной концепции репрезентации знаний. Этот подход позволил представить понятие "правовой режим в точке среды", как строго упорядоченный иерархический граф. Вершинами графа являются выделенные идентификаторы международно-правовых норм (групп норм), а дугами – направленные отношения "включает в себя" между этими идентификаторами, определяемые выявленной семантической структурой связей в предметной области. Такое представление, в виде графа, позволяет добиться того, что каждый путь на графе от вершины иерархии до самого нижнего уровня описывает одно из возможных состояний правового режима в точке среды, а весь иерархический граф, в целом, описывает полное множество

возможных состояний любой точки среды (Суши, мирового океана, недр, воздушного пространства).

Приведенное представление предопределяет организацию выбора правовой информации по любой точке среды и виду пространства, при наличии исходной базы данных по Международно-правовому режиму земной поверхности и мирового океана. Исходная база данных должна представлять собой совокупность организационно оформленных кластеров (порций) данных по международному и национальному праву (Например, в виде файлов), каждый из которых соответствует той или иной правовой норме, а, следовательно, соответствует и идентификатору, которой обозначает эту норму. Тогда для каждой конкретной точки среды существует соответствующий ей путь в описанном семантическом графе. При "спуске" по этому пути от вершины иерархии до самого последнего уровня становится возможным выбирать только те кластеры (файлы), идентификаторы которых совпадают с идентификаторами, являющимися вершинами графа, оказавшимися в составе этого пути. В этом случае из всей совокупности юридической информации хранящейся в базе данных будет выводиться только та информация, которая касается правового режима только той конкретной точки среды, по пути которой осуществляется спуск. Графически концептуальная модель организации выдачи информации по правовому режиму в конкретной точке среды показана на рисунке П1.1.

Вышеописанная база правовых данных и база правовых знаний для интеллектуальной ГИС (ИГИС) в составе АСДПП реализована, в рамках т.н. "ячеечной" технологии для моделирования среды. В рамках этой технологии для каждой точки пространства (среды) определена ячейка ссылок на соответствующие данные, характеризующие эту точку. При этом для каждой точки среды, для которой определена ячейка, становится возможным поставить в соответствие совокупность идентификаторов тех кластеров правовой информации, которые в полном объеме описывают правовой режим в этой точке. Последовательность вывода этих кластеров соответствует порядку

следования идентификаторов пути, выбранного на семантическом графе представления понятия "правовой режим в точке среды". Эта последовательность может быть запрограммирована в виде адресных ссылок к фиксированным разделам поля памяти (базы данных) в ячейках, соответствующих каждой точке среды.

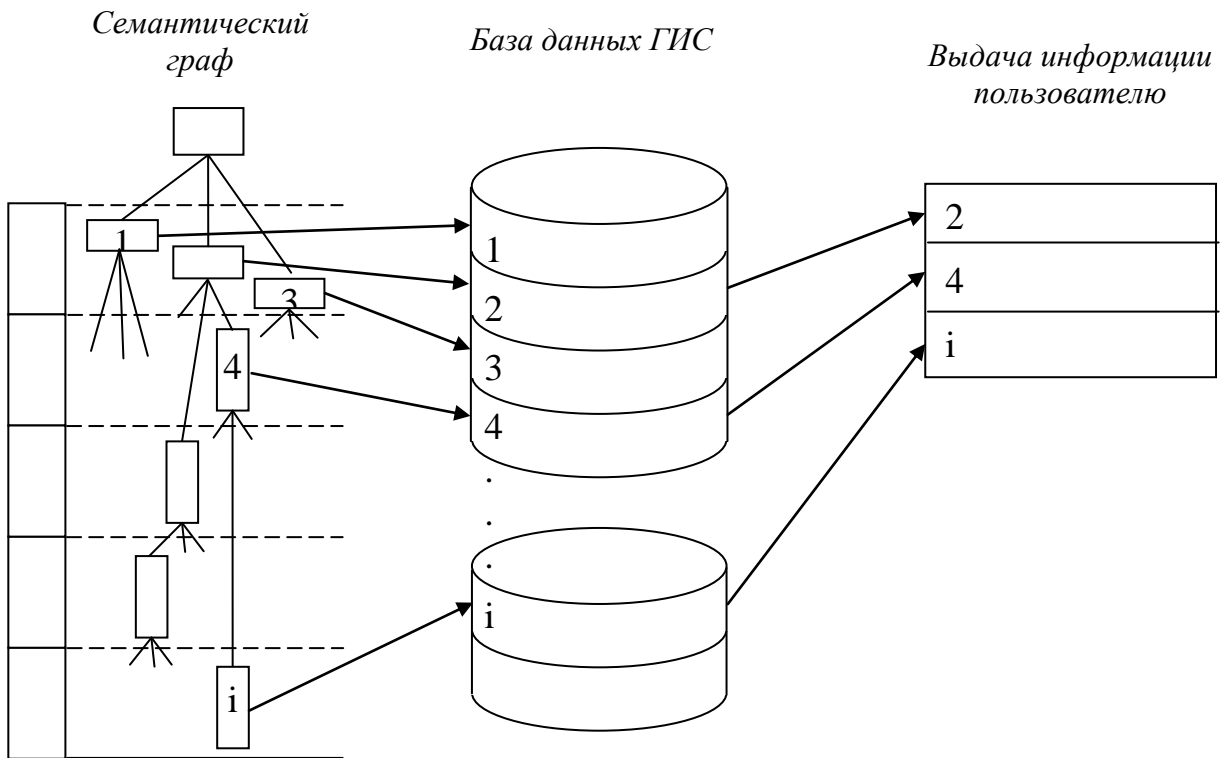


Рисунок П1.1 – Концептуальная модель организации выдачи информации по правовому режиму в конкретной точке среды, на базе семантического графа

Обобщенно организация функционирования базы данных правовой информации и порядок ее взаимодействия с другими элементами ИГИС в АСДПП показана на рисунке П1.2. База знаний экспертной подсистемы ИГИС содержит перечень возможных или типовых действий анализируемых объектов и экспертную (в данном случае правовую) оценку каждого из видов предполагаемых действий объекта права в различных категориях пространств, путем интерпретации закона (статьи и правила) в контексте конкретного вопроса или задачи, прогнозирования юридических последствий предлагаемых действий и возможностью предсказания последствий изменений законодательства. Такая экспертная подсистема ИГИС помогает пользователям

интерпретировать законы, предвидеть юридические последствия предполагаемых действий и прогнозировать влияние изменений законодательства.

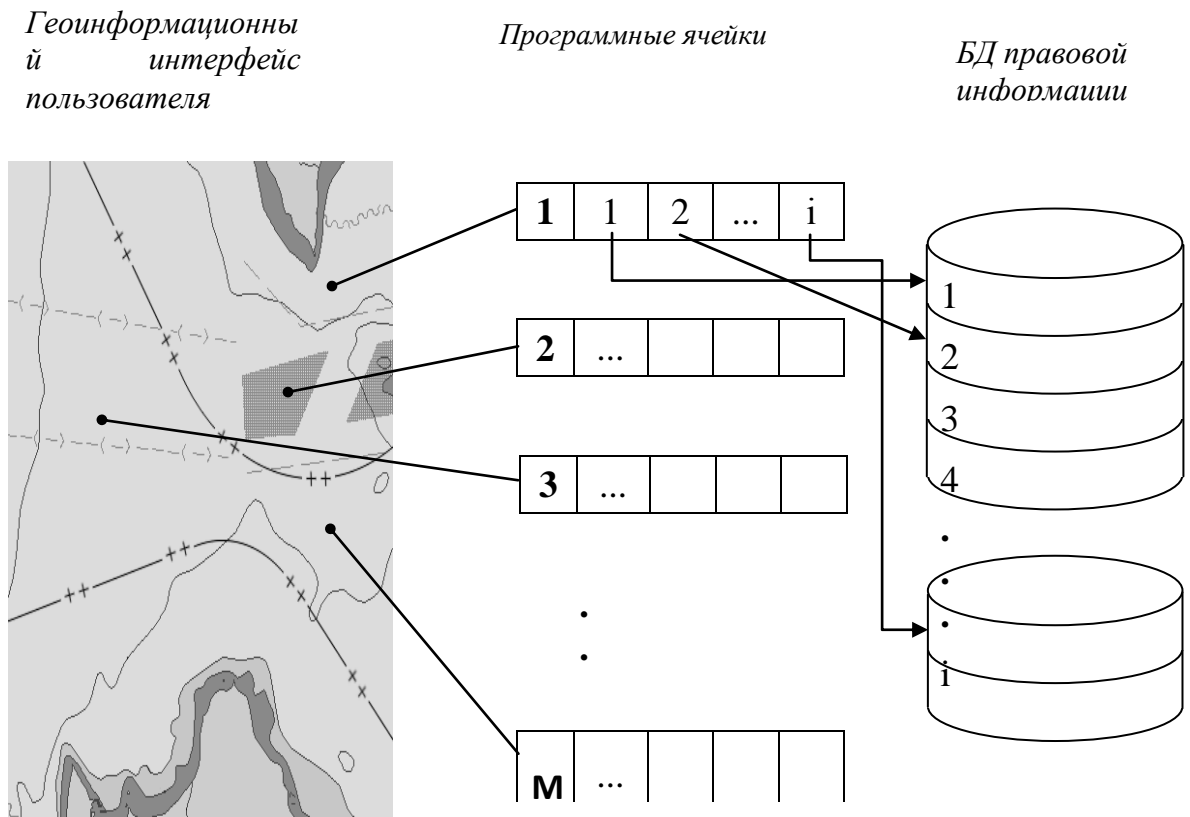


Рисунок П1.2 – Организация адресации кластеров информации при реализации базы правовых данных и знаний в ИГИС АСДПП

Инициализировав экспертную подсистему пользователь-диспетчер АСДПП получает правовую оценку тех или иных типов действий применительно к контролируемому объекту, т.е. влияние и ограничения накладываемые тем или иным международно-правовым режимом среды на его планируемые действия. Оценка предполагает получение категоричного ответа в виде «правомерно», «неправомерно», либо с определенной степенью допустимости таких действий. При этом система обладает также способностью предсказания влияния на ту или иную деятельность последствий изменений законодательства. Она функционирует в качестве модели решения задачи в данной области, давая ожидаемые ответы в конкретной ситуации и показывая,

как изменятся эти ответы в новых ситуациях. Экспертная система может объяснить, каким образом новая ситуация привела к изменениям, что позволяет оценить возможное влияние новых факторов и понять, как они связаны с решением. Интеллектуальная ГИС с реализацией функций правовой интерпретации в составе АСДПП являются эффективным инструментарием для юридически-значимых решений.

Приложение Б

Экспертные системы ситуационного управления как объект, интегрируемый в АСДПП

В типовом составе экспертной системы ситуационного управления, интегрированной в АСДПП, можно выделить следующие основополагающие части:

1. База знаний, основанная на единой со всей автоматизированной системой онтологии предметной области и содержащая факты (данные) и правила (или другие представления знаний), использующие эти факты как основу для принятия решений.
2. «Машина (механизм) логического вывода», реализующая процесс поиска решения задач с использованием знаний из базы знаний.
3. Интерфейс пользователя, обеспечивающий возможность внешнего взаимодействия с экспертной системой. С учетом тематики диссертационного исследования, интерфейс пользователя будет рассматриваться, прежде всего, как ГИС-интерфейс.
4. Подсистема объяснений, объясняющая запросы пользователя, как и почему получено решение. Помимо этих компонент в состав экспертной системы, интегрированной в АСДПП, могут входить и другие программные средства, что определяется спецификой стоящих перед ней задач.

Можно выделить пять шагов преобразования данных в знания:

- знание достоверно. Это означает, что располагающая знаниями система полностью доверяет своим знаниям: как они утверждают, так и есть на самом деле. Если системе станет известна ошибочность некоторого фрагмента ее знаний, то этот фрагмент теряет статус знаний и должен быть удален или модифицирован соответствующим образом:

- знание абстрактно. Это означает, что знание, несмотря на свое опытное происхождение, тем не менее вырвано и извлечено из предметного контекста, отделено и удалено от конкретной реальности;

- знание интерпретируемо. Это означает, что знание стремится выразить свою достоверность в каком-либо конкретном предметном воплощении;

- знание активно. Это означает наличие у знания внутренней способности активизироваться и по своей воле устанавливать состояния сопряженных с ним информационных структур;

- знание структурировано. Это означает, что знание имеет внутри себя устойчивый каркас, образованный разнообразными структурными единицами, уровнями.

Процесс извлечения, вербально-наглядного и формального представления (репрезентации) знаний, реализуемый в рамках взаимодействия экспертов и инженера знаний, традиционно разделяют на пять основополагающих этапов: идентификация, концептуализация, формализация, реализация, тестирование. Этот процесс носит итеративный и творческий характер. В обобщенном виде он показан на рисунке П2.1. Каждому этапу соответствует определенный перечень реализуемых задач и функций, что показано в таблице П2.1.

Таблица П2.1 – Связь этапов и функций репрезентации знаний

№	ЭТАПЫ	РЕАЛИЗУЕМЫЕ ЗАДАЧИ И ФУНКЦИИ РЕПРЕЗЕНТАЦИИ ЗНАНИЙ
1	Разработка постановки задачи	1. Формулировка заданий и предметной области 2. Уточнение особенностей предметной области 3. Уточнение ожидаемых функций и ширины охвата 4. Определение требований к достоверности и полноте базы знаний 5. Определение критериев эффективности 6. Разработка постановок задач и их комплексов
2	Идентификация	1. Определение цели создания и существенные особенности ЭС 2. Определение участников процесса разработки, потребных ресурсов 3. Сужение широты постановки до приемлемого размера 4. Выявление сложности задачи: внутренней и внешней структуры единиц
3	Концептуализация	1. Определяется какие понятия, отношения и механизмы нужны для описания задачи в предметной области 2. Исследование подзадач, стратегии и ограничений, связанных с семантикой предметной области 3. Определение степени гранулярности (подробности) представлений знаний
4	Формализация	1. Формулировка и формализация ключевых понятий, обеспечивающих внутреннюю интерпретацию информационных единиц в ЭВМ. 2. Формулируются и формализуются отношения предметной области
5	Реализация	1. Превращаются формализованные знания в рабочий программный продукт 2. Формируется содержание БЗ из предметных знаний 3. Задается форма БЗ путем выбора языка реализации 4. Согласовывается БЗ с целью устранения глобальных неувязок
6	Тестирование	1. Оценивание качества работы и полезности ЭС 2. Проведение контрольных тестов 3. Пересмотр реализации ЭС в случае необходимости

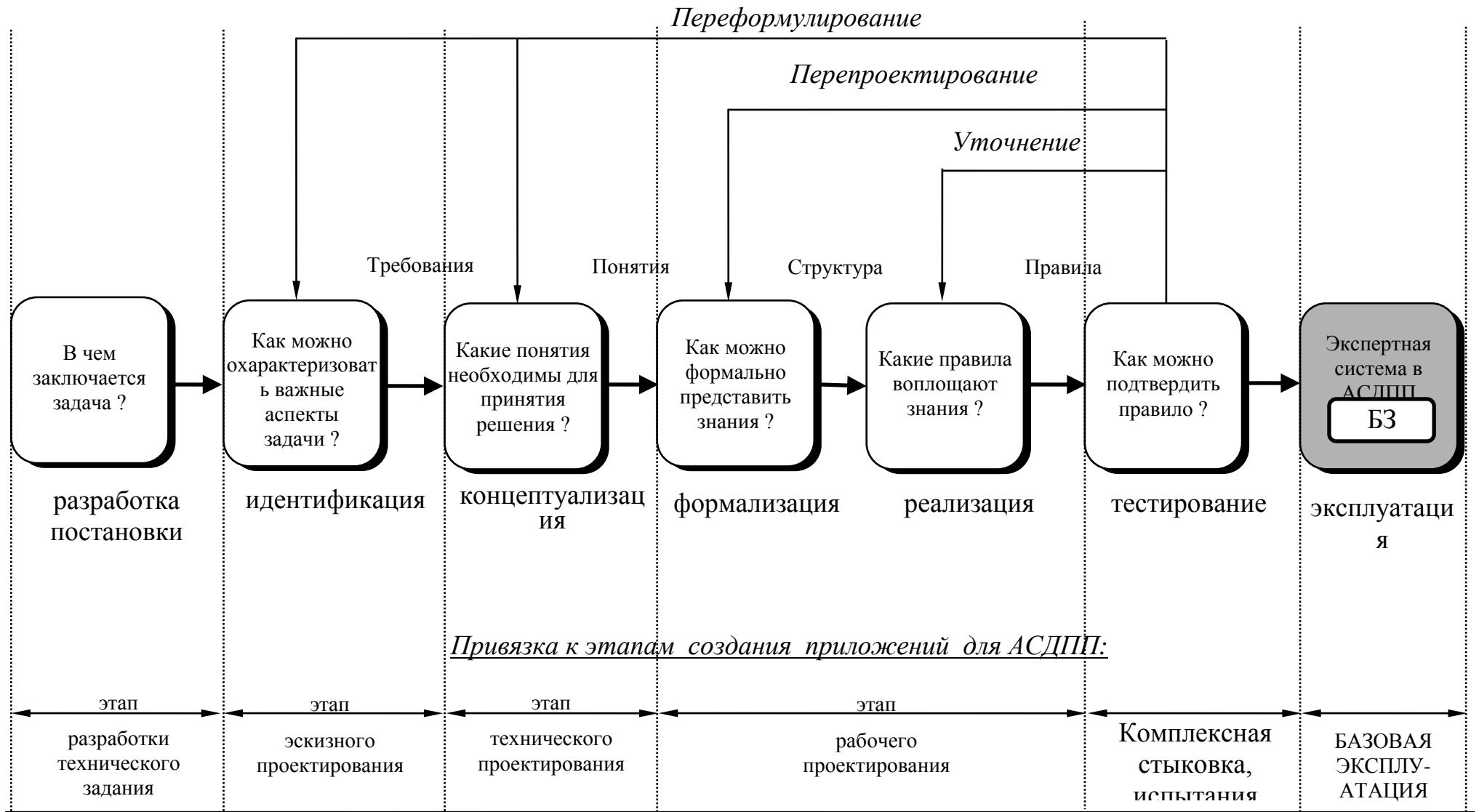


Рисунок П2.1 – Обобщенный вид структуры процесса репрезентации знаний для экспертных систем, интегрированных в АСДПП

Реализация задач вербально-наглядного и формального представления (репрезентации) знаний для экспертных систем в составе АСДПП требует использования соответствующих моделей представления знаний (МПЗ).

Модель представления знаний, основанная на правилах (продукционная модель), построена на использовании выражений (продукций) вида:

ЕСЛИ (условие) ТО (действие).

Например:

[1] **Если** (воздушное судно пересекло государственную границу)

То (воздушное судно вошло в воздушное пространство страны).

[2] **Если** (воздушное судно не запросило разрешения диспетчера)

и (воздушное судно вошло в воздушное пространство страны)

То (воздушное судно нарушило режим воздушного пространство страны).

Когда текущая ситуация (факты) в задаче удовлетворяет или согласуется с частью правила ЕСЛИ, то выполняется действие определяемое частью ТО. Сопоставление частей ЕСЛИ правил с фактами порождает цепочку выводов. Цепочка выводов, образованная последовательным применением правил 1 и 2, изображена на рисунке П2.2.

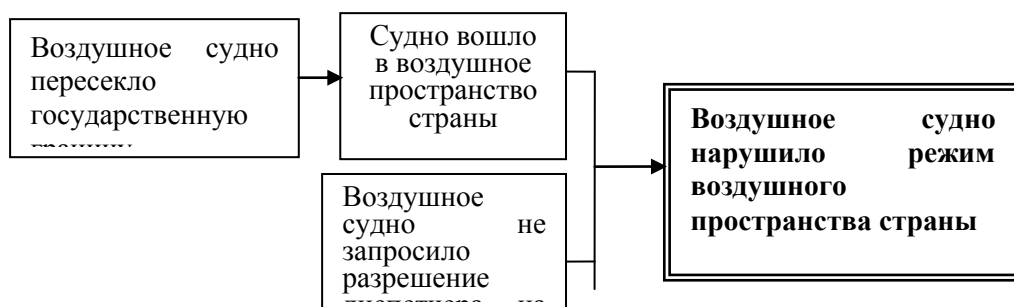


Рисунок П2.2 – Цепочка выводов

Правила обеспечивают естественный способ описания процессов, управляемых сложной и быстроменяющейся внешней средой. В прикладных программах

традиционного типа схема передачи управления и использования данных predetermined в самой программе. Обработка здесь осуществляется последовательными шагами, а ветвление имеет место только в заранее выбранных точках. Этот способ управления хорошо работает в случае задач, допускающих алгоритмическое решение, если к тому же при этом данные меняются достаточно медленно. Однако, основной сферой применения АСДПП является моделирование действий реальных объектов в реальном и произвольном масштабе времени с наглядным отображением в виде условных знаков на фоне электронной карты. При этом решаются задачи, определяемые текущими значениями параметров моделируемой предметной области. Для таких задач, ход решения которых управляется самими данными, где ветвление скорее норма, чем исключение, алгоритмический способ поиска (определения) решения малоэффективен. В задачах такого рода правила дают возможность на каждом шаге оценить ситуацию и предпринять соответствующие действия. Использование правил упрощает объяснение того, что и как сделала экспертная система, т.е. каким способом она пришла к конкретному заключению.

Семантическая модель представления знаний заключается в представлении предметной области в виде семантической (смысловой) сети. Этот термин применяется для описания представления знаний, основанных на сетевой структуре. Семантические сети состоят из узлов и связывающих их дуг, описывающих отношения между узлами. Узлы в семантических сетях соответствуют объектам, концепциям или событиям. Дуги могут быть определены как отношения между узлами, в зависимости от вида представляемых знаний. На рисунке П2.3. показан пример семантической сети. Дуги в примере включают два типа: "является" и "имеет часть".

Представление знаний и структур понятий предметных областей применения АСДПП через семантическую сеть полезно и эффективно, поскольку оно обеспечивает стандартный метод анализа смысла любого описательного предложения. Кроме того, оно указывает сходство в смысле предложений, тесно связанных, но обладающих разной структурой.

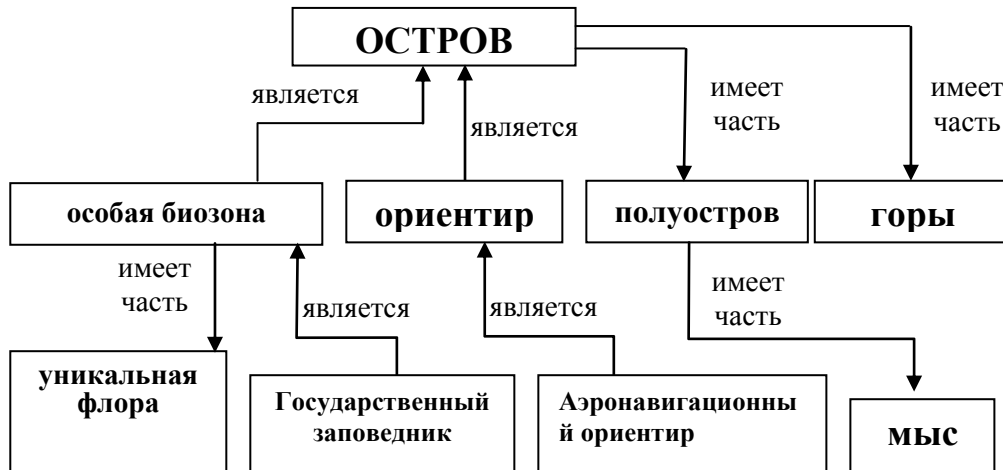


Рисунок П2.3 – Простая семантическая сеть для понятия «остров»

Фреймовая модель основывается на понятии фрейма, который является сетью узлов и отношений, организованных иерархически, где верхние узлы представляют общие понятия, а нижние узлы – более частные случаи этих понятий. В такой модели понятие в каждом узле определяется набором атрибутов (например: тип, название и режим работы радиомаяка) и значениями этих атрибутов (например: автоматический, "Радиомаяк Пулково 4.12.1", два коротких и один длинный). Атрибуты называются слотами. Каждый слот может быть связан с процедурами (программами), которые выполняются, когда информация в слотах (значения атрибутов) меняется. Пример такого узла показан на рисунке П2.4.

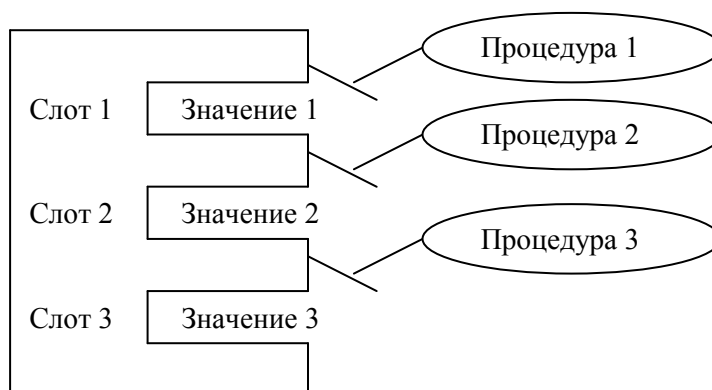


Рисунок П2.4 – Узел во фреймовой модели представления знаний

С каждым слотом можно связать любое число процедур. Как ясно из их структуры, модели, основанные на фреймах, хороши в тех предметных областях применения АСДПП, где ожидания относительно формы и содержания данных играют важную роль, например, при экспертно-правовой интерпретации и оценке визуальной картографической информации.

Необходимо отметить, что границы между вышеуказанными моделями представления знаний условны, возможны комбинированные модели. Классические модели представления знаний являются базовыми для разработки более специальных моделей представления знаний и соответствующих языков описания формализованных знаний. Так, например, в целом ряде современных языков описания формализованных знаний, успешно применяемых для интеллектуализации АСДПП-приложений, реализована продукционно-фреймовая модель представления знаний. Это прежде всего, такие языки как CLIPS, JESS и другие. Продукционно-фреймовая модель показала высокую репрезентативную эффективность для широкого круга прикладных задач, имеющих геоинформационную привязку.

Приложение В

Методика анализа возможностей подсистем мониторинга АСДПП, функционирующих на базе сигналов, отраженных от точечных объектов (авиационных бортов)

Пространство над поверхностью Земли, в котором распространяются радиоволны средств освещения обстановки подсистем мониторинга АСДПП авиатранспортом, можно разделить на три характерные области: освещенную, теневую, полутеневую.

Освещенная область лежит выше линии радиогоризонта, а область тени ниже. Между ними располагается область полутени. Она примыкает к линии радиогоризонта снизу и сверху, охватывая точки, находящиеся на расстояниях, немного меньших и несколько больших дальности радиогоризонта. Ту часть освещенной области, в которой обнаружение целей происходит прямым лучом (от радиолокационной станции (РЛС) к авиаборт (цели) и обратно), называют областью свободного пространства.

Та часть освещенной области, в которой обнаружение цели происходит прямым и отраженным от поверхности Земли лучами, называется интерференционной зоной. Двухлучевое распространение радиоволн показано на рисунке ПЗ.1. В этом случае напряженность поля в точке цели будет складываться из напряженности поля прямой и отраженной волн. Суммарная напряженность поля определяется длиной радиоволны, коэффициентом отражения радиоволн от Земли и геометрической разностью хода лучей, что проявляется в амплитудных и фазовых соотношениях интерферирующих радиоволн.

В области тени и полутени электромагнитного поля (ЭМП) в точке расположения цели обусловлено дифракцией - огибанием радиоволнами сферической поверхности Земли. Поэтому эти области объединяют в одну дифракционную зону. Для учета влияния близости Земли при расчете ЭМП для

анализа возможностей систем мониторинга в составе АСДПП авиатранспортом вводится множитель ослабления поля - V .

Так как в области свободного пространства Земля не оказывает влияния на структуру ЭМП, значение множителя ослабления V принимают равным единице.

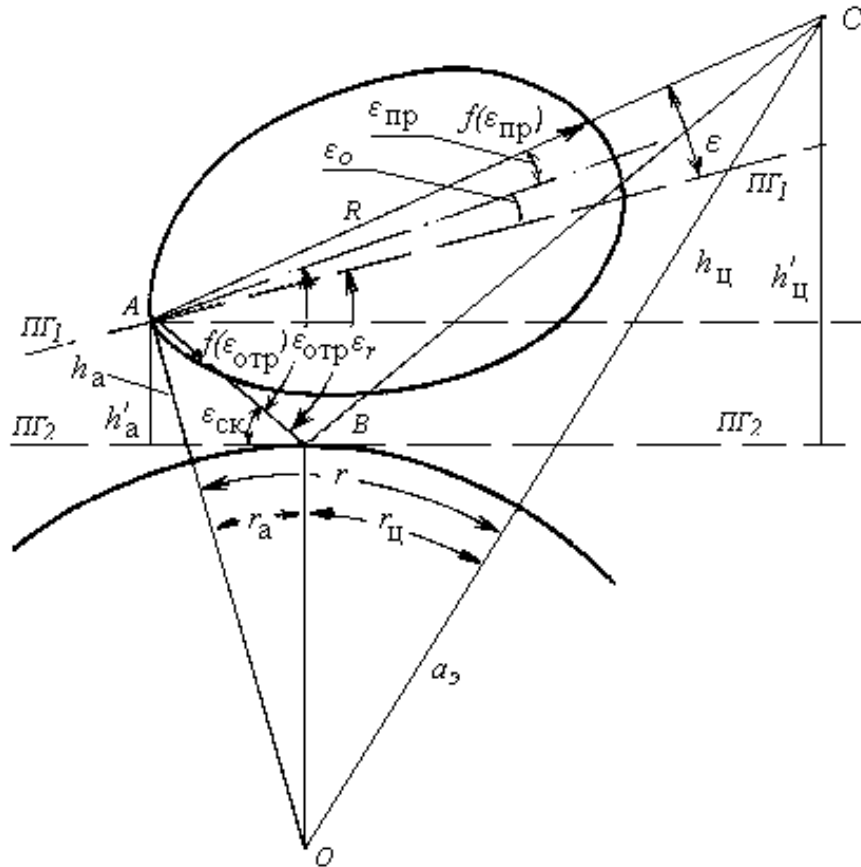


Рисунок ПЗ.1 – Двухлучевое распространение радиоволн подсистем мониторинга АСДПП авиатранспортом

Двухлучевое распространение сигналов в тропосфере в расчётах учитывается с помощью множителя ослабления:

$$V_{ИФ} = \sqrt{1 + \rho_3^2 \frac{f(\epsilon_{отр})}{f(\epsilon_{пр})} - 2\rho_3 \sqrt{\frac{f(\epsilon_{отр})}{f(\epsilon_{пр})}} \cdot \cos \frac{2\pi\Delta r}{\lambda}}, \quad (\text{ПЗ.1})$$

где $f(\epsilon_{пр})$, $f(\epsilon_{отр})$ - значение диаграммы направленности антенны (ДНА) РЛС по мощности в вертикальной плоскости в направлении прямого и отражённого от поверхности Земли луча соответственно;

Δr - геометрическая разность хода прямого и отражённого лучей.

Угол $\varepsilon_{пр}$ рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_{пр} = \varepsilon - \varepsilon_0, \quad (\text{П3.2})$$

где ε_0 - угол подъёма оси ДНА РЛС над плоскостью горизонта;

ε - угол места авиаборта (цели).

Угол места цели с учётом кривизны Земли рассчитывается по формуле

$$\varepsilon = \text{arctg} \left(\frac{h_a - h_y}{r} - \frac{r}{2a_3} \right) \quad (\text{П3.3})$$

при линейном изменении коэффициента преломления по высоте и использовании эквивалентного радиуса Земли a_3 . В формуле (П3.3):

r - дальность до цели по поверхности Земли равна:

$$r = a_3 \arccos \frac{(a_3 + h_a)^2 + (a_3 + h_y)^2 - R^2}{2(a_3 + h_a)(a_3 + h_y)} \quad (\text{П3.4})$$

Геометрическая разность хода лучей Δr рассчитывается по формуле

$$\Delta r = \frac{2h_a h_y}{r} \left(1 - \frac{k^2}{A} \right) \left[1 - \frac{(1-k)^2}{B} \right], \quad (\text{П3.5})$$

где $A = \frac{2a_3 h_a}{r^2}, \quad (\text{П3.6})$

$$B = \frac{2a_3 h_y}{r^2}, \quad (\text{П3.7})$$

$$k = \frac{r_1}{r}, \quad (\text{П3.8})$$

r_1 - расстояние от РЛС до точки падения отражённого луча на поверхность Земли.

$$r_1 = \frac{r}{2} + 2S \cos \left(\frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \arccos \frac{a_3 r |h_e - h_{yb}|}{4S^3} \right), \quad (\text{П3.9})$$

где $S = [r^2 / 12 + a_3(h_a + h_{ц}) / 3]^{1/2}$; при $h_a < h_y$ $r_1 = r - r_1$. Угол между осью ДНА РЛС и направлением отражённого луча $\varepsilon_{отр}$ равен

$$\varepsilon_{omp} = \varepsilon_{np} - \varepsilon_{ck} - \varepsilon - \frac{r_1}{a_3} \quad (\text{П3.10})$$

$$\varepsilon_{ck} = \text{arctg} \frac{h_a \left(1 - \frac{k^2}{A}\right) + h_y \left[1 - \frac{(1-k)^2}{B}\right]}{r} \quad (\text{П3.11})$$

Модуль эквивалентного коэффициента отражения радиоволны от поверхности Земли рассчитывается по формуле:

$$\rho_3 = D_\rho \exp \left(-2 \left(\frac{2\pi h_m \sin(\varepsilon_{sk})}{\lambda} \right)^2 \right), \quad (\text{П3.12})$$

где $D_\rho = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Delta r}{a_3 \text{tg}^3 \varepsilon_{ck}}}}$ - коэффициент расходимости радиоволн при

отражении от выпуклой поверхности Земли;

Δh_m - осредненное изменение высоты возмущений поверхности;

ε_{ck} - угол скольжения.

Ближней к РЛС границей интерференционной зоны является дальность, при которой угол скольжения становится равным:

$$\varepsilon_{CK_{MAX}} = \frac{\lambda}{5\bar{h}_m}, \quad (\text{П3.13})$$

где \bar{h}_m - средняя высота возмущений поверхности Земли (горы, перепады высот и пр).

При $\varepsilon_{CK} \geq \varepsilon_{CK_{MAX}}$ отраженный от поверхности Земли луч в зеркальном направлении разрушается и цель переходит в область свободного пространства, где $V = 1$.

С увеличением дальности до авиаборта-цели при постоянной высоте полёта цели h_y угол скольжения уменьшается. При переходе от освещённой области в область полутени интерференционные формулы становятся

недействительными. Границей применимости интерференционных формул может служить минимальный угол скольжения

$$\varepsilon_{\text{ск, min}} = 0,753 \sqrt{\frac{\lambda}{\pi a_0}} \quad (\text{ПЗ.14})$$

Дальность до цели, при которой $\varepsilon_{\text{ск}} = \varepsilon_{\text{ск, min}}$, будет являться дальней границей интерференционной области.

При $\varepsilon_{\text{ск}} < \varepsilon_{\text{ск, min}}$ множитель ослабления рассчитывается по дифракционным формулам:

$$V_{\text{дФ}} [\text{дБ}] = V_0 [\text{дБ}] - 17,1(x - x_r), \quad (\text{ПЗ.15})$$

где: V_0 - значение множителя ослабления на дальности радиогоризонта (Рисунок ПЗ.2).

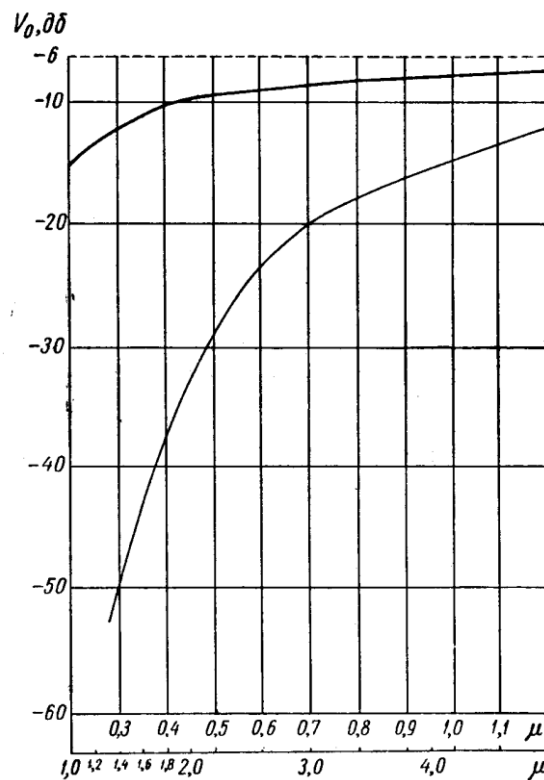


Рисунок ПЗ.2 – Множитель ослабления ЭМП на линии радиогоризонта

Значения V_0 могут быть вычислены с помощью выражения

$$V_0[\text{дБ}] = \begin{cases} -64 + 67,5\mu & , \text{ при } 0,4 \leq \mu \leq 0,6 \\ -40 + 27,5\mu & , \text{ при } 0,6 \leq \mu \leq 0,8 \\ -27 + 11,25\mu & , \text{ при } \mu > 0,8 \end{cases} , \quad (\text{ПЗ.16})$$

где μ - высотный параметр, определяемый по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{\sqrt{Y_a} \cdot \sqrt{Y_u}}{\sqrt{Y_a} + \sqrt{Y_u}}} , \quad (\text{ПЗ.17})$$

где

$$Y_a = \frac{h_a}{H} , \quad (\text{ПЗ.18})$$

$$Y_u = \frac{h_u}{H} , \quad (\text{ПЗ.19})$$

$$H = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{a_s \lambda^2}{\pi^2}} , \quad (\text{ПЗ.20})$$

Входящие в выражение (ПЗ.15) величины X и X_Γ рассчитываются по формулам:

$$X = \frac{r}{L} , \quad (\text{ПЗ.21})$$

$$X_\Gamma = \frac{R_\Gamma}{L} , \quad (\text{ПЗ.22})$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{a_s^2 \lambda}{\pi}} , \quad (\text{ПЗ.23})$$

где дальность радиогоризонта R_Γ

$$R_\Gamma = \sqrt{2a_s} (\sqrt{h_a} + \sqrt{h_u}) \quad (\text{ПЗ.24})$$

В известных методиках анализа возможностей подсистем мониторинга АСДПП, функционирующих на базе сигналов, отраженных от точечных авиабортов - целей в условиях активных и пассивных помех часто не учитываются условия распространения помех. Между тем, на распространение

помех, так же как и на полезные сигналы, оказывают существенное влияние свойства среды распространения, а также близость и сферичность поверхности Земли.

Шумовая помеха на выходе узкополосного приемника РЛС приобретает квазигармонические свойства. Однако фаза квазигармонического шума носит случайный характер. Вследствие этого сложение интерферирующих колебаний следует проводить по энергетическим параметрам с учетом их коррелированности.

В интерференционной области распространения радиоволн шумовая помеха, распространяющаяся по прямому пути от станции помех к РЛС, на выходе линейной части приемника может быть представлена в виде

$$u_{шпр}(t) = A_L \sqrt{f_{ш}(\varepsilon'_{ш}) f(\varepsilon_{ш})} u_{ш}(t), \quad (\text{П3.25})$$

где $u_{ш}(t)$ - излучаемая помеха, представляющая собой стационарный случайный процесс с нулевым средним значением и дисперсией $\sigma_{ш}^2$;

$\varepsilon_{ш}, \varepsilon'_{ш}$ - угол отклонения прямого луча от оси диаграммы направленности антенны РЛС и СП в вертикальной плоскости;

$f(\varepsilon), f_{ш}(\varepsilon)$ - нормированные ДНА РЛС и источника помех в вертикальной плоскости по мощности;

A_L - коэффициент, учитывающий линейные преобразования колебаний в антенных устройствах, линейной части приемника и в среде распространения.

Отраженная от земной поверхности шумовая помеха на выходе линейной части приемника имеет вид:

$$u_{шот}(t) = A_L \rho \sqrt{f_{ш}(\varepsilon'_{от}) f(\varepsilon_{от})} u_{ш}(t - \Delta t), \quad (\text{П3.26})$$

где ρ - модуль коэффициента отражения от земной поверхности;

$\varepsilon_{от}, \varepsilon'_{от}$ - углы отклонения отраженного луча от оси ДНА РЛС и источника помех;

Δt - время запаздывания помехи по отраженному лучу за счет разности хода по отношению к прямому.

Суммарный сигнал на выходе линейной части приемника равен

$$u_{ш\Sigma}(t) = u_{шпр}(t) + u_{шот}(t) = A_L \sqrt{f_{ш}(\varepsilon'_{пр})f(\varepsilon_{пр})} u_{ш}(t) + A_L \rho \sqrt{f_{ш}(\varepsilon'_{от})f(\varepsilon_{от})} u_{ш}(t - \Delta t) \quad (\text{П3.27})$$

Применительно к шумовой помехе под множителем ослабления понимается:

$$V_{шшф} = \sqrt{\frac{D_{ш\Sigma}}{D_{шпр}}} = \frac{\sigma_{ш\Sigma}}{\sigma_{шпр}}, \quad (\text{П3.28})$$

где $D_{шпр}, \sigma_{шпр}$ - дисперсия и СКО прямой шумовой помехи;

$D_{ш\Sigma}, \sigma_{ш\Sigma}$ - дисперсия и СКО суммарной шумовой помехи.

Дисперсия суммарной помехи равна

$$D_{ш\Sigma} = D_{шпр} + D_{шот} + 2K_{пр,от}, \quad (\text{П3.29})$$

где $D_{шот}$ - дисперсия отраженной от Земли помехи;

$K_{пр,от} = \overline{u_{шпр} u_{шот}}$ - корреляционный момент случайных колебаний $u_{шпр}$ и $u_{шот}$.

Используя (П3.25) и (П3.27), становится возможным определить:

$$K_{пр,от} = A_L^2 \rho \sqrt{f_{ш}(\varepsilon'_{пр})f(\varepsilon_{пр})f_{ш}(\varepsilon'_{от})f(\varepsilon_{от})} \overline{u_{ш}(t) \cdot u_{ш}(t + \Delta t)} = A_L^2 \rho \sqrt{f_{ш}(\varepsilon'_{пр})f(\varepsilon_{пр})f_{ш}(\varepsilon'_{от})f(\varepsilon_{от})} B(\Delta t), \quad (\text{П3.30})$$

где $B(\Delta t)$ - значение корреляционной функции исходного шума при $\tau = \Delta t$.

$$D_{шпр} = \overline{u_{шпр}^2} = A_L^2 f_{ш}(\varepsilon'_{пр})f(\varepsilon_{пр}) \overline{u_{ш}^2} = A_L^2 f_{ш}(\varepsilon'_{пр})f(\varepsilon_{пр}) \sigma_{ш}^2, \quad (\text{П3.31})$$

$$D_{шот} = \overline{u_{шот}^2} = A_L^2 \rho^2 f_{ш}(\varepsilon'_{от})f(\varepsilon_{от}) \sigma_{ш}^2. \quad (\text{П3.32})$$

Подставив (П3.30), (П3.31), (П3.32) в (П3.29), получается:

$$D_{ш\Sigma} = A_L^2 \sigma_{ш}^2 \left[f_{ш}(\varepsilon'_{пр})f(\varepsilon_{пр}) + \rho^2 f_{ш}(\varepsilon'_{от})f(\varepsilon_{от}) \right] + 2A_L^2 \rho \sqrt{f_{ш}(\varepsilon'_{пр})f(\varepsilon_{пр})f_{ш}(\varepsilon'_{от})f(\varepsilon_{от})} \cdot B(\Delta t) \quad (\text{П3.33})$$

Тогда

$$V_{шшф} = \sqrt{1 + \rho^2 \frac{f_{ш}(\varepsilon'_{от}) \cdot f(\varepsilon_{от})}{f_{ш}(\varepsilon'_{пр}) \cdot f(\varepsilon_{пр})} + 2\rho \sqrt{\frac{f_{ш}(\varepsilon'_{от}) \cdot f(\varepsilon_{от})}{f_{ш}(\varepsilon'_{пр}) \cdot f(\varepsilon_{пр})}} K_0(\Delta t)}, \quad (\text{П3.34})$$

где $K_0(\Delta t)$ - нормированная корреляционная функция исходной помехи при $\tau = \Delta t$.

В том случае, когда интервал корреляции шумовой помехи $\tau_{ш\text{кор}} < \Delta t$ и $\rho(\Delta t) \rightarrow 0$ $V_{ш\text{иФ}}$ допустимо находить по формуле

$$V_{ш\text{иФ}} = \sqrt{1 + \rho^2 \frac{f_{ш}(\varepsilon'_{от}) \cdot f(\varepsilon_{от})}{f_{ш}(\varepsilon'_{пр}) \cdot f(\varepsilon_{пр})}} \quad (\text{ПЗ.35})$$

В дифракционной зоне распространения помехи расчет $V_{ш\text{иФ}}$ может быть произведен по такой же методике, как и для полезного сигнала. В качестве длины волны λ , участвующей в формулах, в этом случае следует принять длину волны, соответствующую центральной частоте спектра помехи.

При пассивном характере помехи вертикальный размер области, занятой гидрометеорами (дождь, снег, туман и т.п.), создающими пассивные помехи, имеет значительную величину (единицы и десятки километров). В интерференционной зоне распространения радиоволн по высоте области в этом случае укладывается более двух интерференционных максимумов поля для всего радиолокационного диапазона волн. Значение множителя ослабления для пассивной помехи, усредненного по всей высоте области, как правило, может быть принято равным 1,57, то есть $V_{ш\text{иФ}} = 1,57$.

Приложение Г

Описание комплектации элементов АСДПП авиатранспортом, разработанных и освоенных в серийном производстве отечественной промышленностью (Пример)

В соответствии с указанными в [126] тактико-техническими и нормативно-техническими требованиями к элементам АСДПП отечественной промышленностью разработан и освоен в серийном производстве ряд технических и программных решений. В качестве поясняющего примера можно продукцию группы компаний «Азимут» [127].

1. Система управления воздушным движением «Галактика», базирующаяся на 4-х мерных траекториях полетов, является современным масштабируемым решением для воздушного пространства низкой, средней и высокой интенсивности.

Назначение:

- Руление, взлет/посадка, подход и зона РЦ;
- Поддержка технологии удаленных ДПП и АКДП;
- Открыта для реализации требований заказчика;
- Разработана в соответствии с требованиями ICAO и агентства EUROCONTROL;
- Соответствие международным стандартам;
- Следование инициативе ICAO по блочной модернизации;
- Использование для вычислений модели Земли WGS-84 позволяет не иметь ограничений по размеру обслуживаемой территории;
- Взаимодействие с системами IFPS и CFMU агентства EUROCONTROL.

Используемые программно-информационные технологии:

- Вычисление траектории;
- Полное соответствие стандарту EUROCONTROL SUR.ET1.ST01.1000-STD-01-01;
- Мультисенсорная обработка данных наблюдения от всех типов существующих источников: ПРЛ, ВРЛ (включая режим S), МПСН

(широкозонная и аэродромная), АЗН, средства обзора наземного движения (РЛС обзора летного поля);

- Производительность: до 32 000 одновременно сопровождаемых треков, до 300 источников данных наблюдения;
- Использование вероятностных методов ассоциации (PDA) и метода взаимодействующих моделей (IMM) для фильтрации;
- Обработка данных с борта воздушного судна (DAPs) для повышения точности системных треков и предоставления дополнительной информации диспетчерам УВД;
- Обновление системного трека с темпом от 1 до 10 секунд.
- Система, использующая 4-мерные траектории полета:
 - 4-мерная траектория является элементом, на котором базируются все основные сервисы системы (LTCD, MTCD, MONA, и т.п.)
 - Точный расчет 4-мерной траектории с использованием базы воздушных судов BADA и модели полной энергии;
 - Обновление траектории по данным наблюдения и диспетчерским разрешениям;
 - Обнаружение долгосрочных (океанические сектора) и среднесрочных конфликтов, включая функцию «что если»;
 - Поддержка аэронавигационной информации в формате AIХМ.

Динамическое управление структурой воздушного пространства:

- Гибкое использование воздушного пространства;
- Оперативная переконфигурация структуры воздуха на базе атомарных объемов;
- Поддержка военно/гражданской координации и управление полетами;
- Динамическое управление специально используемым объемом воздушного пространства;
- Поддержка автоматической координации между соседними центрами УВД (OLDI, AIDC).

Гибкая настройка индикатора воздушной обстановки:

- Интегрированное представление воздушной обстановки на базе аэронавигационных данных, информации данных наблюдения и планов полетов;
- Открытая возможность адаптации параметров визуализации (цвета всех элементов, размеры и стили текстов, стили окон и т.п.);
- Расширенные графические возможности управления: гибкое изменение маршрута, доступ к функционалу через формуляр сопровождения, многослойное отображение объектов на ИВО.

Надежный функционал сервисов контроля за безопасностью полетов:

- Все компоненты сервисов контроля за безопасностью полетов соответствуют требованиям агентства EUROCONTROL;
- Отображение предупреждений и сигнализаций;
- Поддержка цифровых карт местности для обнаружения снижения ниже минимально безопасной высоты и контроля захода ВС на посадку;
- Сигнализация о срабатывании бортовой системы обнаружения конфликтов.
- CNS/ATM в действии;
- Поддержка приложений УВД цифровых линий передачи данных (DCL, OCL, CPD LC, ADS-C);
- Использование данных АЗН при траекторной обработке;
- Подтвержденный уровень качества и безопасности;
- Процесс разработки изделий и программного обеспечения в полном соответствии с международными стандартами ED 153, DO278/ED 109 (SWAL 3 and 4);
- Резервирование критических подсистем с использованием дублированной архитектуры и незаметного переключения на резервный комплект;
- Тройное резервирование ключевых компонентов (Активный/ Горячий резерв/Холодный резерв);
- Прямой доступ к данным наблюдения для рабочих мест в режиме by-pass.
- Надежность и сопровождение;

- Использование стандартных/покупных аппаратных средств (ОС Linux);
- Открытая архитектура и стандартные внутренние протоколы обмена данными (ASTERIX, Flight objects, SNMP).

2. Многоканальные радиосредства связи с бортами 2000 серии

Назначение:

Серия 2000 является новым поколением многоканальных цифровых радиосредств ОВЧ и ОВЧ/УВЧ диапазонов и предназначена для применения в системах управления воздушным движением гражданской и государственной авиации. Цифровая реализация повышает эффективность радиосвязи и решения задач передачи данных в режимах ACARS и VDL 2.

Эксплуатационные возможности:

- Полное соответствие нормам ICAO и отечественным стандартам;
- Высокая помехозащищенность в условиях сложной электромагнитной обстановки;
- Автоматическая адаптация к внешним условиям;
- Круглосуточная работа при максимальной (до 50 Вт) мощности радиопередатчика;
- Расширенная процедура внутреннего тестирования;
- Удобное управление и надежная защита от ошибок использования;
- Дистанционный контроль и управление по НЧ линиям и цифровым каналам;
- Эффективный контроль и резервирование; высокая надежность;
- Наличие электронного журнала регистрации событий (документирование) с местным и удаленным доступом;
- Сервисное программное обеспечение с удобным графическим интерфейсом пользователя;
- Малые габариты и масса при компактной модульной конструкции.

Основные технические характеристики

Тип ОВЧ 118-137 МГц

- Приемопередатчик RS 2500V
- Передатчик TX 2500V
- Радиоприемник RX 2000V

Тип ОБЧ/УВЧ 100-400 МГц

- Приемопередатчик RS 2500W
- Передатчик TX 2500W
- Радиоприемник RX 2000W.

Внешний вид образцов аппаратуры многоканальных средств связи с авиа бортами показан на рисунке П4.1.



Рисунок П4.1 – Внешний вид образцов аппаратуры многоканальных средств связи с авиа бортами 2000 серии

3. Приемно-передающий центр ОБЧ и УВЧ-связи TRS 2000

Назначение:

Автоматизированный приемно-передающий центр (АППЦ) TRS 2000 предназначен для обеспечения фиксированных каналов приема-передачи информации между диспетчерами и экипажами воздушных судов в интересах Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации (ЕС ОрВд РФ). АППЦ выпускается в разном исполнении для размещения в стационарных помещениях или контейнерах:

- в виде разнесенных приемного и передающего радиоприемников;
- в виде совмещенного автоматизированного приемно-передающего центра.

Совмещенные приемно-передающие центры — принципиально новое направление в развитии систем радиосвязи для управления воздушным движением. Они позволяют размещать все оборудование в одном помещении, устанавливать антенны на ограниченной территории и обеспечивать необходимые условия электромагнитной совместимости. При этом отпадает необходимость в прокладке протяженных линий связи, снижаются затраты на аренду земли, содержание зданий и сооружений, уменьшается количество вспомогательного оборудования.

Функциональные возможности:

- Обеспечивает возможность одновременной независимой работы от 2 до 46 частотных каналов речевой связи.
- Обеспечивает резервирование, как радиосредств, так и антенно-фидерных трактов за счет подключения радиосредств к разным фильтро-развязывающим устройствам.
- Перерывы в сеансах связи по любому из каналов воздушной радиосвязи (вследствие неисправности радиосредств, технического оборудования АППЦ или электропитания) не превышают 3 с.
- Обеспечивает контроль времени непрерывной работы каждого из передающих устройств в режиме излучения и предотвращает их постоянную работу в этом режиме в случае отказа канала управления радиосредством.
- Обеспечивает работу нескольких приемников или передатчиков на одну антенну.
- И АППЦ в целом, и оборудование из его состава не требуют оперативного технического обслуживания.
- Система встроенного контроля обеспечивает автоматический контроль всех основных параметров АППЦ, поиск и локализацию неисправностей с точностью до типового элемента замены.
- Контейнер с системой жизнеобеспечения обеспечивает

кондиционирование и отопление, охранную и пожарную сигнализацию, видеонаблюдение и газовую систему пожаротушения.

Состав АППЦ. АППЦ состоит из следующих функциональных частей:

- радиосредств ОВЧ и ОВЧ/УВЧ диапазона;
- унифицированных шкафов для размещения оборудования;
- антенн ОВЧ и ОВЧ/УВЧ диапазона;
- фильтро-развязывающих устройств;
- источников бесперебойного питания;
- аппаратуры дистанционного управления (опционально);
- контейнера с системой жизнеобеспечения (опционально).

Основные технические характеристики:

Диапазон частот

- трассовый сектор (ОВЧ диапазон):
 - для шага сетки 25 кГц от 118,000 до 136,975 МГц;
 - для шага сетки 8,33 кГц от 118,0000 до 136,9916 МГц;
- внедрассовый сектор (ОВЧ/УВЧ диапазон):
 - для шага сетки 25 кГц от 100,000 до 149,975 МГц и от 220,000 до 399,975 МГц ;
 - для шага сетки 8,33 кГц от 100,000 до 149,9916 МГц и от 220,0000 до 399,9916 МГц;
- Максимальное количество каналов радиосвязи до 46.
- Варианты резервирования радиосредств:
 - 100 % резервирование с автоматическим выбором
 - 100 % резервирование с ручным выбором без резерва
 - Выходная ВЧ-мощность передатчика, не менее 50 Вт (регулируемая от 5 Вт с шагом 1 дБм).
- Чувствительность приемника в режимах приема речи и VDL1, не более, при частоте модуляции 1000 Гц, глубине модуляции 30 % и отношении напряжения сигнал/ шум 1 мкВ.

Вид модуляции в режимах:

- приема/передачи речи АЗЕ;
- VDL1 (ACARS) А2D;
- VDL2 D8PSK.

Условия эксплуатации:

- температура окружающей среды от минус 40 до +50°С;
- воздействие атмосферных осадков (дождя) интенсивность до 3 мм/мин;
- воздействие ветровых нагрузок скорость ветра до 55 м/с.

Надежность:

Наработка на отказ АППЦ, не менее 40000 часов;

Срок службы 15 лет.

Внешний вид образцов аппаратуры автоматизированного приемо-передающего центра ОБЧ и УВЧ-связи TRS 2000 показан на рисунке П4.2.



Рисунок П4.2 – Внешний вид образцов аппаратуры аппаратуры автоматизированного приемо-передающего центра ОБЧ и УВЧ-связи TRS 2000

4. Автоматический радиопеленгатор DF 2000

Назначение:

Автоматический радиопеленгатор (АПИ) DF 2000 предназначен для пеленгования воздушных судов (в момент работы передатчиков бортовых радиостанций) по 2—16-частотным каналам в зависимости от варианта поставки.

Принцип действия и формат сигнала:

АРП обеспечивает пеленгование АМ-модулированных высокочастотных сигналов фазовым методом. В АРП используется электрическое переключение кольцевых вибраторов антенной решетки, создающее эффект вращения одного вибратора.

Основные технические характеристики:

- Диапазон частот 118–137 МГц;
- Шаг сетки частот 25 кГц; 8,33 кГц;
- Вид модуляции пеленгуемого сигнала –АМ;
- Глубина модуляции $\leq 80\%$;
- Одновременно работающих каналов 2—16 в зависимости от комплектации;
- Чувствительность пеленгования по каждому каналу ≤ 3 мкВ/м;
- Среднеквадратическая погрешность пеленгования $\leq 1^\circ$;

Дальность пеленгования на высоте:

- (150 ± 50) м ≥ 45 км
- (300 ± 50) м ≥ 65 км
- (1000 ± 50) м ≥ 120 км
- (3000 ± 50) м ≥ 200 км
- $(10\ 000 \pm 50)$ м ≥ 360 км.
- Длительность пеленгуемого сигнала 0,5 с;
- Зона обзора в вертикальной плоскости 60° .

Внешний вид образцов аппаратуры автоматического радиопеленгатора DF 2000 показан на рисунке П4.3.



Рисунок П4.3 – Внешний вид выносной аппаратуры и мачты автоматического радиопеленгатора DF 2000

5. Радиомаяк дальномерный DME 2700

Назначение:

Радиомаяк в комплексе с бортовым оборудованием системы DME предназначен для измерения наклонной дальности воздушного судна относительно контрольной точки установки. Радиомаяк используется в аэропортах и на трассах полетов самолетов гражданской авиации.

Принцип действия и формат сигнала:

Радиомаяк DME 2700 использует принцип действия и формат сигнала оборудования DME/N (DME/P) в соответствии с требованиями «Приложения 10 к Конвенции о международной гражданской авиации (ICAO)». Радиомаяк может использоваться в комплексе с навигационным азимутальным радиомаяком VOR (DVOR), системами посадки ILS и самостоятельно.

Основные технические характеристики:

Зона действия

- в горизонтальной плоскости 360°;
- в вертикальной плоскости 40°;
- по дальности (в условиях прямой видимости):
 - 340 км (при высоте полета 12000 м);
 - 240 км (при высоте полета 6000 м);

- Количество одновременно обслуживаемых самолетов до 200;
- Диапазон частот 962 – 1213 МГц;
- Мощность импульса 1,0 кВт;
- Форма импульса и др. Параметры в соответствии с требованиями ICAO.

Внешний вид образцов аппаратуры радиомаяка дальномерного DME 2700 показан на рисунке П4.4.

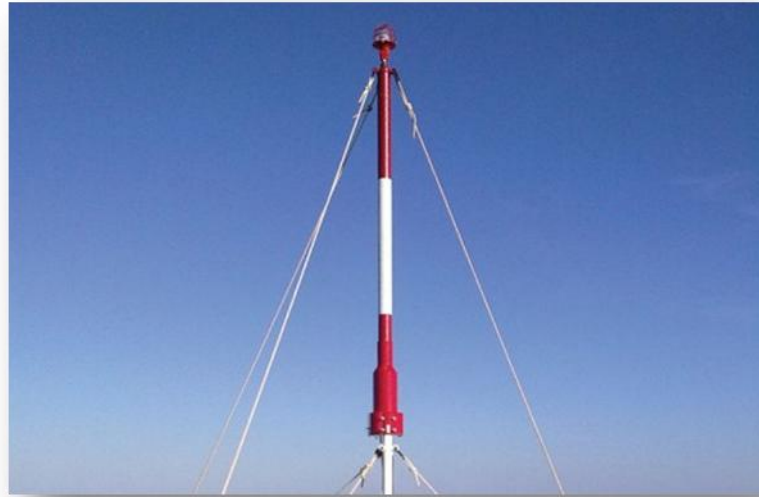


Рисунок П4.4 – Внешний вид выносной аппаратуры и мачты радиомаяка дальномерного DME 2700

6. Инструментальная система посадки ILS 2700

Назначение:

Наземное оборудование инструментальной системы посадки ILS 2700 предназначено для излучения амплитудно-модулированных ВЧ сигналов в определенной зоне, содержащих информацию, принимаемую на борту самолета, оборудованного соответствующими приемными устройствами, и позволяет определить его местоположение относительно ВПП во время захода на посадку и посадки.

Состав системы:

- курсовой маяк LLZ 2700;
- глиссадный маяк GP 2700;
- приемоответчик посадочного дальномера DME/NL 2700;

- прибор контроля дальнего поля FFM 2700;
- аппаратура дистанционного управления RCE 2700;

Опционально возможно укомплектование системы посадки маркерными маяками, взамен DME/NL 2700.

Основные технические характеристики.

Электропитание:

- основное и резервное ~220 В (187...264 В), 50 Гц (47...63 Гц);
- аварийное от аккумуляторных батарей в течение времени менее 2 ч;
- мощность, потребляемая РМК (РМГ) (при включенной системе терморегулирования) не более 4000 ВА;
- мощность, потребляемая от сети основной аппаратурой радиомаяка не более 200 ВА.

Условия эксплуатации:

- температура окружающего воздуха от -50 до +50°C;
- воздушные потоки со скоростью до 50 м/с.

Надежность:

- средняя наработка на отказ 30 000 ч;
- средний ресурс работы радиомаяка 120 000 ч или 15 лет.

Внешний вид наземного оборудования инструментальной системы посадки ILS 2700 показан на рисунке П4.5.



Рисунок П4.5 – Внешний вид наземного оборудования инструментальной системы посадки ILS 2700

7. Радиомаяк азимутный доплеровский DVOR 2000

Назначение:

Радиомаяк предназначен для формирования и излучения радиосигналов, обеспечивающих измерение азимутального угла воздушного судна, оснащенного бортовым оборудованием системы VOR. Радиомаяк используется в аэропортах и на трассах полетов самолетов гражданской авиации.

Принцип действия и формат сигнала

Радиомаяк DVOR 2000 имеет формат сигнала оборудования VOR и соответствует требованиям к этому оборудованию, изложенным в «Приложении 10 к Конвенции о международной гражданской авиации (ICAO)». Радиомаяк может использоваться в комплексе с дальномерным радиомаяком DME/N и как самостоятельное изделие.

Основные технические характеристики:

Зона действия

- в горизонтальной плоскости: 0... 360°
- в вертикальной плоскости: 0... 40°
- по дальности (в условиях прямой видимости)
 - ≥ 300 км (при высоте полета 12 000 м)
 - ≥ 210 км (при высоте полета 6000 м)
- Погрешность информации об азимуте ±1°
- Диапазон частот 108,000—117,950 МГц
- Параметры сигналов (опорной и переменной фазы, опознавания и радиотелефонной связи) В соответствии с требованиями ICAO

Контроль выходных параметров

- Контроль основных параметров (азимут и уровень сигналов) в соответствии с требованиями ICAO
- Диапазон измерения азимута 0...360°
- Погрешность измерения азимута ±0,2°

Габаритные размеры

- Аппаратная (высота × ширина × глубина) 4,5 × 2,5 × 2,7 м
- Антенная система (диаметр) 13,5 м
- Отражатель антенной системы (диаметр) 30 м

Электропитание:

Основная и резервная сеть 220 (+10 %; -15%) В, 50 Гц

Условия эксплуатации:

- температура окружающей среды -50...+50 °С
- воздействие атмосферных осадков (дождя) интенсивность до 3 мм/мин
- воздействие ветровых нагрузок скорость ветра до 50 м/с
- Оборудование внутри контейнера 0... +40 °С

Надежность

- Нарботка на отказ $\geq 20\,000$ часов
- Срок службы 15 лет.

Внешний вид наземного оборудования азимутального доплеровского радиомаяка DVOR 2000 показан на рисунке П4.6.



Рисунок П4.6 – Внешний вид наземного оборудования азимутального доплеровского радиомаяка DVOR 2000

8. Моноимпульсный вторичный радиолокатор «Крона-М»

МВРЛ «Крона-М» выпускается в двух вариантах исполнения: автономный и встроенный в радиолокационные комплексы. Каждая модификация по желанию заказчика может быть изготовлена в трассовом или аэродромном варианте. Варианты отличаются друг от друга темпом обновления радиолокационной информации, что обусловлено скоростью вращения антенной системы. МВРЛ «Крона» прошли приемку и апробацию со стороны ведущих фирм ЕС — Thales ATM и ALENIA MARCONI SYSTEMS и др.

Особенности:

- Полное соответствие требованиям норм ИКАО и российским стандартам;
- Высокий уровень надежности благодаря твердотельному исполнению аппаратуры и 100% резервированию электронного оборудования (горячий резерв). Нарботка на отказ аппаратуры не менее 20 000 часов;
- Удобство в эксплуатации;
- Местное и дистанционное управление;
- Система встроенного контроля обеспечивает работоспособность и автоматический переход на резерв, визуализацию места отказа узла, локализацию неисправности до уровня типового элемента замены;
- Наличие встроенного источника бесперебойного питания (ИБП) большой мощности, работающего в режиме on-line. При пропадании переменного тока ИБП обеспечивает работу МВРЛ свыше 10 минут;
- Аппаратура первичной обработки сигнала построена на сигнальных процессорах. В качестве ЭВМ и их составных частей используются промышленные варианты исполнения оборудования фирмы Advantech;
- Гарантированная круглосуточная работа без постоянного присутствия персонала;
- Обеспечивается оперативное сопряжение с любыми автоматизированными системами УВД (отечественными и зарубежными) путем смены модификаций ПО интерфейсов;
- Возможность дооснащения радиолокаторов для работы в режиме S;

- Адаптация к электромагнитной обстановке и месту размещения.

Типовой комплект поставки:

- аппаратный контейнер;
- антенная система;
- колонна привода;
- контрольный ответчик;
- выносной терминал;
- дистанционный терминал;
- ЗИП;
- монтажные части;
- инструменты и принадлежности;
- комплект радиоизмерительных приборов для проведения регламентных работ.

Тип и высота мачты для антенной системы зависят от особенностей рельефа местности, наличия сооружений и местных предметов в месте установки МВРЛ. Высота мачты может быть 5 м, 15 м, 25 м, 32,5 м, 37,5 м. По желанию заказчика МВРЛ может быть поставлен в исполнении, когда колонна привода и аппаратный контейнер объединены в единую конструкцию. В этом случае весь радиолокатор, включая антенную систему, размещен на топе мачты. Антенная система — плоская фазированная решетка с большой вертикальной апертурой. Высококачественная встроенная климатическая система и конструктивное исполнение контейнеров, мачт, антенных систем и других составляющих позволяют работать радиолокатору в пустынях, горных условиях, субтропиках и в полярных широтах. Для особых условий эксплуатации имеется вариант исполнения МВРЛ с радиопрозрачным укрытием антенной системы.

Основные технические характеристики.

Зона видимости:

- минимальная дальность, менее 1 км;
- максимальная дальность для трассового МВРЛ, не менее 400 км;

- максимальная дальность для аэродромного МВРЛ, не менее 200 км;
- углы места максимальный, не менее 45°;
- углы места минимальный, не менее 0,5°;
- высота обнаружения, не менее 20 км.

Погрешность измерения координат по дальности, не более 4,8 RBS 0 УВД.

Разрешающая способность по дальности, не хуже, м 1,0 RBS 1,5 УВД.

Вероятность получения неискаженной дополнительной информации, не менее 0,98.

Темп обновления информации:

- для трассового МВРЛ 10 сек;
- для аэродромного МВРЛ 4 сек.

Ресурс:

- Технический ресурс, не менее 100000 ч;
- Срок службы, не менее 12 лет;
- Работоспособность в диапазоне температур -60°С ... +50°С.

Ветровые нагрузки:

- рабочие 40 м/сек;
- предельные 55 м/сек.

Количество целей:

- обзора 200;
- в луче 20.

Надежность - Нарботка на отказ, не менее 20 000 ч.

Внешний вид наземного оборудования моноимпульсного вторичного радиолокатора «Крона-М» показан на рисунке П4.7.



Рисунок П4.7 – Внешний вид наземного оборудования моноимпульсного вторичного радиолокатора «Крона-М»

9. Система автоматизированных рабочих мест диспетчеров управления воздушным движением «Орион»

Назначение:

Система автоматизированных рабочих мест диспетчеров управления воздушным движением «Орион» предназначена для использования в качестве средства обработки и отображения информации на рабочих местах (пультах) диспетчеров управления воздушным движением в районах аэродромов, районах центрах, а также на вышках АКДП.

Изделие может встраиваться в типовые диспетчерские пульты, в том числе интегрированные пульты коллективного пользования.

Изделие обеспечивает непрерывный круглосуточный режим работы. Два изделия обеспечивают функционирование в режиме резервирования. Изделие обеспечивает сопряжение с источниками информации по последовательным интерфейсам, а также по локальной вычислительной сети Ethernet спецификации 10/100/1000 Base-TX.

Изделие обеспечивает сопряжение с источниками информации по дублированным каналам сопряжения и сопряжение со следующими

источниками информации:

- аэродромными и трассовыми первичными и вторичными радиолокаторами типа ТРЛК «Утес Т», АРЛК «Утес А», АРЛК «Ли́ра А10», ТРЛК «Ли́ра Т», РЛК ДН «Сопка 2», МВРЛ «Аврора»;
- системами многопозиционного наблюдения (мультилатерация) типа РЗД производства фирмы Эра;
- системами автоматического зависимого наблюдения широковещательными и контрактными типа МВРЛ «Аврора» с функциями расширенного наблюдения в режиме АЗН-В 1090 ES;
- автоматическими радиопеленгаторами типа АРП-95 и АРП «Платан»;
- наземной станцией связи "диспетчер – пилот" по линии передачи данных (CPDLC);
- метеостанциями типа КРАМС-4 и АИС.

Изделие обеспечивает отображение:

- информации от первичного радиолокатора в режиме «сырого видео»;
- информации о предыстории, действительном и экстраполированном местоположении ВС по данным систем наблюдения;
- картографической информации;
- информации об ограничениях воздушного пространства;
- плановой информации;
- метеорологической информации;
- формуляров сопровождения, списков потерь, списков ожидания, списков входа;
- системных данных (настройки портов ввода данных, информации о текущем пользователе и т.п.);
- информации о значениях азимута и дальности, измеренных с помощью функции "вектор-измеритель";
- текущего времени UTC;
- справочной информации;

- функциональных окон для реализации функций ввода;
- информации о наличии особых случаев полета при поступлении в систему аварийных кодов ВРЛ и кода 2000;
- радиопеленгационной информации;
- сообщений обмена по линии передачи данных «диспетчер-пилот»;
- географических координат любой выбранной точки.

Изделие обеспечивает отображение следующих элементов плановой информации:

- радиотелефонный позывной (номер рейса), код ответчика;
- тип ВС, весовая категория;
- время, точка, эшелон входа, точка выхода, (аэропорт назначения по прилетающим ВС);
- время, аэропорт вылета, точка выхода, разрешенный эшелон на трассе по вылетающим ВС;
- признак допуска ВС к полетам в зонах RVSM.

Изделие обеспечивает возможность отображения в формуляре полета следующей информации:

- номер рейса (радиотелефонный позывной);
- весовая категория;
- текущий код ответчика;
- текущая высота (в метрах или футах);
- заданный эшелон (в метрах или футах);
- тенденция изменения высоты;
- признак абсолютной или относительной высоты;
- курс;
- остаток топлива;
- значение азимута и дальности от заранее введенной точки (КТА, VOR/DME и т.п.);
- точка выхода или аэропорт назначения;
- расчетное время выхода;

- запрошенный эшелон, уточненный эшелон и эшелон передачи управления;
- путевая скорость в (км/час или в узлах);
- тип ВС;
- аэропорт вылета;
- аэропорт назначения;
- признаки спецкодов и бедствия;
- признак достижения граничных значений норм эшелонирования;
- признак потенциально опасного сближения;
- признак снижения ниже безопасной высоты;
- признак возможности попадания в зону ограничений ИВП;
- признак возможности попадания в зону опасных метеоявлений;
- символы треков;
- признак потери сопровождения;
- линия - связка;
- признак необновления информации;
- предыстория движения;
- признак допуска ВС к полетам в зонах RVSM.

Изделие обеспечивает обработку информации в зоне со следующими параметрами:

- а) по площади - 1500 x1500 км;
- б) по высоте 0 - 20000 м.

Изделие обеспечивает количество одновременно сопровождаемых мультисенсорных треков по данным систем наблюдения (радиолокационные данные, данные систем многопозиционного обнаружения, данные систем автоматического зависимого наблюдения) - не менее 300. Изделие обеспечивает время реакции на выполнение пультовых операций диспетчером - не более 0,5 с.

Изделие обеспечивает автоматический прием от средств наблюдения, обработку и отображение на ИВО координатной и дополнительной знаковой

информации о воздушных судах (ВС), оборудованных и необорудованных ответчиками.

Изделие обеспечивает объединение данных наблюдения от нескольких источников (аэродромных и трассовых первичных и вторичных радиолокаторов, систем многопозиционного наблюдения, систем автоматического зависимого наблюдения). Количество одновременно подключаемых к изделию и обрабатываемых источников информации наблюдение не менее – 3.

Изделие обеспечивает:

- прием траекторий ВС от комплекса мультисенсорной обработки данных наблюдения «Оберон» по протоколу ASTERIX категории 062;
- автосопровождение ВС по данным средств наблюдения (ПРЛ, ВРЛ, ПРЛ + ВРЛ, АЗН, MLAT);
- автоматический ввод в сопровождение ВС и автоматическое отображение формуляров сопровождения (ФС) по всем ВС, оборудованным ответчиками, или при выполнении одного из условий:
 - наличие элементов планов полета;
 - наличие признака бедствия, потери радиосвязи, нападения, не назначенного кода ответчика;
 - обнаружение потенциально-конфликтных ситуаций.
- автоматическую привязку информации текущего плана полета к треку по ВС, оборудованным ответчиками;
- ручной ввод ВС в сопровождение и отображение ФС ВС;
- ручную привязку информации текущего плана полета к треку по ВС, необорудованным ответчиками;
- выдачу на отображение текущего местоположения ВС в виде отметок с заданной предысторией;
- ручной прием ВС под управление;
- автоматический сброс автосопровождения и снятие ВС с управления при выходе ВС из зоны управления;

- ручной сброс сопровождения и снятие ВС с управления;
- расчет векторов экстраполированного местоположения ВС и отображение вектора упреждения на заданное время;
- автоматическое оповещение диспетчеров о неполучении координатной и дополнительной информации от РЛК;
- автоматизированное взаимодействие экипажа и диспетчера по ЦППД (CPDLC) по следующим процедурам:
 - передача управления;
 - получение дополнительной информации;
 - диспетчерское разрешение;
 - запросы пилотов;
 - координация.
- автоматический перевод ФС ВС, имеющих элементы плановой информации, в список потерь при отсутствии информации от средств наблюдения по данному ВС в течение N обзоров подряд;
- автоматическое восстановление автосопровождения и отображения ФС ВС, находящихся в списке потерь и оборудованных ответчиками, и ручное восстановление автосопровождения и отображения ФС ВС, не оборудованных ответчиками, при поступлении от средств наблюдения информации по данному ВС;
- автоматический расчет и отображение азимута и дальности ВС относительно заранее выбранной точки пространства (КТА, точки установки VOR/DME и т.п.);
- измерение азимута и дальности между двумя точками (географическими координатами или треками) с помощью функции “вектор - измеритель”;
- просмотр формуляров сопровождения ВС (“быстрый просмотр”), находящихся на управлении в соседних секторах УВД;
- автоматический и ручной отброс ФС при их наложении;
- прием, обработку пеленгационной информации от автоматического радиопеленгатора. Формирование и отображение на ИВО до 3-х линий пеленга

и цифровых значений прямого и обратного пеленгов;

- прием, обработку и отображение метеоинформации, при наличии АИС:
 - об опасных метеоявлениях в воздушном пространстве;
 - о прогнозируемых значениях ветра и температуры воздуха по слоям воздушного пространства, по маршрутам и районам полетов и коррективах к ним;
 - о расчетных траекториях радиозондов;
 - о фактической погоде на ВПП основного аэродрома;
 - о фактической и прогнозируемой погоде, штормовых оповещениях и коррективах к прогнозам по основным и запасным аэродромам, аэродромам посадки и международным.
- ввод с рабочего места, обработка и отображение на ИВО данных об ограничениях использования воздушного пространства;
- автоматическое обнаружение на основе радиолокационной информации и сигнализацию диспетчеру о достижении граничных значений норм эшелонирования между ВС;
- автоматическое обнаружение на основе радиолокационной информации о текущей и упрежденной ВО и предупреждение диспетчеров о потенциально опасных сближениях между ВС;
- автоматическое обнаружение на основе радиолокационной информации и предупреждение диспетчеров о снижении ВС ниже минимально безопасной высоты;
- автоматическое обнаружение на основе радиолокационной информации о текущей и упрежденной ВО и предупреждение диспетчеров о возможности попадания ВС в зону ограничений ИВП;
- автоматическое обнаружение на основе радиолокационной информации о текущей и упрежденной ВО и предупреждение диспетчеров о возможности попадания ВС в зону опасных метеоявлений;
- плавное изменение масштаба на экране диспетчера в диапазоне от 2 до 300 км для аэродромного пункта УВД и от 10 до 1000 км для районных

пунктов, смещение центра изображения, обеспечиваться отображение окна «Лупа»;

- документирование цифровой информации систем наблюдения о воздушной обстановке, радиопеленгационной и метеорологической информации и ее воспроизведение на АРМ или на выделенном рабочем месте;
- непрерывный процесс регистрации (записи) информации с привязкой к текущему времени без оказания влияния на функционирование АРМ;
- хранение записанной информации должно обеспечиваться в течение времени, установленного нормативными документами.

В качестве индикатора воздушной обстановки (ИВО) в АРМ УВД используется жидкокристаллический монитор с диагональю не менее 28”) и с разрешающей способностью не менее 2048x2048. В качестве вспомогательного индикатора используется жидкокристаллический монитор с диагональю не менее 24“разрешающей способностью 1920x1200.

В качестве средств ввода информации используется функциональная клавиатура и «мышь».

В состав программно-технологического АРМ входят:

- общее (системное) программное обеспечение;
- специальное (прикладное) программное обеспечение, реализующее решения прикладных функциональных задач;
- сервисное программное обеспечение, используемое в режиме адаптации АРМ к конкретному району УВД, а также в процессе эксплуатации для изменения картографической информации, изменяемых констант и параметров.

Программное обеспечение АРМ обеспечивает корректировку изменяемых параметров системы и картографической информации.

Информация, а также программное обеспечение АРМ защищены от несанкционированного доступа. Человеко-машинный интерфейс разработан с учетом особенностей технологии управления воздушным движением в России на основе документов Евроконтроля «Общая спецификация функциональных и

эксплуатационных характеристик для оборудования рабочих мест диспетчеров (COPS)», ODID-IV и REFGHMI. При реализации интерфейса используются буквы латинского алфавита и кириллицы.

Основные технические характеристики

- компл. «Орион» размещенный в монтажном шкафу 600 x 1000 x 2000 мм
- монтажный шкаф для размещения блоков 600 x 1000 x 2000 мм
- габаритные размеры системного блока ГО 463 x 88 x 700 мм
- габаритные размеры системного блока 170 x 400 x 500 мм
- габаритные размеры ИБП ГО 463 x 88 x 500 мм
- габаритные размеры ИБП 170 x 400 x 500 мм
- диагональ основного индикатора 28''
- диагональ вспомогательного индикатора 24''
- масса, не более 90 кг
- мощность, потребляемая от сети 220 В 50 Гц, не более 1000 ВА;
- диапазон рабочих температур от 5 до 40 С
- относительная влажность воздуха при температуре 25 °С, не более 80%
- атмосферное давление в диапазоне от 650 до 790 мм рт. ст
- время готовности после включения, не более 7 мин.
- время автономной работы при пропадании напряжения в сети электропитания 20 мин

Параметры надежности

- средняя наработка на отказ, час 5000
- среднее время восстановления средствами дежурной смены с использованием ЗИП, мин. 20
- ресурс в течение 10 лет с момента ввода в эксплуатацию, час 80000
- средний срок сохраняемости, лет -1.

Внешний вид образцов аппаратуры системы автоматизированных рабочих мест диспетчеров управления воздушным движением «Орион» показан на рисунке П4.8.

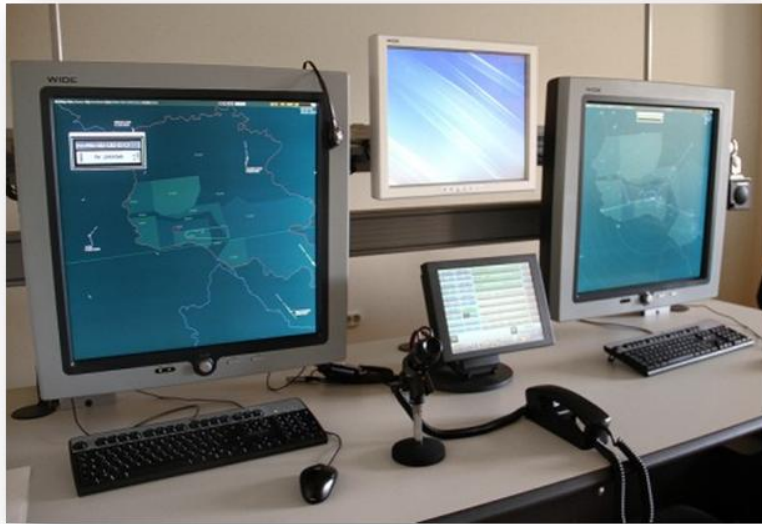


Рисунок П4.8 – Внешний вид образцов автоматизированных рабочих мест диспетчеров управления воздушным движением «Орион»

10. Интегрированная бортовая радиоэлектронная аппаратура

Совершенство и качество исполнения интегрированной бортовой радиоэлектронной аппаратуры во многом влияет на комплектацию и возможности АСДПП, их наземных аппаратных и программных комплексов.

Необходимость непрерывной модернизации авиационной техники и, в частности, авионики вызвана двумя причинами:

Во-первых, существует несоответствие между длительным жизненным циклом летательного аппарата и высокой скоростью технологического процесса в смежных отраслях промышленности: авиаприборостроении, двигателестроении, разработке и производстве вооружений. В качестве примера достаточно сказать, что производительность вычислительных средств, разрабатываемых в мире, удваивается каждые 18 месяцев, в результате чего многие разработанные системы авионики устаревают прежде, чем начинают эксплуатироваться [123].

Во-вторых, модернизация в авиации связана с изменением геополитической ситуации и планов правительств различных стран, а модернизация в гражданской авиации – с политикой международных (ИКАО,

RTCA, JAA), региональных и национальных органов гражданской авиации и с коммерческой политикой авиакомпаний.

Создание авионики для новых летательных аппаратов сегодня происходит в условиях расширения круга решаемых авиационным носителем задач, усложнения работы экипажа, увеличения номенклатуры авиационного оборудования, участия в процессе бортовой авионики многих производителей, отсутствия единой концепции построения и функционирования бортового оборудования.

В гражданской авиации в 80-90-е годы XX века происходит процесс стихийной интеграции бортовой авионики. Она выразилась в выпуске различными фирмами десятков типов оборудования под конкретного потребителя с частичной или полной аппаратурной интеграцией одной или двух функций. Стремление к упорядочиванию деятельности по интеграции привело к разработке корпорацией ARINC концепции интегрированной модульной авионики (IMA) [124].

Новое направление развития перспективных средств связи, навигации и организации воздушного движения было определено концепцией комплекса средств связи, навигации и наблюдения за организацией воздушного движения (Communications, Navigation and Surveillance/Air Traffic Management – CNS/ATM), разработанной и реализуемой ИКАО.

В этой концепции предусматривается целый ряд принципиальных изменений, которые получают свое развитие на протяжении всего срока планирования (вплоть до 2025 года и далее) и будут служить в качестве общей основы для руководства планированием внедрения систем организации воздушного движения (OpВД). Ядром концепции и систем CNS/ATM является глобальная навигационная спутниковая система (GNSS), стандартизованная ИКАО и призванная стать всемирной системой определения местоположения и времени. В настоящее время работа GNSS обеспечивается по орбитальным группировкам двух спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС. После создания

европейской системы GALILEO появится возможность работы GNSS по трем созвездиям.

GPS как спутниковая радионавигационная система использует точные измерения дальностей от спутников GPS для определения местоположения и времени по всему миру. Система работает для правительства США и управляется ВВС США. В 1994 г. США предложили службу стандартного определения местоположения GPS (SPS) для нужд международной гражданской авиации, и Совет ИКАО принял это предложение.

Конструктивно космический сегмент GPS состоит из 24 спутников на шести орбитальных плоскостях. Спутники функционируют на близких к круговым орбитах на высоте 20 200км (10 900 м. миль). Угол наклона орбит к экватору составляет 55° , каждый спутник совершает полный оборот приблизительно за 12 ч. Управляющий сегмент GPS имеет пять станций контроля и четыре наземных антенны, позволяющие передавать сигналы на спутники. Станции контроля используют приемник GPS для наблюдения за траекторией движения спутников, находящихся в поле зрения, и накопления данных по дальностям. Главная станция управления обрабатывает эту информацию для того, чтобы определять состояние часов и орбиты спутника и обновлять навигационные сообщения каждого спутника. Эта обновленная информация передается на спутники через наземные антенны, которые используются также для передачи и приема информации о техническом состоянии и управляющей информации.

Стандартное обслуживание по определению местоположения GPS (SPS), использующее код грубого определения (C/A) на частоте L1 (1575,42 МГц), разработано для обеспечения достаточно точного определения местоположения для гражданских пользователей по всему миру. Точное позиционное обслуживание (PPS), использующее точный код (P-code) на второй частоте L2 (1227,6 МГц), обеспечивает возможность более точного определения местоположения, но с помощью кодирования сигнала введены ограничения, и оно может использоваться только организациями, имеющими специальное

разрешение. Первого мая 2000 г. США сняли селективный доступ GPS (SA), что привело к повышению точности SPS.

Стандарты характеристик SPS GPS определяют уровень характеристик, который правительство США обязуется обеспечить для всех гражданских пользователей. Интерфейсный контрольный документ (ICD) GPS 200C детализирует технические характеристики несущего сигнала SPS на частоте L1 и кода C/A, а также техническое соответствие между требованиями к созвездию GPS и приемникам SPS.

ГЛОНАСС обеспечивает определение трехмерного местоположения и скорости, основанное на измерении времени прохождения и доплеровского сдвига частоты сигналов, передаваемых спутниками ГЛОНАСС. Система эксплуатируется Министерством обороны РФ. В 1996 Российская Федерация предложила канал ГЛОНАСС стандартной точности (CSA) для поддержки потребностей международной гражданской авиации, и Совет ИКАО принял это предложение.

Номинально космический сегмент ГЛОНАСС состоит из 24 эксплуатируемых и нескольких запасных спутников. Спутники ГЛОНАСС движутся по орбитам на высоте 19 100 км (10 310 м. миль) с периодом обращения 11 ч 15 мин. Восемь спутников размещены с равными интервалами на каждой из трех орбит с углом наклона к экватору $64,8^\circ$ и разнесенных одна относительно другой на 120° [125].

Навигационное сообщение, передаваемое с каждого спутника, содержит координаты спутника, компоненты вектора скорости, поправки ко времени системы ГЛОНАСС и информацию о техническом состоянии спутника. Измерения как минимум от четырех спутников требуются для определения трехмерного местоположения и времени. Измерения как минимум от трех спутников требуются для определения двумерного местоположения и времени, если известна высота. Приемник пользователя может следить за движением спутников либо одновременно, либо по очереди. Спутники осуществляют трансляцию в двух диапазонах L спектра радиочастот и имеют два бинарных

кода: код грубого определения C/A и точный P-code. Функционирование ГЛОНАСС основано на принципе частотного уплотнения каналов (FDMA). Спутники ГЛОНАСС передают несущий сигнал на разных частотах. Приемник ГЛОНАСС разделяет весь полученный сигнал от всех видимых спутников, устанавливая разные частоты своими каналами слежения. Использование FDMA позволяет каждому спутнику ГЛОНАСС передавать идентичные коды P и C/A.

Сообщение навигационных данных содержит информацию, относящуюся к состоянию конкретного передающего спутника, вместе с информацией об остальных спутниках созвездия. С позиции пользователя, главными элементами информационного сообщения спутника ГЛОНАСС являются корректирующие поправки к часам и параметры местоположения спутника (эфемериды). Поправки к часам ГЛОНАСС предоставляют данные, уточняющие разницу между временем на часах отдельного спутника и временем системы ГЛОНАСС, которое соответствует Всемирному координированному времени (UTC) [126].

Информация эфемерид включает трехмерное местоположение спутника в геоцентрической системе координат, скорость и ускорение на момент времени, фиксируемые через каждые полчаса для каждого спутника. Для измерений в моменты времени между получасовыми эпохами пользователь интерполирует координаты спутника, используя данные получасовых измерений местоположения, скорости и ускорения до и после момента данного измерения.

Управляющий сегмент ГЛОНАСС выполняет наблюдательные и управляющие функции для спутников и определяет навигационные данные для модуляции в кодированные спутниковые навигационные сигналы. Управляющий сегмент включает главную управляющую станцию, а также станции контроля и передачи данных на спутник. Данные измерений от каждой станции контроля обрабатываются на главной станции управления и используются для вычисления навигационных данных, которые передаются на спутники через станции передачи данных. Эксплуатация системы требует точной синхронизации часов спутников со временем системы ГЛОНАСС. Для

выполнения необходимой синхронизации главная станция управления предоставляет параметры корректирующих поправок.

Одновременно в ИКАО и ARINC разрабатывается концепция зональной навигации (RNAV) и требуемых навигационных характеристик RNP (точности, целостности, непрерывности обслуживания и готовности).

В течение ряда десятилетий и до настоящего времени широко используемыми радионавигационными системами (РНС) являются наземные радиомаячные РНС. Однако их дальнейшее применение не позволяет удовлетворить возрастающие требования к навигационному оборудованию авиации по точности /125/. С внедрением GNSS появилась возможность удовлетворения требований по точности, однако в этой системе существует проблема удовлетворения требований по готовности, целостности и непрерывности обслуживания. Таким образом, в настоящее время ни одна из существующих РНС в отдельности не удовлетворяет всем требованиям RNP [126].

Требуемые характеристики точности, целостности, непрерывности и готовности можно обеспечить созданием единого навигационного поля во всемирном или региональных (национальных) масштабах. Однако трудности экономического, политического и организационного характера препятствуют реализации в обозримом будущем этой идеи. Поэтому одним из основных направлений обеспечения RNP в настоящее время признаны разработка и внедрение систем, функционально дополняющих GNSS.

В ИКАО разработаны стандарты на системы функционального дополнения GNSS, которые разделены на три типа: авиационные (ABAS), наземные (GBAS и GRAS) и спутниковые (SBAS). Задачей разработчиков авиационного бортового оборудования является разработка и исследование алгоритмов и реализация работы бортовой авионики с этими системами функционального дополнения GNSS. Однако существуют возможности создания других систем функционального дополнения. Одним из вариантов может быть построение такой системы на основе псевдоспутников,

передающих на борт летательного аппарата одновременно навигационные сигналы, аналогичные сигналам спутников GNSS, и дифференциальные поправки.

Развертывание GNSS будет осуществляться на поэтапной основе, предусматривающей постепенное внедрение усовершенствований системы. В обозримом будущем будет применяться многодатчиковое бортовое оборудование, использующее приемники GNSS в качестве одного из датчиков.

Такое навигационное оборудование обладает более надежными характеристиками по сравнению с индивидуальными датчиками или автономными системами навигации [125]. Этот факт во многом предопределяет рост возможностей и улучшение качества функционирования АСДПП авиатранспортом на ближайшую и среднесрочную перспективу.